ISLAMIC REPUBLIC OF IRAN
MINISTRY OF PETROLEUM

جمهوری اسلامی ایران
وزارت نفت

IRANIAN PETROLEUM STANDARDS

استانداردهای نفت ایران

IPS

IPS-C-TP-742 (1)

# CONSTRUCTION STANDARD FOR CORROSION CONSIDERATION DURING FABRICATION AND INSTALLATION

FIRST REVISION

MAY 2010

# استاندارد اجرا برای ملاحظات خوردگی حین ساخت و نصب

ویرایش اوّل

اردیبهشت ۱۳۸۹

DEPUTY MINISTER OF ENGINEERING & LOCAL MANUFACTURING RESEARCH & STANDARDS

معاونت مهندسی و ساخت داخل

تحقیقات و استانداردها

## پیش گفتار

استانداردهای نفت ایران (IPS) منعکس کننده دیدگاههای وزارت نفت ایران است و برای استفاده در تأسیسات تولید نفت و گاز، پالایشگاههای نفت، واحدهای شیمیایی و پتروشیمی، تأسیسات انتقال و فراورش گاز و سایر تأسیسات مشابه تهیه شده است.

استانداردهای نفت، براساس استانداردهای قابل قبول بین‌المللی تهیه شده و شامل گزیده‌هایی از استانداردهای مرجع در هر مورد می‌باشد. همچنین براساس تجربیات صنعت نفت کشور و قابلیت تأمین کالا از بازار داخلی و نیز برحسب نیاز، مواردی بطور تکمیلی و یا اصلاحی در این استاندارد لحاظ شده است. مواردی از گزینه‌های فنی که در متن استانداردها آورده نشده است در داده برگ‌ها بصورت شماره گذاری شده برای استفاده مناسب کاربران آورده شده است.

استانداردهای نفت، بشکلی کاملاً انعطاف پذیر تدوین شده است تا کاربران بتوانند نیازهای خود را با آنها منطبق نمایند. با این حال ممکن است تمام نیازمندی‌های پروژه ها را پوشش ندهند. در این گونه موارد باید الحاقیه‌ای که نیازهای خاص آنها را تأمین می‌نماید تهیه و پیوست نمایند. این الحاقیه همراه با استاندارد مربوطه، مشخصات فنی آن پروژه و یا کار خاص را تشکیل خواهند داد.

استانداردهای نفت تقریباً هر پنج سال یکبار مورد بررسی قرار گرفته و روزآمد می‌گردند. در این بررسی‌ها ممکن است استانداردی حذف و یا الحاقیه‌ای به آن اضافه شود و بنابراین همواره آخرین ویرایش آنها ملاک عمل می باشد.

از کاربران استاندارد، درخواست می‌شود نقطه نظرها و پیشنهادات اصلاحی و یا هرگونه الحاقیه‌ای که برای موارد خاص تهیه نموده‌اند، به نشانی زیر ارسال نمایند. نظرات و پیشنهادات دریافتی در کمیته‌های فنی مربوطه بررسی و در صورت تصویب در تجدید نظرهای بعدی استاندارد منعکس خواهد شد.

ایران، تهران، خیابان کریمخان زند، خردمند شمالی، کوچه چهاردهم، شماره ۱۹
اداره تحقیقات و استانداردها
کدپستی : ۱۵۸۵۸۸۶۸۵۱
تلفن : ۶۰ - ۸۸۸۱۰۴۵۹ و ۶۶۱۵۳۰۵۵
دور نگار : ۰۲۱-۸۸۸۱۰۴۶۲
پست الکترونیکی: Standards@nioc.org

## FOREWORD

The Iranian Petroleum Standards (IPS) reflect the views of the Iranian Ministry of Petroleum and are intended for use in the oil and gas production facilities, oil refineries, chemical and petrochemical plants, gas handling and processing installations and other such facilities.

IPS is based on internationally acceptable standards and includes selections from the items stipulated in the referenced standards. They are also supplemented by additional requirements and/or modifications based on the experience acquired by the Iranian Petroleum Industry and the local market availability. The options which are not specified in the text of the standards are itemized in data sheet/s, so that, the user can select his appropriate preferences therein.

The IPS standards are therefore expected to be sufficiently flexible so that the users can adapt these standards to their requirements. However, they may not cover every requirement of each project. For such cases, an addendum to IPS Standard shall be prepared by the user which elaborates the particular requirements of the user. This addendum together with the relevant IPS shall form the job specification for the specific project or work.

The IPS is reviewed and up-dated approximately every five years. Each standards are subject to amendment or withdrawal, if required, thus the latest edition of IPS shall be applicable.

The users of IPS are therefore requested to send their views and comments, including any addendum prepared for particular cases to the following address. These comments and recommendations will be reviewed by the relevant technical committee and in case of approval will be incorporated in the next revision of the standard.

Standards and Research department
No.19, Street14, North kheradmand
Karimkhan Avenue, Tehran, Iran .
Postal Code- 1585886851
Tel: 88810459-60 & 66153055
Fax: 88810462
Email: Standards@nioc.org

**General Definitions:**

Throughout this Standard the following definitions shall apply.

**Company :**

Refers to one of the related and/or affiliated companies of the Iranian Ministry of Petroleum such as National Iranian Oil Company, National Iranian Gas Company, and National Petrochemical Company etc.

**Purchaser :**

Means the "Company" Where this standard is part of direct purchaser order by the "Company", and the "Contractor" where this Standard is a part of contract documens.

**Vendor And Supplier:**

Refers to firm or person who will supply and/or fabricate the equipment or material.

**Contractor:**

Refers to the persons, firm or company whose tender has been accepted by the company,

**Executor :**

Executor is the party which carries out all or part of construction and/or commissioning for the project.

**Inspector :**

The Inspector referred to in this Standard is a person/persons or a body appointed in writing by the company for the inspection of fabrication and installation work

**Shall:**

Is used where a provision is mandatory.

**Should**

Is used where a provision is advisory only.

**Will:**

Is normally used in connection with the action by the "Company" rather than by a contractor, supplier or vendor.

**May:**

Is used where a provision is completely discretionary.

**تعاریف عمومی :**

در این استاندارد تعاریف زیر به کار می رود.

**شرکت :**

به شرکت های اصلی و وابسته وزارت نفت مثل شرکت ملی نفت ایران ، شرکت ملی گاز ایران، شرکت ملی صنایع پتروشیمی و غیره اطلاق میشود.

**خریدار:**

یعنی "شرکتی" که این استاندارد بخشی از مدارک سفارش خرید مستقیم آن "شرکت" میباشد و یا "پیمانکاری" که این استاندارد بخشی از مدارک قرارداد آن است .

**فروشنده و تامین کننده:**

به موسسه و یا شخصی گفته میشود که تجهیزات و کالاهای مورد لزوم صنعت را تامین می‌نماید .

**پیمانکار:**

به شخص ، موسسه ویا شرکتی گفته میشود که پیشنهادش برای مناقصه ویا مزایده پذیرفته شده است.

**مجری :**

مجری به گروهی اطلاق می شود که تمام یا قسمتی از کارهای اجرایی و یا راه اندازی پروژه را انجام دهد.

**بازرس:**

در این استاندارد بازرس به فرد یا گروهی اطلاق می شود که کتباً توسط کارفرما برای بازرسی ساخت و نصب تجهیزات معرفی شده باشد.

**باید:**

برای کاری که انجام آن اجباری است استفاده می‌شود.

**توصیه:**

برای کاری که ضرورت انجام آن توصیه می‌شود.

**ترجیح:**

معمولاً در جایی استفاده می‌شود که انجام آن کار براساس نظارت شرکت باشد.

**ممکن است :**

برای کاری که انجام آن اختیاری میباشد .

# CONSTRUCTION STANDARD

# FOR

# CORROSION CONSIDERATION

# DURING

# FABRICATION AND INSTALLATION

**FIRST REVISION**
**MAY 2010**

# استاندارد اجرایی

# برای

# ملاحظات خوردگی

# حین

# ساخت و نصب

**ویرایش اول**
**اردیبهشت ۱۳۸۹**

This Standard is the property of Iranian Ministry of Petroleum. All rights are reserved to the owner. Neither whole nor any part of this document may be disclosed to any third party, reproduced, stored in any retrieval system or transmitted in any form or by any means without the prior written consent of the Iranian Ministry of Petroleum.

این استاندارد متعلق به وزارت نفت ایران است. تمام حقوق آن متعلق به مالک آن بوده و نباید بدون رضایت کتبی وزارت نفت ایران، تمام یا بخشی از این استاندارد ، به هر شکل یا وسیله ازجمله تکثیر، ذخیره سازی، انتقال، یا روش دیگری در اختیار افراد ثالث قرار گیرد.

CONTENTS: Page No

0. INTRODUCTION ..... 2

1. SCOPE ..... 3

2. REFERENCES ..... 3

3. DEFINITIONS AND TERMINOLOGY ..... 7

4. UNITS ..... 11

5. FACTORS AFFECTING CORROSION ..... 11

6. DESIGN ..... 12

7. MATERIALS ..... 15

8. FABRICATION ..... 22

APPENDICES:

APPENDIX A Corrosion of Weldments ... 123

فهرست مطالب:

۰- مقدمه ..... ۲

۱- دامنه کاربرد ..... ۳

۲- مراجع ..... ۳

۳- تعاریف و واژگان ..... ۷

۴- واحدها ..... ۱۱

۵- عوامل موثر خوردگی ..... ۱۱

۶- طراحی ..... ۱۲

۷- مواد ..... ۱۵

۸- ساخت ..... ۲۲

پیوست ها:

پیوست الف خوردگی قطعات جوشکاری شده ..... ۱۲۳

## 0. INTRODUCTION

Fabrication is the act of process of fabricating material in a form usable for installation and further completion of structures and equipment. The workmanship and finish of material shall be first class in every respect and subject to the closest inspection by the manufacturer's inspector, whether or not the Purchaser waives any part of the inspection. Future stability of materials from corrosion point of view depends on the design, choice of material, fabrication, inspection, installation and final testing's.

Choice of material depends on many factors as corrosion resistance, cost, availability, strength, appearance and fabricability.

Fabricability includes the ease of forming, welding, bendings, coating, lining and other mechanical operations.

For design and material selection, reference is made to IPS-E-TP-760 and IPS-E-TP-740.

## ۰- مقدمه

ساخت، فرآیند شکل دهی مواد به صورت قابل استفاده برای نصب و کامل‌تر کردن سازه‌ها و تجهیزات است. مهارت و تکمیل کار باید از هر نظر بهترین بوده و تابع نظارت دقیق بازرس سازنده باشد، و لو آنکه خریدار از بازرسی هر قطعه‌ای صرفنظر کرده باشد. پایداری آتی مواد از نقطه نظر خوردگی بستگی به طراحی، انتخاب مواد، ساخت، بازرسی، نصب و آزمون نهایی دارد.

انتخاب مواد بستگی به بسیاری از عوامل چون مقاومت در برابر خوردگی، هزینه، قابلیت دسترسی، استحکام، ظاهر کار و ساخت پذیری دارد.

ساخت پذیری شامل سهولت شکل دهی، جوشکاری، خم کاری ، روکش کردن، پوشش و سایر عملیات مکانیکی است.

برای طراحی و انتخاب مواد به استانداردهای IPS-E-TP-740 و IPS-E-TP-760 رجوع شود.

## ۱- دامنه کاربرد

این استاندارد ساخت، حداقل الزامات را در ساخت و نصب ظروف، تجهیزات، سازه‌ها، لوله کشی، مخازن و سایر موارد مشابه برای به حداقل رساندن آسیب ناشی از خوردگی در طول عمر مفید تأسیسات و شرایط بهره برداری، پوشش میدهد.

**یادآوری ۱:**

این استاندارد دو زبانه، نسخه بازنگری شده استاندارد فوق می‌باشد که در اردیبهشت ماه سال ۱۳۸۹ توسط کمیته فنی مربوطه تایید و به عنوان ویرایش (۱) ارایه می‌گردد. از این پس ویرایش (۰) این استاندارد منسوخ می‌باشد.

**یادآوری ۲:**

در صورت اختلاف بین متن فارسی و انگلیسی، متن انگلیسی ملاک می‌باشد.

## ۲- مراجع

در این استاندارد به آیین نامه‌ها و استانداردهای تاریخ دار و بدون تاریخ زیر اشاره شده است. این مراجع، تا حدی که در این استاندارد مورد استفاده قرار گرفته‌اند، بخشی از این استاندارد محسوب میشوند. در مراجع تاریخ دار، ویرایش گفته شده ملاک بوده و تغییراتی که بعد از تاریخ ویرایش در آنها داده شده است، پس از توافق بین کارفرما و فروشنده قابل اجرا می‌باشد. در مراجع بدون تاریخ آخرین ویرایش آنها به انضمام کلیه اصطلاحات و پیوستها ملاک عمل میباشند.

**API (موسسه نفت آمریکا)**

| | |
|---|---|
| RP5 C1 | "توصیه‌های عملی برای مراقبت و استفاده از لوله جداری و تیوبینگ" |
| 6A | " مشخصات تجهیزات سرچاهی و درخت کریسمس" |
| 6D | " مشخصات شیرهای خط لوله (دروازه‌ای فولادی، درپوش، توپی و شیرهای یکطرفه)" |
| Std. 1104 | "جوشکاری خطوط لوله و تأسیسات مرتبط" |
| RP 942 | "کنترل سختی جوش تجهیزات فولاد |

## 1. SCOPE

This Construction Standard covers the minimum requirements to be considered in fabrication and installation of vessels, equipment, structures, piping, tanks, etc.; in order to minimize corrosion damage during the service-life of installations and running conditions.

**Note 1:**

This bilingual standard is a revised version of the standard specification by the relevant technical committee on May 2010, which is issued as revision (1). Revision (0) of the said standard specification is withdrawn.

**Note 2:**

In case of conflict between Farsi and English languages, English language shall govern.

## 2. REFERENCES

Throughout this Standard the following dated and undated standards/codes are referred to. These referenced documents shall, to the extent specified herein, form a part of this standard. For dated references, the edition cited applies. The applicability of changes in dated references that occur after the cited date shall be mutually agreed upon by the Company and the Vendor. For undated references, the latest edition of the referenced documents (including any supplements and amendments) applies.

**API (AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE)**

| | |
|---|---|
| RP5 C1 | "Recommended Practice for Care and Use of Casing and Tubing" |
| 6A | "Specification for Wellhead and Christmas Tree Equipment" |
| 6D | "Specification for Pipeline Valves (Steel Gate, Plug, Ball and Check Valves)" |
| Std. 1104 | "Welding of Pipelines and Related Facilities" |
| RP 942 | "Controlling Weld Hardness of |

| | | |
|---|---|---|
| | Carbon Steel Refinery Equipment Environmental Cracking” | کربنی پالایشگاه ناشی از ترک خوردگی برای شرایط محیطی" |

**ASM (AMERICAN SOCIETY FOR METALS)** **ASM (انجمن فلزات آمریکا)**

| | | |
|---|---|---|
| ASM- Volume 13 | "Metal Hand Book-Corrosion” | ASM- Volume 13 "کتاب راهنمای خوردگی فلزات" |
| ASM- Volume 5, | "Surface cleaning, finishing and coating," | ASM- Volume 5, "تمیزکاری سطح، پرداخت و پوشش کردن" |

**ASME (AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS)** **ASME (انجمن مهندسان مکانیک آمریکا)**

| | | |
|---|---|---|
| B 31.3 | "Process Piping” | B 31.3 " لوله کشی فرآیندی " |
| Sec. VIII | "Rules for Construction Pressure Vessels" | Sec. VIII "مقررات ساخت ظروف تحت فشار" |
| Sec. IX | "Qualification Standard for Welding and Brazing Procedures, Welders, Brazers, Welding and Brazing Operators" | Sec. IX "استاندارد صلاحیت فنی برای دستورالعمل‌های جوشکاری و لحیم کاری، جوشکاران، لحیم کاران و کاربران جوشکاری و لحیم کاری" |
| SPPE-1 | "Quality Assurance and Certification of Safety and Pollution Prevention, Equipment Used in Offshore Oil and Gas Operations" | SPPE-1 "تضمین کیفیت و گواهی ایمنی و پیشگیری از آلودگی، تجهیزات مورد استفاده در عملیات گاز و نفت در دریا" |

**ASTM (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS)** **ASTM (انجمن آزمون و مواد آمریکا)**

| | | |
|---|---|---|
| A106/A106M | "Standard Specification for Seamless Carbon Steel Pipe For High-Temperature Service” | A106/A106M"استاندارد مشخصات برای لوله فولادی کربنی بی درز برای کارکرد در دمای بالا" |
| G 48 | "Test Method for Pitting and Crevice Corrosion Resistance of Stainless Steels and Related Alloys by the Use of Ferric Chloride Solution | G 48 "روش آزمون مقاومت فولادهای زنگ نزن آلیاژهای مرتبط در برابر خوردگی حفره‌ای و خوردگی شیاری با استفاده از محلول فریک کلرید" |
| D 1141 | "Standard Practice for Preparation of Substitute Ocean Water" | D 1141 "استاندارد کاربردی برای تهیه جایگزینی آب اقیانوس" |
| A53/A53M | "Standard Specification for Pipe, Steel, Black and Hot- | A53/A53M "استاندارد مشخصات برای لوله‌های فولادی گالوانیزه گرم و سیاه شده، با |

| | | |
|---|---|---|
| | Dipped, Zinc Coated, Welded and Seamless" | روکش روی، جوش داده شده و بی درز)" |
| A 262 | "Standard Practices for Detecting Susceptibility to Intergranular Corrosion Attack in Austenitic Stainless Steels" | A 262 "استاندارد کاربردی برای کشف و شناخت آسیب پذیری در برابر حمله خوردگی بین دانه‌ای در فولاد زنگ نزن آستنیتی" |
| A 763 | "Standard Practices for Detecting Susceptibility to Intergranular Attack in Ferritic Stainless Steel" | A 763 "استاندارد کاربردی برای کشف و شناخت آسیب پذیری در برابر حمله خوردگی بین دانه‌ای در فولاد زنگ نزن فریتی" |
| A285/A285M | "Pressure Vessel Plates, Carbon Steel, Low and Intermediate Tensile Strength" | A285/A285M "ورقهای ظروف تحت فشار، فولاد کربنی، مقاومت کششی پایین و متوسط" |
| A 380 | "Standard Practice for Cleaning Descaling and Passivation of Stainless Steel Parts Equipment, and Systems" | A 380 "استاندارد کاربردی برای تمیزکاری و پوسته زدایی و رویین سازی قطعات فولاد زنگ نزن تجهیزات و سامانه‌ها" |
| E 112 | "Methods for Determinig the Average Grain Size" | E 112 "روشهای تعیین اندازه متوسط دانه" |

**NACE (NATIONAL ASSOCIATION OF CORROSION ENGINEERS)**

**NACE (انجمن ملی مهندسی خوردگی)**

| | | |
|---|---|---|
| MR-01-75/ISO 15156 | "Petroleum and Natural Gas Industries Materials for Use in $H_2S$ Containing Environments in Oil and Gas Production" | MR-01-75/ISO 15156 "مواد صنایع نفت و گاز طبیعی و نفت برای استفاده در تولید نفت و گاز در محیط‌های حاوی سولفید هیدروژن ($H_2S$)" |
| MR-0-103 | "Materials Resistant to Sulfide Stress Cracking in Corrosive Petroleum Refining Environments" | MR-0-103 "مقاومت مواد در برابر ترک ناشی از تنش سولفید در محیط های خورنده پالایشگاهی" |
| TM-01-77 | "Laboratory Testing of Metals for Resistance to Sulfide Stress Cracking and Stress Corrosion Cracking in $H_2S$ Environments" | TM-01-77 " آزمون فلزات در آزمایشگاه برای مقاومت در برابر ترک ناشی از تنشی سولفید و ترک ناشی از خوردگی تنشی در محیط‌های سولفید هیدروژن" |
| Corrosion Data Survey | | بررسی داده های خوردگی |

| IPS (IRANIAN PETROLEUM STANDARDS) | | IPS (استانداردهای نفت ایران) | |
|---|---|---|---|
| IPS-E-GN-100 | "Engineering Standard for Units" | IPS-E-GN-100 | "استاندارد مهندسی برای واحدها" |
| IPS-C-PI-140 | "Construction Standard for Transportation Pipelines (Onshore)" | IPS-C-PI-140 | "استاندارد ساخت خطوط لوله های انتقال (ساحلی)" |
| IPS-C-TP-102 | "Construction Standard for Painting" | IPS-C-TP-102 | "استاندارد ساخت برای رنگ آمیزی" |
| IPS-E-TP-100 | "Engineering Standard for Paints" | IPS-E-TP-100 | "استاندارد مهندسی رنگ" |
| IPS-C-TP-274 | "Construction Standard for Protective Coatings" | IPS-C-TP-274 | "استاندارد اجرا برای پوششهای محافظ" |
| IPS-E-TP-270 | "Engineering Standard for Protective Coatings for Buried and Submerged Steel Structures" | IPS-E-TP-270 | "استاندارد مهندسی پوششهای محافظ برای ساختار فولادی غوطه‌ور و مدفون" |
| IPS-C-TP-352 | "Construction Standard for Linings" | IPS-C-TP-352 | "استاندارد اجرای پوشش داخلی" |
| IPS-E-TP-350 | "Engineering Standard for Linings" | IPS-E-TP-350 | "استاندارد مهندسی برای پوشش داخلی " |
| IPS-C-TP-701 | "Construction Standard for Application of Thermal Insulation" | IPS-C-TP-701 | "استاندارد اجرا برای کاربرد عایق-کاری حرارتی" |
| IPS-E-TP-700 | "Engineering Standard for Thermal Insulations" | IPS-E-TP-700 | "استاندارد مهندسی عایق‌کاری‌های حرارتی" |
| IPS-E-TP-740 | "Engineering Standard for Corrosion Consideration in Material Selection" | IPS-E-TP-740 | "استاندارد مهندسی برای ملاحظات خوردگی در انتخاب مواد" |
| IPS-E-TP-760 | "Engineering Standard for Corrosion Consideration in Design" | IPS-E-TP-760 | "استاندارد مهندسی برای ملاحظات خوردگی در طراحی" |
| IPS-C-TP-820 | "Construction Standard for Cathodic Protection" | IPS-C-TP-820 | "استاندارد اجرا برای حفاظت کاتدی" |
| IPS-I-TP-820 | "Inspection Standard for Monitoring Cathodic Protection Systems" | IPS-I-TP-820 | "استاندارد بازرسی برای کنترل سامانه‌های حفاظت کاتدی" |

**ISO (سازمان بین المللی استاندارد)**

ISO 10423 "صنایع نفت و گاز طبیعی و نفت – تجهیزات حفاری و درخت کریسمس "

ISO 11960 "صنایع نفت و گاز طبیعی– لوله-های فولادی برای استفاده به عنوان لوله جداری و یا تیوبینگ چاهها – کربن‌دار کردن با مشخصات 5CT از استاندارد API"

**ISO (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION)**

ISO 10423 "Petroleum and Natural Gas Industries – Drilling and Christmas Tree Equipment"

ISO 11960 "Petroleum and Natural Gas Industries – Steel Pipes for Us as Casing or Tubing for Wells ***Cobranded With API Spec 5CT***"

**۳- تعاریف و واژگان**

**جوشکاری خودکار**

نوعی از جوشکاری که درآن متغیرهای جوشکاری و ابزار جوش با دستگاه کنترل می‌شود.

**جوشکاری با لحیم سخت**

اتصال فلزات با استفاده از روش مشابه جوشکاری ذوبی و فلز پرکننده با نقطه ذوب پایین نسبت به فلز پایه، ولی نه با استفاده از عمل موییننگی، که در لحیم کاری سخت استفاده می‌شود و نه با ذوب کردن عمدی فلز پایه.

**لحیم کاری سخت (زرد جوش)**

فرآیندی است از اتصال فلزات که در آن در طول و بعد از حرارت دهی، فلز پرکننده ذوب شده و با عمل موییننگی بین درزهای کاملاً بهم نزدیک، پخش می‌گردد. معمولاً نقطه ذوب فلز پرکننده بالای ۵۰۰ درجه سانتیگراد است ولی همواره نقطه ذوب آن کمتر از فلز پایه است.

**آلیاژ لحیم کاری سخت**

فلز پرکننده‌ای است که در لحیم کاری به کار می‌رود.

**اتصال لب به لب**

اتصال بین لبه ها یا انتهای دو قطعه، که در محل اتصال نسبت بهم زاویه ۱۳۵ تا ۱۸۰ درجه می‌سازند.

**جوشکاری گاز کربنیک**

جوشکاری قوس فلزی که در آن از سیم الکترود لخت استفاده می‌شود، قوس و حوضچه مذاب با گاز کربنیک محافظت می‌شوند.

**3. DEFINITIONS AND TERMINOLOGY**

**Automatic welding**

Welding in which the welding variables and the mean of making the weld are controlled by machine.

**Braze welding**

The joining of metals using a technique similar to fusion welding and a filler metal with a lower melting point than the parent metal but neither using capillary action as in brazing nor intentionally melting the parent metal.

**Brazing**

A process of joining metals in which, during or after heating, molten filler metal is drawn by capillary action into the space between closed adjacent surfaces of the parts to be joined. In general, the melting point of the filler metal is above 500°C, but always below the melting temperature of the parent metal.

**Brazing alloy**

Filler metal used in brazing.

**Butt joint**

A connection between the ends or edges of two parts making an angle to one another of 135° to 180° inclusive in the region of the joint.

**Carbon dioxide welding**

Metal-arc welding in which a bare wire electrode is used, the arc and molten pool being shielded with carbon dioxide gas.

**Covered filler rod**

A filler rod having a covering of flux.

**سیم جوش یا مفتول روکش دار**

سیم جوش که با روان ساز روکش دار می‌شود.

**Deposited metal**

Filler metal after it becomes part of a weld or joint.

**فلز رسوب داده شده**

فلز پرکننده‌ای که پس از جوشکاری، جزیی از جوش یا اتصال می‌گردد.

**Edge preparation**

Squaring, grooving, chamfering or beveling an edge in preparation for welding.

**لبه سازی**

گونیایی کردن، پخ زدن، شیار دادن یا کج بری لبه برای آمادگی جوشکاری.

**Electro-slag welding**

A welding process in which consumable electrodes are fed into a joint containing flux; the current melts the flux, and the flux in turn melts the faces of the joint and the electrodes, allowing the weld metal to form a continuous cast ingot between the joint faces.

**جوشکاری سرباره الکتریکی**

یک فرآیند جوشکاری است که در آن الکترودهای مصرف شدنی، به داخل اتصال حاوی روان ساز، خورانده می‌شود. جریان برق، روان ساز را ذوب مینماید که به نوبه خود سطوح اتصال و الکترودها را ذوب می‌کند و موجب می-شود فلز جوش، بین سطوح اتصال، به گونه شمش ریختگی مدام پدید آید.

**Electron-beam welding**

Fusion welding in which the joint is made by fusing the parent metal by the impact of a focused beam of electrons.

**جوشکاری با پرتوالکترونی**

جوشکاری ذوبی است که در آن اتصال با ذوب فلز پایه بر اثر برخورد پرتوهای الکترون، حاصل می‌شود.

**Filler metal**

Metal or alloy added during welding, braze welding, brazing or surfacing.

**فلز پرکننده**

فلز یا آلیاژی که در طول جوشکاری، لحیم جوشکاری ، لحیم کاری سخت یا عملیات سطحی، ا ضافه می‌شود.

**Filler rod**

Filler metal in the form of a rod. It may also take the form of filler wire.

**مفتول پرکننده**

فلز پرکننده می‌تواند هم به شکل مفتول و هم به شکل سیم باشد.

**Flux (Welding / Brazing)**

A material used to dissolve, prevent, or facilitate the removal of oxides or other undesirable surface substances.

**روان ساز (جوشکاری، لحیم کاری)**

ماده‌ای که برای حل کردن، پیشگیری کردن یا برای تسهیل بخشیدن به زدایش اکسیدها یا سایر مواد نامطلوب از سطح کار، به کار می‌رود.

It may act to stabilize the arc, shield the molten pool, and may or may not evolved shielding gas by decomposition.

ممکن است سبب پایداری قوس، محافظت حوضچه مذاب و شاید باعث تصاعد گاز محافظ به وسیله تجزیه شود.

**Fusion penetration**

Depth to which the parent metal has been fused.

**نفوذ ذوبی**

عمقی که در آن فلز پایه ذوب شده باشد.

**Fusion welding**

The melting together of filler metal and base metal, or of base metal only, to produce a weld without the application of pressure.

**جوشکاری ذوبی**

در این روش فلز پرکننده و فلز پایه با یکدیگر، یا فلز پایه به تنهایی ذوب شده و جوش بدون اعمال فشار، بوجود می آید.

**Fusion zone**

The part of the parent metal which is melted into the weld metal.

**منطقهٔ ذوب**

بخشی از فلز پایه که در فلز جوش ذوب می‌شود.

**Heat affected zone (HAZ)**

The portion of the base metal which has not been melted, but whose mechanical properties or microstructures have been altered by the heat of welding or cutting.

**منطقه متأثر از حرارت جوش (HAZ)**

بخش ذوب نشده فلز پایه که خواص مکانیکی یا ساختار میکروسکپی آن، با حرارت جوشکاری و برشکاری، دگرگون می‌شود.

**Hydrogen controlled electrode**

A covered electrode which when used correctly, produces less than a specified amount of diffusible hydrogen in the weld deposit.

**الکترود کم هیدروژن**

الکترود روپوش‌داری که اگر به طور صحیح استفاده شود، در فلز جوش رسوب داده شده، مقدار هیدروژن قابل نفوذ کمتری نسبت به آنچه تعیین شده تولید می‌شود.

**Manual welding**

Welding in which the means of making the weld are held in the hand.

**جوشکاری دستی**

جوشکاریی که ابزار جوش در دست گرفته می‌شود.

**Metal-arc welding**

Arc welding using a consumable electrode.

**جوشکاری قوس فلزی**

جوشکاری قوسی با استفاده از الکترود مصرف شدنی.

**Nugget**

The weld metal joining the workpieces in spot, seam, or projection welds.

**گرده**

اتصال فلزی جوش قطعات، شامل جوش‌های نقطه‌ای، درزی یا برجسته .

**Oxyacetylene welding**

Gas welding in which fuel gas is acetylene and which is burnt in an oxygen atmosphere.

**جوشکاری اکسی استیلن**

جوشکاری گازی با سوخت گاز استیلن که در جّو حاوی اکسیژن، می سوزد.

**Parent metal**

Metal to be joined, base metal.

**فلز مبنا (پایه)**

فلزی که باید اتصال داده شود، فلز پایه.

**Pressure welding**

A welding process in which a weld is made by a sufficient pressure to cause plastic flow of the surfaces, which may or may not be heated.

**جوشکاری فشاری (پرسی)**

فرآیندی که در آن جوش با فشار کافی انجام می‌شود تا موجب جریان مومسان سطوح گردد که ممکن است حرارت داده شود یا نشود.

**Resistance welding**

Welding in which force is applied to surfaces in contact and in which the heat for welding is produced by the passage of electric current through the electrical resistance at, and adjacent to, these surfaces.

**جوشکاری مقاومتی**

جوشکاریی که با کاربرد نیرو برای اتصال سطوح انجام می‌گیرد. در این روش حرارت برای جوشکاری با عبور جریان برق از طریق مقاومت الکتریکی در، یا مجاور این سطوح تولید می‌گردد.

**Run**

The metal melted or deposited during one passage of an electrode, torch or blow-pipe.

**خط (پاس) جوشکاری**

فلز ذوب شده یا رسوب داده شده در طول یک پاس الکترود، مشعل یا لوله دمنده است.

**Semi-automatic welding**

Welding in which some of the variables are automatically controlled, but manual guidance is necessary.

**جوشکاری نیمه خودکار**

جوشکاریی که در آن بعضی متغیّرها به طور خودکار کنترل میشود، ولی هدایت دستی لازم است.

**Soldering**

A group of joining processes that produces coalescence of materials by heating them to the soldering temperature and by using a filler metal having a liquidus not exceeding 450°C (840°F) and below the solidus of the base metals. The filler metal is distributed between closely fitted faying surfaces of the joint by capillary action or by wetting the surfaces of the workpieces.

**لحیم کاری**

گروهی از فرآیندهای اتصال که با بهم پیوستگی مواد از طریق گرم کردن آنها تا دمای لحیم کاری و با استفاده از فلز پر کننده دارای خط ذوب حداکثر با ۴۵۰ درجه سانتیگراد (۸۴۰° F) و زیر خط انجماد فلزات پایه بوجود می‌آید. فلز پر کننده با عمل موئینگی یا ترشدگی سطوح قطعات ، بین سطوح بهم چسبیده اتصال پخش می‌شود.

**Soldering blowpipe**

A device used to obtain a small, accurately directed flame for fine work. A portion of any flame is blown to the desired location by the blowpipe, which is usually mouth operated.

**چراغ لحیم کاری**

وسیله‌ای برای به دست آوردن شعله‌ای کوچک هدایت شده دقیقی که برای کار ظریف استفاده می‌شود. بخشی از شعله توسط چراغ لحیم کاری، معمولاً با بکار گیری دهانه بطرف موضوع مورد نظر دمیده می‌شود.

**Spatter**

Globules of metal expelled during welding onto the surface of parent metal or of a weld.

**جرقه (قطره) جوشکاری**

جرقه فلز که در هنگام جوشکاری روی سطح فلز مبنا یا جوش به اطراف پرتاب می‌شود.

**Spelter**

A brazing alloy consisting nominally of 50% Cu and 50% Zn.

**مفرغ لحیم**

یک آلیاژ لحیم سخت که به طور اسمی شامل ۵۰ درصد مس و ۵۰ درصد روی است.

**Submerged-arc welding**

Metal-arc welding in which a bare wire electrode is used; the arc is enveloped in flux; some of which fuses to form a removable covering of slag on the weld.

**جوشکاری قوسی زیر پودری**

جوشکاری قوسی فلزی که از الکترود سیم لخت استفاده می‌شود و قوس در روان ساز پوشانده شده، قسمتی از آن برای ایجاد سرباره به عنوان پوششی روی جوش که زدودنی است، ذوب می‌گردد.

**TIG-gta-welding**

Tungsten Inert-Gas arc welding using a non-consumable electrode of pure or activated tungsten.

**جوشکاری تیگ-گتا**

تنگستنی با گاز خنثی که در آن جوشکاری از الکترود غیر مصرفی تنگستن خالص یا فعال استفاده می‌شود.

**Thermal cutting**

A group of cutting process that serves or removes metal by localized melting, burning, or vaporizing of the work pieces.

**برشکاری حرارتی**

گروهی از فرآیندهای برشکاری که فلز را با ذوب کردن، سوزاندن یا تبخیر موضعی از قطعات کاری جدا می‌کنند.

**Weld**

A localized coalescence of metals or nonmetals produced either by heating the materials to the welding temperature, with or without the application of pressure, or by the application of pressure alone and with or without the use of filler material.

**جوش**

بهم پیوستگی موضعی فلزات و غیرفلزات، با حرارت دهی مواد تا درجه حرارت جوشکاری، بدون کاربرد فشار، یا با کاربرد فشار به تنهایی و با، یا بدون فلز پرکننده پدید می‌آید.

**Welding**

The making of a weld.

**جوشکاری**

ساخت جوش.

**Weld metal**

All metal melted during the making of a weld and retained in the weld.

**فلز جوش**

تمام فلز در طول ساخت جوش ذوب شده و در جوش باقی می‌ماند.

**Weld zone**

The zone containing the weld metal and the heat-affected zone.

**منطقه جوش**

شامل فلز جوش و منطقه متأثر از حرارت است.

**4. UNITS**

This Standard is based on International System of Units (SI) as per IPS-E-GN-100, except where otherwise specified.

**۴- واحدها**

این استاندارد، برمبنای نظام بین المللی واحدها (SI)، منطبق با استاندارد IPS-E-GN-100 می‌باشد، مگر آنکه در متن استاندارد به واحد دیگری اشاره شده باشد.

**5. FACTORS AFFECTING CORROSION**

Factors affecting corrosion prevention during the service life of plants and equipment are as follows:

- Design.
- Materials.
- Fabrication.
- Handling, storage and erection.
- Installation.
- Inspection.

**۵- عوامل موثر خوردگی**

پیشگیری از عوامل موثر خوردگی در طول عمر مفید تأسیسات و تجهیزات به شرح زیر است:

- طراحی.
- مواد.
- ساخت.
- جابجایی، انباشت و برپایی.
- نصب.
- بازرسی.

- Operation; which is beyond the scope of this Standard.

- بهره برداری، که ورای حدود این استاندارد است.

## 6. DESIGN

## ۶- طراحی

**6.1** Where corrosion can interfere the true functional purpose will not be achieved. Thus the designer is responsible for proper design by selective employment of qualified precautions or by optimal adjustment of his functional design.

**۶-۱** هر جایی که خوردگی اختلال ایجاد کند، عملکرد واقعی مورد نظر حاصل نخواهد شد. بنابراین طراح با گزینش تدابیری واجد شرایط یا با تنظیمات فنی بهینه در طرح، مسئولیت طراحی را عهده‌دار خواهد بود.

**6.2** The designer shall not concentrate purely on the functional aspects of design, to the total exclusion of other consideration, but he must be aware that there are many ways in which corrosion can ruin even the best creation.

**۶-۲** به استثنای پاره‌ای از ملاحظات، طراح نباید صرفاً به جنبه‌های کارکردی طرح تمرکز کند. ولی کاملاً باید از راههای زیادی که خوردگی حتی می‌تواند بهترین کار را تخریب کند، آگاه باشد

**6.3** The design of a structure is frequently as important as the choice of materials of construction. Design should consider mechanical and strength requirements together with an allowance for corrosion. In all cases the mechanical design of a component shall be based on the material of construction. This is important to recognize, since materials of construction used for corrosion resistance vary widely in their mechanical characteristics.

**۶-۳** اهمیت طراحی یک سازه، اغلب به اندازه انتخاب مواد مهم است. در طراحی باید الزامات مکانیکی و استحکام همراه با میزان مجاز برای خوردگی در نظر گرفته شود. در تمام موارد، طراحی مکانیکی هر قطعه باید بر پایه مواد ساخت باشد. شناخت این نکته بسیار مهم است، زیرا مواد ساخت مورد استفاده برای مقاومت در برابر خوردگی، در ویژگیهای مکانیکی خود بسیار متغیّرند.

**6.4** There are many design rules which shall be followed for best corrosion resistance. Design in a way to lead corrosion out of the system instead of waiting until the equipment fails in service. It costs much less to change some lines on the drawings.

**۶-۴** برای طراحی، قوانین و مقررات زیادی جهت کسب بهترین مقاومت در برابر خوردگی وجود دارد که باید رعایت گردد. طراحی بنحوی که، به جای انتظار کشیدن تا تجهیزات در مدت کارکرد خراب شوند، منجر به رهایی سیستم از خوردگی گردند. لذا تغییر بعضی خطوط هنگام طراحی، هزینه بسیار کمتری را در بر خواهد داشت.

This resulted in close communication between designers and corrosion engineers, and all major projects included funds for utilization of corrosion engineers.

این امر موجب برقراری ارتباط نزدیک بین طراحان و مهندسان خوردگی گردیده و تمام پروژه‌های عمده بودجه‌ای را برای بهره‌وری از خدمات مهندسان خوردگی تخصیص داده‌اند.

For corrosion consideration in design see IPS-E-TP-760.

برای ملاحظات خوردگی در طراحی به استاندارد IPS-E-TP-760 مراجعه شود.

**6.5** Here are some of the design rules that should be followed, as listed below. It would be helpful if the designer had a good background in corrosion but unfortunately this is usually not the case.

**۶-۵** بعضی قوانین و دستورالعمل‌های طراحی بشرح زیر می باشد که باید رعایت گردد. بسیار سودمند خواهد بود که طراح، تجربه خوبی در خوردگی داشته باشد، اما متأسفانه معمولاً چنین نیست.

**6.5.1** Weld rather than rivet tanks and other

**۶-۵-۱** مخازن و سایر محفظه‌ها بهتر است جوشکاری

containers. Riveted joints provide sites for crevice corrosion.

شوند تا پرچ گردند. زیرا اتصالات پرچ شده باعث خوردگی شیاری در ساختار قطعه می‌گردد.

**6.5.2** Design tanks and other containers for easy draining and easy cleaning. Tank bottoms shall be sloped toward drain holes so that liquids cannot collect after the tank is emptied. Concentrated sulfuric acid is only negligibly corrosive toward steel. However, if a steel sulfuric acid tank is incompletely drained and the remaining liquid is exposed to the air, the acid tends to absorb moisture, resulting in dilution, and rapid attack occurs.

**۶-۵-۲** مخازن و سایر محفظه‌ها باید برای تخلیه و تمیز شدن آسان طراحی شوند، کف‌های مخازن باید دارای شیب به سمت سوراخ تخلیه باشند به گونه‌ای که بعد از تخلیه مخزن، مایعات نتوانند جمع شده و باقی بمانند. خورندگی اسیدسولفوریک غلیظ نسبت به فولاد جزیی است، با این حال اگر مخزن فولادی از اسیدسولفوریک به طور کامل تخلیه نگردد و مایع باقیمانده در معرض هوا قرار گیرد، اسید تمایل به جذب رطوبت خواهد داشت که منجر به رقیق شدن آن می‌گردد و سپس خوردگی به سرعت روی می‌دهد.

**6.5.3** Design systems for the easy replacement of components that are expected to fail rapidly in service. Frequently, pumps in chemical plants are designed so that they can be readily removed from a piping system.

**۶-۵-۳** سامانه‌ها باید برای سهولت تعویض قطعاتی که انتظار می‌رود در مدت کارکرد به سرعت خراب شوند، طراحی گردند. اغلب پمپها در واحدهای شیمیایی به گونه‌ای طراحی میشوند که بتوان به سرعت آنها را از سامانه لوله کشی جدا کرد.

**6.5.4** Avoid excessive mechanical stresses and stress concentrations in components exposed to corrosive mediums. Mechanical or residual stresses are one of the requirements for stress-corrosion cracking. This rule should be followed especially when using materials susceptible to stress-corrosion cracking.

**۶-۵-۴** از تنشهای مکانیکی و تمرکز تنش بیش از حد در قطعاتی که در معرض عوامل خورنده قرار دارند باید احتراز شود. تنشهای پس ماند مکانیکی باقی مانده یکی از الزامات برای ترکیدگی خوردگی تنشی است. این قاعده باید به ویژه هنگام استفاده از مواد آسیب پذیر نسبت به ترکیدگی خوردگی تنشی، رعایت گردد.

**6.5.5** Avoid electrical contact between dissimilar metals to prevent galvanic corrosion. If possible, use similar materials throughout the entire structure, or insulate different materials from one another.

**۶-۵-۵** برای پیشگیری از خوردگی گالوانیک، از اتصال الکتریکی بین فلزات ناهمگن باید احتراز کرد. در صورت امکان، در تمام سازه از مواد همگن استفاده گردد، یا مواد مختلف را نسبت به یکدیگر عایقکاری نمود.

**6.5.6** Avoid sharp bends in piping systems when high velocities and/or solids in suspension are involved (erosion corrosion).

**۶-۵-۶** از خم‌های تند در سامانه‌های لوله کشی، مواقعی که سرعتهای بالا و یا وجود ذرات معلق در میان است باید پرهیز شود (خوردگی فرسایشی).

**6.5.7** Provide thicker structures to take care of impingement effects.

**۶-۵-۷** سازه‌های ضخیم‌تری برای مراقبت از آثار و عوارض تصادمی فراهم گردد.

**6.5.8** Make sure materials are properly selected.

**۶-۵-۸** از انتخاب مناسب مواد اطمینان حاصل شود.

**6.5.9** List complete specifications for all materials of construction and provide instructions to be sure the specs are followed all the way through to final inspection. Specify

**۶-۵-۹** صورت کاملی از تمام ویژگیهای کلیه مواد ساخت تهیه شود و دستورالعمل‌هایی که باید اطمینان داشت ویژگیها در تمام طول بازرسی رعایت شود، فراهم

quality control procedures if relevant.

شود، به ویژه مشخص نمودن دستورالعمل های کنترل کیفی مربوطه.

**6.5.10** Be sure all relevant codes and standards are met.

**۶-۵-۱۰** باید اطمینان حاصل شود که تمام استانداردها و کدهای مربوطه رعایت شود.

**6.5.11** Set realistic and scheduled dates for delivery of equipment.

**۶-۵-۱۱** تاریخ واقعی و زمانبندی شده‌ای برای تحویل تجهیزات معین شود.

**6.5.12** Specify procedures for testing and storage of parts and equipment.

**۶-۵-۱۲** دستورالعمل های برای آزمایش و انبار کردن قطعات و تجهیزات تعیین و مشخص گردد.

For example, after hydrostatic test do not let the equipment sit full or partially full of water for any extended period of time. This could result in microbial corrosion, pitting, and stress corrosion. With regard to storage, spare stainless steel tubing showed stress-corrosion cracking when stored near the seacoast.

برای مثال بعد از آزمون ایستابی اجازه ندهید تمام تجهیزات و یا قسمتی از آن برای مدت طولانی پر از آب باقی بماند. این امر می‌تواند منتج به خوردگی میکروبی، ایجاد سوراخ یا حفره و خوردگی تنشی گردد. قطعات فولادی ضد زنگ برای لوله کشی نباید کنار ساحل دریا انبار شوند، زیرا از خود، خوردگی تنشی نشان داده‌اند.

**6.5.13** Specify operating and maintenance procedures (i.e., scheduled shut-downs).

**۶-۵-۱۳** دستورالعمل های بهره برداری و تعمیر و نگهداری مشخص و تعیین گردد. (مثلاً: توقف‌های زمانبندی شده).

**6.5.14** Properly design against excessive vibration, not only for rotating parts but also, for example, for heat exchanger tubes.

**۶-۵-۱۴** طراحی درست و دقیق در برابر ارتعاشات بیش از حد، نه تنها برای اجزای چرخشی بلکه به عنوان مثال برای تیوب‌های مبدل حرارتی، به عمل آید.

**6.5.15** Provide for "blanketing" with dry air or inert gas if vessels "inhale" moist marine atmosphere while being emptied.

**۶-۵-۱۵** پوشش با گاز خنثی یا هوای خشک برای ظروفی که اگر در حال تخلیه، جّو مرطوب دریا را به داخل می‌کشند، تأمین گردد.

**6.5.16** Select plant site upwind from other "polluting" plants or atmosphere if relevant and/or feasible.

**۶-۵-۱۶** در صورت امکان یا عملی بودن، مکان تأسیسات در جهت باد و به دور از سایر کارخانه‌ها و جّو آلوده کننده انتخاب شود.

**6.5.17** Avoid hot spots during heat-transfer operations. Heat exchangers and other heat-transfer devices should be designed to ensure uniform temperature gradients. Uneven temperature distribution leads to local heating and high corrosion rates. Further, hot spots tend to produce stresses that may produce stress-corrosion cracking failures.

**۶-۵-۱۷** در طول عملیات انتقال حرارت از نقاط داغ باید پرهیز شود. مبدلهای حرارتی و سایر وسایل مشابه باید به گونه‌ای طراحی شوند تا از گرادیان دمای یکسان اطمینان حاصل گردد. توزیع نابرابر دما منجر به گرمایش موضعی و درجات خوردگی بالا می‌شود. بعلاوه نقاط داغ مستعد ایجاد تنش‌هایی است که منجر به وقوع ترک ناشی از خوردگی تنشی می‌گردد.

**6.5.18** Design to exclude air. Oxygen reduction is one of the most common cathodic reactions during corrosion, and if oxygen is eliminated, corrosion can often be reduced or prevented. In

**۶-۵-۱۸** طراحی در جهت حذف هوا انجام شود، احیاء اکسیژن یکی از معمولی ترین واکنشهای کاتدی در طول خوردگی است و اگر اکسیژن حذف شود اغلب باعث کاهش

designing chemical plant equipment, particular attention should be paid to agitators, liquid inlets, and other points where air entrainment is a possibility. Exceptions to this rule are active-passive metals and alloys. Titanium and stainless steels are more resistant to acids containing dissolved air or other oxidizers.

یا پیشگیری از خوردگی می‌گردد. در طراحی تجهیزات تأسیسات شیمیایی، توجهی خاص باید به همزن‌ها، و ورودی مایعات و سایر نقاطی که احتمال ورود هوا میرود، مبذول شود. استثنائاتی از این قاعده، آلیاژها و فلزات فعال- غیرفعال هستند. تیتانیوم و فولاد زنگ نزن در برابر اسیدهای حاوی هوای محلول، یا سایر اکسید کننده ها، مقاومتر هستند.

**6.5.19** The most general rule for design is: avoid heterogeneity. Dissimilar metals, vapor spaces, uneven heat and stress distributions, and other differences between points in the system lead to corrosion damage. Hence, in design, attempt to make all conditions as uniform as possible throughout the entire system.

**۶-۵-۱۹** کلی ترین قاعده برای طراحی پرهیز از عدم تجانس است. فلزات غیرهمگن، فضاهای بخار آلود و حرارت نابرابر و توزیع تنش و سایر تفاوت های دیگر بین نقاط در سامانه، منجر به خوردگی میگردند. در طراحی باید تلاش گردد تا امکان فراهم آوردن تمام شرایط یکسان در سراسر سامانه اعمال شود.

## 7. MATERIALS

## ۷- مواد

**7.1** Selection of materials to resist deterioration in service is not within the scope of this Standard. However, some corrosion consideration which affect the safety of installations is specified here. Consideration shall be given to allowances made for temperature and pressure effects of process reactions, and for hazards from instability of contained fluids.

**۷-۱** انتخاب مواد برای مقاومت در برابر زوال و خرابی در طول کارکرد در حدود این استاندارد نمی‌باشد. با این حال پاره‌ای ملاحظات خوردگی موثر در ایمنی تأسیسات مشخص شده است. حدود مجاز برای اثرات فشار و درجه حرارت واکنش‌های فرآیند و مخاطرات ناشی از عدم ثبات مایعات در محفظه‌های بسته باید مورد توجه خاص قرار گیرد.

**7.2** For corrosion consideration in material selection reference is made to IPS-E-TP-740 and information on material performance in corrosive environments can be found in publications, such as "The Corrosion Data Survey" published by the National Association of Corrosion Engineers (NACE).

**۷-۲** برای ملاحظات خوردگی در انتخاب مواد به استاندارد IPS-E-TP-740 ارجاع داده می‌شود و اطلاعاتی درباره کارایی مواد در محیط های خورنده، در انتشاراتی چون "بررسی داده های خوردگی" که توسط انجمن ملی مهندسان خوردگی (NACE) منتشر شده است، می‌توان یافت.

**Note (Informative):**

API 6A and 6D present design and material requirements for oil and gas production and pipeline equipment. The API standards usually contain references to ASTM, AISI, ASME, or other general specifications for acceptable materials for these products and always include a reference to NACE MR-01-75/ISO 15156 & NACE MR-0-103 when the products are to be used in H2S service. The engineer must be aware that in certain cases the NACE standard may overrule API or other standards and that under these conditions design considerations

**یادآوری (جهت اطلاع):**

API 6A و 6D طراحی و الزامات مواد را برای تولید نفت و گاز و تجهیزات خطوط لوله ارائه میدهد. استانداردهای API معمولاً حاوی ارجاعاتی به ASTM، AISI و ASME، یا سایر ملاحظات عمومی برای مواد قابل قبول جهت این محصولات و همواره شامل ارجاعات NACE MR-01-75/ISO 15156 & NACE MR-0-103 است و هنگامی که محصولات باید برای کارکرد در سولفید هیدروژن ($H_2S$) به کار روند، مهندس مربوطه باید در موارد خاصی که استاندارد NACE که ممکن است استاندارد API و یا سایر استانداردها را باطل اعلام نموده ، آگاه باشد و تحت این شرایط ملاحظات طراحی را

must be addressed.

Recent concern about consistency in quality and product performance prompted API to re-write API 6A. The new standard was issued in April 1986 and it requires manufactures of API equipment to produce and maintain a documented control system that can be audited. This control system must also be capable of providing engineering, manufacturing, and quality guidelines for the consistent production of products meeting the requirements of the revised edition. Before approval, each manufacturer certified will be audited by an independent API-approved auditing team.

The new document also introduces four product specification levels, which can be used to specify the desired quality level. In addition to the quality levels. API has added various environmental conditions. These enable the end user to be very specific in terms of product end use, the expected quality level, and product performance.

**7.3 General Considerations**

Following are some general considerations which shall be evaluated when selecting and applying materials (see also Paragraph 7.4).

**7.3.1** The possibility of exposure of the metals to fire and the melting point, degradation temperature, loss of strength at elevated temperature, and combustibility of the structural material under such exposure.

**7.3.2** The susceptibility to brittle failure or failure from thermal shock of the structural material when exposed to fire or to fire-fighting measures, and possible hazards from fragmentation of the material in the event of failure.

**7.3.3** The ability of thermal insulation to protect structure such as piping against failure under fire exposure (e.g.,its stability, fire resistance, and ability to remain in place during a fire).

**7.3.4** The susceptibility of the piping material to crevice corrosion under backing rings, in threaded joints, in socket welded joints, and in

باید مورد توجه قرار دهد.

این امر برای همسانی در کیفیت و کارآیی محصول، API را مجبور به بازبینی API 6A کرد. این استاندارد در آوریل ۱۹۸۶ منتشر شد و مقرر میدارد تولید کنندگان تجهیزات API برای تولید و تداوم، سامانه کنترل را مستند نمایند تا مورد رسیدگی قرار گیرد. این سامانه کنترل نیز باید قادر به تأمین راهکارهایی برای مهندسی، تولید و کیفیت جهت همسانی محصولات تولیدی باشد، تا الزامات این ویرایش بازنگری شده را برآورده نماید. قبل از تصویب، هر تولید کننده مجاز باید توسط تیم بازرسی مستقل تصویب کننده API مورد بررسی قرار گیرد.

این مدرک جدید همچنین در چهار سطح مشخصات محصولات را معرفی می‌کند که میتواند برای مشخص نمودن سطح کیفیت مطلوب، مورد استفاده قرار گیرد. علاوه بر این، API شرایط محیطی مختلفی را بدان اضافه کرده که کاربر نهایی را قادر می‌سازد برحسب استفاده نهایی، در کیفیت و کارآیی محصول مورد نظر خیلی دقیق باشد.

**۷-۳ ملاحظات عمومی**

در زیر پاره‌ای ملاحظات کلی وجود دارد که هنگام انتخاب و کاربرد مواد باید مورد ارزیابی قرار گیرد. (همچنین به بند ۷-۴ مراجعه شود).

**۷-۳-۱** احتمال در معرض آتش و نقطه ذوب قرار گرفتن فلزات، دمای تجزیه کاهش استحکام در دمای بالا و احتراق پذیری مواد سازه‌ای هنگام آتش سوزی.

**۷-۳-۲** مستعد بودن به شکنندگی در اثر تردی یا گسیختگی مواد سازه‌ای از شوک حرارتی، هنگام آتش سوزی و یا اقدامات آتش نشانان و مخاطرات احتمالی تجزیه یا تکه تکه شدن مواد در صورت وقوع این حادثه.

**۷-۳-۳** قابلیت عایقکاری حرارتی برای حفاظت سازه-هائی مانند لوله کشی در برابر نقص فنی و خرابی هنگام آتش سوزی (برای مثال پایداری، مقاومت در برابر آتش سوزی و قابلیت برجای ماندن در جای خود در طول آتش سوزی).

**۷-۳-۴** آسیب پذیری مواد لوله کشی نسبت به خوردگی شیاری زیر حلقه‌های پشت بند، در اتصالات رزوه‌ای، در

other stagnant, confined areas.

اتصالات جوش سوکتی و در سایر نواحی ساکن و محصور.

**7.3.5** The possibility of adverse electrolytic effects if the metal is subject to contact with a dissimilar metal.

**۷-۳-۵** اگر فلز در معرض تماس با فلز غیر مشابه باشد احتمال اثرات مضر الکترولیتی وجود خواهد داشت.

**7.3.6** The compatibility of lubricants or sealants used on threads with the fluid service.

**۷-۳-۶** سازگاری روان سازها یا آب‌بندها روی رزوه‌های مورد استفاده با کاربری سیال.

**7.3.7** The compatibility of packing, seals, and O-rings with the fluid service.

**۷-۳-۷** سازگاری بسته بندی، آب‌بندها، اورینگ‌ها با کاربری سیال.

**7.3.8** The compatibility of materials, such as cements, solvents, solders, and brazing materials, with the fluid service.

**۷-۳-۸** سازگاری مواد، مانند چسب ها، حلالها، لحیم‌ها و مواد لحیم کاری سخت با کاربری سیال.

**7.3.9** The chilling effect of sudden loss of pressure on highly volatile fluids as a factor in determining the lowest expected service temperature.

**۷-۳-۹** اثر خنک شدن ناشی از کاهش ناگهانی فشار در سیالات خیلی فرار به عنوان عاملی در تعیین پایین ترین دمای کارکرد مورد انتظار.

**7.3.10** The possibility of pipe support failure resulting from exposure to low temperatures (which may embrittle the supports) or high temperatures (which may weaken them).

**۷-۳-۱۰** امکان گسیختگی تکیه گاه لوله، ناشی از قرار گرفتن در معرض دماهای پایین (که می‌تواند باعث شکستن تکیه گاهها شود) یا دماهای بالا (که می‌تواند باعث تضعیف آنها گردد) وجود دارد.

**7.3.11** The compatibility of materials, including sealants, gaskets, lubricants, and insulation, used in strong oxidizer fluid service (e.g., oxygen or fluorine).

**۷-۳-۱۱** سازگاری مواد، شامل درزگیرها، واشرهای آب بند، روان کارها و عایق‌کاری مورد استفاده در کارکرد مایع اکسیدکننده قوی (برای مثال اکسیژن یا فلوئور).

### 7.4 Specific Material Considerations - Metals

### ۷-۴ ملاحظات مواد خاص – فلزات

Following are some specific considerations which shall be evaluated when applying certain metals in metal structures such as piping.

در زیر پاره‌ای ملاحظات خاص وجود دارد که باید هنگام کاربرد بعضی فلزات در سازه های فلزی مانند لوله کشی، مورد ارزیابی قرار گیرد.

**7.4.1** Irons-Cast, Malleable, and High Silicon (14.5%). Their lack of ductility and their sensitivity to thermal and mechanical shock.

**۷-۴-۱** چدن چکش خوار، و با سیلیسیم بالا (۱۴/۵درصد). فقدان شکل پذیری آنها و حساسیتشان نسبت به ضربه های حرارتی و مکانیکی.

### 7.4.2 Carbon steel, and low and intermediate alloy steels

### ۷-۴-۲ فولاد کربنی و فولادهایی با آلیاژ پایین و متوسط.

**7.4.2.1** The possibility of embrittlement when handling alkaline or strong caustic fluids.

**۷-۴-۲-۱** هنگام جابجایی مایعات قلیایی، یا مایعات سوز آور قوی، احتمال تردی و شکنندگی وجود دارد.

**7.4.2.2** The possible conversion of carbides to graphite during long time exposure to temperatures above 427°C (800°F) of carbon

**۷-۴-۲-۲** امکان تبدیل کاربیدها به گرافیت، در صورت قرار گرفتن در معرض دمای بالاتر از ۴۲۷ درجه سانتیگراد (۸۰۰ درجه فارنهایت) به مدت طولانی، در

steels, plain nickel steel, carbon-manganese steel, manganese-vanadium steel, and carbon-silicon steel.

فولادهای کربنی، فولاد نیکل ساده، فولاد کربن – منگنز، فولاد منگنز – وانادیوم و فولاد کربن – سیلیسیم وجود دارد.

**7.4.2.3** The possible conversion of carbides to graphite during long time exposure to temperatures above 468°C (875°F) of carbon-molybdenum steel, manganese-molybdenum-vanadium steel, and chromium-vanadium steel.

**۷-۴-۲-۳** امکان تبدیل کاربیدها به گرافیت در صورت قرار گرفتن در معرض دمای بالاتر از ۴۶۸ درجه سانتیگراد (۸۷۵ درجه فارنهایت) بمدت طولانی در فولادهای کربن - مولیبدن، فولاد منگنز – مولیبدن – وانادیوم و فولاد کروم – وانادیوم وجود دارد.

**7.4.2.4** The advantages of silicon-killed carbon steel (0.1% silicon minimum) for temperatures above 482°C (900°F).

**۷-۴-۲-۴** مزایای فولاد کربنی کشته سیلیکونی (حداقل سیلیسیم ۰/۱ درصد) برای دماهای بالاتر از ۴۸۲ درجه سانتیگراد (۹۰۰ درجه فارنهایت).

**7.4.2.5** The possibility of hydrogen damage to piping material when exposed (under certain temperature-pressure conditions) to hydrogen or aqueous acid solutions.

**۷-۴-۲-۵** احتمال صدمات هیدروژنی به ماده‌ای که لوله از آن ساخته شده (تحت شرایط معین فشار- دما) اگر در معرض هیدروژن و محلولهای اسیدی آبی قرار گیرد.

**7.4.2.6** The possibility of stress corrosion cracking when exposed to wet hydrogen sulfide (a maximum hardness limit is usually specified; see API RP 942), and the further possibility of deterioration (sulfidation) in the presence of hydrogen sulfide at elevated temperature.

**۷-۴-۲-۶** احتمال ترک ناشی از خوردگی تنشی، هنگامی که در معرض هیدروژن سولفید تَر باشد (محدوده حداکثر سختی معمولاً مشخص می‌شود؛ به استاندارد API-RP-942 رجوع شود) و احتمال دیگر تخریب (سولفید شدن) با وجود هیدروژن سولفید در دمای بالا.

**Notes:**

**یادآوری ها:**

**1)** NACE MR-01-75/ISO 15156 & NACE MR-0-103 (2005 revision) and all later revisions cover the requirements for metallic materials used in the drilling and completion of oil and gas wells and the production of oil and gas that contain hydrogen sulfide ($H_2S$). Hydrogen sulfide is highly toxic; concentrations as low as 1000 ppm can cause death. The safe use of $H_2S$ is discussed in NACE TM-01-77.

**۱)** استاندارد NACE MR-01-75/ISO 15156 & NACE MR-0-103 (ویرایش ۲۰۰۵) و ویرایش‌های بعدی، الزامات انتخاب مواد فلزی برای استفاده در حفاری و تکمیل چاههای گاز و نفت و تولید نفت و گاز حاوی هیدروژن سولفید ($H_2S$) را پوشش میدهد. سولفید هیدروژن خیلی سمی است؛ با غلظت کم در حد ۱۰۰۰ppm می‌تواند منجر به مرگ شود. در مورد استفاده بی خطر از هیدروژن سولفید در استاندارد NACE TM-01-77 بحث شده است.

**2)** In addition to the necessary safety considerations, oil and gas that contain $H_2S$ can cause materials that are normally strong and ductile to fail in a sudden and brittle manner at very low stress levels. The special metallurgical requirements for metallic materials in this environment are discussed in NACE MR-01-75/ISO 15156

**۲)** علاوه بر ملاحظات ایمنی ضروری، نفت و گازی که حاوی هیدروژن سولفید است می‌تواند به موادی که به طور معمول قوی و نرم هستند، بصورت ناگهانی و شکننده منجر به گسیختگی در سطوح پایین تنشی شود. الزامات خاص متالورژیکی برای مواد فلزی در چنین محیطی در استاندارد NACE MR-01-75/ISO 15156 &

& NACE MR-0-103.

**3)** In general, all carbon and low-alloy steels that are properly heat treated to a maximum hardness of 22 HRC are acceptable for use in $H_2S$ service with two exceptions: free-machining steels and steels containing more than 1% Ni. Laboratory tests have indicated that these materials can fail at hardnesses below 22 HRC.

As their hardnesses exceed 22 HRC, carbon and low-alloy steels become progressively more susceptible to failure. Laboratory tests have indicated almost instantaneous failures at stresses considerably below yield for hard materials: therefore, all carbon and low-alloy steels can be made susceptible to sulfide stress cracking by improper thermal treatment and/or by mechanical damage (cold work) due to handling problems.

In addition to carbon and low-alloy steels, NACE MR-01-75/ISO 15156 & NACE MR-0-103 discusses stainless and other high-alloy steels. Some of these steels can be used at hardnesses above 22 HRC when additional strength is needed. These materials shall be selected with care.

**7.4.2.7** The importance of limiting maximum hardness of metals in applications subject to stress corrosion.

### 7.4.3 High alloy (stainless) steels

**7.4.3.1** The possibility of stress corrosion cracking of austenitic stainless steels exposed to media such as chlorides and other halides either internally or externally; the latter can result from improper selection or application of thermal insulation.

**7.4.3.2** The susceptibility to intergranular corrosion of austenitic stainless steels after sufficient exposure to temperatures between 427°C and 871°C (800°F and 1600°F) unless stabilized or low carbon grades are used.

NACE MR-0-103 شرح داده شده است.

**۳)** به طور کلی تمام فولادهای کربنی و کم آلیاژ که تا حداکثر سختی 22 HRC به درستی تحت عملیات حرارتی قرار می‌گیرند (آزمونهای آزمایشگاهی) برای استفاده در بکارگیری هیدروژن سولفید با دو استثناء قابل قبول هستند: فولادهای قابلیت ماشینکاری و فولادهای حاوی نیکل به میزان بیش از ۱ درصد. آزمونهای آزمایشگاهی حاکی است این مواد با سختی کمتر از 22 HRC می‌توانند دچار گسیختگی شوند.

چنانچه سختی از 22 HRC تجاوز کند، فولادهای کربنی و کم آلیاژ به طور فزاینده‌ای مستعد گسیختگی خواهند بود. آزمونهای فوق نشان دهنده گسیختگی تقریباً آنی مواد سخت در تنش‌های به میزان قابل ملاحظه ای زیر حد تسلیم است. بنابراین تمام فولادهای کربنی و کم آلیاژ نسبت به ترکیدگی خوردگی تنشی سولفید، در صورت عملیات حرارتی نامناسب و صدمات مکانیکی (کار سرد) ناشی از مشکلات جابجایی، آسیب پذیرند.

استاندارد NACE MR-01-75/ISO 15156 & NACE MR-0-103 علاوه بر فولادهای کربنی و کم آلیاژ، در باره فولادهای زنگ نزن و فولادهای پرآلیاژ بحث کرده است. بعضی از این فولادها، در صورت نیاز به استحکام بیشتر، می‌توانند در بالای 22 HRC مورد استفاده قرار گیرند، لذا این مواد باید با دقت انتخاب شوند.

**۷-۴-۲-۷** اهمیت محدودیت حداکثر سختی فلزات در کاربرد، تابع خوردگی تنشی است.

### ۷-۴-۳ فولادهای (زنگ نزن) پر آلیاژ

**۷-۴-۳-۱** احتمال ترک ناشی از خوردگی تنشی زنگ نزن آستنیتی، که در معرض محیط‌های حاوی کلریدها و هالوژنها از داخل یا خارج قرار گیرند، وجود دارد. وضعیت بعدی ناشی از انتخاب وکاربرد نامناسب عایق حرارتی است.

**۷-۴-۳-۲** آسیب پذیری در برابر خوردگی بین دانه‌ای فولاد زنگ نزن آستنیتی بعد از اینکه به قدر کافی در معرض دمای بین ۴۲۷ تا ۸۷۱ درجه سانتیگراد (۸۰۰ تا ۱۶۰۰ درجه فارنهایت) قرار گیرد، وجود دارد. مگر اینکه از کربن پایدار شده و یا کم کربن استفاده شود.

**7.4.3.3** The susceptibility to inter crystalline attack of austenitic stainless steels on contact with zinc or lead above their melting points or with many lead and zinc compounds at similarly elevated temperatures.

**۷-۴-۳-۳** آسیب پذیری در برابر حمله بین بلوری فولاد زنگ نزن آستنیتی ، در تماس با روی یا سرب در بالای نقطه ذوب آنها، یا با ترکیبات زیادی از روی و سرب با قرار گرفتن در دماهای بالای مشابه.

**7.4.3.4** The brittleness of ferritic stainless steels at room temperature after service at temperature above 371°C (700°F).

**۷-۴-۳-۴** تردی فولاد زنگ نزن فریتی در دمای اتاق، بعد از کار در دمای بالای ۳۷۱ درجه سانتیگراد (۷۰۰ درجه فارنهایت).

**7.4.4 Nickel and nickel base alloys**

**۷-۴-۴ آلیاژهای نیکل و پایه نیکل**

**7.4.4.1** The susceptibility to grain boundary attack of nickel and nickel base alloys not containing chromium when exposed to small quantities of sulfur at temperatures above 316°C (600°F).

**۷-۴-۴-۱** آسیب پذیری به حمله مرز دانه‌ای آلیاژهای نیکل و پایه نیکل فاقد کروم وقتی در معرض مقادیر کمی از سولفور در دمای بالاتر از ۳۱۶ درجه سانتیگراد (۶۰۰ درجه فارنهایت) قرار میگیرند.

**7.4.4.2** The susceptibility to grain boundary attack of nickel base alloys containing chromium at temperatures above 593°C (1100°F) under reducing conditions and above 760°C (1400°F) under oxidizing conditions.

**۷-۴-۴-۲** آسیب پذیری به حمله مرز دانه‌ای آلیاژهای پایه نیکل، حاوی کروم در دمای بالاتر از ۵۹۳ درجه سانتیگراد (۱۱۰۰ درجه فارنهایت) تحت شرایط احیاء کننده و در دمای بالاتر از ۷۶۰ درجه سانتیگراد (۱۴۰۰ درجه فارنهایت) تحت شرایط اکسید کننده.

**7.4.4.3** The possibility of stress corrosion cracking of nickel-copper alloy (70Ni-30Cu) in hydrofluoric acid vapor if the alloy is highly stressed or contains residual stresses from forming or welding.

**۷-۴-۴-۳** امکان ترک ناشی از خوردگی تنشی آلیاژ نیکل و مس (نیکل ۷۰ و مس ۳۰) در بخار اسید هیدروفلوریک، در صورتی که آلیاژ تحت تنش بالا، یا حاوی تنش پسماند ناشی از شکل پذیری و جوشکاری باشد.

**7.4.5 Aluminum and aluminum alloys**

**۷-۴-۵ آلومینیم و آلیاژهای آلومینیم**

**7.4.5.1** The compatibility with aluminum of thread/bevel compounds used in aluminum threaded joints to prevent seizing and galling.

**۷-۴-۵-۱** سازگاری با ترکیبات مخصوص رزوه آلومینیمی که در اتصالات رزوه/پخ آلومینیمی برای جلوگیری از سایش و گریپاژ به کار می‌رود.

**7.4.5.2** The possibility of corrosion from concrete, mortar, lime, plaster, or other alkaline materials used in buildings or structures.

**۷-۴-۵-۲** امکان خوردگی ناشی از بتن، ملات، آهک، گچ و سایر مواد قلیایی که در ساختمانها یا سازه‌ها به کار می‌رود.

**7.4.5.3** The susceptibility of Alloy Nos. 5083, 5086, 5154, and 5456 to exfoliation or intergranular attack; and the upper temperature limit of 66°C (150°F) shown in Appendix A, to avoid such deterioration.

**۷-۴-۵-۳** آسیب پذیری آلیاژهای شماره 5083، 5086، 5154 و 5456 نسبت به پوسته شدگی یا حمله بین دانه‌ای، محدوده بالای دمای ۶۶ درجه سانتیگراد (۱۵۰ درجه فارنهایت) نشان داده شده در پیوست الف، برای جلوگیری از این گونه تخریب.

**7.4.6 Copper and copper alloys**

**۷-۴-۶ مس و آلیاژهای مس**

**7.4.6.1** The possibility of dezincification of brass alloys.

**۷-۴-۶-۱** امکان زدایش روی از آلیاژهای برنج.

**7.4.6.2** The susceptibility to stress-corrosion cracking of copper-based alloys exposed to fluids such as ammonia or ammonium compounds.

**۷-۴-۶-۲** آسیب پذیری نسبت به ترکیدگی ناشی از خوردگی تنشی آلیاژهای پایه مس که در معرض سیالاتی مانند آمونیاک و ترکیبات آمونیاک قرار گیرند.

**7.4.6.3** The possibility of unstable acetylide formation when exposed to acetylene.

**۷-۴-۶-۳** در معرض استیلن قرار گرفتن ممکن است منجر به ایجاد استلید غیر پایدار گردد.

**7.4.7 Titanium and titanium alloys**

The possibility of deterioration of titanium and its alloys above 316°C (600°F).

**۷-۴-۷ تیتانیوم و آلیاژهای تیتانیوم**

امکان فساد تیتانیوم و آلیاژهای تیتانیوم وقتی که در معرض دمای بیش از ۳۱۶ درجه سانتیگراد (۶۰۰ درجه فارنهایت) قرار گیرند.

**7.4.8 Zirconium and zirconium alloys**

The possibility of deterioration of zirconium and zirconium alloys above 316°C (600°F).

**۷-۴-۸ زیرکونیم و آلیاژهای زیرکونیم**

امکان فساد زیرکونیم و آلیاژهای زیرکونیم وقتی در معرض دمای بیش از بیش از ۳۱۶ درجه سانتیگراد (۶۰۰ درجه فارنهایت) قرار گیرند.

**7.4.9 Tantalum**

Above 299°C (570°F), the possibility of reactivity of tantalum with all gases except the inert gases. Below 299°C the possibility of embrittlement of tantalum by nascent (monatomic) hydrogen (but not molecular hydrogen). Nascent hydrogen is produced by galvanic action, or as a product of corrosion by certain chemicals.

**۷-۴-۹ تانتالیوم**

در دمای بیش از ۲۹۹ درجه سانتیگراد (۵۷۰ درجه فارنهایت)، واکنش در برابر تانتالیوم با تمام گازها، به استثنای گازهای خنثی امکان پذیر است. در دمای زیر ۲۹۹ درجه سانتیگراد احتمال تردی و شکنندگی تانتالیوم با هیدروژن یک اتمی نوزاد ولی نه با هیدروژن ملکولی، وجود دارد. هیدروژن نوزاد با کنش گالوانیکی یا به صورت محصولی از خوردگی، توسط بعضی از مواد شیمیایی حاصل می‌شود.

**7.4.10 Metals with enhanced properties**

The possible loss of strength, in a material whose properties have been enhanced by heat treatment, during long continued exposure to temperatures above its tempering temperature.

**۷-۴-۱۰ فلزات با خواص تقویت شده**

افت استحکام احتمالی در موادی که خواص آنها با عملیات حرارتی، در طول تماس با دمای بالاتر از دمای بازپخت آنها، تقویت شده باشد.

**7.4.11** The desirability of specifying some degree of production impact testing, in addition to the weld procedure qualification tests, when using materials with limited low temperature service experience below the minimum temperature stated in Appendix A, Table A.1, B31/3 ASME.

**۷-۴-۱۱** تعیین میزانی برای آزمون ضربه محصول، به اضافه دستورالعمل آزمون‌های کیفی جوش، هنگام کاربرد مواد، در دمای پایین محدوده، زیر حداقل دمای مندرج در پیوست الف، جدول A.1, ASME B31/3 تشریح شده، ضرورت دارد.

**7.5 Material Considerations Nonmetals**

Following are some considerations to be evaluated when applying nonmetals in structures such as piping. See also Paragraphs 7.1 and 7.3.

**۷-۵ ملاحظات مواد غیرفلز**

در زیر، پاره‌ای ملاحظات که باید در هنگام کاربرد مواد غیرفلز در سازه‌هایی چون لوله کشی مورد ارزیابی قرار گیرند آمده است. همچنین به بندهای ۷-۱ و ۷-۳ مراجعه کنید.

**7.5.1 Static charges**

Because of the possibility of producing hazardous electrostatic charges in nonmetallic piping and metallic piping lined with nonmetals, consideration should be given to grounding the metallic components of such systems conveying nonconductive fluids.

**۷-۵-۱ بار ساکن**

به دلیل احتمال تولید مخاطرات بار الکتریسیته ساکن در لوله کشی‌های غیر فلزی و فلزی با پوشش داخلی غیرفلزی، تأمین اتصال زمین اجزاء فلزی چنین سامانه-هایی در انتقال سیالات نارسانا، باید مورد دقت قرار گیرد.

**7.5.2 Thermoplastics**

If thermoplastic piping is used above ground for compressed air or other compressed gases, special precautions shall be observed. In determining the needed safeguarding for such services, the energetics and the specific failure mechanism need to be evaluated. Encasement of the plastic piping in shatter-resistant material may be considered.

**۷-۵-۲ ترموپلاستیک‌ها**

اگر لوله کشی ترموپلاستیکی روی زمین، برای هوای فشرده یا سایر گازهای تحت فشار به کار گرفته شود، تدابیری خاص باید اتخاذ گردد. در تعیین حفاظ ضروری برای چنین کاربری‌هایی، سازوکار شکست پرانرژی ویژه، نیاز به ارزیابی دارد. روکش روی لوله کشی پلاستیکی، از نظر مقاومت مواد در برابر شکستگی و متلاشی شدن می-تواند مورد دقت قرار گیرد.

**7.5.3 Borosilicate glass**

Take into account its lack of ductility and its sensitivity to thermal and mechanical shock.

**۷-۵-۳ شیشه بوروسیلیکات**

فقدان شکل پذیری و حساسیت این نوع شیشه در مقـابـل ضربه‌های حرارتی و مکانیکی باید در نظر گرفته شود.

## 8. FABRICATION

## ۸- ساخت

### 8.1 General

### ۸-۱ عمومی

**8.1.1** The concerned contractor and/or fabricator shall follow the fabrication procedures introduced by the designer precisely and use the specified methods and materials prescribed by him.

**۸-۱-۱** دستورالعمل‌های ساخت و موادی را که طراح ارائه می‌کند باید دقیقاً توسط پیمانکار و یا سازنده رعایت شده و به کار برده شود.

**8.1.2** In addition the contractor and fabricator shall make consideration to all factors affecting fabrication which in turn facilitate to improve resistance of equipment and structures against corrosion.

**۸-۱-۲** به علاوه، پیمانکار و سازنده باید تمام عوامل موثر در ساخت که به نوبه خود موجب بهبود مقاومت تجهیزات و سازه‌ها در برابر خوردگی می‌شود، در نظر بگیرند.

**8.1.3** When a contractor is responsible for the whole construction, he is also responsible for the performance of first class fabrication.

**۸-۱-۳** در مواردی که یک پیمانکار مسئول کل اجرای کار است، در مقابل بهترین کارکرد ساخت نیز مسئولیت دارد.

**8.1.4** Due consideration shall be given to special treatment required for different materials to improve resistance to corrosion, e.g. special welding techniques, stress relieving, blast peening, metallizing, sealing of welds, etc.; also to any fabrication or assembly methods which would aggravate any tendency of the material to corrosion failure.

**۸-۱-۴** ملاحظات لازم و به موقع باید برای عملیات خاص مورد نیاز برای مواد مختلف که مقاومت آنها را در برابر خوردگی بهبود میبخشد، اعمال گردد. برای مثال: روشهای جوشکاری ویژه، تنش زدایی، تقّه کاری، فلزینه کاری، آب-بندی جوشها و جز آن. همچنین به هر روش ساخت یا مونتاژ قطعات که هرنوع گرایش مواد را به تخریب خوردگی تشدید میکند باید توجهی خاص مبذول شود.

**8.1.5** With approval of the designer, alloys in as highly alloyed a condition as necessary should be used when the cost of fabrication is higher than the cost of basic material. Proportional cost of material in some multishaped or complicated component is much less than the simple ones.

**۸-۱-۵** هنگامی که هزینه ساخت بیشتر از هزینه مواد است، با تصویب طراح، آلیاژهایی که در حد ضرورت باید پرآلیاژ شوند، باید به کار گرفته شود، زیرا هزینه نسبی مواد در بعضی اجزاء چند شکلی و پیچیده کمتر از یک قطعه ساده است.

**8.1.6** Distribute stress with the metals' anisotropic characteristics in mind:

**۸-۱-۶** توزیع تنش با مشخصات فلزات غیرهمگن در نظر گرفته شود.

**8.1.6.1** Either avoid exposing traverse planes or protect them.

**۸-۱-۶-۱** از در معرض قرار دادن سطوح متقاطع خودداری شود یا مورد حفاظت قرار گیرند.

**8.1.6.2** Avoid or relieve residual stress from quenching and fitting.

**۸-۱-۶-۲** اجتناب از ایجاد یا رهاسازی تنشهای پسماند ناشی از سردکردن سریع فلز گرم شده و اتصال.

**8.1.6.3** Select fabrication with special attention to avoid consequence, of high localized stress pattern.

**۸-۱-۶-۳** انتخاب روش ساخت با توجه خاص به خودداری از پی آمد الگوی تنش موضعی بالا.

**8.1.7** Select fabrication, machining and assembly operations imparting minimum residual stresses, fillets should be stream-lined if possible.

**۸-۱-۷** انتخاب شیوه ساخت، ماشینکاری و عملیات مونتاژ قطعات همراه با حداقل تنشهای پسماند باشد و جوش گوشه، در صورت امکان، باید پوشش شود.

**8.1.8** Protective coating shall be applied after all punching, drilling, machining, forming and after fabrication have been completed paint finishing systems if required may also be applied after metal deposition or over chemical film treatment.

**۸-۱-۸** پوشش محافظ بعد از سوراخ یا منگنه کاری، مته کاری، ماشینکاری، شکل پذیری، به کاربرده شود. بعد از تکمیل ساخت، در صورت لزوم سامانه های پرداخت رنگ بعد از رسوب فلز یا روی لایه مربوط به عملیات سطحی شیمیایی اعمال شود.

**8.1.9** The workmanship and finish shall be first class in every respect and subject to the closest inspection by the manufacturer's inspector, whether or not the Purchaser waives any part of the inspection.

**۸-۱-۹** مهارت و تکمیل کار باید از هر نظر بهترین بوده و تابع نظارت دقیق بازرس سازنده باشد. ولو آنکه خریدار بخواهد از هر بخش از بازرسی صرفنظر کرده باشد.

**8.1.10** When material requires straightening, the work shall be done by pressing or another noninjurious method prior to any layout or shaping. Heating or hammering is not permissible unless the material is heated to a forging temperature.

**۸-۱-۱۰** هنگامی که مواد احتیاج به صافکاری دارند، باید با پرسکاری یا سایر روشهای غیر زیان‌آور، قبل از هر طراحی و شکل دهی، انجام شود. حرارت دادن و چکش کاری مجاز نیست، مگر اینکه مواد تا دمای آهنگری، حرارت داده شود.

**8.2** Factors affecting fabrication can be classified as follows:

**۸-۲** عوامل موثر بر ساخت به صورت زیر طبقه بندی می‌شود:

- Design and materials; both of which have been described before.

- طراحی و مواد؛ که هر دو قبلاً شرح داده شده است.

- Welding.
- Welding and joining.
- Bending and forming.
- Brazing and soldering.
- Heat treatment.
- Preheating.
- Coating and lining.

- جوشکاری.
- اتصال و جوشکاری
- خم کاری و شکل دادن.
- لحیم کاری سخت و لحیم کاری نرم.
- عملیات حرارتی.
- پیش گرمی .
- پوشش و پوشش داخلی.

**8.3 Welding**

**8.3.1 Corrosion of weldments**

**8.3.1.1 General**

**8.3.1.1.1** It is not unusual to find that, although the wrough form of a metal or alloy is resistant to corrosion in a particular environment, the welded counterpart is not. Further, welds can be made with the addition of filler metal or can be made autogenously (without filler metal). However, there are also many instances in which the weld exhibits corrosion resistance superior to that of the unwelded base metal. There also are times when the weld behaves in an erratic manner, displaying both resistance and susceptibility to corrosive attack. Corrosion failures of welds occur in spite of the fact that the proper base metal and filler metal have been selected, industry codes and standards have been followed, and welds have been deposited that possess full weld penetration and have proper shape and contour. It is sometimes difficult to determine why welds corrode; however, one or more of the following factors often are implicated:

- Weldment design.
- Fabrication technique.
- Welding practice.
- Welding sequence.
- Moisture contamination.

**۸-۳ جوشکاری**

**۸-۳-۱ خوردگی قطعات جوشکاری شده**

**۸-۳-۱-۱ عمومی**

**۸-۳-۱-۱-۱** غیر عادی نخواهد بود اگر فلز یا آلیاژ کارپذیر، مقاوم به خوردگی در محیط خاصی باشد، ولی قطعه جوش آن اینگونه نباشد. بعلاوه، جوشها می‌توانند با فلز پرکننده یا به طور خودگیر (بدون فلز پرکن) ایجاد شوند. با این حال بسیاری از موارد است که جوشها در مقام مقایسه با فلز پایه جوش نخورده، مقاومت بیشتری در برابر خوردگی از خود نشان میدهند. مواقعی نیز جوشها به حالتهای عجیب و نامنظمی رفتار میکنند. هم مقاومت و هم آسیب پذیری در مقابل حمله خوردگی از خود بروز میدهند. شکست‌های خوردگی جوش علیرغم این حقیقت که فلز پایه و فلز پرکننده مناسب باشند، رخ می‌دهد و از کدها و استانداردهای صنعتی مربوطه پیروی شود و رسوب جوشها با نفوذ کامل جوش، و با شکل و فرم مناسبی باشند، خوردگی جوش اتفاق می‌افتد. گاهی تشخیص چرایی خوردگی جوشها دشوار است. بهرحال یک یا چند عامل زیر سبب چرایی خوردگی است:

- طراحی قطعات جوشکاری شده .
- روش ساخت.
- طرز کار جوشکاری.
- ترتیب جوشکاری.
- آلودگی به رطوبت.

- Organic or inorganic chemical species.

- مواد شیمیایی آلی یا غیر آلی.

- Oxide film and scale.

- لایه اکسید و پوسته.

- Weld slag and spatter.

- سرباره جوش و قطره جوش.

- Incomplete weld penetration or fusion.

- نفوذ یا ذوب ناقص جوش.

- Porosity.

- خلل و فرج.

- Cracks (crevices).

- ترک ها (شیارها).

- High residual stresses.

- تنشهای پسماند بالا.

- Improper choice of filler metal.

- انتخاب غلط فلز پرکننده.

- Final surface finish.

- پرداخت نهایی سطح.

**8.3.1.1.2** ASME Section IX and API 1104 discuss the welding of pressure vessels and line pipe, including the requirements for qualifying welding procedure, welders, and the quality level of the production weldments. These standards also identify the variables that dicate when different procedures are required to cover material thickness, material chemistry, joint design, welding position and thermal treatments. If weldments are to be used in $H_2S$ environments, such factors as additional hardness testing, the type of welding electrode, and the wire/flux combination used should be considered.

**۸-۳-۱-۱-۲ در** قسمت IX استاندارد ASME و API 1104 روش جوشکاری ظروف تحت فشار و خط لوله، به انضمام الزامات، برای واجد شرایط بودن دستورالعمل جوشکاری، جوشکار و سطح کیفی تولید قطعات جوشکاری شده ، تشریح شده است. این استانداردها نیز تعیین کننده متغیّرهایی هستند که مقرر میدارند چه وقت دستورالعمل-های مختلفی برای پوشش ضخامت مواد، شیمی مواد، طراحی اتصال، موقعیت جوشکاری و عملیات حرارتی باید به کار رود. اگر قطعات جوش خورده قرار است در محیطهای حاوی سولفید هیدروژن به کار گرفته شود، بکارگیری عواملی چون آزمایش سختی اضافی، نوع الکترود جوشکاری و ترکیب سیم جوش و روان کننده توصیه می‌گردد.

The American Petroleum Institute and the National Association of Corrosion Engineers publish documents that indicate whether weldments made with certain wire/flux combinations have experienced failure in $H_2S$ environments under conditions in which failures were unexpected. Weldments with high manganese and silicon contents have been shown to be very susceptible to sulfide stress cracking at hardnesses at or below 22 HRC even after thermal treatments.

موسسه نفت آمریکا و انجمن ملی مهندسان خوردگی مدارکی را منتشر کردند که نشان میدهد قطعاتی که با ترکیب معینی از سیم جوش و روان ساز، جوشکاری شده، در محیطهای حاوی سولفید هیدروژن تحت شرایطی که در آن خرابی جوش غیرقابل انتظار بود، تجربه شده است. قطعات جوش خورده با ترکیب منگنز و سیلیس بالا نشان داده‌اند که در سختی 22 HRC یا زیر آن، حتی بعد از عملیات حرارتی، نسبت به ترک ناشی از خوردگی تنشی ناشی از سولفید، بسیار آسیب پذیرند.

If temperature is an environmental consideration, the designer should be aware that the ability of materials and weldments to withstand sudden impact loading decreases significantly with temperature. Materials and weldments that have ductile characteristics at

اگر دما، یکی از ملاحظات محیطی است، طراح باید آگاه باشد که توان مقاومت مواد و قطعات جوشکاری شده در برابر بار ضربه‌ای ناگهانی به طور قابل ملاحظه‌ای با حرارت کاهش می یابد. مواد و قطعات جوش خورده که

room temperature (20°C, or 70°F) may behave in a brittle manner when exposed to lower temperatures. In addition to the typical mechanical-property testing of materials and weldments, impact testing is required to ensure that the product is properly designed for the anticipated operating temperatures. Standards from ASTM, ASME, and other address these design requirements and generally specify materials that have Charpy V-notch impact test requirements added to the normal mechanical property tests.

دارای ویژگی نرمی در دمای اتاق (۲۰ درجه سانتیگراد یا ۷۰ درجه فارنهایت) هستند وقتی در معرض دماهای پایین‌تر قرار گیرند ممکن است رفتارهای شکننده و یا تردی از خود نشان دهند. علاوه بر آزمایش معمول خواص مکانیکی مواد و قطعات جوش خورده، آزمایش ضربه‌ای، برای اطمینان از عملکرد مورد نظر برای محصول تولیدی در دمای طراحی شده، ضروری است. استانداردهای ASTM و ASME الزامات این طراحی‌ها و به طور کلی تعیین موادی را که دارای الزامات آزمایش ضربه‌ای (آزمایش چارپی) هستند، به آزمایش های خواص مکانیکی معمولی اضافه کرده‌اند.

In the case of weldments, Charpy V-notch impact testing of the base metal, the heat-affected zone, and the weld metal is also required to ensure that the weldment will function satisfactorily at the design temperature. Welding must be performed with care to ensure that the completed weldment is produced in accordance with standard procedures.

در مورد قطعات جوشکاری شده، آزمایش ضربه (آزمایش چارپی) فلز پایه، منطقه متأثر از حرارت و فلز جوش لازم است تا اطمینان حاصل شود که قطعه جوش خورده در حرارت طراحی شده کارکرد رضایت بخشی دارد و جوشکاری باید با دقت انجام شود تا مطمئن شویم که قطعه کامل شده براساس دستورالعمل‌های استاندارد تولید شده است.

**8.3.1.1.3** ISO 10423 establishes requirements for well head Surface Safety Valves (SSV valves), Underwater Safety Valves (USV valves), and their actuators (SSV/USV actuators). The requirements include design, materials quality, performance testing, and functional testing.

**۸-۳-۱-۱-۳** استاندارد ISO 10423 الزامات شیرهای ایمنی سطحی سرچاه (SSV valves)، شیرهـای ایمنی زیر آب (USV valves) و محرکه آنها (SSV/USV actuators) را تعیین می‌کند. این الزامات شامل طراحی، کیفیت مواد، آزمون کارآیی و آزمون کارکردی است.

Equipment manufactured to this specification is primarily intended for service in outer continental waters (OCS) contiguous to the United States. The equipment is identified with the ISO 10423 monogram. It is also eligible for the OCS monogram when manufactured under a quality program conforming to ANSI/ASME-SPPE-1 specifications.

تجهیزات تولیدی مطابق با این مشخصات در اصل برای کارکرد در آبهای ناحیه فلات قاره‌ای (OCS) نزدیک ایالات متحده است. این تجهیزات با علایمی که استاندارد ISO 10423 تعیین کرده است مشخص می‌شود. تجهیزاتی که تحت برنامه ریزی کیفیت مطابق با مشخصات استاندارد ANSI/ASME-SPPE-1 تولید می‌شوند، استفاده از علامت (OCS) الزامی است.

**8.3.1.1.4** The ANSI/ASME-SPPE-1 standards establish requirements for quality programs, accreditation of quality programs, and reporting of malfunctions and failures. Manufacturers conforming to these standards are authorized by ASME to apply the OCS monogram to SSVS (valve and actuator).

**۸-۳-۱-۱-۴** استانداردهای ANSI/ASME-SPPE-1 الزامات برنامه ریزی کیفی، تأیید آن و گزارش سوء عملکرد و معایب را مقرر میدارند. سازندگان مطابق این استانداردها، توسط ASME مجازند علامت OCS را برای SSVS (شیرها و محرک‌ها) به کار برند.

**8.3.1.2 Metallurgical factors**

**۸-۳-۱-۲ عوامل متالورژیکی**

The cycle of heating and cooling that occurs during the welding process affects the micro-

سیکل گرمایش و سرمایش در طول فرآیند جوشکاری،

روی ریز ساختار و ترکیب سطح جوشها و فلز پایه اثر گذارند. در نتیجه مقاومت در برابر خوردگی جوشهای خودگیر و جوشهایی که با فلز پرکننده متصل میشوند ممکن است نسبت به مقاومت در برابر خوردگی فلز پایه که به طور صحیحی نرم شده‌اند به دلایل زیر کمتر باشد:

- جدایش میکروسکوپی.
- رسوب فازهای ثانویه.
- تشکیل مناطق مخلوط نشده.
- تبلور مجدد و رشد دانه‌ها در منطقه متأثر از حرارت جوش.
- عمل تبخیر عناصر آلیاژ از حوضچه‌های جوش مذاب.
- آلودگی حوضچه جوش در حال انجماد.

مقاومت در برابر خوردگی در موضع جوش شده با روشهای زیر معمولاً می‌تواند حفظ شود. با متوازن کردن ترکیب آلیاژ برای جلوگیری از بعضی واکنشهای رسوب و با حفاظت سطوح فلز داغ و ذوب شده ناشی از گازهای واکنش پذیر در محیط جوش و با زدایش اکسید غنی از کرم و فلز پایه فاقد کروم از سطوح تغییر رنگ به لحاظ گرما و با انتخاب عوامل جوشکاری مناسب.

**۸-۳-۱-۳ انجماد جوش**

در طول فرآیند جوشکاری پاره‌ای تغییرات مهم اتفاق می‌افتد که می‌تواند به طور قابل ملاحظه‌ای در رفتار خوردگی قطعه جوشکاری شده موثر باشد. حرارت ورودی و روش جوشکاری به وضوح نقش مهمی را ایفا میکنند، روش انجماد جوش دارای اهمیت برابر برای درک چگونگی رفتار قطعه جوش شده در محیط‌های خورنده است.

همانگونه که در شکل ۱ آمده، بررسیهای متالوگرافی نشان میدهد که جوشها در مناطق مختلف منجمد میشوند. منطقه ترکیب شده، یا گرده جوش، در اصل شامل فلز پرکننده است که با ماده ذوب شده از اطراف فلز پایه رقیق شده است. جنب منطقه ترکیب شده، منطقه مخلوط نشده است، منطقه فلز پایه که بدون آمیختگی مکانیکی با فلز پرکننده، ذوب و منجمد شده

structure and surface composition of welds and adjacent base metal. Consequently, the corrosion resistance of autogenous welds and welds made with matching filler metal may be inferior to that of properly annealed base metal because of:

- Microsegregation.
- Precipitation of secondary phases.
- Formation of unmixed zones.
- Recrystallization and grain growth in the weld Heat-Affected Zone (HAZ).
- Volatilization of alloying elements from the molten weld pool.
- Contamination of the solidifying weld pool.

Corrosion resistance can usually be maintained in the welded condition by balancing alloy compositions to inhibit certain precipitation reactions, by shielding molten and hot metal surfaces from reactive gases in the weld environment, by removing chromium-enriched oxides and chromium-depleted base metal from thermally discolored (heat tinted) surfaces, and by choosing the proper welding parameters.

**8.3.1.3 Weld solidification**

During the welding process, a number of important changes occur that can significantly affect the corrosion behavior of the weldment. Heat input and welder technique obviously play important roles. The way in which the weld solidifies is equally important to understanding how weldments may behave in corrosive environments.

A metallographic study has shown that welds solidify into various regions, as illustrated in Fig. 1. The composite region, or weld nugget, consists of essentially filler metal that has been diluted with material melted from the surrounding base metal. Next to the composite region is the unmixed zone, a zone of base metal that melted and solidified during welding without experiencing mechanical mixing with the filler metal. The weld interface is the

surface bounding the region within which complete melting was experienced during welding, and it is evidenced by the presence of a cast structure. Beyond the weld interface is the partially melted zone, which is a region of the base metal within which the proportion melted ranges from 0 to 100%. Lastly, the true HAZ is that portion of the base metal within which microstructural change has occurred in the absence of melting. Although the various regions of a weldment shown in Fig. 1 are for a single-pass weld, similar solidification patterns and compositional differences can be expected to occur in underlying weld beads during multipass applications.

است. فصل مشترک جوش، سطحی است که منطقه‌ای را که حدوداً در حین جوشکاری ذوب کامل را آزموده متصل می‌کند و با حضور ساختار ریختگی گواهی می‌شود. دورتر از فصل مشترک جوش، ناحیه‌ای است که اندکی ذوب شده. ناحیه‌ای از فلز پایه بوده که حدوداً با دامنه به نسبت صفر تا ۱۰۰ درصد ذوب شده است. سرانجام، منطقه واقعی متأثر از جوش، بخشی از فلز پایه است که تغییر ریز ساختار بدون ذوب شدن، در آن رخ میدهد. اگرچه انواع منطقه فلز جوشکاری شده در شکل ۱ نشان داده شده برای جوش یک پاس جوش است، الگوهای مشابه انجماد و تفاوتهای ترکیبات را در زیر خط جوشهایی که در طول کاربردهای جوش چند پاسه روی میدهد می‌توان انتظار داشت.

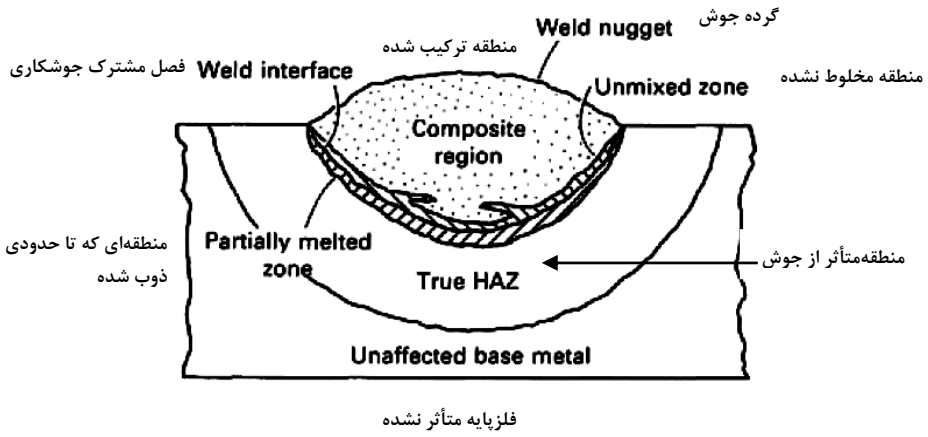



**Fig. 1- SCHEMATIC OF A WELD CROSS SECTION**

**شکل ۱- شمای کلی از برش عرضی جوش**

### 8.3.1.4 Corrosion of carbon steel weldments

The corrosion behavior of carbon steel weldments is dependent on a number of factors. Consideration must be given to the compositional effects of the base metal and welding consumable and to the different welding processes used. Because carbon steels undergo metallurgical transformations across the weld and HAZ, microstructures and morphologies become important. A wide range of microstructures can be developed based on cooling rates, and these microstructures are dependent on energy input, preheat, metal thickness (heat sink effects), weld bead size, and reheating effects due to multipass welding.

### ۸-۳-۱-۴ خوردگی قطعات جوشکاری شده فولاد کربنی

رفتار خوردگی قطعات جوشکاری شده فولاد کربنی به عواملی چند بستگی دارد. در مورد اثرات ترکیبی فلز پایه و مواد مصرف شدنی جوشکاری و نیز فرآیندهای مختلف آن، باید توجهی خاص مبذول گردد. بدلیل آنکه فولادهای کربنی دستخوش تبدیلاتی متالورژیکی در سراسر جوش و منطقه متأثر از حرارت هستند، آنگاه ریز ساختارها و شکل شناسی، مهم خواهند بود. طیف وسیعی از ریز ساختارها براساس میزان سرد شدن، رشد می‌یابند. این ریز ساختارها وابسته به انرژی ورودی، پیش گرمی، ضخامت فلز، اندازه خط جوش و اثرات

باز گرمایش مجدد به واسطه جوشکاری چند پاسه می‌باشند. در نتیجه اختلاف ترکیبات شیمیائیشان و آخالهای جوش (اکسیدها و سولفیدها)، ریزساختارهای فلز جوش معمولاً تفاوت زیادی با ریزساختارهای منطقه متأثر از حرارت و فلز پایه دارند. به همین نحو رفتار خوردگی می‌تواند متغیّر باشد.

As a result of their different chemical compositions and weld inclusions (oxides and sulfides), weld metal microstructures are usually significantly different from those of the HAZ and base metal. Similarly, corrosion behavior can also vary.

بعلاوه میزان سختی، برای حرارت ورودی زیاد، پایین ترین درجه خواهد بود. مانند سختی‌های قطعات جوش خورده که با جوشکاری قوس زیر پودری به وجود می‌آیند برای قطعات جوشکاری شده کم انرژی (با میزان سرد کنندگی سریعتر) که با جوشکاری قوس الکترود روپوش دار ساخته میشوند، بالاترین درجه است. بسته به شرایط جوشکاری، ریز-ساختارهای فلز جوش معمولاً با روان ساز قلیایی تمایل به ریزدانه شدن و با اسید یا ترکیبات روانساز روتیلی ($TiO_2$) تا حدی تمایل به درشت تر شدن دارند.

In addition, hardness levels will be lowest for high heat inputs, such as those produced by submerged-arc weldments, and will be highest for low-energy weldments (with faster cooling rates) made by the shielded metal arc processes. Depending on the welding conditions, weld metal microstructures generally tend to be fine grained with basic flux and somewhat coarser with acid or rutile ($TiO_2$) flux compositions.

در هنگام جوشکاری، فلز پایه، منطقه متأثر از حرارت جوش پاس‌های زیرین به واسطه انبساط و انقباض حرارتی دچار تنش میشوند. به مجرد انجماد، در نتیجه انقباض جوش، میزان نسبتاً بالای تنش پسماند به جای می‌ماند. اثرات تمرکز تنش در نتیجه ناپیوستگی هندسی مانند استحکام جوش، عدم نفوذ کامل جوش (خطرناک به دلیل احتمال خوردگی شیاری و ترک ناشی از خستگی)، به سبب احتمال ترک ناشی از خوردگی تنشی نیز مهم هستند. برای حصول نفوذ کامل جوش، به حداقل رساندن اضافه تقویت جوش، از طریق کنترل روش یا فرآیند جوشکاری، و سنگ زنی (روش پرهزینه) می‌توانند در به حداقل رساندن اثرات هندسی موثر واقع شود. تنش زدایی با عملیات حرارتی در کاهش تنش داخلی ناشی از انقباض جوش و سختی فلز برای ایمنی در بسیاری موارد موثر است.

During welding, the base metal, HAZ, and underlying weld passes experience stresses due to thermal expansion and contraction. Upon solidification, rather high levels of residual stress remain as a result of weld shrinkage. Stress concentration effects as a result of geometrical discontinuities, such as weld reinforcement and lack of full weld penetration (dangerous because of the likelihood of crevice corrosion and the possibility of fatigue cracking), are also important because of the possibility of SCC. Achieving full weld penetration, minimizing excessive weld reinforcement through control of the welding process or technique, and grinding (a costly method) can be effective in minimizing these geometric effects. A stress-relieving heat treatment is effective in reducing internal weld shrinkage stress and metal hardness to safe levels in most cases.

### ۸-۳-۱-۴-۱ خوردگی ترجیحی مناطق متأثر از جوش

نمونه خوردگی ترجیحی جوش در منطقه متأثر از حرارت قطعه جوشکاری شده فولاد کربنی در شکل ۲ نشان داده شده است. این پدیده بیشتر در محیط‌های آبی مشاهده می‌شود و زمانی است که محیط از لحاظ رسانایی خیلی بالا باشد. در حالی که معمولاً، نه همیشه، خوردگی در pH زیر ۷ تا ۸ اتفاق می‌افتد.

### 8.3.1.4.1 Preferential HAZ corrosion

An example of preferential weld corrosion in the HAZ of a carbon steel weldment is shown in Fig. 2. This phenomenon has been observed in a wide range of aqueous environments, the common link being that the environments are fairly high in conductivity, while attack has usually, but not invariably, occurred at pH values below about 7 to 8.

دلایل حمله موضعی به قطعه جوشکاری شده کاملاً روشن نشده است. آنچه که معلوم است وجود بستگی ریزساختاری است و مطالعات درباره منطقه متأثر از

The reasons for localized weldment attack have not been fully defined. There is clearly a microstructural dependence, and studies on

HAZs show corrosion to be appreciably more severe when the material composition and welding are such that hardened structures are formed. It has been known for many years that hardened steel may corrode more rapidly in acid conditions than fully tempered material, apparently because local micro cathodes on the metal surface stimulate the cathodic hydrogen evolution reaction. On this basis, water treatments ensuring alkaline conditions should be less likely to induce HAZ corrosion, but even at pHs near 8, hydrogen ion ($H^+$) reduction can account for about 20% of the total corrosion current; pH values substantially above this level would be needed to suppress the effect completely.

حرارت نشان میدهد هنگامی که ترکیب مواد و جوشکاری چنان است که ساختارهای سخت، شکل میگیرد، خوردگی بطور قابل ملاحظه‌ای باید سخت‌تر باشد. سالهاست که مشخص شده که فولاد آبدیده ممکن است در شرایط اسیدی سریع‌تر از فولاد کاملاً بازپخت شده دچار خوردگی شود. چونکه ظاهراً به واسطه ریزکاتدهای موضعی روی سطح فلز باعث واکنش فرآیند تدریجی تغییر و تکامل هیدروژن کاتدی میشوند. براین اساس تصفیه آب به منظور تأمین شرایط قلیایی باید احتمالاً کمتر موجب خوردگی منطقه متأثر از حرارت گردد. اما حتی در pH نزدیک به ۸، کاهش یون هیدروژن ($H^+$) را می‌توان ۲۰ درصد کل جریان خوردگی محاسبه کرد. مقدار pH خیلی بالاتر از این اندازه برای جلوگیری کامل از اثر خوردگی مورد نیاز خواهد بود.

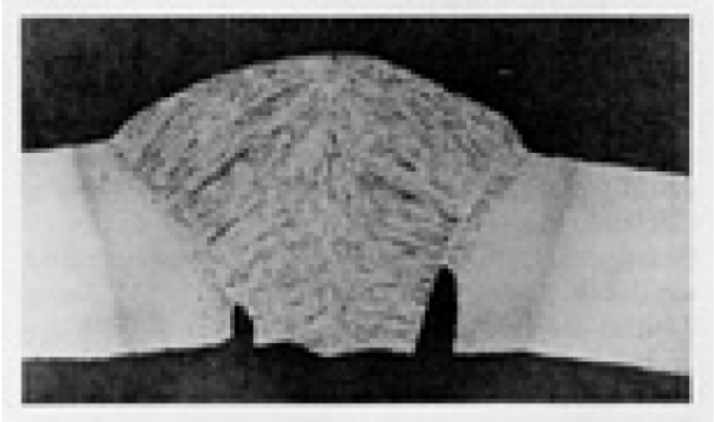


**Fig. 2-PREFERENTIAL CORROSION IN THE HAZ OF A CARBON STEEL WELDMENT AFTER SERVICE IN AN AQUEOUS ENVIRONMENT**.

**شکل ۲- خوردگی ترجیحی در منطقه متأثر از حرارت جوش یک قطعه فولادی کربنی جوشکاری شده پس از استفاده در محیط آبی**

**8.3.1.4.2 Preferential weld corrosion**

It is probable that similar microstructural considerations also apply to the preferential corrosion of weld metal, but in this case, the situation is further complicated by the presence of deoxidation products, their type and number depending largely on the flux system employed. Consumable type plays a major role in determining weld metal corrosion rate, and the highest rates of metal loss are normally associated with shielded metal arc electrodes using a basic coating. In seawater, for example, the corrosion rate for a weld made using a

**۸-۳-۱-۴-۲ خوردگی ترجیحی جوش**

احتمال دارد که ملاحظات ریزساختاری همچنین برای خوردگی ترجیحی فلز جوش به کار رود، اما در این مورد، وضعیت با وجود محصولات حاصل از احیاء، پیچیده‌تر است و نوع و تعداد آنها عمدتاً بستگی به کاربرد سامانه روان ساز دارد. الکترود مصرفی نقش مهمی را در تعیین نرخ خوردگی فلز جوش ایفا میکند و بالاترین اتلاف فلز به طور معمول با الکترودهای قوس فلزی پوشش دار قلیایی، همراه است. برای مثال در آب دریا نرخ خوردگی

basic-coated consumable may be three times as high as for weld metal from a rutile-coated consumable. Fewer data are available for submerged-arc weld metals, but it would appear that they are intermediate between basic and rutile shielded metal arc electrodes and that a corrosion rate above that of the base steel can be expected.

جوش با استفاده از الکترود با پوشش قلیایی، ممکن است سه برابر نوع با پوشش روتیل باشد. اطلاعات کمتری درباره فلزات جوش قوسی زیر پودری وجود دارد، اما معلوم است که بینابین الکترودهای قوس فلزی با روپوش قلیایی و با روپوش رتیلی هستند و اینکه نرخ خوردگی بالاتر از فولاد پایه را می‌توان انتظار داشت.

**8.3.1.4.3 Galvanic-corrosion**

**۸-۳-۱-۴-۳ خوردگی گالوانیکی**

Galvanic-corrosion effects have also been observed and have caused unexpected failure of piping tankage and pressure vessels where the welds are anodic to be base metal. The following examples illustrate the point.

اثرات خوردگی گالوانیکی همچنین قابل مشاهده است و باعث نقایص غیر منتظره در لوله کشی، مخازن و ظروف تحت فشار، جایی که جوشها نسبت به فلز پایه آندی هستند، شده است. مثالهای زیر این نکته را نشان میدهد.

In one case, premature weld failures were experienced in a 102-mm (4 inch) ASTM A53/A53M pipe that was used to transfer a mixture of chlorinated hydrocarbons and water. During construction, the pipeline was fabricated with E7010-A1 welding electrodes (see Table 1 for the composition limits for all materials discussed in these examples).

در یک مورد، خرابی زودهنگام جوش در یک لوله ۱۰۲ میلیمتری (۴ اینچ) ASTM A53/A53M که برای انتقال مخلوطی از آب و هیدروکربن‌های کلردار مورد استفاده قرار گرفت، تجربه شده است. در طول ساخت، خط لوله با الکترودهای جوشکاری E7010-A1 جوشکاری شده است. (برای مشاهده محدوده‌های ترکیب مواد مورد بحث در این مثالها به جدول ۱ مراجعه شود).

## TABLE 1 - COMPOSITIONS OF CARBON STEEL BASE METALS AND SOME FILLER METALS SUBJECT TO GALVANIC CORROSION

## جدول ۱- ترکیبات فلز پایه فولادکربنی و بعضی فلزات پرکننده در معرض خوردگی گالوانیکی

**See Tables 8 and 9 for corrosion rates of galvanic couples**

**به جداول شماره ۸ و ۹ برای نرخ خوردگی زوجهای گالوانیکی مراجعه شود**

| METAL<br>فلز پایه | COMPOSITION, %<br>درصد ترکیب | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | C<br>کربن | Mn<br>منگنز | Si<br>سلیکون | Cr<br>کروم | Ni<br>نیکل | Fe<br>آهن | OTHERS<br>سایر |
| BASE METALS فلزات پایه | | | | | | | |
| ASTM A53/A53M, Grade B | 0.30 | 1.20 | … | … | … | Bal. | … |
| ASTM A285/A285M, Grade C | 0.22 | 0.90 | … | … | … | Bal. | … |
| | | | | | | | |
| FILLER METALS فلزات پرکننده | | | | | | | |
| E6010 | | | | -No specific chemical limits …. بدون محدودیت‌های خاص شیمیایی | | | |
| E6013 | | | | -No specific chemical limits …. بدون محدودیت‌های خاص شیمیایی | | | |
| E7010-A1 | 0.12 | 0.60 | 0.40 | … | … | Bal. | 0.4-0.65Mo |
| E7010-G | … | 1.00(a) | 0.80(a) | 0.30(a) | 0.50(a) | Bal. | 0.2Mo, 0.1V<br>وانادیم<br>مولیبدنیم |
| E7016 | … | 1.25(b) | 0.90 | 0.20(b) | 0.30(b) | Bal. | 0.3Mo(b), 0.08V(b)<br>وانادیم مولیبدنیم |
| E7018 | … | 1.60(c) | 0.75 | 0.20(c) | 0.30(c) | Bal. | 0.3Mo(c), 0.08V(c)<br>وانادیم مولیبدنیم |
| E8018-C2 | 0.12 | 1.20 | 0.80 | … | 2.0-2.75 | Bal. | … |
| ENiCrFe-2(Inco Weld A)<br>جوش اینکولی A | 0.10 | 1.0-3.5 | 1.0 | 13.0-17.0 bal. | | 12.0 | 1-3.5Mo, 0.5Cu,<br>کربن مولیبدنیم<br>0.5-3(Nb + Ta)<br>تانتالیم + نیوبیم |
| Incoloy welding جوشکاری اینکلولی | | | | | | | |
| electrode 135 الکترود۱۳۵ | 0.08 | 1.25-2.50 | 0.75 | 26.5-30.5 | 35.0-40.0 | bal. | 2.75-4.5Mo, 1-2.5Cu |

**a)** The weld deposit must contain only the minimum of one of these elements.

**b)** The total of these elements shall not exceed 1.50%.

**c)** The total of these elements shall not exceed 1.75%.

Initial weld failures and subsequent tests showed the following welding electrodes to be anodic to the A53/A53M Grade B base metal: E7010-Al, E6010, E6013, E7010-G, and E8018-C2. Two nickel-base electrodes . Inco-Weld A (AWS A5,11, Class ENiCrFe-2) and Incoloy welding electrode 135 . were tested; they were found to be cathodic to the base metal and to prevent rapid weld corrosion. The corrosion rates of these various galvanic couples are listed in Table 2.

**الف)** رسوب جوش باید حداقل شامل یکی از این عناصر باشد.

**ب )** کل این عناصر نباید از ۱/۵ درصد تجاوز کند.

**ج )** کل این عناصر نباید از ۱/۷۵ درصد تجاوز کند.

معایب اولیه جوش و آزمایش های بعدی نشان داد که الکترودهای جوشکاری زیر برای فلز پایه A53/A53M درجه B باید آندی باشند: E7010-Al, E6010, E6013, E7010-G و E8018-C2 . دو الکترود – پایه نیکلی. Inco-Weld A (AWS A5,11, Class (ENiCrFe-2) و الکترود ۱۳۵ جوشکاری Incoloy مورد آزمایش قرار گرفت: و معلوم شد که آنها برای فلز پایه و برای جلوگیری از خوردگی سریع جوش، باید کاتدی باشند. نرخ خوردگی زوجهای گالوانیکی مختلف در جدول ۲ آمده است.

**TABLE 2 - CORROSION RATES OF GALVANIC COUPLES OF ASTM A53, GRADE B, BASE METAL AND VARIOUS FILLER METALS IN A MIXTURE OF CHLORINATED HYDROCARBONS AND WATER**

**جدول ۲- نرخ خوردگی زوجهای گالوانیکی ASTM A53 ،درجه B فلز پایه**

**و فلزهای پرکننده مختلف در مخلوطی از آب و هیدروکربن های کلروردار**

**THE AREAS OF THE BASE METAL AND THE DEPOSITED WELD METAL WERE EQUAL**

**مناطق فلز پایه و فلز جوش رسوب داده شده یکسان‌اند**

| GALVANIC COUPLE<br>زوج گالوانیکی | | CORROSION RATE<br>نرخ خوردگی | |
|---|---|---|---|
| | | mm/yr<br>سال/ میلیمتر | mils/yr<br>سال/ میل |
| Base metal | فلز پایه | 0.4 | 15 |
| E6010 | | 0.9 | 35 |
| Base metal | | 0.18 | 7 |
| E6013 | | 0.9 | 35 |
| Base metal | | 1.3 | 50 |
| E7010-Al | | 4.3 | 169 |
| Base metal | | 1.7 | 68 |
| E7010-G | | 2.8 | 112 |
| Base metal | | 0.36 | 14 |
| E8018-C2 | | 1.7 | 66 |
| Base metal | | 0.48 | 19 |
| Inco Weld A. | | 0.013 | 0.5 |
| Base metal | | 0.36 | 14 |
| Incoloy welding | جوشکاری اینکولی | | |
| electrode 135 | الکترود ۱۳۵ | <0.0025 | <0.1 |

Another example is the failure of low-carbon steel welds in seawater service at 25°C (75°F). Fabrications involving ASTM A285/A285M, Grade C, plate welded with E6013 electrodes usually start to fail in the weld after 6 to 18 months in seawater service at this temperature. Welds made with E7010 electrodes do not fail. Tests were conducted in seawater at 50°C (120°F) using A285/A285M, Grade C, plate welded with E6010, E7010-Al, and E7010-G. It was determined that E7010- Al was the best electrode to use in seawater and that E6010 and E7010-G were not acceptable (although they were much better than E6013), because they were both anodic to the base metal. A zero resistance ammeter was used to determine whether the electrodes were anodic or cathodic in behavior.

In another case, welds made from E7010-Al electrodes to join ASTM A285/A285M, Grade C, base metal were found to be anodic to the base metal when exposed to raw brine, an alkaline-chloride (pH > 7) stream, and raw river water at 50°C (120°F). When E7010-G was exposed to the same environment, it was anodic to the base metal in raw brine and raw river water and was cathodic to ASTM A285/A285M, Grade C, in the alkaline-chloride stream. When the base metal was changed to ASTM A53/A53M, Grade B, and A106/A106M, Grade B, it was found that E7010-Al weld metal was cathodic to both when exposed to raw brine at 50°C (120°F).

Finally, routine inspection of a column in which a mixture of hydrocarbons was water washed at 90°C (195°F) revealed that E7016 welds used in the original fabrication were corroding more rapidly than the ASTM A285/A285M, Grade C, base metal. Corroded welds were ground to sound metal, and E7010-Al was used to replace the metal that was removed.

مثال دیگر آسیب پذیری جوشهای فولادی با کربن کم در آب دریا در ۲۵ درجه سانتیگراد (۷۵ درجه فارنهایت) است. ساخته‌هایی از موارد ASTM A285/A285M ، با درجه C، صفحه جوش شده با الکترودهای E 6013 معمولاً بعد از ۶ تا ۱۸ ماه کارکرد در این درجه حرارت در آب دریا ، شروع به تخریب در جوش می‌نماید. جوشهایی که با الکترودهای E7010 انجام گردید آسیب پذیر نبودند. آزمونها در آب دریا ۵۰ درجه سانتیگراد (۱۲۰ درجه فارنهایت) با استفاده از A285/A285M، درجه C. و صفحه جوش شده با استفاده از الکترودهـــای E6010، E7010-A1 و E7010-G انجام گرفت. معلوم شد که الکترود E7010-A1 بهترین برای استفاده در آب دریا بوده است و الکترودهای E6010 و E7010-G قابل قبول نبوده‌اند (گرچه خیلی از الکترود E6013 بهتر بودند) زیرا هر دو نسبت به فلز پایه آندی بودند. برای انجام این آزمونها، آمپرسنجی با مقاومت صفر، برای تعیین اینکه الکترودها آندی یا کاتدی بودند، به کار گرفته شد.

در مورد دیگر، جوشهایی با الکترودهای E7010-A1 برای اتصال به فلز پایه ASTM A285/A285M ، درجه C ساخته شد که فلز پایه، وقتی در معرض آب نمک خام، جریان الکترود قلیایی (با pH بیشتر از ۷)، و آب خام رودخانه در ۵۰ درجه سانتیگراد (۱۲۰ درجه فارنهایت) قرار گرفت نسبت به فلز پایه، آندی بود. وقتی الکترود E7010-G تحت همین شرایط قرار گرفت نسبت به فلز پایه در آب نمک و آب خام رودخانه آندی بود و نسبت به ASTM A285/A285M درجه C، در جریان کلرید قلیـایـی، کاتـــدی بـود. وقتی فلز پـــایـــه به ASTM-A53/A53M درجه B و A106/A106M درجه B، تبدیل شد، معلوم گردید فلز پایه E7010-A1 ، وقتی که در معرض آب نمک خام در ۵۰ درجه سانتیگراد (۱۲۰ درجه فارنهایت) قرار گرفت نسبت به هر دو کاتدی است.

سرانجام بازرسی عادی، یک ستون مایع که در آن مخلوطی از هیدروکربورها با آب ۹۰ درجه سانتیگراد (۱۹۵ درجه فارنهایت) شستشو داده شد، نشان داد که جوشهائی که الکترود E7016 در ساخت اصلی آنها بکار رفت،سریع‌تر نسبت به فلز پایهASTM-A285/A285M درجه C ، دچار خوردگی شدند. جوشهای خورده شده تا حد فلز سالم با سنگ زنی زدوده شده و الکترود E7010-A1 جایگزین آنها شد.

About 3 years later, during another routine inspection, it was discovered that the E7010-Al welds were being selectively attacked. Tests were conducted that showed E7010-Al and E7016 weld metals to be anodic to A285/A285M, Grade C, while E7018 and E8018-C2 would be cathodic. Corrosion rates of these various galvanic couples are given in Table 3.

حدود سه سال بعد، در طول بازرسی عادی دیگری، کشف گردید که جوشهای E7010-A1 به طور گزینشی مورد حمله قرار گرفتند. آزمونهای انجام شده نشان داد که فلزات جوش E7010-A1 و E7016 نسبت به فلز پایه A285/285M، درجه C، آندی هستند، در حالی که E7018 و E8018-C2 کاتدی خواهند بود. نرخ خوردگی زوجهای گالوانیکی مختلف در جدول ۳ مندرج است.

**TABLE 3 - CORROSION RATES OF GALVANIC COUPLES OF ASTM A285, GRADE C, BASE METAL AND VARIOUS FILLER METALS AT 90°C (195°F) IN WATER USED TO WASH A HYDROCARBON STREAM**

**جدول ۳- نرخ خوردگی زوجهای گالوانیکی ASTM A285 ، درجه C، فلز پایه و فلزات پرکننده مختلف در آب ۹۰ درجه سانتیگراد (۱۹۵ درجه فارنهایت) برای شستشوی جریان هیدروکربن**

| GALVANIC COUPLE<br>زوج گالوانیکی | CORROSION RATE<br>نرخ خوردگی | |
|---|---|---|
| | mm/yr<br>سال/ میلیمتر | mils/yr<br>سال/ میل |
| Base metal فلز پایه<br>E7010-Al | 0.6927 | 0.81 32 |
| Base metal فلز پایه<br>E7016 | 0.4618 | 0.8433 |
| Base metal فلز پایه<br>E7018 | 1.350 | 1.248 |
| Base metal فلز پایه<br>E8018-C2 | 2.285 | 1.0441 |

These examples demonstrate the necessity for testing each galvanic couple in the environment for which it is intended. Higher-alloy filler metals can sometimes be used to advantage to prevent rapid preferential weld corrosion.

این نمونه‌ها، ضرورت آزمون هر زوج گالوانیکی را در محیطی که برای آن در نظر گرفته شده است نشان میدهد. فلزات پرکننده با آلیاژ بالاتر گاهی می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند که برای پیشگیری سریع خوردگی ترجیحی جوش مفیدند.

### 8.3.1.4.4 Stress-corrosion cracking

### ۸-۳-۱-۴-۴ ترک ناشی از خوردگی تنشی

There is no doubt that residual welding stresses can cause SCC in environments in which such failure represents a hazard. This is the case for failure by both active path and hydrogen embrittlement mechanisms, and in the latter

تردیدی نیست که تنشهای پسماند جوشکاری می‌تواند موجب ترک ناشی از خوردگی تنشی در محیطهایی شود که در آنها چنین آسیب پذیری مخاطره آمیز است. این نقص با هر دو ساز و کارهای تردی هیدروژنی و مسیر فعال تمایل به واکنش فلز به وجود می‌آید. در مورد تردی

هیدروژنی، این نقص احتمالاً در جوشهای با حرارت پایین به دلیل افزایش آسیب پذیری ساختارهای سخت شده که الزاماً تشکیل میشوند، بوجود می‌آید. بیشترین مطالعه در باره ترک ناشی از خوردگی تنشی که در فولادهای کربنی و فولادهای کربنی منگنزدار به وسیله هیدروژن ایجاد می‌شود، انجام گرفته است. به ویژه در شرایطی که وجود هیدروژن سولفید (شرایط ترش) بر صنایع نفت و گاز حاکم است. اگرچه تعریف کاملی از تأثیر انواع ریزساختارها به دست نیامده، تأثیر مهم سختی آنها در شکل ۳ مشهود است.این وضعیت راجع به ترک خوردگی مسیر فعال متمایل به واکنش، کمتر روشن است، اما مواردی وجود دارد که در آنها مقاومت در برابر ترک‌های ناشی از خوردگی تنشی افزایش می‌یابد. بر این اساس احتمال دارد که ریز ساختارهای تغییر شکل یافته نرم در اطراف جوشها، ترجیحی باشند.

case, failure may be especially likely at low heat input welds because of the enhanced susceptibility of the hardened structures inevitably formed. Most SCC studies of welds in carbon and carbon-manganese steels have evaluated resistance to hydrogen-induced SCC, especially under sour ($H_2S$) conditions prevalent to the oil and gas industry. Although full definition of the effect of specific microstructural types has not been obtained, an overriding influence of hardness is evident (Fig. 3). The situation regarding active path cracking is less clear, but there are few, if any, cases in which SCC resistance increases at higher strength levels. On this basis, it is probable that soft, transformed microstructures around welds are preferable.

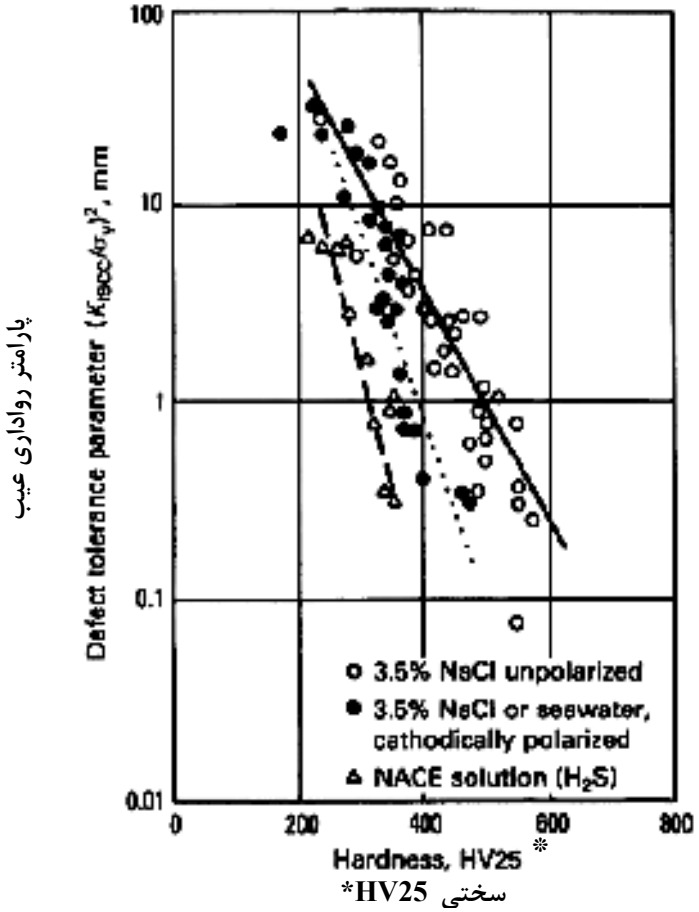



**Fig. 3-SCC DEFECT TOLERANCE PARAMETER VERSUS HARDNESS FOR CARBON STEEL WELDMENTS IN THREE ENVIRONMENTS. DATA ARE DERIVED FROM PUBLISHED TESTS ON PRECRACKED SPECIMENS OF VARIOUS TYPES OF CARBON STEEL BASE METALS, HAZs, AND WELD METALS. SCC DEFECT TOLERANCE PARAMETER IS DEPENDENT ON CRACK LENGTH**

**شکل۳- رواداری عیب ترک ناشی از خوردگی تنشی (SCC) در برابر سختی قطعات جوشکاری شده فولاد کربنی در سه محیط داده ها از آزمون انواع مختلف نمونه‌های ترک‌دار فلزات پایه فولاد کربنی مناطق متأثر از جوش ($HAZ_S$) و فلزات جوش، استخراج شده است. محدوده خطای مجاز بستگی به طول ترک دارد.**

* To measure the hardness of thin film coating, the applied load ranging from 10 gr to 1000 gr is used. Thus, HV 25 means hardness vickers at 25 gr force load.

* دامنه نیروی اعمال شده برای اندازه‌گیری سختی پوششهای لایه نازک ، ۱۰ تا ۱۰۰۰ گرم می‌باشد. بنابراین، HV25 بمعنی سختی ویکرز در ۲۵ گرم نیروی وارد شده است .

Carbon and low-alloy steels are also known to fail by SCC when exposed to solutions containing nitrates ($NO^-_3$). Refrigeration systems using a 30% magnesium nitrate ($Mg(NO_3)_2$) brine solution, for example, are commonly contained in carbon steel. In this case, pH adjustment is important, as is temperature. Failures in the HAZ due to SCC have been reported when brine temperatures have exceeded 30°C (90°F) during shutdown periods. To avoid these failures, carbon steel is being replaced with Type 304L stainless. Others have stress relieved welded carbon steel systems and have operated successfully, although elevated-temperature excursions are discouraged.

فولادهای کربنی و کم آلیاژی اینگونه شناخته شده‌اند که وقتی در محلولهای حاوی نیترات ($NO^-_3$) قرار میگیرند (سردسازی) در برابر ترکیدگی ناشی از خوردگی تنشی (SCC) آسیب پذیرند. برای مثال سامانه‌هایی با استفاده از محلول آب نمک ۳۰ درصد نیترات منیزیوم ($Mg(NO_3)_2$) معمولاً در فولاد کربنی وجود دارد. در این مورد، تنظیم pH به اندازه حرارت اهمیت دارد، آسیب پذیری در منطقه متأثر از جوش به واسطه SCC، وقتی که دمای آب نمک به بیش از ۳۰ درجه سانتیگراد (۹۰ درجه فارنهایت) در طول توقف عملیات تجاوز کند، گزارش شده است. برای جلوگیری این گونه خرابی‌ها، فولاد کربنی را می‌توان با نوع زنگ نزن 304L جایگزین کرد. برخی دیگر از سامانه های تنش زدایی از فولاد کربنی جوش شده استفاده کرده‌اند که با موفقیت عمل کرده است، اگر چه استفاده از دمای بالا توصیه نمی شود.

More recently, it has been shown that cracking can occur under certain conditions in carbon dioxide ($CO_2$) containing environments, sometimes with spectacular and catastrophic results. Processes in the oil, gas, and chemical industries require removal of $CO_2$ from process streams by a variety of absorbents. In most cases, process equipment is fabricated from plain carbon steel. For corrosion of carbon steel weldments for specific conditions see Appendix A.2.

اخیراً نشان داده شده در محیط های حاوی دی اکسید کربن ($CO_2$) تحت شرایط خاصی ترک خوردن می‌تواند رخ دهد، که گاهی با نتایج فاجعه آمیزی همراه است. فرآیندهای نفت و گاز و صنایع شیمیایی مستلزم زدایش $CO_2$ با انواع جذب کننده-ها است. در بسیاری موارد تجهیزات این فرآیندها از فولاد کربنی ساده ساخته شده است. برای خوردگی قطعات جوشکاری شده فولاد کربنی در شرایط خاص به پیوست الف-۲ مراجعه شود.

### 8.3.1.5 Corrosion of austenitic stainless steel weldments

### ۸-۳-۱-۵ خوردگی قطعات جوشکاری شده فولاد زنگ نزن آستنیتی

The corrosion problems commonly associated with welding of austenitic stainless steels are related to precipitation effects and chemical segregation. These problems can be eliminated or minimized through control of base metal metallurgy, control of the welding practice, and selection of the proper filler metal.

مشکلات خوردگی که معمولاً همراه با جوشکاری فولادهای زنگ نزن آستنیتی است، بستگی به اثرات رسوب و جدایش شیمیایی دارد. این مشکلات را می‌توان از طریق کنترل متالورژیکی فلز پایه، کنترل روش جوشکاری و انتخاب فلز پرکننده مناسب، از بین برد و یا به حداقل کاهش داد.

#### 8.3.1.5.1 Pitting corrosion

#### ۸-۳-۱-۵-۱ خوردگی حفره‌ای

Under moderately oxidizing conditions, weld metal austenite may suffer preferential pitting in alloy-depleted regions. This attack is independent of any weld metal precipitation and is a consequence of microsegregation or

تحت شرایط نسبتا اکسید کننده ، مانند کارخانه سفید کننده ، فلز جوش آستنیتی ار خوردگی حفره ای در مناطق فقیر از عناصر آلیاژی میتواند آسیب ببینند. این حمله خوردگی مستقل از هر رسوب فلز جوش می باشد و

از نتایج جدایش میکروسکوپی و یا از مغزی الکترود روپوش دار، در کریستالهای شاخه‌وار است. احتمال ایجاد حفره ترجیحی بیشتر در جوشهای، خودگیر (بدون پرکننده) قوس تنگستنی گازی (شکل ۴) ، در ۴ تا ۶٪ آلیاژهای مولیبدنیم (جدول ۴) می‌باشد و هنگامیکه فلز پرکننده دارای ترکیبی یکسان با فلز پایه (شکل ۵) و حرارت ورودی بالاتر جوشکاری، ریزساختاری خشن و ناصاف با لایه سطحی شاخه وار از خود باقی میگذارد. با استفاده از فلز پرکننده آلیاژی مناسب از چنین ریز ساختاری اجتناب می‌شود.(شکل ۵)

coring in weld metal dendrites. Preferential pitting is more likely in autogenous (no filler) Gas Tungsten Arc (GTA) welds (Fig. 4), in 4 to 6% Mo alloys (Table 4), when the recommended filler metal has the same composition as the base metal (Fig. 5), and when higher heat input welding leaves a coarse microstructure with surface-lying dendrites. Such a micro-structure is avoided by use of a suitably alloyed filler metal (Fig. 5).

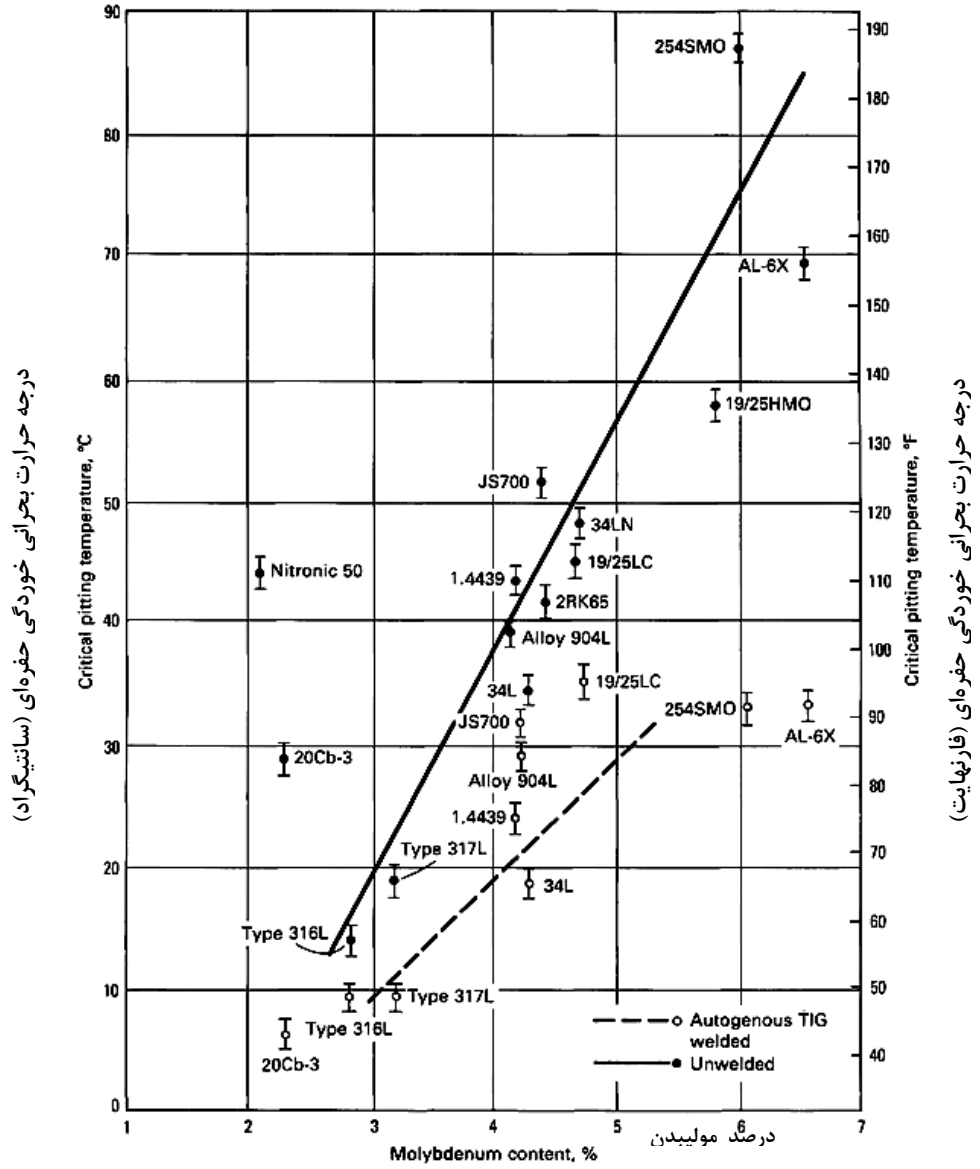



**Fig. 4-CRITICAL PITTING TEMPERATURE VERSUS MOLYBDENUM CONTENT FOR COMMERCIAL AUSTENITIC STAINLESS STEELS TESTED 10% $FeCL_3$. RESISTANCE TO PITTING, AS MEASURED BY THE CRITICAL PITTING TEMPERATURE, INCREASES WITH MOLYBDENUM CONTENT AND DECREASES AFTER AUTOGENOUS TUNGSTEN INERT GAS (TIG) WELDING**

**شکل ۴- درجه حرارت بحرانی برای ایجاد حفره در برابر فولادهای زنگ نزن آستنیتی تجاری با مولیبدنیم که با ۱۰٪ کلریت فریت ($Fe\ CL_3$) آزمایش شده است. مقاومت در برابر ایجاد حفره، که با درجه حرارت بحرانی برای ایجاد حفره ارزیابی شده، بعد از آزمایش با مولیبدنیم افزایش و بعد از جوشکاری قوس تنگستنی با گاز خنثی (TIG) خودگیر ، کاهش می‌یابد.**

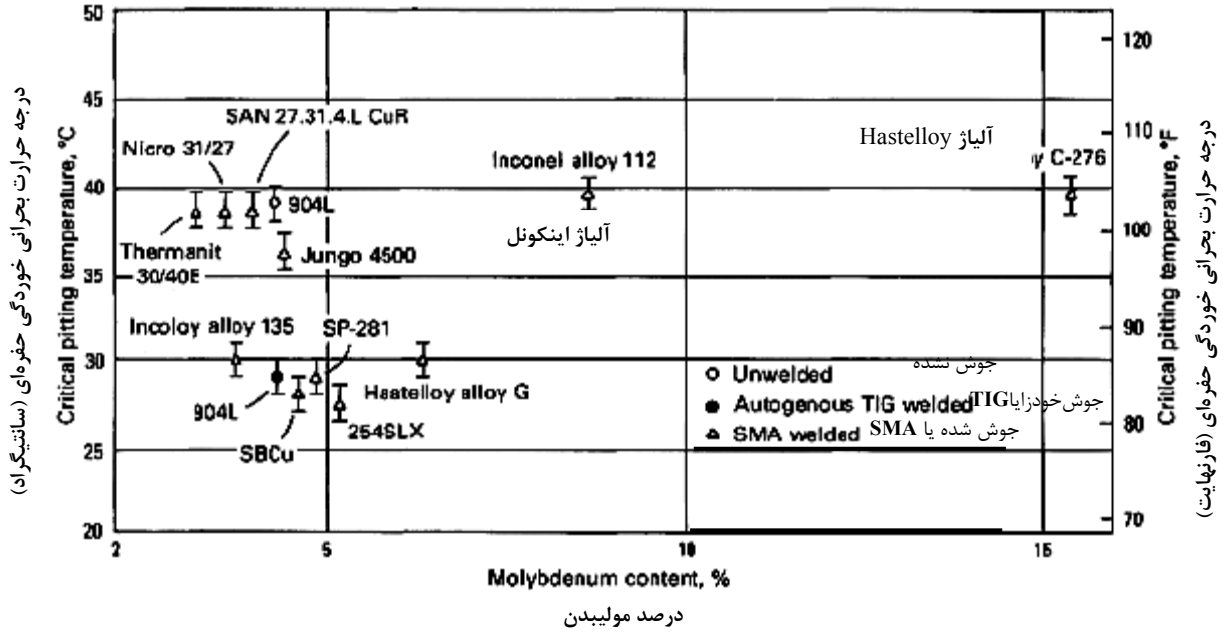



**Fig. 5-EFFECTS OF VARIOUS WELDING TECHNIQUES AND FILLER METALS ON THE CRITICAL PITTING TEMPERATURE OF ALLOY 904L. DATA FOR AN UNWELDED SPECIMEN ARE INCLUDED FOR COMPARISON**

**شکل ۵- اثرات روشهای مختلف جوشکاری و فلزات پرکننده در درجه حرارت بحرانی حفره‌دار شدن آلیاژ 904L داده‌ها از نمونه‌های جوش نشده برای مقایسه منظور شده است**

**TABLE 4 - AMOUNTS OF PRINCIPAL ALLOYSING ELEMENTS IN STAINLESS STEELS TESTED FOR PITTING RESISTANCE**

**جدول ۴- مقادیر عناصر آلیاژهای اصلی در فولاد زنگ نزن که برای مقاومت در برابر خوردگی حفره‌ای مورد آزمون قرار گرفته است**

| ALLOY آلیاژ | COMPOSITION درصد ترکیب | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Cr | Ni | Mo | N |
| **Base metals** فلزات پایه | | | | |
| **Type 316L** | 16 | 13 | 2.8 | … |
| **Type 317L** | 18 | 14 | 3.2 | … |
| **34L** | 17 | 1 | 54.3 | … |
| **34LN** | 18 | 14 | 4.7 | … |
| **1.4439** | 18 | 14 | 4.3 | 0.13 |
| **Nitronic 50** | 21 | 14 | 2.2 | 0.20 |
| **20Cb-3** | 20 | 33 | 2.4 | … |
| **Alloy 904L** | 20 | 25 | 4.2 | … |
| **2RK65** | 20 | 25 | 4.5 | … |
| **JS700** | 21 | 25 | 4.5 | … |
| **19/25LC** | 20 | 25 | 4.8 | … |
| **AL-6X** | 20 | 24 | 6.6 | … |
| **254SMO** | 20 | 18 | 6.1 | 0.20 |
| **19/25HMO** | 21 | 25 | 5.9 | 0.15 |
| **Filler metals** فلزات پر کننده | | | | |
| **Type 316L** | 19 | 12 | 2.3 | … |
| **Type 317L** | 19 | 13 | 3.8 | … |
| **309MoL** | 14 | 2.5 | … | … |
| **Batox Cu** | 19 | 24 | 4.6 | … |
| **254SLX 20** | 24 | 5.0 | … | … |
| **SP-281 20** | 25 | 4.6 | … | … |
| **Jungo 4500** | 20 | 26 | 4.4 | … |
| **Nicro 31/27** | 28 | 30 | 3.5 | … |
| **Thermanit 30/40E** | 28 | 35 | 3.4 | … |
| **SAN 27.31.4.LCuR** | 27 | 31 | 3.5 | … |
| **Incoloy Alloy 135** | 27 | 31 | 3.5 | … |
| **Hastelloy Alloy G** | 22 | 38 | 3.7 | … |
| **P12** | 21 | 61 | 8.6 | … |
| **Inconel Alloy 12** | 21 | 61 | 8.7 | … |
| **Hastelloy Alloy C-276** | 15 | 58 | 15.4 | … |

فلزات پرکننده مقاوم در برابر خوردگی حفره‌ای، نزدیک یا بهتر از فلزات پایه همانند شامل:

Filler metals with pitting resistance close to or better than that of corresponding base metals include:

| Base metal فلز پایه | Filler metals فلزات پراکنده |
|---|---|
| Type 316L | 316L, 317L, 309MoL |
| Type 317 | 317L, 309MoL |
| Alloy 904 | Sandvik 27.31.4.LCuR |
| | Thermanit 30/40 E, Nicro 31/27 |
| | Fox CN 20 25 M, IN-112, Avesta P12, Hastelloy alloy C-276 |
| Avesta 254 SMO | Avesta P12, IN-112, Hastelloy alloy C-276 |

Even when suitable fillers are used, preferential pitting attack can still occur in an unmixed zone of weld metal. High heat input welding can leave bands of melted base metal close to the fusion line. The effect of these bands on corrosion resistance can be minimized by welding techniques that bury unmixed zones beneath the surface of the weldment.

When the wrong filler metal is used, pitting corrosion can readily occur in some environments. For example when the Type 316L base metal is welded with a lower-alloy filler metal (Type 308L).

### 8.3.1.5.2 Crevice corrosion

Defects such as residual welding flux and microfissures create weld metal crevices that are easily corroded, particularly in chloride-containing environments. Some flux formulations on coated shielded metal or arc strike electrodes produce easily detached slags, and others give slags that are difficult to remove completely even after gritblasting. Slags from rutile (titania-base) coatings are easily detached and give good bead shape. In contrast, slags from the basic-coated electrodes for out-of-position welding can be difficult to remove; small particles of slag may remain on the surface, providing an easy initiation site for crevice attack.

حتی اگر فلز پرکننده مناسبی به کار رود، در منطقه مخلوط نشده فلز جوش، حمله خوردگی حفره‌ای ترجیحی رخ خواهد داد. حرارت بالای جوشکاری، نوارهای ذوب شده از فلز پایه نزدیک خط ذوب، از خود باقی میگذارند. اثر این نوارها روی مقاومت فلز در برابر خوردگی را می‌توان، با روشهای جوشکاریی که مناطق مخلوط نشده را زیر سطح بهم جوشکاری شده می‌پوشاند، به حداقل کاهش داد.

وقتی از فلز پرکننده نامناسب استفاده شود خوردگی حفره‌ای در بعضی محیطها به آسانی اتفاق می‌افتد. برای مثال وقتی که فلز پایه نوع 316L با فلز پرکننده با آلیاژ کم نوع 308L جوش داده شود.

### ۸-۳-۱-۵-۲ خوردگی شیاری

معایبی چون پسماند سرباره جوشکاری و ریزترکها، شیاریهایی در فلز جوش را بویژه در محیطهای حاوی کلرید به وجود می‌آورند که به آسانی دچار خوردگی می-شوند. بعضی فرمول بندیهای روان‌ساز الکترودهای روپوش‌دار یا نا پیوستگی قوس به آسانی تولید سربارهٔ منفصل می‌کنند و سایر الکترودها، سرباره‌هایی ایجاد می‌کنند که حتی با ساچمه پاشی بسختی به طور کامل زدوده می‌شوند. سرباره‌های الکترودهای با روپوش رتیلی (با پایه تیتانیا) به سهولت جدا شده و خط جوشهای خوبی از خود باقی می‌گذارند. برعکس سرباره الکترودهایی با روپوش قلیایی، برای جوشکاری خارج از حالت به سختی زدوده می‌شوند و ذرات کوچک سرباره ممکن است روی سطح کار باقی بماند و جاهائی را برای ایجاد خوردگی شیاریی فراهم نماید.

Microfissures or their larger counterparts, hot cracks, also provide easy initiation sites for crevice attack, which will drastically reduce the corrosion resistance of a weldment. Microfissures are caused by thermal contraction stresses during weld solidification and are a problem that plagues austenitic stainless steel fabrications. These weld metal cracks are more likely to form when phosphorus and sulfur levels are higher (that is, more than 0.015% P and 0.015% S), with high heat input welding, and in austenitic weld metal in which the α-ferrite content is low (<3%).

ریزترکها و همتاهای درشت‌تر آنها، ترکهای داغ، نیز به آسانی جاهایی را برای شروع خوردگی شیاری ایجاد میکنند که به طور موثر مقاومت در برابر خوردگی قطعات جوش شده را کاهش میدهند. ریزترکها بر اثر تنشهای انقباضی حرارتی در طول انجماد جوش به وجود می‌آیند و مشکلی است که آفت ساخت قطعات فولاد زنگ نزن آستنیتی به شمار می‌آیند. این ترکها در فلز جوش هنگامی پدید می‌آیند که یا میزان فسفر و سولفور بالاست (یعنی بیش از ۰/۰۱۵ درصد فسفر و ۰/۰۱۵ درصد سولفور)، یا حرارت جوشکاری بالاست و یا فلز آستنیتی با مقدار کم فریت آلفا (کمتر از ۳ درصد) است.

Small-scale microfissures are often invisible to the naked eye, and their existence can readily explain the unexpectedly poor pitting performance of one of a group of weldments made with filler metals of apparently similar general composition.The microfissure provides a crevice, which is easily corroded because stainless alloys are more susceptible to crevice corrosion than to pitting. However, microfissure-crevice corrosion is often mistakenly interpreted as self-initiated pitting.

ریز ترکها در مقیاس کوچک اغلب با چشم غیرمسلح قابل مشاهده نیستند و وجودشان می‌تواند مقاومت ضعیف نسبت به خوردگی حفره‌ای غیر منتظره گروهی از قطعات جوشکاری شده با فلزات پرکننده را که ظاهراً ترکیبات مشابهی دارند به سادگی توضیح دهد. این ریزترکها باعث خوردگی شیاری میشوند چون آلیاژهای زنگ نزن در برابر خوردگی شیاری نسبت به خوردگی حفره‌ای بیشر آسیب پذیرند. بهرحال خوردگی شیاری ناشی از ریزترکها به اشتباه به صورت خوردگی حفره‌ای خود آغازگر تعبیر میشوند.

Crevice corrosion sites can also occur at the beginning or end of weld passes, between weld passes, or under weld spatter areas. Weld spatter is most troublesome when it is loose or poorly adherent.

خوردگی‌های شیاری می‌تواند در ابتدا یا انتها و یا میان پاس‌های جوش و یا زیرحوزه‌های جرقه‌های جوش اتفاق افتد. جرقه‌های جوش وقتی آزادند و یا چسبندگی ضعیفی دارند مشکل سازند.

Microfissure corrosion in austenitic stainless steel weldments containing 4 to 6% Mo is best avoided with the nickelbase Inconel 625, Inconel 112, or Avesta P12 filler metals, which are very resistant to crevice attack. Some stainless electrodes are suitable for welding 4% Mo steels, but they should be selected with low phosphorus and sulfur to avoid microfissure problems.

از خوردگی ریزترک‌ها در قطعات فولادی زنگ نزن آستنیتی جوشکاری شده حاوی ۴ تا ۶ درصد (Mo) مولیبدنیم با استفاده از اینکونل پایه نیکلی (Inconel)، اینکُونل ۱۱۲ و ۶۲۵ ، یا اوستا P12 (Avesta) که در برابر خوردگی شیاری خیلی مقاومند به خوبی جلوگیری به عمل می‌آید. بعضی از الکترودهای زنگ نزن برای جوشکاری فولاد ۴ درصد مولیبدنیم مناسب‌اند، ولی باید کم فسفر و سولفور باشند تا از بروز مشکلات ریز ترک‌ها اجتناب گردد.

Hot tap water is not thought to be particularly aggressive; however, it can damage a weld that contains a lack-of-fusion defect in the presence of chlorides. In this case, the base metal is Type 304 stainless steel, and the weld metal Type 308.

آب داغ درون لوله اگر چه بنظر نمی‌رسد (به صورت خاص) تهاجمی باشد، ولی وجود کلریدها می‌تواند به جوش با ذوب ناقص، صدمه بزند. در این مورد فلز پایه فولاد زنگ نزن، نوع 304 و فلز جوش، نوع 308 است.

**8.3.1.5.3 Carbide precipitation in the HAZ**

The best known weld-related corrosion problem in stainless steels is weld decay (sensitization) caused by carbide precipitation in the weld HAZ. Sensitization occurs in a zone subject to a critical thermal cycle in which chromium-rich carbides precipitate and in which chromium diffusion is much slower than that of carbon. The carbides are precipitated on grain boundaries that are consequently flanked by a thin chromium-depleted layer. This sensitized microstructure is much less corrosion resistant, because the chromium-depleted layer and the precipitate can be subject to preferential attack. Sensitization can be avoided by the use of low-carbon grades such as Type 316L (0.03% C Max.) in place of sensitization-susceptible Type 316 (0.08% C Max.). It is more common to use 0.05% C (Max.) steels, which are still reasonably resistant to sensitization, particularly if they contain molybdenum and nitrogen; these elements appear to raise the tolerable level of carbon and/or heat input. However, low-carbon stainless steels carry a small cost premium; therefore, they are not universally specified.

At higher solution temperatures, sensitized Type 304 and Type 316 are particularly susceptible to SCC-whether caused by chlorides, sulfur compounds or caustic. In many cases cracking occurs after HCl acid cleaning. Although the initial crack path may be intergranular, subsequent propagation can have the characteristic branched appearance of transgranular chloride SCC. Intergranular SCC caused by sulfur compounds can also occur during the acid cleaning of sensitized stainless steels.

**8.3.1.5.4 Corrosion associated with postweld cleaning**

Postweld cleaning is often specified to remove the heat-tinted metal formed during welding. Recent work has shown that cleaning by stainless steel wire brushing can lower the corrosion resistance of a stainless steel weldment. This is a particular problem in

**۸-۳-۱-۵-۳ رسوب کاربید در منطقه متأثر از حرارت**

مشهورترین شکل خوردگی مربوط به جوش فولاد زنگ نزن، پوسیدگی جوش در اثر رسوب گذاری کاربید در منطقه متأثر از حرارت است. حساس شدن در منطقه، تابع سیکل حرارتی بحرانی است که در آن کاربیدهای کروم دار رسوب میکنند که در این شرایط نفوذ کرم به مراتب آهسته‌تر از نفوذ کربن است. کاربیدها در مرزدانه‌ها رسوب کرده و در نتیجه با لایه‌ی فاقد کرم در مجاورت هم قرار میگیرند. این ریزساختار حساس به خوردگی، کمتر مقاوم است، زیرا لایه فاقد کروم و رسوب می‌تواند باعث حمله ترجیحی شود. با استفاده از آلیاژهایی با درجات کربن پایین مانند نوع 316L (حداکثر ۰/۰۳ درصد کربن) به جای نوع 316 (حداکثر ۰/۰۸ درصد ) می‌توان از حساسیت به خوردگی جلوگیری کرد. ولی استفاده از فولادهای حداکثر با ۰/۰۵ درصد کربن رایج‌تر و در برابر خوردگی به طور منطقی مقاومند. به ویژه اگر حاوی مولیبدنیم و نیتروژن باشند. این عناصر ظاهراً سطح تحمل کربن و ورودی حرارت را افزایش میدهند. بهر حال، فولادهای زنگ نزن با کربن پایین، هزینه زیادی در بر دارند، لذا از نظر کلی تائید نمی‌شود.

در درجه حرارت‌های انحلال بالاتر، آلیاژهای نوع 304 و 316 به خوردگی حساس میشوند، این امر خواه با کلریدها، ترکیبات سولفور یا سوزآور صورت پذیرد، در برابر ترک خوردگی تنشی (SCC) به ویژه آسیب پذیرند. در بسیاری موارد ترک اولیه بعد از استفاده از اسیدشویی با HC1 رخ میدهد. اگر چه ترک اولیه ممکن است بین دانه‌ای باشد، نفوذ و انتشار بعدی آن می‌تواند ظاهری شاخه‌وار از SCC کلرید درون دانه‌ای داشته باشد. SCC بین دانه‌ای ناشی از ترکیبات سولفور می‌تواند در حین تمیز کاری اسیدی فولاد زنگ نزن حساس شده نیز روی دهد.

**۸-۳-۱-۵-۴ خوردگی ناشی از تمیزکاری بعد از جوشکاری**

تمیزکاری بعد از جوش، اغلب برای زدودن فلز رنگ گرفته بر اثر حرارت در طول جوشکاری، تصریح شده است. اخیراً نشان داده شده است که تمیزکاری با برس سیمی از فولاد زنگ نزن، مقاومت در برابر خوردگی قطعات فولاد زنگ نزن بهم جوشکاری شده را کاهش

applications in which the base metal has marginal corrosion resistance. The effect may be caused by inadequate heat-tint removal, by the use of lower-alloy stainless steel brushes such as Type 410 or 304, or by the redeposition of abraded metal or oxides.

میدهد. در کاربردهائی که، برای فلز پایه با مقاومت در حد مرزی در برابر خوردگی دارند این مشکلی خاص است. این نقص ممکن است با زدودن رنگ با حرارت ناکافی، یا با برسهای فولادی زنگ نزن با آلیاژهای پایین مانند نوع 410 یا 304 و یا با رسوب‌گیری مجدد فلز سابیده یا اکسیدها ایجاد شود.

Any cleaning method may be impaired by contamination or by lack of control. Results of a study in plants suggest that pickling and glass bead blasting can be more effective than stainless wire brushing and that brushing is more difficult to perform effectively in this case.

هر روش تمیزکاری ممکن است همراه با آلودگی و یا فاقد کنترل باشد. نتایج بررسی اخیر در کارخانجات نشان میدهد که اسیدشوئی یا دمیدن خرده های شیشه، از برسهای زنگ نزن، که کارکردشان به طور موثر مشکل تر است، کار آمدتر خواهد بود.

**8.3.1.5.5 Corrosion associated with weld backing rings**

**۸-۳-۱-۵-۵ خوردگی ناشی از حلقه‌های پشت بند**

Backing rings are sometimes used when welding pipe. In corrosion applications, it is important that the backing ring insert be consumed during the welding process to avoid a crevice. In the example shown in Fig. 6, the wrong type of backing ring used, could leave a crevice after welding.

گاهی حلقه‌های پشت بند در جوشکاری لوله ها بکار می-رود. در کاربردهای خوردگی، در طول فرآیند جوشکاری برای اجتناب از ایجاد شیار، استفاده از حلقه پشت‌بند مهم است. در مثالی که در شکل ۶ نشان داده شده است استفاده از حلقه پشت بند نامناسب می تواند منجر به خوردگی شیاری بعد از جوشکاری شود.

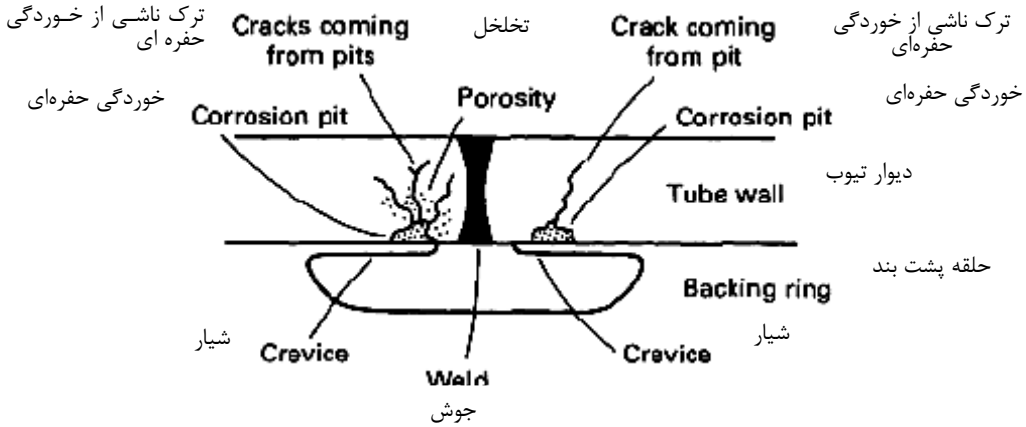



**Fig .6-SCHEMATIC OF A STAINLESS STEEL NITRATOR COOLING COIL WELD JOINT. FAILURE WAS CAUSED BY IMPROPER DESIGN OF THE BACKING RING, WHICH WAS NOT CONSUMED DURING WELDING AND LEFT A CREVICE**

**شکل ۶- شمایی از اتصال جوش فولاد زنگ نزن کویل خنک کننده نیتراتور. این نقص ناشی از طراحی نامناسب حلقه پشت بند بود که در طول جوشکاری از آن استفاده نشد و خوردگی شیاری به وجود آمد.**

The best solution to this problem was to eliminate the crevices, that is, not to use backing rings. For more information see A.3 (Appendix).

**8.3.1.6 Corrosion of ferritic stainless steel weldments**

Conventional 400-series ferritic stainless steels such as AISI Types 430,434, and 446 are susceptible to intergranular corrosion and to embrittlement in the as-welded condition. Corrosion in the weld area generally encompasses both the weld metal and weld HAZ. Early attempts to avoid some of these problems involved the use of austenitic stainless steel filler metals; however, failure by corrosion of the HAZ usually occurred even when exposure was to rather mild media for relatively short periods of time.

Fig. 7 shows an example of a saturator tank used to manufacture carbonated water at room temperature that failed by leakage through the weld HAZ of the type 430 base metal after being in service for only 2 months. This vessel, fabricated by welding with a Type 308 stainless steel welding electrode, was placed in service in the as-welded condition.

بهترین راه حل برای این مشکل یعنی برطرف کردن این خوردگی‌های شیاری، استفاده نکردن از حلقه‌های پشت بند بود. برای اطلاعات بیشتر به پیوست الف-۳ مراجعه شود.

**۸-۳-۱-۶ خوردگی قطعه جوشکاری شده فولاد زنگ نزن فریتی**

فولادهای زنگ نزن فریتی سری 400 معمولی، مانند AISI نوع 430، 434 و 446، در برابر خوردگی بین دانه‌ای و در برابر شکنندگی و تردی جوش بدون عملیات اضافی آسیب پذیرند. خوردگی در ناحیه جوش معمولاً هم فلز جوش و هم فلز منطقه متأثر از حرارت را در بر می‌گیرد. تلاشهای اولیه برای جلوگیری از این مشکلات، شامل استفاده از فلزات پرکن فولاد زنگ نزن آستنیتی است این حال خرابی خوردگی منطقه متأثر از حرارت حتّی هنگام قرار گرفتن در معرض محیط های نسبتاً ملایم و در مدت تقریباً کوتاه نیز اتفاق می‌افتد.

شکل ۷ نمونه‌ای از یک مخزن اشباع کننده را نشان میدهد که برای ساخت آب کربناته در درجه حرارت اتاق که در منطقه متأثر از حرارت جوش فلز پایه نوع 430 بعد از دو ماه کارکرد دچار نقص نشتی شده، بکار میرفت. این ظرف با جوشکاری با الکترود فولاد زنگ نزن نوع 308 ساخته شد و در وضعیت جوش بدون عملیات اضافی بکار گرفته شد.

**Fig. 7-AS-WELDED TYPE 430 STAINLESS STEEL SATURATOR TANK USED IN THE MANUFACTURE OF CARBONATED WATER THAT FAILED AFTER 2 MONTHS OF SERVICE. THE TANK WAS SHIELDED METAL ARC WELDED USING TYPE E308 STAINLESS STEEL FILLER METAL**

**شکل ۷- جوش بدون عملیات اضافی مخزن اشباع کننده فولاد زنگ نزن نوع 430 که برای ساخت آب کربناته بکار میرفت بعد از دو ماه کارکرد دچار نقص گردید. مخزن با الکترود قوسی روپوش دار، با استفاده از فلز پرکن فولاد زنگ نزن نوع E308، جوشکاری شده است**

To overcome some of earlier difficulties and to improve weldability, several of the standard grade ferritic stainless steels have been modified. For example, Type 405, containing nominally 11% Cr, is made with lower carbon and a small aluminum addition of 0.20% to restrict the formation of austenite at high temperature so that hardening is reduced during welding. For maximum ductility and corrosion resistance, however, postweld annealing is necessary. Recommendations for welding include either a 430- or a 309- type filler metal, the latter being used where increased weld ductility is desired.

برای غلبه به بعضی از مشکلات اولیه و بهبود بخشیدن به جوش پذیری، چند درجه استاندارد فولادهای زنگ نزن فریتی اصلاح شده است. برای مثال نوع 405 حاوی ۱۱ درصد کروم اسمی با کربن کمتر و با افزایش ۰/۲ درصد آلومینیوم ساخته شد تا از تشکیل آستینتی در دمای بالا محدود کند، به گونه‌ای که سخت شدن در طول جوشکاری کاهش یابد. برای حداکثر شکل پذیری و مقاومت در برابر خوردگی، عملیات حرارتی نرم کردن پس از جوشکاری ضروری است. توصیه هایی برای جوشکاری که شامل فلز جوش نوع 430 یا 309 میشود به عمل آمده . نوع 309 در جایی که شکل پذیری جوش مورد نظر باید افزایش یابد، به کار گرفته می شود.

**8.3.1.6.1 A new generation of ferritic stainless steels**

In the late 1960s and early 1970s, researchers recognized that the high chromium-molybdenum-iron ferritic stainless steels possessed a desirable combination of good mechanical properties and resistance to general corrosion, pitting, and SCC. These properties made them attractive alternatives to the austenitic stainless steels commonly plagued by chloride SCC.

It was reasoned that by controlling the interstitial elements (carbon, oxygen, and nitrogen) content of these new ferritic alloys, either by ultrahigh purity or by stabilization, the formation of martensite (as well as the need for preheat and postweld heat treatment) could be eliminated, with the result that the welds would be corrosion resistant, tough, and ductile in the as-welded condition. To achieve these results, electron beam vacuum refining, vacuum and argon-oxygen decarburization, and vacuum induction melting processes were used. From this beginning, two basic ferritic alloy systems evolved:

- **Ultrahigh purity:**
  The (C + N) interstitial content is less than 150 ppm.

- **Intermediate purity:**
  The (C + N) interstitial content exceeds 150 ppm.

Although not usually mentioned in the alloy chemistry specifications, oxygen and hydrogen are also harmful, and these levels must be carefully restricted. Table 5 lists the compositions of some ultrahigh purity, intermediate purity, and standard-grade ferritic stainless steels.

**۸-۳-۱-۶-۱ نسل جدید فولادهای زنگ نزن فریتی**

در اواخر دهه ۱۹۶۰ و اوایل دهه ۱۹۷۰ پژوهشگران دریافتند که فولادهای زنگ نزن فریتی پر کرم – مولیبدنیم – آهن دارای ترکیبی مطلوب از خواص مکانیکی و مقاومت در برابر خوردگی ، حفره ای شدن و SCC هستند. این خواص آنها را جایگزین مطلوبی برای فولادهای زنگ نزن آستینتی که معمولاً از SCC کلرید آسیب پذیرند، کرده است.

با این دلایل که با کنترل عناصر بین نشین (کربن، اکسیژن و نیتروژن) که در آلیاژهای فریتی جدید وجود دارند، خواه با خلوص بسیار و خواه با پایدارسازی می‌توان از تشکیل مارتنزیت و نیاز به پیش گرمی و عملیات حرارتی بعد از جوش جلوگیری کرد. در نتیجه جوشها در همان وضعیت جوش بدون عملیات اضافی مقاوم به خوردگی، چقرمه و نشکن خواهند بود. برای دستیابی به این نتایج از فرآیندهای پالایش در خلاء با پرتوالکترون، کربن زدایی با گاز آرگون و اکسیژن در خلاء و ذوب القایی در خلاء استفاده گردید. از آغاز دو آلیاژ فریتی به تدریج تحول یافت:

- **خلوص با درجه بسیار بالا:**
  میزان عناصر بین نشین (کربن + نیتروژن) کمتر از ۱۵۰ ppm .

- **خلوص با درجه متوسط:**
  میزان بین نشین (کربن + نیتروژن) بیشتر از ۱۵۰ ppm .

اگر چه در مشخصات فنی شیمیایی آلیاژ معمولاً اشاره‌ای نمی‌شود، اکسیژن و هیدروژن نیز زیان آورند و میزان آنها باید به دقت کنترل شود. در جدول ۵ صورتی از ترکیبات بعضی فولادهای زنگ نزن فریتی رده‌های با خلوص بسیار بالا و متوسط و استاندارد مندرج است.

**TABLE 5 - TYPICAL COMPOSITIONS OF SOME FERRITIC STAINLESS STEELS**
**جدول ۵- نمونه‌ای از ترکیبات بعضی فولادهای زنگ نزن فریتی**

| ALLOY آلیاژها | COMPOSITION, % ترکیب ، درصد | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | C(max) | Cr | Fe | Mo | N | Ni | OTHER |
| **Standard grades (AISI 400 series)** رده استاندارد | | | | | | | |
| **Types 405……** | 0.08 | 13 | **bal.** | ... | ... | ... | **0.2Al** |
| **Types 430……..** | 0.12 | 17 | **bal.** | ... | ... | ... | ... |
| **Type 430Ti…….** | 0.10 | 17 | **bal.** | ... | ... | ... | **Ti 6 × C min** |
| **Type 434…….** | 0.12 | 17 | **bal.** | 0.75 -125 | ... | ... | ... |
| **Type 446……** | 0.20 | 25 | **bal.** | ... | ... | ... | ... |
| Intermediate purity grades رده با خلوص متوسط | | | | | | | |
| 26-1 **Ti……..** | 0.02 | 26 | **bal.** | 1 | 0.025 | 0.25 | 0.5**Ti** |
| **AISI Type 444……** | 0.02 | 18 | **bal.** | 2 | 0.02 | 0.4 | 0.5**Ti** |
| **SEA-CURE……..** | 0.02 | 27.5 | **bal.** | 3,4 | 0.025 | 1.7 | 0.5**Ti** |
| **Monit…….** | 0.025 | 25 | **bal.** | 4 | 0.025 | 4 | 0.4**Ti** |
| Ultrahigh purity grades رده با خلوص بسیار بالا | | | | | | | |
| **E-Brite 26-1……..** | 0.002 | 26 | **bal.** | 1 | 0.01 | 0.1 | 0.1**Nb** |
| **AL 29-4-2…….** | 0.005 | 29 | **bal.** | 4 | 0.01 | 2 | ... |
| **SHOMAC 26-4……** | 0.003 | 26 | **bal.** | 4 | 0.005 | ... | ... |
| **SHOMAC 30-2……** | 0.003 | 30 | **bal.** | 2 | 0.007 | 0.18 | ... |
| **YUS 190L……** | 0.004 | 19 | **bal.** | 2 | 0.0085 | ... | 0.15**Nb** |

خواص منحصر به فرد جوش بدون عملیات اضافی، فولاد زنگ نزن فریتی جدید با دستیابی به میزان بسیار کم ناخالصی‌هایی چون کربن، نیتروژن، هیدروژن و اکسیژن، برای آلیاژهای تحت عنوان با بین نشین بسیار کم و برای آلیاژهای تحت عنوان با بین نشین متوسط، با دستیابی به توازن دقیق نیوبیم و یا تیتانیم، برای تناسب با میزان کربن، امکان‌پذیر شده است. به این دلایل، برای انتخاب دستورالعمل‌های جوشکاری جهت بهینه سازی گاز محافظ و پاکیزگی به منظور جلوگیری از دریافت کربن، نیتروژن، هیدروژن و اکسیژن هر دقتی که لازم است باید به عمل آید.

برای دستیابی به حداکثر مقاومت در برابر خوردگی و حداکثر چقرمگی و شکل‌پذیری معمولاً فرآیند جوشکاری GTA با فلز پرکننده، همخوان تعیین می‌شود. ولی از فلزات جوش پر آلیاژ متفاوت نیز به طور موفقیت‌آمیزی استفاده شده است. در این مورد انتخاب فلزات پرکننده متفاوت باید یکپارچگی سامانه فریتی فلز را تأمین کنند. صرفنظر از اینکه کدام یک از فولادهای زنگ نزن فریتی

The unique as-welded properties of the new ferritic stainless steels have been made possible by obtaining very low levels of impurities, including carbon, nitrogen, hydrogen, and oxygen, in the case of the alloys described as ultralow interstitials and by obtaining a careful balance of niobium and/or titanium to match the carbon content in the case of the alloys with intermediate levels of interstitials. For these reasons every precaution must be taken and welding procedures that optimize gas shielding and cleanliness must be selected to avoid pickup of carbon, nitrogen, hydrogen and oxygen.

To achieve maximum corrosion resistance, as well as maximum toughness and ductility, the GTA welding process with a matching filler metal is usually specified; however, dissimilar high-alloy weld metals have also been successfully used. In this case, the choice of dissimilar filler metal must ensure the integrity of the ferritic metal system. Regardless of which of the new generation of ferritic stainless

steels is to be welded, the following precautions are considered essential:

- First, the joint groove and adjacent surfaces must be thoroughly degreased with a solvent such as acetone that does not leave a residue. This will prevent pickup of impurities especially carbon before welding. The filler metal must also be handled carefully to prevent it from picking up impurities. Solvent cleaning is also recommended.

**Caution:**

Under certain conditions, when using solvents, a fire hazard or health hazard may exist.

- Second, a welding torch with a large nozzle inside diameter such as 19 mm (¾ inch) and a gas lens (inert gas calming screen) is necessary. Pure welding grade argon with a flow rate of 28 L/min (60 ft³/h) is required for this size nozzle. In addition the use of a trailing gas shield is beneficial especially when welding heavy-gage materials. Use of these devices will drastically limit the pickup of nitrogen and oxygen during welding. Back gas shielding with argon is also essential.

**Caution:**

Procedures for welding austenitic stainless steels often recommend the use of nitrogen backing gas. Nitrogen must not be used when welding ferritic stainless steels. Standard GTA welding procedures used to weld stainless steels are inadequate and therefore must be avoided.

- Third, overheating and embrittlement by excessive grain growth in the weld and HAZ should be avoided by minimizing heat input. In multipass welds, overheating and embrittlement should be avoided by keeping the interpass temperature below 95°C (200°F).

نسل جدید باید جوش داده شود، در نظر گرفتن احتیاطات زیر ضروری است:

- اول اینکه شیار اتصال و سطوح مجاور باید با حلالی مانند اَستُن کاملاً از چربی پاک شود به طوری که هیچ اثری از آن باقی نماند. قبل از جوشکاری، این عمل باعث جلوگیری از دریافت ناخالصی‌ها به ویژه کربن است. همچنین از فلز پرکننده به گونه‌ای باید نگهداری شود که از جذب ناخالصی‌ها جلوگیری بعمل آید. حلال تمیزکننده نیز توصیه می‌شود.

**احتیاط:**

تحت بعضی از شرایط استفاده از حلالها، مخاطرات آتش سوزی و سلامتی را در بر دارد.

- دوم اینکه مشعل جوشکاری با سرشلنگی بزرگ به قطر داخلی ۱۹ میلیمتر ($\frac{۳}{۴}$ اینچ) و عدسی گازی (شبکه آرام سازی گاز خنثی) ضروری است. آرگون خالص برای جوشکاری با نرخ جریان ۲۸ لیتر در دقیقه (۶۰ فوت مکعب در ساعت) برای این اندازه سرشلنگ مورد نیاز است. بعلاوه استفاده گاز محافظ پشتیبان، به ویژه هنگام جوشکاری مواد ضخیم سودمند خواهد بود. استفاده از این ابزار در طول جوشکاری شدیداً نفوذ نیتروژن و اکسیژن را محدود می‌کند. گاز محافظ پشتیبان با آرگون نیز ضروری است.

**احتیاط:**

دستورالعمل‌های جوشکاری فولادهای زنگ نزن آستنیتی اغلب استفاده از گاز پشتیبان نیتروژن را توصیه می‌نماید. نیتروژن در جوشکاری فولادهای زنگ نزن فریتی نباید مورد استفاده قرار گیرد. استاندارد دستورالعمل‌های جوشکاری GTA مورد استفاده برای جوش فولاد زنگ نزن کفایت نمی‌کند. نباید مورد استفاده قرار گیرد.

- سوم اینکه با کم کردن درجه حرارت باید از گرمایش بیش از حد و تردی ناشی از رشد بیش از اندازه دانه-ها در جوش و منطقه متأثر از حرارت جوش جلوگیری شود. در جوشهای چند پاسه، با ثابت نگه داشتن درجه حرارت زیر ۹۵ درجه سانتیگراد (۲۰۰ درجه فارنهایت) می‌توان از گرمایش بیش از حد و تردی پیشگیری کرد.

- Lastly, to avoid embrittlement further, pre-heating (except to remove moisture) or postweld heat treating should not be performed. Postweld heat treatment is used only with the conventional ferritic stainless alloys. Appendix A presenting an example illustrates the results of not following proper procedures.

**8.3.1.7 Corrosion of duplex stainless steel weldments**

In the wrought condition, duplex stainless steels have microstructures consisting of a fairly even balance of austenite and ferrite. The new generation of duplex alloys are now being produced with low carbon and a nitrogen addition. These alloys are useful because of their good resistance to chloride SCC, pitting corrosion, and intergranular corrosion in the as-welded condition. Nominal compositions of some duplex stainless steels are given in Table 6.

- سرانجام برای پیشگیری از تردی بعدی، پیش گرمی (به استثنای زدایش رطوبت) یا عملیات حرارتی بعد از جوشکاری نباید انجام شود. عملیات حرارتی پس از جوش فقط برای آلیاژهای زنگ نزن فریتی متداول باید اجرا گردد. پیوست الف نمونه‌ای از نتایج عدم اجرای دستورالعمل های مناسب را نشان میدهد.

**۸-۳-۱-۷ خوردگی قطعات جوشکاری شده از جنس فولاد زنگ نزن دوفازی**

فولادهای زنگ نزن دوفازی در شرایط کار شده دارای ریزساختاریی مرکب از توازن کاملاً مساوی استینت و فریت هستند. آلیاژهای دو فازی نسل جدید در حال حاضر با کربن کم و افزودن نیتروژن تولید میشوند. این آلیاژها به دلیل مقاومت خوبی که در برابر SCC ناشی از کلرید، خوردگی حفره‌ای و خوردگی بین دانه‌ای در وضعیت جوش بدون عملیات اضافی دارند، مفید هستند. ترکیبات اسمی بعضی از فولادهای زنگ نزن دو فازی در جدول ۶ مندرج است.

**TABLE 6 - COMPOSITIONS OF VARIOUS DUPLEX STAINLESS STEELS**

**جدول ۶- ترکیبات فولادهای زنگ نزن دو فازی گوناگون**

| UNS* No. سامانه شماره گذاری واحد | Typical alloy آلیاژهای معمولی | Composition, %[a] درصد ترکیب | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | C | Cr | Cu | Fe | Mn | Mo | Ni | N | Si | Others |
| | SAF 3RE60 | 0.03 max | 18.5 | ... | bal | 1.6 | 2.7 | 4.9 | 0.07 | 1.7 | ... |
| S32404 | Uranus 50 | 0.04 max | 21.5 | 1.5 | bal | 2.0 max | 2.5 | 7.0 | 0.1 | 1.0 max | ... |
| S31803 | Alloy 2205 | 0.03 max | 22 | ... | bal | 2.0 max | 3.0 | 5.5 | 0.15 | 1.0 max | ... |
| S32304 | SAF 2304 | 0.03 max | 23 | ... | bal | 2.5 max | 0.5 | 4.0 | 0.1 | 1.0 max | ... |
| S32900 | Type 329 SS | 0.2 max | 25.5 | ... | bal | 1.0 max | 1.5 | 3.75 | ... | 0.75 max | ... |
| S31100 | IN-744 | 0.05 max | 26 | ... | bal | 1.0 max | ... | 6.5 | ... | 0.6 max | ... |
| S31200 | 44LN | 0.03 max | 25 | ... | bal | 2.0 max | 3.0 | 6.5 | 0.17 | 1.0 max | ... |
| S32950 | 7Mo-Plus | 0.03 max | 27.5 | ... | bal | 2.0 max | 1.8 | 4.4 | 0.25 | 0.6 max | ... |
| S31260 | DP-3 | 0.3 max | 25 | 0.5 | bal | 1.0 max | 3.0 | 6.5 | 0.2 | 0.75 max | 0.3W |
| S32250 | Ferralium alloy 255 | 0.04 max | 25.5 | 1.7 | bal | 1.5 max | 3.0 | 5.5 | 0.17 | 1.0 max | ... |

**(a)** Nominal unless otherwise indicated.

**(الف)** درصد اسمی، مگر اینکه به گونه‌ای دیگر تعریف شده باشد.

*** UNS :** Unified Numbering System.

*** UNS:** سامانه شماره گذاری واحد.

The distribution of austenite and ferrite in the weld and HAZ is known to affect the corrosion properties and the mechanical properties of duplex stainless steels. To achieve this balance in properties, it is essential that both base metal and weld metal be of the proper composition. For example, without nickel enrichment in the filler rod, welds can be produced with ferrite levels in excess of 80%. Such microstructures have very poor ductility and inferior corrosion resistance. For this reason, autogenous welding (without the addition of filler metal) is not

توزیع آستنیت و فریت در جوش و منطقه متأثر از حرارت، روی خواص خوردگی و خواص مکانیکی فولادهای زنگ نزن دو فازی، موثرند. برای دستیابی به توازن این خواص، لازم است فلز پایه و فلز جوش دارای ترکیبی مناسب باشند. برای مثال، جوش‌ها را می‌توان با فریت بیش از ۸۰ درصد، بدون غنی سازی نیکل سیم جوش، تولید کرد. چنین ریزساختارهایی، دارای کمترین شکل پذیری و کمترین مقاومت خوردگی خواهند بود. به همین دلیل جوشکاری خودگیر (بدون افزودن فلز

recommended unless postweld solution annealing is performed which is not always practical. To achieve a balanced weld microstructure, a low carbon content and the addition of nitrogen (with Alloy 2205 at least 0.12% N) shall be specified for the base metal. Low carbon helps to minimize the effects of sensitization, and the nitrogen slows the precipitation kinetics associated with the segregation of chromium and molybdenum during the welding operation. Nitrogen also enhances the reformation of austenite in the HAZ and weld metal during cooling.

پرکننده) توصیه نمی‌شود، مگر اینکه نرم کردن انحلالی پس از جوش انجام گیرد، که همیشه عملی نخواهد بود. برای دستیابی به یک ریزساختار متوازن جوش، فلز پایه با محتوای کربن کم و افزودن نیتروژن (با آلیاژ 2205 با حداقل ۰/۱۲ درصد ازت) باید در نظر گرفته شود. کربن کم در به حداقل رساندن اثرات حساس شدن کمک می-کند و نیتروژن هم سرعت رسوب‌دهی همراه با جداسازی کرم و مولبیدنیم را در طول جوشکاری، کُند میسازد. وجود نیتروژن، در طول فرآیند سرد کنندگی، اصلاح آستنیت را در منطقه متأثر از حرارت و فلز پایه، تقویت می‌کند.

These duplex alloys have been used in Europe for many years; therefore, guidelines relating to austenite-ferrite phase distribution are available. It has been shown that to ensure resistance to chloride SCC welds shall contain at least 25% ferrite. To maintain a good phase balance for corrosion resistance and mechanical properties (especially ductility and notch toughness) comparable to the base metal, the average ferrite content of the weld shall not exceed 60%. This means using welding techniques that minimize weld dilution, especially in the root pass. Conditions that encourage mixing of the lower-nickel base metal with the weld metal reduce the overall nickel content. Weld metal with a lower nickel content will have a higher ferrite content with reduced mechanical and corrosion properties.

این آلیاژهای دو فازی سالها در اروپا استفاده می‌شد، لذا راهکارهای مربوط به توزیع فاز آستنیت- فریت در دسترس است. نشان داده شده است که برای اطمینان از مقاومت در برابر SCC ناشی از کلرید، جوشها باید دارای حداقل ۲۵٪ فریت باشند. برقراری و حفظ توازن کارآمد برای مقاومت در برابر خوردگی و خواص مکانیکی (به ویژه شکل پذیری نه چقرمگی) در مقایسه با فلز پایه متوسط فریت محتوای جوش نباید از ۶۰ درصد تجاوز کند. این بدین معناست که استفاده از روشهای جوشکاری ، رقیق شدن جوش را، به ویژه در پاس ریشه به حداقل می‌رساند. شرایطی که آمیختگی فلز پایه با نیکل کم را با فلز جوش ترغیب میکند، محتوای نیکل را به طور کلی کاهش میدهد. فلز جوش کم نیکل دارای فریت بیشتری بوده که در نتیجه باعث کاهش خواص خوردگی و مکانیکی آن می‌شود.

Once duplex base metal and welding consumables have been selected, it is then necessary to select joint designs and weld parameters that will produce welding heat inputs and cooling rates so as to produce a favorable balance of austenite and ferrite in the weld and HAZ.

هر گاه فلز پایه دو فازی و مواد مصرفی جوشکاری انتخاب شدند، انتخاب طرح‌های اتصال و پارامترهای جوش که حرارت ورودی جوشکاری و میزان سردکنندگی را به منظور ایجاد توازنی مطلوب از آستنیت و فریت در جوش و HAZ فراهم می‌کنند، ضروری است.

Researchers have shown that the high-ferrite microstructures that develop during welding in lean (low-nickel) base metal and weld metal compositions can be altered by adjusting welding heat input and cooling rate. In these cases, a higher heat input that produces a slower cooling rate can be used to advantage by allowing more time for ferrite to transform to austenite. There are, however, some practical aspects to consider before applying

پژوهشگران نشان داده‌اند ریز ساختارهایی با فریت بالا که در حین جوشکاری در فلز پایه کم نیکل و ترکیبات فلز جوش به وجود می‌آید، می‌توانند با تنظیم حرارت ورودی جوشکاری و میزان سردکنندگی، تغییر نمایند. در این موارد، اگر حرارت ورودی بالاتر، که میزان سردکنندگی را آهسته‌تر می‌کند، بکار گرفته شود تا زمان بیشتری را برای انتقال فریت به آستنیت فراهم نماید،

higher heat inputs indiscriminately. For example, as heat input is increased, base metal dilution increases. As the amount of lower-nickel base metal in the weld increases, the overall nickel content of the deposit decreases: this increases the potential for more ferrite, with a resultant loss in impact toughness, ductility, and corrosion resistance. This would be another case for using an enriched filler metal containing more nickel than the base metal. Grain growth and the formation of embrittling phases are two other negative effects of high heat inputs. When there is uncertainty regarding the effect that welding conditions will have on corrosion performance and mechanical properties, a corrosion test is advisable.

The influence of different welding conditions on various material properties of Alloy 2205 has been studied. See Appendix A (A.5).

**8.3.1.8 Corrosion of nickel and high-nickel alloy weldments**

The corrosion resistance of weldments is related to the microstructural and microchemical changes resulting from thermal cycling. The effects of welding on the corrosion resistance of nickel-base alloys are similar to the effects on the corrosion resistance of austenitic stainless steels. For example, sensitization due to carbide precipitation in the HAZ is a potential problem in both classes of alloys. However, in the case of nickel-base alloys, the high content of such alloying elements as chromium, molybdenum, tungsten, and niobium can result in the precipitation of other intermetallic phases, such as μ, $\sigma$, and $\eta$.

The characteristics of the various nickel-base alloys and the evolution of these alloys are discussed in A.6 (see Appendix). The corrosion resistance of weldments is dictated not only by the HAZ but also by the weld metal itself. The effect of elemental segregation on weld metal corrosion must also be examined. The nickel-base alloys discussed in Appendix A.6 are the solid-solution alloys.

می‌تواند سودمند واقع شود. با این حال، بعضی جنبه‌های عملی وجود دارند که قبل از متمایز کردن کاربرد حرارت بالای ورودی، باید لحاظ گردد. برای مثال زمانی که حرارت ورودی افزایش می‌یابد، رقیق شدن فلز پایه هم افزایش می یابد: این امر باعث افزایش پتانسیل فریت بیشتر خواهد شد. با این نتیجه که کاهش در چقرمگی، شکل پذیری و مقاومت در برابر خوردگی حاصل خواهد شد. این مثالی است برای استفاده فلز پرکننده غنی شده حاوی نیکل که نسبت آن به فلز پایه بیشتر است. رشد دانه‌ها و تشکیل فازهای ترد دو اثر منفی دیگری از حرارت ورودی بالاست. هنگامی که عدم اطمینان راجع به اثرات شرایط جوشکاری روی عملکرد خوردگی وجود دارد، آزمون خوردگی توصیه می‌شود.

تأثیر شرایط مختلف جوشکاری روی خواص مواد مختلف آلیاژ 2205 مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. به پیوست الف (الف -۵) مراجعه شود.

**۸-۳-۱-۸ خوردگی قطعات جوشکاری شده از آلیاژهای نیکل و پر نیکل**

مقاومت در برابر خوردگی قطعات جوشکاری شده بستگی به ریزساختار و تغییرات میکروشیمیایی که ناشی از سیکل حرارتی است، دارد. اثرات جوشکاری روی مقاومت در برابر خوردگی آلیاژهایی با پایه نیکل، مشابه اثراتی است که روی مقاومت در برابر خوردگی فولادهای زنگ نزن آستنیتی دارد. برای مثال حساس شدن به واسطه رسوب کاربید در HAZ یک مشکل بالقوه در هر دو طبقه آلیاژهای فوق است. بهر روی در آلیاژهایی با پایه نیکل، میزان بالای عناصر آلیاژی، مانند کروم، مولیبدنیم، تنگستن و نیوبیم می‌تواند منتج به رسوب فازهای دیگر بین فلزی مانند فاز مو (μ)، فاز زیگما ($\sigma$) و فاز اِتا ($\eta$) باشد.

مشخصات آلیاژهای نیکلی مختلف و تحول آنها در پیوست الف- ۶ مورد بحث قرار گرفته است. مقاومت در برابر خوردگی قطعات جوشکاری شده نه تنها به منطقه متاثر از حرارت جوش بستگی دارد بلکه به خود فلزجوش نیز وابسته است و اثر جدایش عنصری روی خوردگی فلز جوش باید مورد آزمون قرار گیرد. آلیاژهایی با پایه نیکل در پیوست الف- ۶ آلیاژهای محلول- جامد هستند.

**8.3.1.9 Corrosion of aluminum alloy weldments**

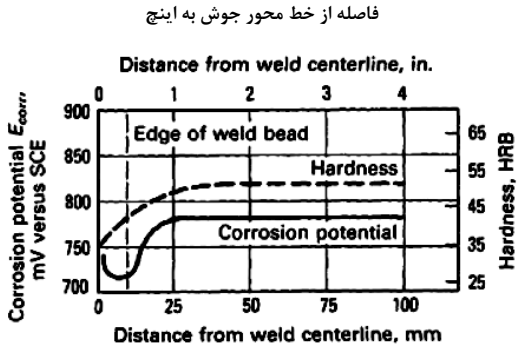
**8.3.1.9.1** Variations in microstructure across the weld and HAZ of aluminum weldments are known to produce susceptibility to corrosion in certain environments. These differences can be measured electrochemically and are an indication of the type of corrosion behavior that might be expected. Although some aluminum alloys can be autogenously welded, the use of a filler metal is preferred to avoid cracking during welding and to optimize corrosion resistance.

**8.3.1.9.2** The variations in corrosion potential (equilibrium potential) across three welds are shown in Fig. 8 for Alloys 5456, 2219 and 7039. These differences can lead to localized corrosion. In general, the welding procedure that puts the least amount of heat into the metal has the least influence on microstructure and the least chance of reducing the corrosion behavior of aluminum weldments.

**۸-۳-۱-۹ خوردگی قطعات جوشکاری شده از آلیاژ آلومینیوم**

**۸-۳-۱-۹-۱** دگرگونیهای ریزساختار در سراسر جوش و منطقه متاثر از حرارت جوش HAZ قطعات جوشکاری شده آلومینیم، موجب آسیب پذیری در برابر خوردگی در محیطهای مشخص می‌شود. این تفاوتها به لحاظ الکتروشیمیایی می‌تواند مورد ارزیابی قرار گیرد و نشانه-هایی از رفتار خوردگی است که باید انتظار آنرا داشت. اگرچه بعضی آلیاژهای آلومینیم را می‌توان به طور خودگیر جوش داد، اما استفاده از فلز پرکننده برای پیشگیری از ترک خوردگی در طول جوشکاری و به حداکثر رساندن مقاومت در برابر خوردگی، برتری دارد.

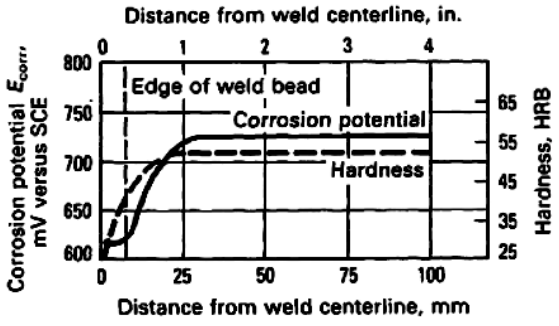
**۸-۳-۱-۹-۲** این دگرگونیها در پتانسیل خوردگی (پتانسیل تعادلی) در سراسر سه جوش در تصویر شماره ۸ برای آلیاژهای 5456، 2219 و 7039 نشان داده شده . این تفاوتها می‌تواند باعث خوردگی موضعی گردد. بطور کلی دستورالعمل جوشکاریی که کمترین مقدار حرارت را در داخل جوش از خود باقی می گذارد، کمترین تأثیر روی ریزساختارها و کمترین تغییر در کاهش رفتار خوردگی قطعات جوشکاری شده را آلومینیوم دارد.




**(a) Alloy 5456-H321 base metal with Alloy 5556 filler, 3-pass metal inert gas weld**

**(الف) آلیاژ** 5456-H321 **فلز پایه با آلیاژ** 5556 **پرکننده، فلز با گاز محافظ خنثی جوش ۳- پاسه**

فاصله از خط محور جوش به اینچ

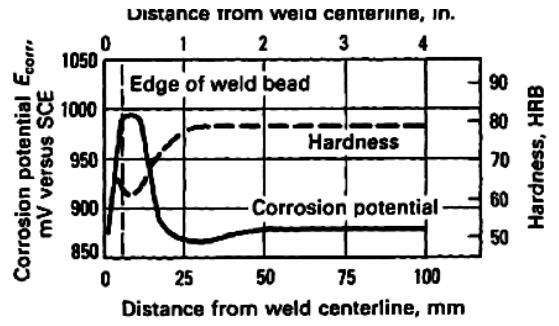



فاصله از خط محور جوش به میلیمتر

**(b) Alloy 2219-T87 base metal with Alloy 2319 filler, 2-pass tungsten inert gas weld**

**(ب) آلیاژ 2219-T87 فلز پایه با آلیاژ 2319 پرکننده، تنگستن با گاز خنثی جوش ۲-پاسه**

فاصله از خط محور جوش به اینچ




فاصله از خط محور جوش به میلیمتر

**(c) Alloy 7039-T651 base metal with Alloy 5183 filler; 2-pass tungsten inert gas weld**

**(ج) آلیاژ 7039-T651 فلز پایه یا آلیاژ 5138 پرکننده، تنگستن با گاز خنثی جوش ۲-پاسه**

**Fig. 8-EFFECT OF THE HEAT OF WELDING ON MICROSTRUCTURE, HARDNESS, AND CORROSION POTENTIAL OF WELDED ASSEMBLIES OF THREE ALUMINUM ALLOYS. THE DIFFERENCES IN CORROSION POTENTIAL BETWEEN THE HAZ AND THE BASE METAL CAN LEAD TO SELECTIVE CORROSION**

**شکل ۸- اثر حرارت جوشکاری روی ریزساختار، سختی و پتانسیل خوردگی مجموعه جوشکاری شده با سه آلیاژ آلومینیوم. تفاوتهایی در پتانسیل خوردگی بین HAZ و فلز پایه، می‌تواند به خوردگی انتخابی منتهی شود**

**8.3.1.9.3** Tables are available in American Society for metal, (1984, Page 283) that summarize filler alloy selection recommended for welding various combinations of base metal alloys to obtain maximum properties, including corrosion resistance. Care must be taken not to extrapolate the corrosion performance ratings indiscriminately. Corrosion behavior ratings generally pertain only to the particular environment tested, usually rated in continuous or alternate immersion in fresh or salt water. For example, the highest corrosion rating (A) is listed for use of filler Alloy 4043 to join 3003 Alloy to 6061 alloy. In strong (99%) nitric acid ($HNO_3$) service, however, a weldment made with 4043 filler alloy would experience more rapid attack than a weldment made using 5556 filler metal. With certain alloys, particularly those of the heat-treatable 7xxx series thermal treatment after welding is sometimes used to obtain maximum corrosion resistance (Fig. 9).

**۸-۳-۱-۹-۳** جداولی در انجمن فلزات آمریکا (۱۹۸۴ صفحه ۲۸۳) وجود دارد که به اختصار انتخاب آلیاژ پرکننده را برای جوشکاری آلیاژهای پایه با ترکیبات مختلف برای کسب حداکثر مشخصات بانضمام مقاومت در برابر خوردگی، توصیه کرده است. باید دقت شود که نباید بطور نامشخص درجات نحوه کارکرد خوردگی را برون یابی کرد، زیرا درجات خوردگی معمولاً فقط مربوط به محیط‌های خاص هستند که مورد آزمون قرار میگیرند و معمولاً در غوطه‌وری مدام یا متغیر در آب شیرین و نمک‌دار اندازه‌گیری می‌شود. برای مثال برای بالاترین درجه خوردگی (الف) برای استفاده از آلیاژ 4043 به عنوان پرکننده برای اتصال آلیاژ 3003 به آلیاژ 6061 تهیه شده است. با این حال در کاربری در اسید نیتریک قوی (۹۹٪) ($HNO_3$)، یک قطعه جوشکاری شده با فلز پرکننده با آلیاژ 4043 حمله خوردگی سریعتری نسبت به قطعه جوشکاری شده از فلز پرکننده با آلیاژ 5556 خواهد داشت. بعضی آلیاژها، به ویژه آلیاژ هایی با عملیات حرارت پذیری سری‌های 7xxx، بعد از جوشکاری، بعضی مواقع برای دستیابی به حداکثر مقاومت در برابر خوردگی مورد عملیات حرارتی قرار می‌گیرند (شکل ۹).

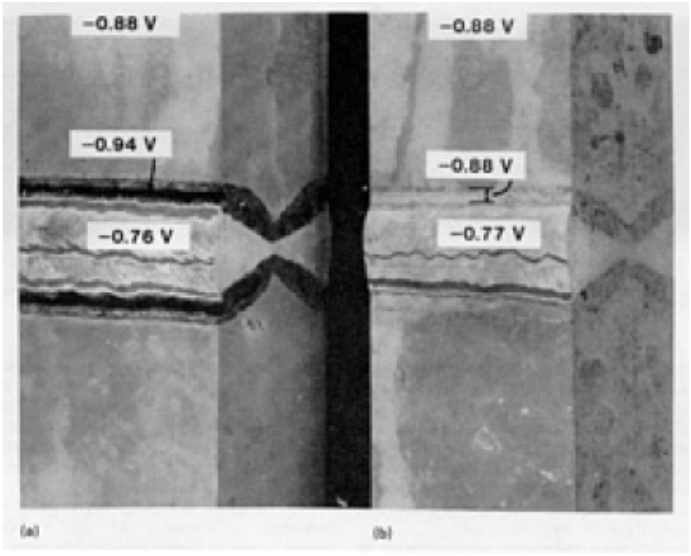



**Fig. 9-WELDED ASSEMBLIES OF ALUMINUM ALLOY 7005 WITH ALLOY 5356 FILLER METAL AFTER A 1-YEAR EXPOSURE TO SEAWATER**

**شکل ۹- مجموعه جوش شده بدون عملیات اضافی با آلیاژ آلومینیوم 7005 با آلیاژ 5356 فلز پرکننده بعد از یک سال در معرض آب دریا قرار گرفتن**

**a)** As-welded assembly shows severe localized corrosion in the HAZ

**الف)** مجموعه جوش بدون عملیات اضافی، خوردگی شدید موضعی را در منطقه متاثر از جوش نشان میدهد.

**b)** Specimen showing the beneficial effects of postweld aging. Corrosion potentials of different areas of the weldments are shown where they were measured. Electrochemical measurements performed in 53 g/l NaCl Plus 3 g/l $H_2O_2$ versus a 0.1 calomel reference electrode and recalculated to a saturated calomel electrode (SCE).

**ب)** نمونه نشان دهنده اثرات سودمند پیرسازی بعد از جوشکاری است پتانسیل خوردگی جاهای مختلف قطعات جوشکاری شده که مورد ارزیابی واقع شده‌اند، نشان داده شده است. اندازه‌گیریها به طریق الکتروشیمیایی در ۵۳ گرم در لیتر کلرور سدیم (NaCL) به اضافه ۳ گرم آب اکسیژنه ($H_2O_2$) در لیتر در مقایسه با الکترود مرجع ۰/۱ کالومل انجام شده است و بر مبنای الکترود کالومل اشباع (SCE) مجدداً محاسبه شده است.

**8.3.1.9.4** As with many other alloy systems, attention must be given to the threat of crevice corrosion under certain conditions. Strong (99%) $HNO_3$ is particularly aggressive toward weldments that are not made with full weld penetration.

**۸-۳-۱-۹-۴** مانند سایر آلیاژها، می‌بایست به تهدید خوردگی شیاری در شرایط خاص توجه شود. اسید نیتریک ۹۹ درصد قوی ($HNO_3$) خصوصاً به قطعاتی که با نفوذ کامل جوش، جوشکاری نشده باشند، به شدت حمله می‌کند.

**8.3.1.10 Corrosion of tantalum and tantalum alloy weldments**

Examination of equipment fabricated from tantalum that has been used in a wide variety of service conditions and environments generally shows that the weld. Haz, and base metal display equal resistance to corrosion.

**۸-۳-۱-۱۰ خوردگی قطعات جوشکاری شده تانتالیم و آلیاژ تانتالیم**

آزمون تجهیزات ساخته شده از تانتالیم که در محدوده گسترده‌ای از شرایط کاری و محیط‌های مختلف مورد استفاده واقع شدند عموماً نشان میدهند که جوش، Haz و فلز پایه مقاومت یکسانی در برابر خوردگی از خود بروز می‌دهند.

This same resistance has also been demonstrated in laboratory corrosion tests conducted in a number of different acids and other environments. However, in applications for tantalum-lined equipment,contamination of the tantalum with iron from underlying backing material, usually carbon steel, can severely impair the corrosion resistance of tantalum. About the only known reagents that rapidly attack tantalum are fluorine; HF and acidic solutions containing fluoride; fuming sulfuric acid ($H_2SO_4$) (oleum), which contains free sulfur trioxide ($SO_3$); and alkaline solutions.

این مقاومت یکسان با انجام آزمون خوردگی در آزمایشگاه در محیط تعدادی از اسیدها و دیگر محیط‌های مختلف نیز نشان داده شده است. با این حال در کاربردهای تجهیزاتی با روکش تانتالیم، آلودگی تانتالیم به آهن، که از لایه زیرین آن که معمولاً فولاد کربنی است ناشی میشود، می‌تواند به مقاومت تانتالم در برابر خوردگی آسیب جدی بزند. تنها مُعَرِف‌های شناخته شده‌ای که به سرعت تانتالم را مورد حمله خوردگی قرار میدهند عبارتند از: فلوئور، هیدروفلوریک اسید و محلولهای اسیدی حاوی فلورید، اسید سولفوریک دود کننده ($H_2SO_4$) به نام الئوم (Oleum) حاوی تری اکسید گوگرد ($SO_3$) و محلولهای قلیایی.

An exception to the generalization that base metal and weldments in tantalum show the same corrosion resistance under aggressive

یک استثناء برای قاعده کلی همسان بودن مقاومت خوردگی قطعات جوشکاری شده و فلز پایه تانتالم در

media is discussed in the following example. Because tantalum is a reactive metal, the pickup of interstitial elements, such as oxygen, nitrogen, hydrogen and carbon, during welding can have a damaging effect on a refractory metal such as tantalum.

**8.3.1.10.1 Preferential pitting of a tantalum alloy weldment in $H_2SO_4$ service**

A 76-mm (3-inch) diameter tantalum alloy tee removed from the bottom of an $H_2SO_4$ absorber that visually showed areas of severe etching attack was examined. The absorber had operated over a period of several months, during which time about 11 400 kg (25000 lb) of $H_2SO_4$ was handled. The absorber was operated at 60°C (140°F) with nominally 98% $H_2SO_4$. There was a possibility that some of the $H_2SO_4$ fed into the process stream may have been essentially anhydrous or even in the oleum range. Oleum is known to attack tantalum very laoidly at temperatures only slightly higher than 60°C (140°F). In addition, the $H_2SO_4$ effluent was found to contain up to 5 ppm of fluoride.

**8.3.1.10.2 Oxygen tolerance of tantalum weldments**

Tantalum reacts with oxygen, nitrogen, and hydrogen at elevated temperatures. The absorption of these interstitial elements, often called a gettering reaction, produces a sharp reduction in ductility and can cause embrittlement. This impairment in ductility (and also in notch toughness, as manifested by an increase in ductile-to-brittle transition temperature) can be considered a form of corrosion. The other Group Vb refractory metals (niobium and vanadium) and the Group IVb reactive metals (titanium, zirconium, and hafnium) can also suffer similar attack.

An investigation was conducted to determine the approximate tolerances of tantalum and Tantaloy "63" weldments for oxygen contamination that may be permitted during

شرایط بسیار خورنده در مثال زیر شرح داده شده است. چون تانتالم یک فلز فعال است. تجمع عناصر درون شبکه‌ای مانند اکسیژن، نیتروژن، هیدروژن و کربن که در طول جوشکاری جذب میشوند، می‌توانند اثرات زیانباری روی فلز دیرگدازی چون تانتالم داشته باشند.

**۸-۳-۱-۱۰-۱ خوردگی حفره‌ای ترجیحی یک قطعه جوشکاری شده تانتالم و آلیاژ تانتالم با کارکردن در اسید سولفوریک ($H_2SO_4$)**

یک لوله سه راهی از آلیاژ تانتالیم به قطر ۷۶ میلیمتر (۳ اینچ) که از کف دستگاه جذب کننده اسیدسولفوریک ($H_2SO_4$) که خوردگی شدید حکاکی بر روی آن با چشم قابل مشاهده بود برداشته شد و مورد آزمایش قرار گرفت، به لحاظ ظاهر حوزه‌هایی از خوردگی ناشی از حکاکی را نشان می‌داد. این دستگاه در یک دوره چند ماهه که طی آن با ۱۱۴۰۰ کیلوگرم (۲۵۰۰۰ پوند) اسیدسولفوریک سروکار داشته بود مورد بهره‌برداری قرار گرفته بود. این برج جذب کننده در ۶۰ درجه سانتیگراد (۱۴۰ درجه فارنهایت) با اسید سولفوریک بطور اسمی ۹۸ درصد اسمی کار می‌کرد. امکان این که بخشی از اسید سولفوریک ورودی به فرآیند خشک و بدون آب بوده و یا در حد الئوم باشد وجود داشت. الئوم به حمله شدید به تانتالیوم در دماهای فقط اندکی بیش از ۶۰ درجه سانتیگراد(۱۴۰ درجه فارنهایت) شناخته شده است. بعلاوه پسآب اسیدسولفوریک تا ppm ۵ حاوی فلوئور بود.

**۸-۳-۱-۱۰-۲ رواداری اکسیژن در قطعات جوشکاری شده تانتالُم**

تانتالُم در دمای بالا، با اکسیژن، نیتروژن و هیدروژن واکنش نشان میدهد. جذب این عناصر درون شبکه‌ای که اغلب واکنش گاز ربائی نامیده می‌شود، باعث کاهش شدید شکل پذیری و در نتیجه تردی می‌گردد. این کاهش در شکل پذیری (و نیز در آزمون چقرمگی فاق که به صورت افزایش دما از گذار شکل پذیر به ترد ظاهر می‌شود) نوعی خوردگی به شمار می‌آید. سایر فلزات سخت گروه Vb (نیوبیم و وانادیم) و فلزات واکنش پذیر گروه IVb (تیتانیم، زیرکونیم و هافنیم) در برابر این خوردگی نیز آسیب پذیرند.

پژوهشی برای تعیین رواداریهای تقریبی قطعات جوشکاری شده تانتالُم و تانتالی "63" از نظر مقدار اکسیژنی که ممکن است در طول ساخت و بهره‌برداری مجاز باشد انجام شده بود، این قطعات در معرض مقادیر

مختلف اکسیژن که از طریق آندی کردن یا اکسیداسیون در هوا اضافه می‌شده، قرار گرفته بودند. به دنبال فرآیند با عملیات نرم کردن در خلاء برای منتشر کردن اکسیژن در سطح مقطع نمونه انجام میشد. غلظت اکسیژن عمدتاً با آزمون‌های سختی سنجی پایش می‌گردید. عموماً اعتقاد بر این است که سختی نسبت به تجزیه شیمیایی، نشانگر بهتری برای وجود عناصر درون شبکه‌ای نسبت به تجزیه شیمیایی است، که تابع پراکندگی و عدم دقت به دلیل مشکلات نمونه برداری است. آزمونهای خمشی (در دماهای اتاق و آرگون مایع) و آزمون شکل‌پذیری فنجان اُل سِن (Olsen Cup test) در دمای اتاق برای تعیین میزان سختی که در آن مواد ترد و شکننده می‌شوند، به عمل آمد.

fabrication or subsequent service. Weldments of the materials were doped with various amounts of oxygen added either by anodizing or by oxidation in air. This was followed by vacuum annealing treatments to diffuse the oxygen through the sample cross section. The oxygen concentration was monitored principally by hardness tests. Hardness is generally believed to be a better indicator of the extent of interstitial contamination than chemical analysis, which is subject to scatter and inaccuracy because of sampling difficulty. Bend tests (at room and liquid argon temperatures) and room-temperature Olsen cup formability tests were conducted to determine the hardness levels at which the materials embrittled.

نتایج حاصله نشان داد قطعات جوشکاری شده هر دو ماده، وقتی با اکسیژن بعنوان عنصر بین نشین توسط اکسیژن تا (30T) در ۸۰ ثانیه، تحت آزمون سختی راکول قرار گیرند، نرم و انعطاف پذیر باقی خواهند ماند. بالاتر از این میزان سختی، انتظار می‌رود تردی و یا شکنندگی اتفاق افتد. میزان سختی که در آن شکنندگی رخ می‌دهد تا حد زیادتر از حداکثر سختی مجاز 65 HR30T مشخص شده برای تانتالوی "63" یا 50 HR30T مشخص شده برای محصولات رول شده تانتالوم است. بنابراین اگر مقدار مواد درون شبکه‌ای توسط اکسیژن (یا نیتروژن) چنان کنترل شود که سختی مجاز از محدوده حداکثر رواداری تجاوز نکند، شکنندگی یا تردی در قطعات جوشکاری شده اتفاق نخواهد افتاد.

The results showed that weldments of both materials remain ductile when hardened by interstitial contamination by oxygen up to Rockwell 30T hardness in the low 80s. Above this hardness, embrittlement may be expected. The hardness level at which embrittlement occurs is substantially above the typical maximum allowable hardness of 65 HR30T specified for Tantaloy "63" or the 50 HR30T for tantalum flat mill products. Thus, if the extent of interstitial contamination by oxygen (and/or nitrogen) is controlled so that these maximum allowable hardness limits are not exceeded, embrittlement of weldments should not occur.

براساس ترکیب شیمیایی، حداکثر رواداری اکسیژن برای قطعات جوشکاری شده تانتالُم از ۴۰۰ تا ppm ۵۵۰ و برای تانتالُی "63" در حد ppm ۳۵۰ تا ۵۰۰ می‌باشد. اگر چه تانتالُم تجاری خالص تا حدی بیشتر رواداری برای اکسیژن (و کل مواد بین نشین) نسبت به تانتالُی "63" نشان می-دهد. ولی تانتالُی "63" ظاهراً تا حدی مقاومت بهتری در برابر اکسیداسیون دارد. این موضوع مزیت تانتالوم در رابطه با رواداری بیشتر اکسیژن را جبران می‌کند. باید تأکید بیشتری شود که این نتایج براساس این فرض است که عموماً معتقدند اکسیژن در سراسر سطح مقطع تمام قسمتهای قطعه جوشکاری شده نسبتاً به طور یکنواخت توزیع می-شود. غلظت بالای موضعی بالا، مانند وجود اکسیژن یا

On the basis of chemical composition, the maximum oxygen tolerance for tantalum weldments appears to be about 400 to 550 ppm; for Tantaloy "63" weldments, it is about 350 to 500 ppm. Although commercially pure tantalum exhibits a somewhat higher tolerance for oxygen (and total interstitial contamination) than Tantaloy "63", the latter material appears to have somewhat better resistance to oxidation; this tends to offset the advantage tantalum has of a higher allowable oxygen pickup before embrittlement occurs. It should be further emphasized that the results are based on the assumption that oxygen was believed to be distributed relatively uniformly throughout the cross section in all parts of the weldment. A

locally high concentration, such as a high surface contamination of oxygen or nitrogen, could result in a sever loss in ductility and could possibly even produce embrittlement. Therefore, all handling, cleaning, and fabrication practices on tantalum and its alloys should avoid producing such surface contamination as well as gross contamination. The article "Corrosion of Tantalum" in this Volume gives more detailed information on the corrosion of tantalum and tantalum alloys.

نیتروژن زیاد روی سطح می‌تواند منجر به افت جدی شکل پذیری شده و امکان دارد به تردی بیانجامد. بنابراین در تمام جابجایی‌ها، تمیزکاری‌ها و عملیات ساخت قطعات تانتالُم و آلیاژهای آن باید از وجود این مواد در سطح و نیز وجود ناخالصی آنها جلوگیری به عمل آید. در این استاندارد اطلاعات بیشتری در مورد خوردگی تانتالُم و آلیاژهای آن ارایه شده است.

### 8.3.2 Welding procedure

### ۸-۳-۲ دستورالعمل جوشکاری

#### 8.3.2.1 Welding of carbon steels, welding requirements, qualification and repair

All welding works shall be according to appropriate ASME Codes Section IX and/or relevant IPS Standards for fabrication of equipment, vessels, piping, etc.

#### ۸-۳-۲-۱ جوشکاری فولادهای کربنی، الزامات، شرایط و تعمیر جوشکاری

تمام جوشکاری‌ها باید مطابق ASTM Codes section IX و یا استانداردهای IPS مرتبط با ساخت تجهیزات، ظروف تحت فشار، لوله کشی و نظیر آنها باشد.

#### 8.3.2.2 Welding of stainless steels

#### ۸-۳-۲-۲ جوشکاری فولادهای زنگ نزن

#### 8.3.2.2.1 General

#### ۸-۳-۲-۲-۱ عمومی

The main problems encountered in welding stainless steels are the same as those seen in heat treatment. The heat of welding (portions of the base metal adjacent to the weld may be heated to 430 to 870°C, (or 800 to 1600°F) can cause sensitization and formation of intermetallic phases, thus increasing the susceptibility of stainless steel weldments to in-tergranular corrosion, pitting, crevice corrosion, and SCC. These phenomena often occur in the heat-affected zone of the weld. Sensitization and intermetallic phase precipitation can be corrected by solution annealing after welding. Alternatively, low carbon or stabilized grades may be used.

مشکلات اساسی در جوشکاری فولادهای زنگ نزن همان مشکلاتی است که در عملیات حرارتی مشاهده می‌شود. حرارت جوشکاری (قسمتهای فلز پایه مجاور جوش ممکن است ۴۳۰ تا ۸۷۰ درجه سانتیگراد (۸۰۰ تا ۱۶۰۰ درجه فارنهایت) گرم شوند، می‌تواند باعث حساس شدن و ایجاد فازهای بین فلزی شده و در نتیجه موجب مستعد شدن قطعات جوشکاری شده فولاد زنگ نزن به خوردگی بین دانه-ای، خوردگی حفره‌ای، خوردگی شیاری و SCC را فراهم آورد. این پدیده اغلب در منطقه متأثر از حرارت جوش بروز می‌کند. حساس شدن و رسوب فاز بین فلزی با نرم کردن انحلالی بعد از جوشکاری، می‌تواند مرتفع گردد. به عنوان راه حل جایگزین از فلزات رده کم کربن یا پایدار می‌توان استفاده کرد.

Another problem in high heat input welds is grain growth, particularly in ferritic stainless steels. Excessive grain growth can increase susceptibility to intergranular attack and reduce toughness. Thus, when welding most stainless steels, it is wise to limit weld heat input as much as possible. For more detailed information on welding of stainless steels and the problems encountered see 8.3.1.

مشکل دیگر در جوشها با حرارت بالا ورودی جوشها، رشد دانه‌ها، به ویژه در فولادهای زنگ نزن فریتی است. رشد بیش از اندازه دانه‌ها می‌تواند آسیب پذیری به حمله بین دانه‌ای را افزایش داده و چقرمگی را کاهش دهد. بنابراین هنگام جوشکاری اکثر فولادهای زنگ نزن لازم است که حرارت ورودی را تا حد امکان محدود نگاهداشت. برای اطلاعات بیشتر در باره جوشکاری فولادهای زنگ نزن و مشکلات ناشی از آن به بند ۸-۳-۱ مراجعه شود.

**8.3.2.2.2 Cleaning procedures**

Before any welding begins, all materials, chill bars, clamps, hold down bars, work tables, electrodes, and wire, as well as the stainless steel, must be cleaned of all foreign matter. Moisture can cause porosity in the weld that would reduce corrosion resistance. Organic materials, such as grease, paint, and oils, may result in carbide precipitation. Copper contamination may cause cracking. Other shop dirt can cause weld porosity and poor welds in general.

**8.3.2.2.3 Weld design and procedure**

Weld design and procedure are very important in producing a sound corrosion-resistant weld. Good fit and minimal out-of-position welding will minimize crevices and slag entrapment. The design shall not place welds in critical flow areas. When attaching such devices as low-alloy steel supports and ladders on the outside of a stainless steel tank, a stainless steel intermediate pad shall be used. In general, stainless steels with higher alloy content than Type 316 shall be welded with weld metal richer in chromium, nickel, and molybdenum than the base metal. Every attempt shall be made to minimize weld spatter.

After welding, all weld spatter, slag, and oxides shall be removed by brushing blasting, grinding, or chipping. All finishing equipment must be free of iron contamination. It is advisable to follow the mechanical cleaning and finishing with a chemical cleaning. Such a cleaning will remove any foreign particles that may have been embedded in the surface during mechanical cleaning without attacking the weldment. More information on welding of stainless steels is available in Volume 13 of corrosion Metals Handbook, ASM.

**8.3.3 Weld defects**

**8.3.3.1** There is no guarantee that crack-free joints will automatically be obtained when fabricating 'weldable' metals. This is a result of the fact that weldability is not a specific

**۸-۳-۲-۲-۲ دستورالعملهای تمیزکاری**

قبل از آغاز هر جوشکاری تمام مواد، میله‌های سرد کننده، گیره ها، میله های ورق گیر، میزکار، الکترودها، سیمها و فولاد زنگ نزن باید از هرگونه مواد خارجی تمیز گردد. رطوبت در جوش، ایجاد خلل و فرج می‌کند که مقاومت در برابر خوردگی را کاهش میدهد. مواد آلی مانند گریس، رنگ، روغن، منجر به رسوب کاربید میشوند. آلودگی مس باعث ترک خوردگی میگردد. بطور کلی گرد و خاک و هرگونه مواد خارجی، خلل و فرج و نامرغوبی جوش را ایجاد می کنند.

**۸-۳-۲-۲-۳ طراحی جوش و دستورالعمل آن**

طراحی جوش و دستورالعمل آن در ایجاد جوش مقاوم در برابر خوردگی بسیار مهم است. جوشکاری متناسب و کمینه بودن جوش نابجا موجب می‌شود شیارها و حبس شدن سرباره به حداقل برسد. در طراحی نباید محل جوش در مناطق با جریان بحرانی قرار گیرد. هنگام اتصال ابزاری مانند نردبانهای نگهدارنده های فولاد کم آلیاژ به نردبانهای بیرونی مخزن فولاد زنگ نزن، از صفحه میانی فولاد زنگ نزن باید استفاده شود. به طور کلی، فولاد زنگ نزن با محتوای آلیاژ بیشتر از نوع 316 باید با فلزی جوش داده شود که از نظر کروم، نیکل و مولیبدنیم غنی‌تر از فلز پایه است، جوش داده شود. هر کوششی برای به حداقل رساندن قطره جوش هر کوششی باید صورت گیرد.

بعد از جوشکاری می‌بایست، تمام قطرات جوش سرباره، اکسیدها، با برس، سنگ زنی یا براده برداری باید پاک و زدوده شود. تمام تجهیزات پرداخت کاری باید مبرا از آلودگی آهن باشد. به دنبال آن تمیزکاری و پرداخت مکانیکی و پرداخت با تمیز کننده‌های شیمیایی بیشتر توصیه می‌گردد. چنین تمیزکاری، هر ذَرّه خارجی را که ممکن است در طول تمیزکاری مکانیکی روی سطح جوش شده بجا مانده باشد بدون حمله به جوش می‌زداید. اطلاعات بیشتر در جوشکاری فولادهای زنگ نزن در جلد ۱۳ کتاب راهنمای خوردگی فلزات ASM وجود دارد.

**۸-۳-۳ عیوب جوش**

**۸-۳-۳-۱** هنگام ساخت اتصالات فلزی جوش پذیر ضمانتی وجود ندارد که اتصالات به طور خودکار بدون

ترک باشند. زیرا این واقعیت ناشی از این است که جوش پذیری، یکی از مشخصات مواد نیست بلکه ترکیبی از خواص فلزات پرکننده (اگر بکار رود) و سایر عوامل مختلف است. (به جدول ۷ مراجعه شود).

material property but a combination of the properties of the parent metals, filler metal (if used) and various other factors (see Table 7).

**TABLE 7 - FACTORS AFFECTING WELDABILITY**

**جدول ۷- عوامل موثر بر جوش پذیری**

| PARENT METAL<br>فلز پایه | FILLER METAL<br>فلز پرکننده | OTHER FACTORS<br>سایر عوامل |
|---|---|---|
| **Composition** ترکیب | **Composition** ترکیب | **Degree of fusion** درجه نفوذ |
| **Thickness** ضخامت | **Impact strength** مقاومت ضربه‌ای | **(Joint formation)** شکل‌گیری اتصال |
| **State of heat treatment** وضعیت عملیات حرارتی | **Toughness** چقرمگی | **Degree of restraint** درجه محدودیت |
| **Toughness** چقرمگی | **Hydrogen content** مقدار هیدروژن | **Form factor** عامل هندسی شکل |
| **Temperature** درجه حرارت | **Purity** خلوص | **(Transition)** گذار |
| **Purity** خلوص | **Homogeneity** همگنی | **Deposition technique** روش جوشکاری |
| **Homogeneity** همگنی | **Electrode diameter** قطرالکترود | **Skill and reliability of the welder** مهارت و قابل اطمینان بودن جوشکار |
| | **(Heat input during welding)** حرارت ایجاد شده در طول جوشکاری | |

**۸-۳-۳-۲** پیامد مواد سازه‌ای معمولی که دارای جوش پذیری نامناسب هستند، ایجاد شرایطی است که ممکن است منتج به نقایصی در رسوب فلز یا منطقه متأثر از حرارت می‌شود. (به شکل ۱۰ و جدول ۸ مراجعه شود)

**8.3.3.2** The consequence of the average structural material possessing imperfect weldability is to produce a situation where defects may arise in the weld deposite or heat-affected zone (see Fig. 10 and Table 8).

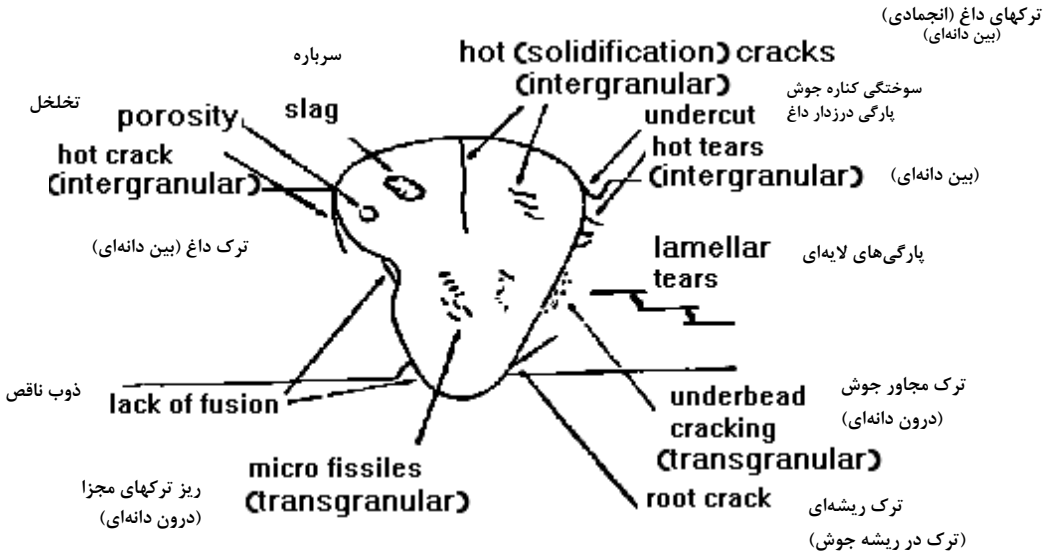



**Fig. 10- POSSIBLE WELD DEFECTS**

**شکل ۱۰- عیوب احتمالی جوش**

**TABLE 8 - WELDABILITY DEFECTS**

**جدول ۸- عیوب جوش پذیری**

| DEFECT<br>عیب | CAUSES<br>دلایل | REMEDIES<br>رفع مشکل |
|---|---|---|
| Hot cracks<br>ترک های داغ | Large solidiciation range<br>محدوده وسیع انجماد | More crack-proof filler<br>بکار گیری پرکننده مقاوم تر در برابر ترک |
| | Segregation جدایش | Less fusion ذوب کمتر |
| | Stress تنش | |
| Underbead cracks<br>ترک مجاور جوش | Hardenable parent plate<br>صفحه مبنای سختی پذیر | Low hydrogen process فرآیند هیدروژن کم |
| | Hydrogen هیدروژن | Planned bead sequence ترتیب خط جوش |
| | Stress تنش | Preheating پیش گرمی |
| Microfissures<br>ریزترکها | Hardenable deposit جوش سختی پذیر | Low hydrogen process فرآیند هیدروژن کم |
| | Hydrogen هیدروژن | Pre-and post-heating پیش و پس گرمایش |
| | Stress تنش | |
| Toe cracks<br>ترک‌های پنجه | High stress تنش بالا | Planned bead sequence ترتیب خط جوش |
| | Notches شیارها | Preheating پیش گرمیر |
| | Hardenable parent plate<br>ورق پایه سخت پذیر | Avoidance of notches<br>اجتناب از شیارها |
| Hot tears پارگی‌های داغ | Segregation جدایش | Less fusion ذوب کمتر |
| | Stress تنش | Cleaner parent plate تمیزکننده ورق پایه |
| Porosity تخلخل | Gas absorption جذب گاز | Remove surface scale زدودن پوسته سطح |
| | | Remove surface moisture<br>زدودن رطوبت سطح |
| | | Cleaner gas shield تمیزکننده حفاظ گازی |

**8.3.3.3 Carbon and low-alloy steels (see also 8.3.1.4)**

These usually present little problem since the parent and filler metals are generally of similar composition, although there is some evidence that the precise electrode type in manual metal-arc welding for marine conditions may be important; weld metal deposited from basic-coated rods appears to corrode more rapidly than that deposited from rutile-based coatings.

An environment containing $H_2S$, cyanides, nitrates or alkalis may produce stress-corrosion cracking in highly stressed structures and these should be first stress relieved by heating to 650°C.

An interesting development in weldable corrosion-resistant steels is the copper-bearing or weathering steels which exhibit enhanced corrosion resistance in industrial atmospheres in the unpainted condition. For optimum corrosion resistance after welding, the filler employed should be suitably alloyed to give a deposit of composition similar to that of the steel plate.

**8.3.3.4 Stainless steels**

**8.3.3.4.1** Since stainless steels are widely used for resisting corrosive environments, it is relevant to consider the welding of these alloys in some detail. There are three groups of stainless steels, each possessing their own characteristic welding problem (see 8.3.1.5):

**Ferritic type**

Welding produces a brittle deposit and a brittle heat-affected zone caused by the very large grain size that is produced. The problem may be reduced in severity by the use of austenitic filler and/or the application of pre- and post-weld heat treatments: the latter is a serious limitation when large welded structures are

**۸-۳-۳-۳ فولادهای کربنی و فولادهای کم آلیاژ (به بند ۸-۳-۱-۴ نیز مراجعه شود)**

نظر به اینکه فلزات پایه و فلزات پرکننده معمولاً ترکیب مشابهی دارند، معمولاً مشکلات کمی وجود خواهد داشت. اگر چه شواهدی در دست است که الکترود نوع دقیق الکترود مشخص شده در کتاب راهنمای جوشکاری قوسی فلزی برای شرایط دریایی ممکن است مهم باشد، ولی به نظر می‌رسد رسوب فلز جوش از مفتولهایی با روپوش قلیایی نسبت به رسوب فلز جوش با روپوش رتیلی، سریعتر خوردگی پیدا کند.

محیط حاوی $H_2S$ سیانیدها ، نیترات و مواد قلیایی می-تواند باعث ترک ناشی از خوردگی تنشی در ساختارهای پر تنش گردد و باید ابتدا تنش زدایی در آنها با دمای تا ۶۵۰ درجه سانتیگراد به عمل آید.

پیشرفت جالب توجه در فولادهای قابل جوشکاری مقاوم در برابر خوردگی، فولادهای حاوی مس و فولادهایی که در معرض تغییرات آب و هوا مقاومند، می‌باشد که در محیطهای صنعتی و در شرایطی که رنگ نشده‌اند مقاومت بالایی در برابر خوردگی از خودشان نشان میدهند. برای به حداکثر رساندن مقاومت در برابر خوردگی بعد از جوشکاری، پرکننده‌ای که به کار می‌رود باید از آلیاژی مناسب، که ترکیب رسوب آن مشابه صفحه فولادی باشد، استفاده شود.

**۸-۳-۳-۴ فولادهای زنگ نزن**

**۸-۳-۳-۴-۱** نظر به اینکه فولادهای زنگ نزن بطور گسترده‌ای برای محیطهای خورنده استفاده میشوند، بجاست آلیاژهای جوشکاری را تا حدی مفصل در نظر داشت. سه نوع فولاد زنگ نزن وجود دارد که هریک واجد مشکلات جوشکاری خاص خود هستند (به بند ۸ -۳-۱- ۵ مراجعه شود):

**نوع فریتی**

جوشکاری، با دانه‌های درشتی که به وجود می‌آید شکنندگی یا تردی رسوب و منطقه متأثر از حرارت را باعث می‌گردد. این مشکل ممکن است با استفاده از پرکننده آستنیتی و یا کاربرد قطعات جوش شده با عملیات حرارتی پیش و پس از جوش، به شدت کاهش یابد. عملیات حرارتی پس از جوش، برای سازه‌های جوش

شده بزرگ، دارای محدودیت جدی است.

**نوع مارتینزیتی**

ترک خوردن منطقه متأثر از حرارت محتمل است و می‌توان آنرا با اقدامات معمولی که برای کنترل ترک خوردن ناشی از هیدروژن ،لازم است، ترمیم کرد.

**نوع آستنیتی**

این نوع که در مقابل ترک خوردن داغ آسیب پذیرند می‌توان با متوازن کردن ترکیب فلز جوش که باعث تشکیل مقدار کمی از فریت زیگما در رسوب می‌شود فایق آمد ،حداکثر مقاومت به ترک خوردن با محتوای ۵ تا ۱۰ درصد فریت زیگما به دست می آید. غلظت بیش از این، اگر قطعات جوش شده در دمای بالا، با کاهش همزمان در مقاومت به خوردگی و مکانیکی، استفاده شود، امکان تشکیل فاز زیگما را افزایش می‌دهد.

مشکلات اساسی که در فولاد زنگ نزن حادث می‌شود عبارتند از فساد جوش، حملات شیار چاقویی و ترکیدگی ناشی از خوردگی تنشی (شکل ۱۱).

involved.

**Martensitic type**

Heat-affected zone cracking is likely and may be remedied by employing the normal measures required for the control of hydrogen-induced cracking.

**Austenitic type**

These are susceptible to hot cracking which may be overcome by balancing the weld metal composition to allow the formation of a small amount of $\delta$-Fe (ferrite) in the deposit, optimum crack resistance being achieved with a $\delta$-Fe content of 5-10%. More than this concentration increases the possibility of ó-phase formation if the weldment is used at elevated temperature with a concomitant reduction in both mechanical and corrosion resistance.

The main problems that might be encountered in stainless steel are weld decay, knifeline attack and stress-corrosion cracking (Fig. 11).

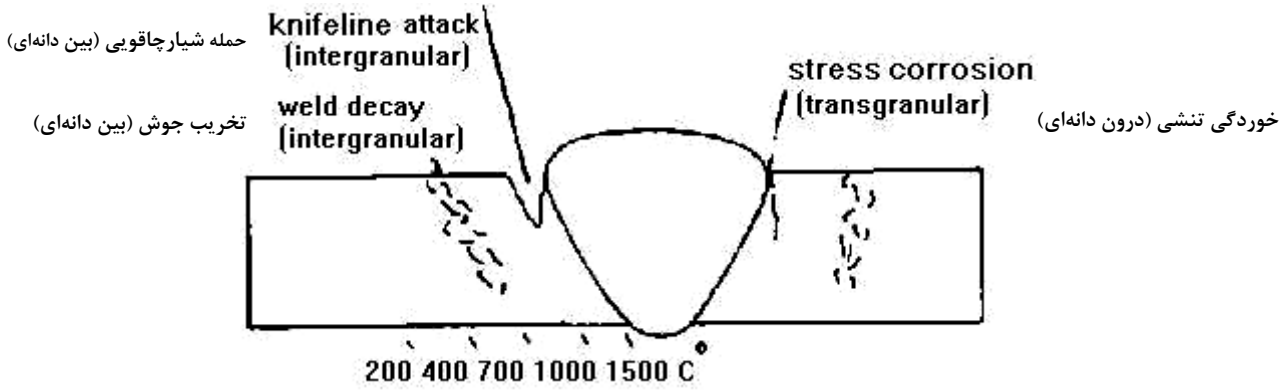



**Fig. 11-CORROSION SITES IN STAINLESS STEEL WELDS. THE TYPICAL PEAK TEMPERATURES ATTAINED DURING WELDING (°C) ARE GIVEN AT THE FOOT OF THE DIAGRAM.**
**NOTE THAT KNIFELINE ATTACK HAS THE APPEARANCE OF A SHARPLY DEFINED LINE ADJACENT TO THE FUSION ZONE**

**شکل ۱۱- مکانهای خوردگی در جوشهای فولاد زنگ نزن. حداکثر درجه حرارت به دست آمده در طول جوشکاری برحسب درجه سانتیگراد که در زیر نمودار درج شده است**

**باید توجه کرد حمله شیار چاقویی به شکل خط تیز مشخص مجاور منطقه ذوب است**

**8.3.3.4.2** Weld decay is the result of the intergranular precipitation of chromium carbide in the temperature range of 430-870°C and material in this condition is referred to as being 'sensitised'. Sensitisation depletes the matrix in the grain-boundary region of chromium and this region may eventually suffer intergranular corrosion. In corrosive environments some zone in the vicinity of the weld area is inevitably raised within the sensitisation temperature range and the degree of severity of sensitization will be dependent on a number of process factors that determine the time in this temperature range, e.g. heat input, thickness of plate. For most commercial grades of stainless steel in thin section (< 10 mm) the loss in corrosion resistance is slight and seldom warrants any special measures. For a high degree of corrosion resistance, or in welded thick plate, it becomes necessary to take one of the following courses of action:

**a)** Thermally treat the structures to effect a re-solution of the chromium carbide; this is often impractical in large structures unless local heat treatment is employed, but is not always satisfactory since a sensitized zone could be produced just outside the local thermally treated region.

**b)** Use extra-low-carbon steel.

**c)** Use stabilized steels, i.e. austenitic steels containing niobium, tantalum or titanium.

**8.3.3.5 Nickel alloys (see also 8.3.1.8)**

In the main, welding does not seriously affect the corrosion resistance of the high nickel alloys and stress relief is not generally required since the resistance to stress corrosion is particularly high; this property increases with increase in nickel content and further improvement may be obtained by the addition of silicon. The chromium-containing alloys can be susceptible to weld decay and should be

**۸-۳-۳-۴-۲** تخریب جوش ناشی از رسوب کاربید کروم بین دانه‌ای در محدوده حرارت ۴۳۰-۸۷۰ درجه سانتیگراد است و در این حالت، مواد "حساس شده" محسوب می‌شوند. حساسیت، زمینه را در ناحیه محیط مرزدانه‌ای از کرم تهی می‌کند و این ناحیه از خوردگی بین دانه‌ای آسیب میبیند. در محیط‌های خورنده بعضی مناطق در مجاورت حوزه جوش به ناچار در محدوده درجه حرارت حساس شدن پدید می‌آیند و درجه شدت حساس شدن، پدید می‌آیند که بستگی دارد به تعدادی از عوامل فرآیندی که تعیین کننده مدت زمان در این محدوده حرارتی هستند. برای مثال حرارت ورودی و ضخامت صفحه هستند؛ بستگی خواهد داشت. برای بسیاری از درجات فولاد زنگ نزن تجاری در مقاطع نازک (کمتر از ۱۰ میلیمتر) افت مقاومت در برابر خوردگی مختصر بوده و به ندرت توجیهی برای اقدامی خاص دارد. برای مقاومت به خوردگی به میزان بالا، یا در صفحه ضخیم جوش داده شده، انتخاب یکی از موارد زیر ضروری است:

**الف)** انجام عملیات حرارتی ساختارها به منظور تاثیر در حل سازی مجدد کاربید کروم. این کار اغلب در سازه‌های بزرگ غیر عملی است، مگر اینکه عملیات حرارتی موضعی به کار گرفته شود، اما همیشه رضایت بخش نخواهد بود زیرا یک منطقه حساس شده می‌تواند درست خارج از منطقه موضعی مورد عملیات حرارتی، به وجود آید.

**ب )** استفاده از فولادهای با کربن بسیار کم.

**ج )** استفاده از فولادهای پایدار، مانند فولاد آستنیتی که حاوی نیوبیم، تانتالیم یا تیتانیم است.

**۸-۳-۳-۵ آلیاژهای نیکل(به ۸-۳-۱-۸ مراجعه شود)**

در اصل جوشکاری روی در مقاومت در برابر خوردگی آلیاژهای پرنیکل در برابر خوردگی تأثیر جدی ندارد و تنش زدایی معمولاً ضرورتی نخواهد داشت، زیرا مقاومت در برابر خوردگی تنشی به ویژه بالاست. این ویژگی، با بالا بردن میزان نیکل و بهبودی بیشتر با افزودن سیلیس، فزونی می یابد. آلیاژهای حاوی کرم نسبت به تخریب

جوش آسیب پذیرند و باید به صورت حرارتی با تیتانیم و نیوبیم، با حرارت پایدار شوند و جایی که شرایط ایجاب می‌کند که در معرض محیط خورنده در دمای بالا قرار گیرند، عملیات حرارتی بعدی پس از جوش مطلوب خواهد بود. برای آلیاژهای نیکل، کروم، مولیبدنیم، فریت نوع W، توصیه می‌شود. این آلیاژها قبل از جوشکاری یک پاسه، برای ایجاد ریز ساختار وابسته به رسوب پایدار از لحاظ حرارتی، تحت دو مرحله عملیات حرارتی دو فازه قرار گیرند.

thermally stabilized with titanium or niobium, and where conditions demand exposure to corrosive media at high temperatures a further post-weld heat treatment may be desirable. For the Ni-Cr- Mo-Fe-W type alloys, it suggested that the material should be given a two-stage heat treatment prior to single-pass welding in order to produce a dependable microstructure with a thermally stabilized precipitate.

آلیاژ نیکل – ۲۸ مولیبدنیم (Ni-28 Mo) نمونه خاصی از خوردگی انتخابی را شبیه به نوعی از تخریب جوش ناشی از حمله، فراهم می‌کند. به وجود می‌آورد. این مورد را می‌توان با عملیات انحلالی یا استفاده از آلیاژ حاوی ۲ درصد وانادیم برطرف کرد.

The Ni-28Mo alloy provides a special case of selective corrosion analogous to the weld-decay type of attack; it may be removed by solution treatment or using an alloy containing 2% Vanadium.

از مشکلات جوش پذیری آلیاژهای نیکل و پایه نیکل به ویژه تمایل به تخلخل انجمادی است، به خصوص اگر نیتروژن در آتمسفر قوس جوش حضور داشته باشد، اما این مشکل را می‌توان با اطمینان از حضور تیتانیم به عنوان یک عامل نیتروژن زدا در پرکننده ها و حفظ طول کوتاه قوس جوش، کنترل کرد. روبرو شدن با ترک داغ مشکل دیگری است، به ویژه در آلیاژهایی که حاوی کروم، سیلیسیم، تیتانیم، آلومینیوم، بورون، روی، گوگرد، سرب و فسفر سفید، هستند ( Cr, Si, Ti, Al, B, Zr, S, Pb and P).

Of the weldability problems, nickel and nickel-based alloys are particularly prone to solidification porosity, especially if nitrogen is present in the arc atmosphere, but this may be controlled by ensuring the presence of titanium as a denitrider in the filler and maintaining a short arc length. The other problem that may be encountered is hot cracking, particularly in alloys containing Cr, Si, Ti, Al, B, Zr, S, Pb and P.

برای بهترین حد مقاومت در برابر خوردگی، توصیه می‌شود در صورت امکان از پرکننده‌هایی با ترکیب مشابه استفاده شود و مسلماً پسماند روان سازها که احتمال دارد باقی مانده باشند باید زدوده شوند.

For optimum corrosion resistance it is recommended that similar composition fillers be used wherever possible, and obviously any flux residues that may be present must be removed.

**۸-۳-۳-۶ آلیاژهای آلومینیوم (به ۸-۳-۱-۹ مراجعه شود)**

**8.3.3.6 Aluminum alloys (see also 8.3.1.9)**

آلیاژهای آلومینیوم نسبت به ترک‌های گرم بسیار حساس هستند. برای غلبه بر این مشکل اغلب این آلیاژها باید با پرکننده جبران کننده‌ای که ترکیب آن متفاوت از ترکیب آلیاژ پایه است جوشکاری شوند. این تفاوت در ترکیب باعث خوردگی گالوانیکی می‌شود. مشکل دیگر جوشکاری حلالیت بالای گاز هیدروژن در فلز جوش ذوب شده به خاطر گاز ئیدروژن است که موجب تخلخل وسیعی در درز انجمادی می‌گردد؛ تنها چاره موثر حفظ پتانسیل

These alloys are very susceptible to hot cracking and in order to overcome this problem most alloys have to be welded with a compensating filler of different composition from that of the parent alloy, and this difference in composition may lead to galvanic corrosion. A further problem in the welding of these materials is the high solubility of the molten weld metal for gaseous hydrogen which causes extensive porosity in the seam on solidification; the only effective remedy is to

maintain the hydrogen potential of the arc atmosphere at a minimum by using a hydrogen-free gas shield with dry, clean consumables (e.g. welding rods, wire) and parent plate.

In general, the corrosion resistance of many of the alloys is not reduced by welding. Any adverse effects that may be encountered with the high-strength alloys can be largely corrected by post-weld heat treatment; this is particularly true of the copper-bearing alloys. Pure aluminum fillers impart the best corrosion resistance, although the stronger Al-Mg and Al-Mg-Si fillers are normally suitable; the copper-bearing fillers are not particularly suitable for use in a corrosive environment. Resistance welding does not usually affect the corrosion resistance of the aluminum alloys.

The heat-affected zone may become susceptible to stress-corrosion cracking, particularly the high-strength alloys, and expert advice is necessary concerning the suitability of a particular alloy for a certain environment after welding. In this context Al-Zn-Mg type alloys have been extensively studied and it has been shown that maximum sensitivity appears to occur when there is a well-developed precipitation at the heat-affected zone grain boundaries adjacent to the fusion line, a fine precipitate within the grain and a precipitate-free zone immediately adjacent the grain boundaries. The action of stress-corrosion cracking then appears to be a result of local deformation in the precipitate-free zone combined with the anodic character of the precipitate particles.

### 8.3.3.7 Other materials for welding

Suggestions are made in Table 9. It is sufficient to state that with a knowledge of the general characteristics of welding process and its effects on a metal a reliable joint for a particular problem will normally be the rule and not the exception.

هیدروژن آتمسفر قوس جوش در کمترین حد با استفاده از پوشش گاز محافظ بدون گاز ئیدروژن با الکترودهای مصرف شدنی خشک و تمیز (برای مثال مفتول جوشکاری، سیم) و صفحه مبناست.

به طور کلی مقاومت در برابر خوردگی بسیاری از آلیاژها با جوشکاری کاهش نمی‌یابد. آلیاژهایی که دارای استحکام بالایی هستند، با هر اثر زیانباری که مواجه شوند با عملیات حرارتی پس از جوش کاملاً مرتفع می‌گردد؛ این امر بخصوص در مورد آلیاژهای حاوی مس صادق است. آلیاژهای آلومینیوم خالص دارای بهترین مقاومت در برابر خوردگی هستند، اگر چه پرکننده‌های قوی‌تر آلومینیوم – منگنز و آلومینیم – منگنز – سیلیس معمولاً مناسب‌اند، ولی پرکننده‌های حاوی مس به ویژه هیچ تناسبی برای استفاده در محیط خورنده مناسب نیستند. جوشکاری مقاومتی معمولاً روی مقاومت آلیاژهای آلومینیم در برابر خوردگی تأثیری ندارد.

ناحیه تحت تاثیر جوش به ویژه در آلیاژهای با استحکام بالا ممکن است در برابر ترک ناشی از خوردگی تنشی مستعد باشند. توصیه کارشناس و یا متخصص در مورد آلیاژ مناسب در یک محیط مشخص بعد از جوشکاری ضروری است. در این استاندارد آلیاژهای نوع آلومینیم – روی – منگنز به طور وسیع مورد مطالعه قرار گرفته و نشان داده است حداکثر حساسیت وقتی اتفاق می‌افتد که در ناحیه تحت تاثیر جوش مرزهای دانه‌ای مجاور خط ذوب، رسوب کاملاً پیشرفته به وجود آمده باشد، به صورت رسوب بین دانه‌ها و منطقه بدون رسوب درست مجاور مرز دانه‌ها. ترک ناشی از خوردگی تنشی در نتیجه نقص موضعی در منطقه بدون رسوب همراه با ویژگی آندی ذرات رسوبی بروز می‌کند.

### ۸-۳-۳-۷ سایر مواد برای جوشکاری

در جدول ۹ پیشنهاداتی ارائه شده است. کافی است اشاره شود که آگاهی از ویژگیهای کلی فرآیند جوشکاری و اثرات آن روی فلز با اتصال قابل اطمینان برای یک مورد خاص معمولاً یک قاعده است تا یک استثناء.

**TABLE 9 - POSSIBLE PROBLEMS IN LESS COMMONLY WELDED METALS**
**جدول ۹- مشکلات احتمالی در فلزاتی که کمتر جوش پذیرند**

| METAL<br>فلز | WELDABILITY<br>جوش پذیری | CORROSION<br>خوردگی |
|---|---|---|
| Copper alloys<br>آلیاژهای مس | Porosity<br>تخلخل | De-zincification<br>زدایش روی |
| | Hot cracking<br>ترک گرم | De-aluminification<br>زدایش آلومینیم |
| | Hot tearing<br>پارگی یا توّرق گرم | Stress corrosion<br>خوردگی تنشی |
| | Steam explosion<br>انفجار بخار | |
| Magnesium alloys<br>آلیاژهای منیزیم | Porosity<br>تخلخل | |
| | Hot cracking<br>ترک گرم | Stress corrosion Pitting<br>حفره دار شدن ناشی از خوردگی |
| | Lack of fusion<br>ذوب ناقص | |
| **Titanium alloys**<br>آلیاژهای تیتانیم | Porosity<br>تخلخل | |
| | Embrittlement<br>تردی | Stress corrosion<br>خوردگی تنشی |

**8.3.4 Welding and joining**

**8.3.4.1 General**

A jointed fabrication is one in which two or more components are held in position:

- by means of a mechanical fastener (screw, rivet or bolt);
- by welding, brazing or soldering;
- by an adhesive.

The components of the joint may be metals of similar or dissimilar composition and structure, metals and non-metals or they may be wholly non-metallic. Since the majority of fabrications are joined at some stage of their manufacture, the corrosion behavior of joints is of the utmost importance, and the nature of the metals involved in the joint and the geometry of the joint may lead to situation in which one of the metals is subjected to accelerated and localized attack. Although corrosion at bimetallic

**۸-۳-۴ جوشکاری و اتصال**

**۸-۳-۴-۱ عمومی**

ساخت یک اتصال عبارت است از اینکه دو قطعه یا بیشتر که در حالتی کنار هم ثابت نگهداشته میشوند:

- با بستهای مکانیکی (پیچ، پرچ یا پیچ و مهره).
- با جوشکاری، لحیم کاری سخت، لحیم کاری نرم.
- با چسب.

اجزای اتصال ممکن است فلزاتی با ساختار و ترکیب مشابه یا غیرمشابه، فلزی و غیرفلزی یا کاملاً غیرفلزی باشند. چون اکثر قطعات ساخته شده در بعضی مراحل تولید بهم متصل میشوند، رفتار خوردگی اتصالات از اهمیت بالایی برخوردار است، و ماهیت فلزات درگیر ساخت اتصال و شکل هندسی اتصال احتمال دارد به وضعی منتهی شود که در آن یکی از فلزات، در معرض حمله خوردگی سریع و موضعی واقع شود. اگرچه

contacts involving different metals has been dealt with in IPS-E-TP-760, it is necessary to emphasize the following in relation to corrosion at joints in which the metals involved may be either identical or similar.

خوردگی در اتصالات دو فلزی که شامل فلزات مختلفی می‌شود که در استاندارد IPS-E-TP-760 مورد بحث قرار گرفته است، ولی موارد زیر مرتبط با خوردگی اتصالات که فلزات مشابه یا یکسان هستند باید مورد تأکید قرار گیرد.

**8.3.4.1.1** A difference in potential may result from differences in structure or stress brought about during or subsequent to the joining process.

**۸-۳-۴-۱-۱** اختلاف در پتانسیل ممکن است ناشی از تفاوت در ساختار یا تنش در حین و یا بعد از فرآیند اتصال دادن باشد.

**8.3.4.1.2** Large differences in area may exist in certain jointed structures, e.g. when fastening is used.

**۸-۳-۴-۱-۲** تفاوتهای بزرگ در عمل ممکن است در بعضی ساختارهایی که بهم متصل میشوند وجود داشته باشد. برای مثال وقتی که از بستها استفاده می‌شود.

Furthermore, many joining processes lead to a crevice, with the consequent possibility of crevice corrosion.

بعلاوه بسیاری از فرآیندهای اتصال دادن منجر به شیاری و احتمالاً خوردگی شیاری، می‌شوند.

Before considering the factors that lead to corrosion it is necessary to examine briefly the basic operations of joint manufacture.

پیش از در نظر گرفتن عواملی که منجر به خوردگی میشوند ضروری است، به اختصار، عملیات اصلی ساخت اتصال، مورد بازرسی قرار گیرد.

For joining dissimilar metals it is needed to use insulating washers, insulating gaskets and insulating sleeves as required.

در صورت لزوم برای اتصال فلزات غیرمشابه از واشرها، آب بندها و مهره ماسوره‌های عایقکاری شده، استفاده گردد.

**8.3.4.2 Mechanical fasteners**

**۸-۳-۴-۲ بست‌های مکانیکی**

These require little description and take the form of boltings, screws, rivets, etc. Mechanical failure may occur as a result of the applied stress in shear or tension exceeding the ultimate strength of the fastener, and can normally be ascribed to poor design, although the possibility of the failure of steel fittings at ambient or sub-zero temperatures by brittle fracture, or at ambient temperatures by hydrogen embrittlement, cannot be ignored. If brittle failure is a problem then it can be overcome by changing the joint design or employing a fastener having a composition with better ductility transition properties.

این موارد احتیاج به کمی توضیح دارد. و شامل پیچ، مهره، پرچ و یا نظیر آن می باشد. شکست مکانیکی می-تواند در نتیجه تنش برشی یا کششی بیش از حد استحکام نهایی بست یا، باشد. که معمولاً ضعف طراحی تلقی می‌شود. اگرچه احتمال شکست اتصالات فولادی در دمای محیط، یا در درجه حرارتهای زیر صفر در اثر تردی هیدروژنی را نمی‌توان صرف نظر کرد. اگر شکست ترد به عنوان مشکل در نظر گرفته شود، می‌توان با تغییر طراحی اتصال یا استفاده از بست‌هایی که شکل پذیری بیشتری دارند آن را برطرف کرد.

For soldered joints and brazed joints see 8.3.4.3.2.

برای اتصالاتی که با لحیم کاری سخت و نرم انجام شده به بند ۸-۳-۴-۳-۲ مراجعه کنید.

**8.3.4.3 Joining, brazing and soldering**

**۸-۳-۴-۳ اتصال، جوشکاری یا لحیم کاری سخت و نرم**

**8.3.4.3.1 Joining**

**۸-۳-۴-۳-۱ اتصال**

The joining differs from all others in that an attempt is made to produce a continuity of

اتصال با سایر روش‌هایی که در آن تلاش می‌شود تا ماده

homogeneous material which may or may not involve the incorporation of a filler material. There are a large variety of processes by which this may be achieved, most of which depend upon the application of thermal energy to bring about a plastic or molten state of the metal surfaces to be joined. The more common processes of used welding compared with mechanical fasteners, soldering and brazing are classified in Table 10.

همگنی تولید شود که ممکن است از ماده پرکننده تشکیل گردد، تفاوت دارد. فرآیندهای بسیاری وجود دارد که توسط آنها به این عمل می‌توان دست یافت که بیشتر آنها بستگی به انرژی حرارتی برای ایجاد حالت ذوب شدگی یا پلاستیکی سطوح فلزی که باید بهم متصل شود، دارد. فرآیندهای معمولی‌تر با استفاده از جوشکاری در مقایسه با خواص بستها، لحیم کاری سخت و نرم در جدول ۱۰ طبقه بندی شده است.

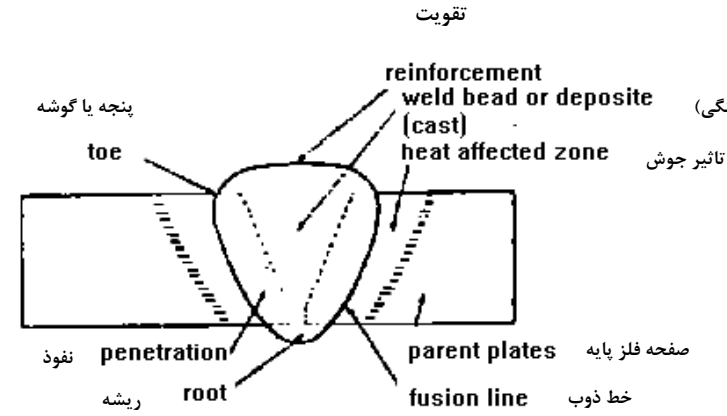
**TABLE 10 - TYPICAL JOINING PROCESSES**

**جدول ۱۰- فرآیندهای اتصال معمول**

| JOINING PROCESS<br>فرآیند اتصال | TYPES<br>نوع |
|---|---|
| **- Mechanical fasteners**<br>- بستهای مکانیکی | **Nuts, bolts, rivets, screws**<br>مهره، پیچها ، پرچها ، پیچ |
| **- Soldering and brazing**<br>- لحیم کاری سخت و نرم | **Hot iron, torch, furnace, vacuum**<br>آهن داغ، مشعل، کوره، خلاء |
| **- Fusion welding**<br>- جوشکاری ذوبی | **Oxyacetylene, manual metal arc, tungsten inert gas, metal inert gas, carbon dioxide, pulsed arc, fused arc, submerged arc, electro slag and electron beam**<br>اکسی استیلن، قوس فلزی دستی، تنگستن با گاز خنثی، فلز با گاز محافظ خنثی، دی اکسید کربن، قوس ضربانی، قوس گدازیده، قوس زیرپودری، سرباره الکتریکی و پرتوالکترونی منطقه متأثر |
| **- Resistance welding**<br>- جوشکاری مقاومتی | **Spot, seam, stitch, projection, butt and flash butt**<br>نقطه‌ای، درز، بخیه، خال سیاه، لب به لب، لب به لب جرقه‌ای |
| **- Solid-phase welding**<br>- جوشکاری حالت جامد | **Pressure, friction, ultrasonic and explosive**<br>فشاری، اصطکاکی، فراصوتی و انفجاری |

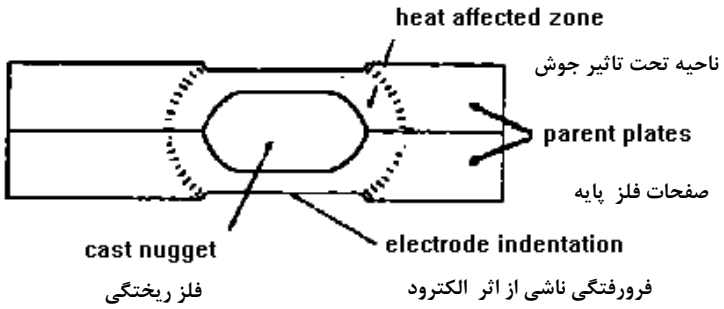
The macrographic examination of a welded joint shows two distinct zones, namely the fusion zone with its immediate surroundings and the parent metal (Fig. 12). It is apparent therefore, that such processes produce differences in microstructure between the cast deposit, the heat-affected zone which has undergone a variety of thermal cycles, and the parent plate.

آزمون ریزنگاری، اتصال جوش داده دو منطقه متمایز از هم را نشان میدهد: یعنی منطقه ذوب با مرزهای کناری آن و فلز پایه (شکل ۱۲). بنابراین واضح است که چنین فرآیندها موجب تفاوت‌هایی در ریزساختارهای بین رسوب ریختگی، ناحیه تحت تاثیر جوش که تحت سیکلهای حرارتی متنوعی قرار گرفته و فلز پایه، می‌شوند.




**(a) Fusion weld**

الف) جوش ذوبی




**(b) Resistance spot weld**

ب) جوش مقاومتی نقطه‌ای

**Fig. 12-WELD DEFINITIONS**

**شکل ۱۲- مشخصات جوش**

**8.3.4.3.1.1 Protection of welded joints**

Structural steels are frequently protected from corrosion by means of a paint primer, but these materials can have an adverse effect on the subsequent welding behavior and this is mainly observed as porosity. Hot-dip galvanising for longterm protection can also lead to porosity and intergranular cracking after welding, in which case it may be necessary to remove the zinc coating from the faying edges prior to welding. The presence of zinc can also lead to operator problems due to the toxicity of the fume evolved unless adequate fume extraction is employed.

**۸-۳-۴-۳-۱-۱ حفاظت اتصالات جوشکاری شده**

فولادهای ساختمانی اغلب به وسیله رنگ آستری در برابر خوردگی محافظت میشوند، اما این مواد می‌تواند روی رفتارهای جوشکاری بعدی که در اصل به صورت خلل و فرج مشاهده می‌شود، اثر نامساعدی داشته باشد. گالوانیزه کردن به روش غوطه وری داغ برای حفاظت دراز مدت نیز می‌تواند منجر به خلل و فرج و ترک بین دانه‌ای بعد از جوشکاری شود. در این مورد زدایش پوشش روی، از لبه‌های تماس قبل از جوشکاری ضروری خواهد بود. حضور روی برای جوشکار به دلیل سمی بودن دود حاصل از جوشکاری ممکن است مشکل ایجاد کند، مگر اینکه برای زدودن دود، روشی مناسب به کار گرفته شود.

Prior to painting, all welding residues must be removed and the surface prepared by grinding, grit blasting, wire brushing or chemical treatment. This preparation is of fundamental importance, the method of applying the paint and the smoothness of the bead apparently having little effect on the final result.

قبل از رنگ آمیزی تمام پسماندهای جوشکاری باید زدوده شود و سطح با سنگ زنی، ماسه پاشی، برس سیمی یا عملیات شیمیایی آماده گردد. این آماده سازی از اهمیت زیادی برخوردار است. روش اعمال رنگ و صافی و همواری فلز خط جوش ظاهراً روی نتیجه نهایی اثر کمی است.

**8.3.4.3.2 Pressure pipe brazing and soldering**

**۸-۳-۴-۳-۲ لحیم کاری سخت و لحیم کاری نرم لوله های تحت فشار**

**8.3.4.3.2.1 Qualification**

**۸-۳-۴-۳-۲-۱ شرایط**

**a) Brazing qualification**

**الف) شرایط لحیم کاری سخت**

The qualification of brazing procedures, brazers, and brazing operators shall be in accordance with the requirements of the Boilers and Pressure Vessels (BPV) Code, ASME Section IX, Part QB. For Category D Fluid service at design temperature not over 93°C (200°F), such qualification is at the owner's option.

شرایط برای دستورالعمل های لحیم کاری سخت، لحیم کاران و کاربرهای لحیم کاری سخت باید براساس شرایط کد ظروف تحت فشار و دیگهای بخار (BPV)، ASME Section IX Part QB باشد. برای کارکرد سیال گروه D کارکرد مایع در دمای طراحی کمتر از ۹۳ درجه سانتیگراد (۲۰۰ درجه فارنهایت)، تجاوز کند. تعیین چنین شرایطی در اختیار شرکت است.

**b) Brazing and soldering materials**

**ب ) مواد لحیم کاری سخت و لحیم کاری نرم**

**Filler metal**

**فلز پرکننده**

The brazing alloy or solder shall melt and flow freely within the specified or desired temperature range and, in conjunction with a suitable flux or controlled atmosphere, shall wet and adhere to the surfaces to be joined.

آلیاژ لحیم کاری سخت و نرم باید به آسانی ذوب شود که به آسانی در محدوده درجه حرارت تعیین شده یا بادرجه حرارت مطلوب همراه با روان‌ساز مناسب یا اتمسفر کنترل شده ، جریان پیدا کند. و نیز باید نسبت به سطوحی که باید بهم جوش داده شوند، تر و بچسباند باشد.

**Flux**

A flux that is fluid and chemically active at brazing or soldering temperature shall be used when necessary to eliminate oxidation of the filler metal and the surfaces to be joined, and to promote free flow of brazing alloy or solder.

**روان ساز**

روان سازی که سیال و در درجه حرارت لحیم کاری سخت و نرم از لحاظ شیمیایی فعال است باید به کار رود، هنگامی که لازم باشد اکسیدهای فلز پر کننده و سطوحی را که باید بهم متصل شوند زدوده شود و جریان آزاد آلیاژ لحیم کاری سخت یا نرم را فراهم نماید.

**c) Preparation**

**ج ) آماده سازی**

**Surface preparation**

**آماده سازی سطح**

The surfaces to be brazed or soldered shall be clean and free from grease, oxides, paint, scale, and dirt of any kind. A suitable chemical or mechanical cleaning method shall be used if necessary to provide a clean

صفحاتی که باید لحیم کاری سخت و نرم شوند، باید از روغن، اکسیدها، رنگ، پوسته و آلودگی از هر نوع موادی دیگر پاک گردند. یک روش تمیزکاری شیمیایی یا مکانیکی در صورت لزوم برای تأمین

wettable surface.

سطح تمیز با قابلیت ترشدن، باید مورد استفاده قرار گیرد.

**Joint clearance**

The clearance between surfaces to be joined by soldering or brazing shall be no larger than necessary to allow complete capillary distribution of the filler metal.

**فاصله آزاد (لقی) اتصال**

فاصله آزاد (لقی) بین سطوحی که باید با لحیم کاری سخت و نرم بهم متصل شوند، توزیع/کامل برای توزیع کامل موئیینگی فلز پرکننده باشد نباید بیش از حد لازم باشد.

**d) Requirements**

**د ) الزامات**

**Soldering procedure**

Solderers shall follow the procedure in the Copper Tube Handbook of the Copper Development Association or other approved procedures.

**دستورالعمل لحیم کاری نرم**

لحیم کاران باید از روشی که در کتاب راهنمای لوله-های مسی از انتشارات انجمن توسعه مس، آمده و یا سایر روشهای تائید شده پیروی کنند.

**Heating**

To minimize oxidation, the joint shall be brought to brazing or soldering temperature in as short a time as possible without localized under heating or overheating.

**حرارت دهی**

برای به حداقل رساندن اکسیداسیون، اتصال باید در کوتاهترین زمان به دمای لحیم کاری سخت و نرم در کوتاهترین مدت برسد، بدون اینکه به طور موضعی تحت حرارت پائین‌تر یا حرارت بیش از اندازه قرار گیرد.

**Flux removal**

Residual flux shall be removed if detrimental.

**زدایش روان ساز**

پسماند روان ساز، در صورت مضر بودن، باید زدوده شود.

**8.3.4.3.2.2 Soldered joints**

**۸-۳-۴-۳-۲-۲ لحیم کاری نرم اتصالات**

Soldering and brazing are methods of joining components together with a lower-melting-point alloy so that the parent metal (the metal or metals to be joined) is not melted (Table 10-a). In the case of soft soldering the maximum temperature employed is usually of the order of 250°C and the filler alloys (used for joining) are generally based on the tin-lead system. The components must present a clean surface to the solder to allow efficient wetting and flow of the molten filler and to provide a joint of adequate mechanical strength. To obtain the necessary cleanliness, degreasing and mechanical abrasion may be required followed by the use of a flux to remove any remaining oxide film and to ensure that no tarnish film develops on subsequent heating.

لحیم کاری سخت و نرم، روشهایی برای اتصال قطعات به یکدیگر با آلیاژ بهم با نقطه ذوب پایین‌تر هستند، بطوری که فلز مبنا (فلز یا فلزاتی که باید بهم متصل شوند) ذوب نشود (جدول a-۱۰). در مورد لحیم کاری نرم کاربرد حداکثر دما اعمال شده معمولاً ۲۵۰ درجه سانتیگراد است و آلیاژهای پرکننده (به کار رفته برای اتصال) عموماً مبتنی بر سامانه قلع و روی است. سطوح قطعات برای لحیم کاری باید دارای یک سطح تمیز باشد که بتواند تر سازی و جریان پرکننده ذوب شدهٔ موثری را برای استحکام مکانیکی لازم اتصالات فراهم نماید. برای اجرای تمیزکاری، چربی زدایی، سائیدگی مکانیکی، استفاده از روان‌ساز برای زدایش هر لایه اکسیدی باقی مانده و اطمینان از اینکه هیچ لایه کدری در عملیات حرارتی وجود نداشته باشد، لازم است به کار بسته شود.

In the case of carbon steels and stainless steels, and many of the non-ferrous alloys, the fluxes

در مورد فولادهای کربنی و زنگ نزن و بسیاری از آلیاژهای غیر آهنی روان‌سازها براساس نمکهای معدنی و

اسیدی است. برای مثال کلریدها که برای فلزات سخت بسیار خورنده هستند، مگر آنکه متعاقباً با شستشو در آب داغ زدوده شوند. برای لحیم کاری حلبی و مس و برنج تمیز، ممکن است روان سازهایی که با پایه روزین (جوهر لحیم کاری) با پسماندهای غیرخورنده در نظر گرفته شوند ضروری برای همه کارهای برقی و الکترونیکی، لازم هستند. برای افزایش میزان واکنش، فعال سازها باید به روزین افزوده شوند ولی برای جلوگیری از خوردگی بعدی باید چنان باشند که درجه حرارت لحیم کاری نرم تجزیه نگردند. خوردگی همواره خطری برای لحیم کاری نرم اتصالات آلومینیم، به واسطه اختلاف پتانسیل الکتریکی بین آلیاژ پرکننده و فلز پایه و ماهیت خورندگی بالای روان سازهایی که عموماً برای لحیم کاری نرم استفاده می‌شوند، به شمار می‌آید. با این حال امکان استفاده از لحیم کاری نرم فراصوتی برای حذف روان ساز وجود دارد. در لحیم کاری نرم آلومینیم پاک و تمیزکردن اتصالات قبل و بعد از لحیم کاری امری ضروری است. و طراحی باید به گونه ای باشد که از حبس شدن رطوبت جلوگیری به عمل آید.

are based on acidic inorganic salts, e.g. chlorides, which are highly corrosive to the metal unless they are removed subsequently by washing in hot water. For soldering tinplate, clean copper and brass, it is possible to formulate rosin-based fluxes having non corrosive residues and these are essential for all electrical and electronic work. Activators are added to the rosin to increase the reaction rate, but these must be such that they are thermally decomposed at the soldering temperature if subsequent corrosion is to be avoided. Corrosion is always a risk with solered joints in aluminum owing to the difference in electrical potential between the filler alloy and the parent metal and the highly corrosive nature of the flux that is generally used for soldering. However, it is possible to employ ultrasonic soldering to eliminate use of flux. With aluminum soldering it is imperative that the joints be well cleaned both prior and subsequent to the soldering operation, and the design should avoid subsequent trapping of moisture.

**TABLE 10-a- SOLDERING AND BRAZING**

**جدول ۱۰-الف- لحیم کاری سخت و نرم**

| PROCESS<br>فرآیند | TEMPERATURE RANGE ○ C<br>دامنه دما | TYPICAL FILTERS<br>نمونه صافی های | FLUXES<br>روان سازها |
|---|---|---|---|
| **SOLIDERING** لحیم کاری<br>Hot iron آهن داغ<br>Oven اجاق<br>Ultrasonic فراصوتی<br>Dip غوطه وری<br>Resistance مقاومت<br>Wave and cascade موج و آبشار | 60-300 | 70pb-30sn<br>40pb-60sn<br>70pb-27sn-3sb<br>40pb-58sn-2sb<br>sn-zn-pb | Chloride based<br>بر مبنای کلرید<br>Fluoride based<br>بر مبنای فلورید<br>Rosin based<br>بر مبنای رزین |
| **BRAZING** لحیم کاری سخت<br>Torch مشعل<br>Dip غوطه وری<br>Salt bath حمام نمک<br>Furnace کوره<br>Induction القا<br>Resistance مقاومتی | 500-1200 | 90AL-10SI<br>50Ag-15Cu-17Zn-18Cd<br>Ag-Cu-Na-In<br>60Ag-30Cu- 10Zn<br>50Cu-50Zn<br>97Cu-3F<br>70Ni-17Cr-3B-10Fe<br>82Ni-7Cr-5Si-3Fe<br>60Pd-40Ni | Borax based<br>بر مبنای براکس<br>Fluride based<br>بر مبنای فلوراید<br>Hydrogen gas<br>گاز هیدروژن<br>Town's gas<br>گاز شهری<br>Vaccum خلاء |

**8.3.4.3.2.3 Brazed joints**

When stronger joints are required, brazing may be used. The filler alloys employed generally melt at much higher temperatures (600-1200°C), but the effectiveness of the joining process still depends upon surface cleanliness of the components to ensure adequate wetting and spreading. Metallurgical and mechanical hazards may be encountered in that the filler may show poor spreading or joint filling capacity in a certain situation or may suffer from hot tearing, whilst during furnace brazing in hydrogen-containing atmospheres there is always the possibility that the parent metal may be susceptible to hydrogen embrittlement or steam cracking. Furthermore, brittle diffusion products may be produced at the filler base-metal interface as a result of the reaction of a

**۸-۳-۴-۳-۲-۳-۲ اتصالات لحیم شده**

وقتی که اتصال محکمتری لازم است، از لحیم کاری سخت باید استفاده شود. فلزات پرکننده‌ای که بکار میروند معمولاً در دمای بسیار بالاتر (۶۰۰ تا ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد) ذوب می‌شوند. اما کارآیی فرآیند اتصال کماکان بستگی به تمیزی سطوح قطعات دارد که باید ترشوندگی و پخش شدن فلز را تأمین کند. مخاطرات متالورژیکی و مکانیکی ممکن است پیش آید که در آنها فلز پرکننده پخش شدن ضعیفی از خود نشان دهد و یا ظرفیت پرشدن اتصال در بعضی از شرایط، نامرغوب باشد و یا از پارگی داغ صدمه ببیند، ضمن اینکه در طول لحیم کاری سخت کوره‌ای، در آتمسفرهای حاوی هیدروژن همواره این احتمال وجود دارد که فلز مبنا نسبت به تردی هیدروژنی و یا ترک، آسیب پذیر باشد. بعلاوه نتایج پخش و نفوذ تردی ممکن است در فصل مشترک فلز

component of the filler alloy with a base-metal component, e.g.phosphorus-bearing fillers used for steel in which the phosphorus diffuses into the steel.

پرکننده و فلز پایه بوجود آید که در نتیجهٔ واکنش یک عنصر آلیاژ پرکننده با یک عنصر فلز پایه است، برای مثال پرکننده‌های حاوی فسفر برای فولادی که فسفر به داخل آن نفوذ می‌کند به کار می‌رود.

Serious damage can be caused by:

صدمه جدی به دلایل زیر بوجود می‌آید:

**a)** Diffusion into the parent metal of the molten brazing alloy itself when either one or both of the parent metal(s) is in a stressed condition induced by previous heat treatment or cold working, and;

**الف)** نفوذ آلیاژ ذوب شده لحیم‌کاری سخت به داخل فلز پایه وقتی که یک یا هر دو فلز پایه، به واسطه عملیات حرارتی یا کار سرد قبلی، تحت تنش باشند،

**b)** By an externally applied load which need only be the weight of the workpiece.

**ب** ) توسط بار گذاری خارجی که فقط برای وزن قطعه کاری نیاز است.

Nickel and nickel-rich alloys are particularly prone to liquid-braze-filler attack especially when using silver-based braze fillers at temperatures well below the annealing temperature of the base metal, since under these conditions there is then no adequate stress relief of the parent metal at the brazing temperature. The problem may be avoided by annealing prior to brazing and ensuring the maintenance of stress-free conditions throughout the brazing cycle. There is a whole range of silver-nickel and palladium-based braze fillers of high oxidation and corrosion resistance that have been developed for joining the nickel-rich alloys; however, the presence of sulphur, lead or phosphorus in the base-metal surface or in the filler can be harmful, since quite small amounts can lead to interface embrittlement. In the case of the Monels, the corrosion resistance of the joint is generally less than that of the parent metal and the design must be such that as little as possible of the joint is exposed to the corrosive media.

نیکل و آلیاژهای پرنیکل به ویژه مورد حمله مایع پرکننده لحیم هستند، به ویژه هنگامی که از پرکننده های لحیم بر پایه نقره در دمایی زیر دمای نرم کردن فلز پایه، استفاده شود. زیرا در چنین شرایطی در دمای لحیم کاری، تنش زدایی کافی برای فلز پایه به عمل نمی‌آید، با نرم کردن قبل از لحیم کاری و حفظ شرایط بدون تنش در سراسر فرآیند لحیم کاری می‌توان از چنین مشکلی اجتناب کرد. انواع مختلفی از پرکننده های لحیم کاری، با پایه پالادیم و با پایه نقره – نیکل، با اکسیداسیون و مقاومت بالا در برابر خوردگی ساخته شده‌اند. با این حال، حضور سولفور، سرب یا فسفر در سطح فلز پایه یا در پرکننده می‌تواند زیان آور باشد. زیرا مقادیر بسیار کمی از آنها می‌تواند منجر به فصل مشترک تردی یا شکنندگی شود. در مورد مونل‌ها مقاومت در برابر خوردگی اتصال معمولاً کمتر از مقاومت فلز پایه است، لذا طراحی باید چنان باشد که کمترین احتمال برای قرار گرفتن اتصال در محیط خورنده وجود داشته باشد.

When, in an engineering structure, the aluminum-bronzes are used for their corrosion resistance, the selection of braze filler becomes important and although the copper-zinc brazing alloys are widely used, the corrosion resistance of the joint will be that of the equivalent brass rather than that of the bronze. With the carbon and low-alloy steels, the braze fillers are invariably noble to the steel so that there is little likelihood of trouble (small cathode/large anode

وقتی در یک سازه مهندسی، برنزهای آلومینیمی به خاطر مقاومتشان در برابر خوردگی بکار می‌روند، انتخاب پرکننده لحیم کاری اهمیت خواهد داشت. اگرچه آلیاژهای مس– روی برای لحیم‌کاری، بطور گسترده استفاده می‌شوند. مقاومت در برابر خوردگی اتصال، معادل برنج است تا نسبت به برنز. با فولادهای کربنی و کم آلیاژی، پرکننده‌های لحیم همواره نسبت به فولاد، فلزات نجیب خواهند بود آنقدر که احتمال کمی از مشکل وجود خواهد داشت (سامانه کاتد کوچک و آند بزرگ)، اما برای

system), but for stainless steels a high-silver braze filler alloy is desirable for retaining the corrosion resistance of the joint, although stress-corrosion cracking of the filler is always a possibility if the latter contains any zinc, cadmium or tin.

An interesting example of judicious choice of braze filler is to be found in the selection of silver alloys for the brazing of stainless steels to be subsequently used in a tap-water environment. Although the brazed joint may appear to be quite satisfactory, after a relatively short exposure period failure of the joint occurs by a mechanism which appears to be due to the break-down of the bond between the filler and the braze metal. Dezincification is a prominent feature of the phenomenon and zinc-free braze alloys based on the Ag-Cu system with the addition of nickel and tin have been found to inhibit this form of attack. A similar result is obtained by electroplating 0.007 mm of nickel over the joint area prior to brazing with a more conventional Ag-Cu-Zn-Cd alloy.

Brazing is generally considered unsuitable for equipment exposed to ammonia and various ammoniacal solutions because of the aggressiveness of ammonia to copper-and nickel-base alloys, but recently an alloy based on Fe-3.25B- 4.40Si-50.25Ni has been shown to be suitable for such applications.

Studying of the marine corrosion behavior of a number of braze alloy-parent metal combinations has shown that compatibility is a function of the compositions of the filler and parent metals, their microstructures and chance factors such as over heating during the brazing operation.

### 8.4 Pipe Bending and Forming

#### 8.4.1 General

Pipe may be bent and components may be formed by any hot or cold method which is suitable for the material, the fluid service, and the severity of the bending or forming process. The finished surface shall be free of cracks and substantially free from buckling. Thickness after bending or forming shall be not less than

فولادهای زنگ نزن، یک آلیاژ پرکننده لحیم پر نقره برای حفظ مقاومت اتصال در برابر خوردگی مناسب است ،اگر فلز پر کننده حاوی روی،کادمیوم یا قلع باشد، احتمال ترک ناشی از خوردگی تنشی پرکننده همیشه وجود خواهد داشت.

یک مثال جالب از انتخاب سنجیده پرکننده لحیم را باید در گزینش آلیاژهای نقره برای لحیم کاری فولادهای زنگ نزن که نهایتاً باید در محیط آب لوله‌کشی به کار رود، جستجو کرد. اگرچه اتصال جوش شده ممکن است کاملاً رضایت بخش به نظر رسد، اما بعد از یک دوره نسبتاً کوتاهی که در معرض قرار گیرند، نقص جوش یا سازوکاری که به واسطه شکست پیوند بین پرکننده و فلز لحیم سخت اتفاق می‌افتد، رخ می‌دهد. روی زدایی که یک وجه برجسته پدیده است و آلیاژهای لحیم بدون روی، براساس سامانه نقره – مس با افزایش نیکل و قلع، مانع از اینگونه خوردگی می‌شوند. نتیجه مشابهی با آبکاری ۰/۰۰۷ میلیمتر نیکل روی جوش، اتصال، پیش از لحیم کاری با یک آلیاژ معمولی‌تر نقره – مس – روی – کادمیوم، به دست آمده است.

لحیم کاری سخت معمولاً برای تجهیزاتی که در معرض آمونیاک و محلولهای آمونیاکی مختلف هستند به دلیل تهاجمی بودن آنها به آلیاژهای نقره – مس – روی – کادمیوم، نامناسب است. اما اخیراً نشان داده شده که یک آلیاژ بر پایه آهن 3.25B، سیلیسیم 4.40 و نیکل 50.25 برای چنین کاربردهایی مناسب است.

مطالعه تعدادی از ترکیبات آلیاژ فلز مبنای لحیم کاری در برابر رفتار خوردگی محیط دریا نشان داده که سازگاری، یکی از وظایف ترکیبات فلز پایه و پرکننده و ریز ساختارشان و عوامل اتفاقی چون دمای بیش از اندازه، در طول لحیم کاری است.

### ۸-۴ خم کاری و شکل دهی لوله

#### ۸-۴-۱ عمومی

لوله‌ها می‌توانند با روشهای گرم و سرد، خمیده و شکل بگیرند که فرآیند خم کاری و شکل پذیری باید متناسب با جنس لوله و نوع سیال باشد. سطح پرداخت شده باید عاری از ترک و کمانش بوده و ضخامت بعد از خمش یا شکل

that required by the design.

دهی نباید از آنچه در طراحی معین شده کمتر باشد.

**8.4.2 Bending**

**۸-۴-۲ خم کاری**

**8.4.2.1 Bend flattening**

**۸-۴-۲-۱ یکنواختی سطح خم**

Flattening of a bend, the difference between maximum and minimum diameters at any cross section, shall not exceed 8% of nominal outside diameter for internal pressure and 3% for external pressure.

یکنواختی سطح یک خم، یعنی تفاوت بین حداکثر و حداقل قطرها در هر مقطع عرضی نباید از ۸ درصد قطر بیرونی اسمی برای فشار داخلی و ۳ درصد برای فشار خارجی تجاوز کند.

**8.4.2.2 Bending temperature**

**۸-۴-۲-۲ دمای خمکاری**

**8.4.2.2.1** Cold bending of ferritic materials shall be done at a temperature below the transformation range.

**۸-۴-۲-۲-۱** خم کاری سرد مواد فریتی باید در دمایی زیر دمای تبدیل انجام گیرد.

**8.4.2.2.2** Hot bending shall be done at a temperature above the transformation range and in any case within a temperature range consistent with the material and the intended service.

**۸-۴-۲-۲-۲** خم کاری گرم باید در دمای بالای محدوده تبدیل و در هر موردی بین محدوده دمای سازگار با مواد و کارکرد مورد انتظار آن، انجام گیرد.

**8.4.2.3 Corrugated and other bends**

**۸-۴-۲-۳ خم های موجدار و سایر خم‌ها**

Dimensions and configuration shall conform to the design.

ابعاد و شکل آنها باید مطابق با طراحی باشد.

**8.4.3 Forming**

**۸-۴-۳ شکل دادن**

The temperature range for forming shall be consistent with material, intended service, and specified heat treatment.

محدوده دما برای شکل دادن باید مطابق با مواد، خدمات مورد نظر و عملیات حرارتی تعیین شده باشد.

**8.4.4 Required heat treatment for bending and forming**

**۸-۴-۴ عملیات حرارتی لازم برای خم کاری و شکل دادن**

Heat treatment shall be performed in accordance with Paragraph 8.3.4.3.2.1 when required by the following:

عملیات حرارتی باید مطابق با پاراگراف ۸-۳-۴-۳-۲-۱، در صورت لزوم براساس موارد زیر، باشد:

**8.4.4.1 Hot bending and forming**

**۸-۴-۴-۱ خم کاری و شکل دادن گرم**

After hot bending and forming, heat treatment is required for P-Nos. 4, 5, 6 and 10A materials in all thicknesses. Times and temperatures shall be in accordance with 8.5.2.

بعد از خم کاری و شکل دادن، عملیات حرارتی برای مواد مندرج در پاراگراف‌های شماره ۴، ۵، ۶ و الف- ۱۰ در هر ضخامتی، مورد نیاز است. مدت و دمای لازم باید مطابق پاراگراف ۸-۵-۲ باشد.

**8.4.4.2 Cold bending and forming (see IPS-C-PI-140)**

**۸-۴-۴-۲ خم کاری و شکل دادن سرد (به استاندارد IPS-C-PI-140 مراجعه شود)**

After cold bending and forming, heat treatment is required (for all thicknesses, and with temperature and duration as given in Table 11 when any of the following conditions exist:

بعد از خم کاری و شکل دادن سرد، عملیات حرارتی در صورت وجود هریک از شرایط زیر، برای هر ضخامتی و با مدت و دمای مندرج در جدول ۱۱ضروری است:

**8.4.4.2.1** For P-Nos. 1 through 6 materials see Note 1 on Table 11, where the maximum calculated fiber elongation after bending or forming exceeds 50% of specified basic minimum elongation (in the direction of severest forming) for the applicable specification, grade, and thickness. This requirement may be waived if it can be demonstrated that the selection of pipe and the choice of bending or forming process provide assurance that, in the finished condition, the most severely strained material retains at least 10% elongation.

**۸-۴-۴-۲-۱** برای مواد بندهای شماره ۱ تا ۶ ، به یادآوری ۱ جدول ۱۱ مراجعه شود که در آن حداکثر ازدیاد طول الیاف محاسبه شده بعد از خم کاری یا شکل دهی متجاوز از ۵۰ درصد (در سخت ترین جهت شکل دهی) برای ضخامت، رده و مشخصات قابل کاربرد است. این الزامات را در صورتی می‌توان نادیده گرفت که انتخاب لوله و گزینش فرآیند خم کاری یا شکل‌دهی در شرایط اتمام کار و در حداکثر کشیدگی ماده به انجامد و حداقل ۱۰ درصد افزایش طول، ایجاد گردد.

**8.4.4.2.2** For any material requiring impact testing, where the maximum calculated fiber elongation after bending or forming will exceed 5%.

**۸-۴-۴-۲-۲** برای موادی که نیاز به آزمون ضربه‌ای دارند، حداکثر افزایش طول محاسبه شده الیاف بعد از خم کاری و شکل‌گیری که محاسبه شده به بیش از ۵ درصد تجاوز کند.

**8.4.4.2.3** When specified in the engineering design.

**۸-۴-۴-۲-۳** وقتی که در طراحی مهندسی تعیین شده باشد.

**TABLE 11 – REQUIREMENTS FOR HEAT TREATMENT AFTER WELDING (SEE ALSO ASME B 31.1)**

**جدول ۱۱- الزامات عملیات حرارتی بعد از جوشکاری (همچنین به ASME B31.1 مراجعه شود)**

| | | Holding Time Based on Nominal Thickness<br>مدت نگهداری حرارت براساس ضخامت اسمی | |
|---|---|---|---|
| P-Number from Appendix A<br>شماره فلز پایه<br>از پیوست الف | Holding Temperature Rang, F° (C°)<br>مدت نگهداری حرارت محدوده<br>حرارت فارنهایت (سانتیگراد) | Up to 2 in (50 mm) | Over 2 in.(50 mm) |
| P-No-1<br>Gr-Nos. 1,2,3<br>فلز شماره **1**<br>درجه ۱، ۲ و ۳ | 1,100(600)<br>To<br>1,200(650) | 1hr/in.(25 mm)<br>15 min<br>Minimum<br>۱ ساعت بر اینچ (۲۵میلیمتر)<br>۱۵ دقیقه<br>حداقل | 2 hr plus 15 min<br>For each additional<br>Inch over 2 in.(50mm)<br>۲ ساعت به اضافه ۱۵ دقیقه<br>برای هر اینچ اضافی<br>بیش از ۲ اینچ (۵۰میلیمتر) |

**General Notes:**

**یادآوریهای عمومی:**

**a)** PWHT of P-No-1 materials is not mandatory, provided that all of the following conditions are met:

**الف)** عملیات حرارتی پس از جوش کاری برای فلز شماره **1** اجباری نیست مشروط بر اینکه تمام شرایط زیر رعایت گردد:

**1)** The nominal thickness, as defined in para. 132.4.1, is ¾ in. (19.0 mm) or less;

**۱)** ضخامت اسمی همانگونه که در پاراگراف ۱-۴-۱۳۲ تعیین شده $\frac{۳}{۴}$ اینچ (۱۹میلیمتر) یا کمتر است.

**2)** وقتی ضخامت اسمی هریک از فلزات پایه بیش از ۱ اینچ (۲۵ میلیمتر) است، حداقل درجه حرارتی که برای پیش گرمی به کار می‌رود ۲۰۰ درجه فارنهایت (۹۵ درجه سانتیگراد) است.

**ب )** وقتی عملیات حرارتی پس از جوش در محدوده تعیین شده در جدول ۱۳۲ عملی نباشد، عملیات حرارتی پس از جوش در درجه حرارت کمتری برای مدتی بیشتر براساس جدول ۱۳۲-۱ مجاز است.

**2)** A minimum preheat of 200 °F (95 °C) is applied when the nominal material thickness of either of the base metals exceeds 1 in. (25.0 mm).

**b)** When it is impractical to PWHT at the temperature range specified in table 132, it is permissible to perform the PWHT of this material at lower temperature for longer periods of time in accordance with table 132.1.

| | | Holding Time Based on Nominal Thickness<br>مدت نگهداری حرارت براساس ضخامت اسمی | |
|---|---|---|---|
| P-Number from Appendix A<br>شماره فلز پایه<br>از پیوست الف | Holding Temperature Rang, F° (C°)<br>مدت نگهداری حرارت محدوده<br>حرارت فارنهایت (سانتیگراد) | Up to 2 in (50 mm) | Over 2 in.(50 mm) |
| P-No-3<br>Gr-Nos. 1,2<br>فلز شماره۳<br>درجه ۱ و ۲ | 1,100(600)<br>To<br>1,200(650) | 1hr/in.(25 mm)<br>15 min<br>Minimum<br>۱ ساعت بر اینچ (۲۵ میلیمتر)<br>۱۵ دقیقه<br>حداقل | 2 hr plus 15 min<br>For each additional<br>Inch over 2 in.(50mm)<br>۲ ساعت به اضافه ۱۵ دقیقه<br>برای هر اینچ اضافی<br>بیش از ۲ اینچ (۵۰ میلیمتر) |

**General Notes:**

**یادآوریهای عمومی:**

**a)** PWHT of P-No-3 materials is not mandatory, provided that all of the following conditions are met:

**الف)** عملیات حرارتی بعد از جوشکاری فلز شماره ۳ اجباری نیست، مشروط بر اینکه تمام شرایط زیر رعایت گردد.

**1)** The nominal thickness, as defined in para. 132.4.1, is 5/8 in. (16.0 mm) or less;

**۱)** ضخامت اسمی، همانگونه که در بند ۱۳۲-۴-۱ تعیین شده، $\frac{۵}{۸}$ اینچ (۱۶ میلیمتر) یا کمتر است.

**2)** A minimum preheat of 200 °F (95 °C) is applied when the nominal material thickness of either of the base metals exceeds 5/8 in. (16.0 mm).

**۲)** وقتی ضخامت اسمی فلز هریک از فلزات پایه بیش از $\frac{۵}{۸}$ اینچ (۱۶ میلیمتر) است، حداقل درجه حرارتی که برای پیش گرمی به کار می‌رود ۲۰۰ درجه فارنهایت (۹۵ درجه سانتیگراد) است.

**3)** The specified carbon content of the P-No-3 base material is 0.25% or less.

**۳)** کربن موجود در فلز پایه شماره ۳، ۰/۲۵ درصد یا متر تعیین شده است.

**b)** When it is impractical to PWHT at the temperature range specified in table 132, it is permissible to perform the PWHT of this material at lower temperature for longer periods of time in accordance with table 132.1.

**ب)** وقتی عملیات حرارتی پس از جوش کاری در محدوده تعیین شده در جدول ۱۳۲ عملی نباشد، عملیات حرارتی پس از جوش در درجه حرارت کمتر برای مدتی بیشتر براساس جدول ۱۳۲-۱ مجاز است.

| | | Holding Time Based on Nominal Thickness<br>مدت نگهداری حرارت براساس ضخامت اسمی | |
|---|---|---|---|
| P-Number from Appendix A<br>شماره فلز پایه<br>از پیوست الف | Holding Temperature Rang, F° (C°)<br>مدت نگهداری حرارت محدوده<br>حرارت فارنهایت (سانتیگراد) | Up to 2 in (50 mm) | Over 2 in.(50 mm) |
| P-No-4<br>Gr-Nos. 1,2<br>فلز شماره ۴<br>درجه ۱ و ۲ | 1,200 (650)<br>To<br>1,300 (700) | 1hr/in.(25 mm)<br>15 min<br>Minimum<br>۱ ساعت براینچ (۲۵ میلیمتر)<br>۱۵ دقیقه<br>حداقل | 2 hr plus 15 min<br>For each additional<br>Inch over 2 in.(50mm)<br>۲ ساعت به اضافه ۱۵ دقیقه<br>برای هر اینچ اضافی<br>بیش از ۲ اینچ (۵۰ میلیمتر) |

**General Notes:** PWHT is not mandatory for P-No-4 material under the following conditions:

**a)** Welds in pipe or attachment welds to pipe complying with all of the following conditions:

**1)** A nominal material thickness of ½ in. (13.0 mm) or less.

**2)** A specified carbon content of the material to be welded of 0.15 % or less.

**3)** Application of 250 °F (120 °C) minimum preheat during welding.

**b)** for seal welding of threaded or other mechanical joints provided.

**1)** The seal weld has a throat thickness of 3/8 in. (9.0 mm) or less.

**2)** A minimum preheat of 250 °F(120 °C) is maintained during welding.

**c)** Attachment welds for nonload-carring attachments provided in adding to (a) (2) and (a) (3) above:

**1)** Stud welds or fillet welds made by the SMAW or GTAW process shall be used.

**2)** The hardened portion of the heat affected zone (HAZ) shall not encroach on the minimum wall thickness of the pipe, as determined by welding procedure qualification using the maximum welding heat input. The depth of the HAZ shall be taken as the point where the HAZ hardness dose not exceed the average unaffected base

**یادآوری‌های عمومی:** عملیات حرارتی پس از جوشکاری فلز شماره ۴ تحت شرایط زیر اجباری نیست:

**الف)** جوشهای لوله یا جوشهای متعلقات لوله باید مطابق شرایط زیر باشد:

**۱)** ضخامت اسمی فلز $\frac{۱}{۲}$اینچ (۱۳ میلیمتر) یا کمتر است.

**۲)** محتوای کربن تعیین شده فلزی که باید جوشکاری شود ۰/۱۵درصد یا کمتر است.

**۳)** حداقل درجه پیش گرمی در طول جوشکاری ۲۵۰ درجه فارنهایت (۱۲۰ درجه سانتیگراد) است.

**ب )** برای جوشکاری آب بندی اتصالات رزوه‌دار یا سایر اتصالات موارد زیر در نظر گرفته شود:

**۱)** جوش آب بند با ضخامت گلویی $\frac{۳}{۸}$ اینچ (۹ میلیمتر) یا کمتر است.

**۲)** حداقل درجه پیش گرمی که باید در طول جوشکاری حفظ گردد ۲۵۰ درجه فارنهایت (۱۲۰ درجه سانتیگراد) است.

**ج )** برای متعلقات غیرباربر، علاوه بر ردیفهای ۲ و ۳ بند الف فوق، جوشهای متعلقات تأمین شود:

**۱)** از جوشهای زائده‌ایی یا گوشه‌ای که با روش جوشکاری قوس الکترود روپوش‌دار SMAW یا جوشکاری قوس فلزی با گاز GTAW ساخته می‌شود، استفاده گردد.

**۲)** بخش سخت شده منطقه متأثر از حرارت (HAZ)، همانگونه که در شرایط دستورالعمل جوشکاری آمده با استفاده از حداکثر حرارت ورودی جوشکاری تعیین شده، به حداقل ضخامت دیواره لوله نباید پیشروی کند. عمل HAZ باید از نقطه‌ای که سختی آن از سختی متوسط فلز پایه متأثر نشده تا

بیش از ۱۰ درصد تجاوز نکند یا محاسبه شود.

**۳)** اگر از جوشکاری قوس الکترود روپوش‌دار (SMAW) استفاده می‌شود، نوع الکترود باید کم هیدروژن باشد.

**۴)** ضخامت ورق آزمون که برای شرایط دستورالعمل جوشکاری قسمت IX بکار می‌رود، نباید کمتر از ضخامت فلزی باشد که باید جوش داده شود.

**۵)** ضخامت گلویی جوش متعلقات $\frac{۳}{۱۶}$ اینچ یا کمتر باشد.

metal hardness by more than 10%.

**3)** If SMAW is used , the electrode shall be the low hydrogen type.

**4)** The thickness of the test plate used is making the welding procedure qualification of section IX shall not be less than that of the material to be welded.

**5)** The attachment weld has a throat thickness of 3/16 in. or less.

| | | Holding Time Based on Nominal Thickness<br>مدت نگهداری حرارت براساس ضخامت اسمی | |
|---|---|---|---|
| P-Number from Appendix A<br>شماره فلز پایه<br>از پیوست الف | Holding Temperature Rang, F° (C°)<br>مدت نگهداری حرارت محدوده<br>حرارت فارنهایت (سانتیگراد) | Up to 2 in (50 mm) | Over 2 in.(50 mm) |
| P-No-5A<br>Gr-Nos. 1<br>فلز شماره 5A<br>درجه ۱ | 1,300 (700)<br>To<br>1,400 (760) | 1hr/in.(25 mm)<br>15 min<br>Minimum<br>۱ ساعت براینچ (۲۵ میلیمتر)<br>۱۵ دقیقه<br>حداقل | 2 hr plus 15 min<br>For each additional<br>Inch over 2 in.(50mm)<br>۲ ساعت به اضافه ۱۵ دقیقه<br>برای هر اینچ اضافی<br>بیش از ۲ اینچ (۵۰ میلیمتر) |

**یادآوری‌های عمومی:** عملیات حرارتی پس از جوشکاری برای فلز شماره 5A تحت شرایط زیر اجباری نیست:

**الف)** جوشهای لوله یا جوشهای متعلقات باید مطابق شرایط زیر باشد:

**۱)** ضخامت اسمی $\frac{۱}{۲}$اینچ (۱۳ میلیمتر) .

**۲)** کربن محتوای فلزی که باید جوشکاری شود ۰/۱۵ درصد یا کمتر است.

**۳)** حداقل درجه پیش گرمی که در طول جوشکاری باید حفظ شود ۳۰۰ درجه فارنهایت (۱۵۰ درجه سانتیگراد) است.

**ب)** برای متعلقات غیر باربر، علاوه بر ردیفهای ۲ و ۳ بند الف فوق، جوشهای متعلقات تأمین شود:

**۱)** از جوشهای زائده‌ایی یا گوشه‌ای که با روش جوشکاری قوس الکترود روپوش‌دار SMAW یا جوشکاری قوس فلزی با گاز GTAW ساخته می‌شود، استفاده گردد.

**General Note**: PWHT is not mandatory for P-No-5A material under the following conditions:

**a)** welds in pipe or attachment welds to pipe complying with all of the following conditions:

**1)** A nominal material thickness of ½ in. (13.0 mm) or less.

**2)** A specified carbon content of the material to be welded of 0.15% or less.

**3)** A minimum preheat of 300 °F (150 °C) is maintained during welding .

**b)** attachment welds for non-load carrying attachments provided in addition to (a) (2) and (a) (3) above:

**1)** Stud welds or fillet welds made by the SMAW or GTAW process shall be used.

**2)** The hardened portion of the heat affected zone (HAZ) shall not encroach on the minimum wall thickness of pipe, as determined by welding procedure qualification using the maximum welding heat input. The depth of the HAZ shall be taken as the point where the HAZ hardness dose not exceed the average unaffected base metal hardness by more than 10%.

**3)** If SMAW is used, the electrode shall be the low hydrogen type.

**4)** The thickness of the test plate used in making the welding procedure qualification of section IX shall not be less than that of the material to be welded.

**5)** The attachment weld has a throat thickness of 3/16 in. or less.

**۲)** بخش سخت شده منطقه متأثر از حرارت (HAZ)، همانگونه که در شرایط دستورالعمل جوشکاری آمده با استفاده از حداکثر حرارت ورودی جوشکاری تعیین شده، به حداقل ضخامت دیواره لوله نباید پیشروی کند، عمق HAZ باید از نقطه‌ای که سختی آن از سختی متوسط فلز پایه متأثر نشده، تا بیش از ۱۰ درصد تجاوز نکند، محاسبه شود.

**۳)** اگر از جوشکاری قوس الکترود روپوش‌دار SMAW استفاده می‌شود، نوع الکترود باید کم هیدروژن باشد.

**۴)** ضخامت ورق آزمون که برای شرایط دستورالعمل جوشکاری قسمت IX به کار می‌رود، نباید کمتر از فلزی باشد که باید جوش داده شود.

**۵)** ضخامت گلویی جوش متعلقات $\frac{۳}{۱۶}$ اینچ یا کمتر باشد.

| | | Holding Time Based on Nominal Thickness<br>مدت نگهداری حرارت براساس ضخامت اسمی | |
|---|---|---|---|
| P-Number from Appendix A<br>شماره فلز پایه<br>از پیوست الف | Holding Temperature Rang, F° (C°)<br>مدت نگهداری حرارت محدوده<br>حرارت فارنهایت (سانتیگراد) | Up to 2 in (50 mm) | Over 2 in.(50 mm) |
| P-No-5B<br>Gr-Nos. 1,2<br>فلز شماره 5B<br>درجه ۱ و ۲ | 1,300 (700)<br>To<br>1,400 (760) | 1hr/in.(25 mm)<br>15 min<br>Minimum<br>۱ ساعت براینچ (۲۵ میلیمتر)<br>۱۵ دقیقه<br>حداقل | 2 hr plus 15 min<br>For each additional<br>Inch over 2 in.(50mm)<br>۲ ساعت به اضافه ۱۵ دقیقه<br>برای هر اینچ اضافی<br>بیش از ۲ اینچ (۵۰ میلیمتر) |
| | | Holding Time Based on Nominal Thickness<br>مدت نگهداری حرارت براساس ضخامت اسمی | |
| P-Number from Appendix A<br>شماره فلز پایه<br>از پیوست الف | Holding Temperature Rang, F° (C°)<br>مدت نگهداری حرارت محدوده<br>حرارت فارنهایت (سانتیگراد) | Up to 2 in (50 mm) | Over 2 in.(50 mm) |
| P-No-6<br>Gr-Nos. 1,2,3<br>فلز شماره 6<br>درجه۱،۲و۳ | 1,400 (760)<br>To<br>1,475 (800) | 1hr/in.(25 mm)<br>15 min<br>Minimum<br>۱ ساعت براینچ (۲۵ میلیمتر)<br>۱۵ دقیقه<br>حداقل | 2 hr plus 15 min<br>For each additional<br>Inch over 2 in.(50mm)<br>۲ ساعت به اضافه ۱۵ دقیقه<br>برای هر اینچ اضافی<br>بیش از ۲ اینچ (۵۰ میلیمتر) |

**General Note:** PWHT is not mandatory for P-No-6 type 410 material provided all of the following conditions are met:

**یادآوری‌های عمومی:** عملیات حرارتی بعد از جوشکاری برای فلز شماره ۶ نوع ۴۱۰ اجباری نیست، مشروط بر اینکه شرایط زیر رعایت گردد:

**الف)** محتوای کربن تعیین شده بیشتر از ۰/۰۸ درصد نباشد.

**ب)** ضخامت اسمی فلز $\frac{۳}{۸}$ اینچ (۱۰ میلیمتر) یا کمتر است.

**ج)** جوشها با فلز پرکننده شماره‌های A8 و A9 یا F43 ساخته شود.

**a)** The specified carbon content is not more than 0.08%.

**b)** The nominal material thickness is 3/8 in. (10 mm) or less;

**c)** The weld is made with A8 , A9, F43 filler metal.

| | | Holding Time Based on Nominal Thickness<br>مدت نگهداری حرارت براساس ضخامت اسمی | |
|---|---|---|---|
| P-Number from Appendix A<br>شماره فلز پایه<br>از پیوست الف | Holding Temperature Rang, F° (C°)<br>مدت نگهداری حرارت محدوده<br>حرارت فارنهایت (سانتیگراد) | Up to 2 in (50 mm) | Over 2 in.(50 mm) |
| P-No-7<br>Gr-Nos. 1,2<br>فلز شماره پایه 7<br>درجه ۱ و ۲ | 1,350 (730)<br>To<br>1,425 (775) | 1hr/in.(25 mm)<br>15 min<br>Minimum<br>۱ ساعت براینچ (۲۵ میلیمتر)<br>۱۵ دقیقه<br>حداقل | 2 hr plus 15 min<br>For each additional<br>Inch over 2 in.(50mm)<br>۲ ساعت به اضافه ۱۵ دقیقه<br>برای هر اینچ اضافی<br>بیش از ۲ اینچ (۵۰ میلیمتر) |

**یادآوریهای عمومی:**

**الف)** بجای میزان سردکنندگی تعیین شده در پاراگراف ۱۳۲-۵ ، میزان سردکنندگی فلز شماره ۷ نباید متجاوز از ۱۰۰ درجه فارنهایت (۵۵ درجه سانتیگراد) در ساعت از محدوده ۱۲۰۰ درجه فارنهایت (۶۵۰ درجه سانتیگراد) باشد که بعد از آن میزان سردکنندگی باید باندازه‌ای سریع باشد تا از شکنندگی پیشگیری شود.

**ب)** عملیات حرارتی بعد از جوشکاری برای فلز شماره ۷ از نوع 405 اجباری نیست مشروط بر اینکه تمام شرایط زیر رعایت گردد:

**۱)** محتوای کربن تعیین شده بیشتر از ۰/۰۸ درصد نباید باشد.

**۲)** ضخامت اسمی $\frac{۳}{۸}$ اینچ (۱۰ میلیمتر) یا کمتر است.

**۳)** جوش باید با فلز شماره‌های A8، A9 ، F43 ساخته شود.

**General Notes:**

**a)** In lieu of the cooling rate described in para. 132.5, P-No 7 material cooling rate shall be not greater than 100 °F(55 °C) per hr in the range above 1200 °F(650°C) after which the cooling rate shall be sufficiently rapid to prevent embitterment.

**b)** PWHT is not mandatory for P-No-7 type 405 material provided all of the following conditions are met:

**1)** The specified carbon content is not more than 0.08%.

**2)** The nominal material thickness is 3/8 in. (10 mm) or less.

**3)** The weld is made with A8, A9, or F-43 filler metal.

| | | Holding Time Based on Nominal Thickness<br>مدت نگهداری حرارت براساس ضخامت اسمی | |
|---|---|---|---|
| P-Number from Appendix A<br>شماره فلز پایه<br>از پیوست الف | Holding Temperature Rang, F° (C°)<br>مدت نگهداری حرارت محدوده<br>حرارت فارنهایت (سانتیگراد) | Up to 2 in (50 mm) | Over 2 in.(50 mm) |
| P-No-8<br>Gr-Nos. 1,2,3,4<br>فلز شماره پایه ۸<br>درجه ۱، ۲، ۳ و ۴ | None | None | None |

**یادآوری عمومی:** عملیات حرارتی بعد از جوشکاری برای اتصالات بین فولادهای زنگ نزن آستنیتی نه لازم است و نه منع شده است.

**General Note**: PWHT is neither required nor prohibited for joints between P-No-8 austenitic stainless steels.

| | | Holding Time Based on Nominal Thickness<br>مدت نگهداری حرارت براساس ضخامت اسمی | |
|---|---|---|---|
| P-Number from Appendix A<br>شماره فلز پایه<br>از پیوست الف | Holding Temperature Rang, F° (C°)<br>مدت نگهداری حرارت محدوده<br>حرارت فارنهایت (سانتیگراد) | Up to 2 in (50 mm) | Over 2 in.(50 mm) |
| P-No-9A<br>Gr-No. 1<br>فلز شماره 9A<br>درجه ۱ | 1,100(600)<br>To<br>1,200(650) | 1hr/in.(25 mm)<br>15 min<br>Minimum<br>۱ ساعت براینچ (۲۵ میلیمتر)<br>۱۵ دقیقه<br>حداقل | 2 hr plus 15 min<br>For each additional<br>Inch over 2 in.(50mm)<br>۲ ساعت به اضافه ۱۵ دقیقه<br>برای هر اینچ اضافی<br>بیش از ۲ اینچ (۵۰ میلیمتر) |

**یادآوریهای عمومی:**

**الف)** وقتی جوشهای لوله یا متعلقات آن مطابق با شرایط زیر باشد، عملیات حرارتی پس از جوشکاری فلز شماره 9A اجباری نیست:

**۱)** ضخامت اسمی فلز $\frac{۱}{۲}$ اینچ (۱۳ میلیمتر) یا کمتر است.

**۲)** محتوای کربن تعیین شده در فلز که باید جوش داده شود ۰/۱۵ درصد یاکمتر است.

**۳)** حداقل درجه حرارت برای پیش گرمی ۲۵۰ درجه فارنهایت (۱۲۰ درجه سانتیگراد) است که باید در طول جوشکاری حفظ شود.

**ب)** وقتی عملیات حرارتی پس ازجوشکاری در محدوده تعیین شده در جدول 132 عملی نباشد، در حرارت پایین‌تر به مدت بیشتر براساس جدول 132.1 مجاز است، ولی حداقل عملیات حرارتی پس از جوشکاری نباید کمتر از ۱۰۰۰ درجه فارنهایت (۵۵۰ درجه سانتیگراد) باشد.

**General Notes:**

**a)** PWHT is not mandatory for P-No-9A material when welds on pipe or attachment welds to pipe comply with all of the following conditions:

**1)** A nominal material thickness of ½ in. (13.0 mm) or less.

**2)** A specified carbon content of the material to be welded of 0.15% or less.

**3)** A minimum preheat of 250°F (120°C) is maintained during welding.

**b)** when it is impractical to PWHT at the temperature range specified in table 132, it is permissible to perform the PWHT of this material at lower temperature for longer periods of time in accordance with table 132.1 but the minimum PWHT shall not be less than 1000°F (550°C)

| | | Holding Time Based on Nominal Thickness<br>مدت نگهداری حرارت براساس ضخامت اسمی | |
|---|---|---|---|
| P-Number from Appendix A<br>شماره فلز پایه<br>از پیوست الف | Holding Temperature Rang, F° (C°)<br>مدت نگهداری حرارت محدوده<br>حرارت فارنهایت (سانتیگراد) | Up to 2 in (50 mm) | Over 2 in.(50 mm) |
| P-No-9B<br>Gr-No. 1<br>فلز شماره 9B<br>درجه ۱ | 1,100(600)<br>To<br>1,175 (630) | 1hr/in.(25 mm)<br>15 min<br>Minimum<br>۱ ساعت براینچ (۲۵ میلیمتر)<br>۱۵ دقیقه<br>حداقل | 2 hr plus 15 min<br>For each additional<br>Inch over 2 in.(50mm)<br>۲ ساعت به اضافه ۱۵ دقیقه<br>برای هر اینچ اضافی<br>بیش از ۲ اینچ (۵ میلیمتر) |

**a)** PHWT of P-No-9B material is not mandatory for a nominal material thickness of 5/8 in. (16.0 mm) or less provided the welding procedure qualification has been made using material of thickness equal to or greater than the production weld.

**الف)** عملیات حرارتی پس از جوشکاری فلز شماره 9B، با ضخامت $\frac{5}{8}$ اینچ (۱۶ میلیمتر) یا کمتر اجباری نیست مشروط بر اینکه شرایط دستورالعمل جوشکاری با استفاده از فلز به ضخامت برابر یا بیشتر از جوش تولید شده باشد.

**b)** when it is impractical to PWHT at the temperature rang specified in table 132, it is permissible to perform the PWHT of this material at lower temperatures for longer periods of time in accordance with table 132.1, but the minimum PWHT temperature shall not be less than 1000°F (550°C)

**ب )** وقتی عملیات حرارتی پس از جوشکاری در محدوده تعیین شده در جدول 132 عملی نباشد، درجه حرارت پایین‌تر به مدت بیشتر براساس جدول 132.1 مجاز است، ولی حداقل عملیات حرارتی پس از جوشکاری نباید کمتر از ۱۰۰۰ درجه فارنهایت (۵۵۰ درجه سانتیگراد) باشد.

| | | Holding Time Based on Nominal Thickness<br>مدت نگهداری حرارت براساس ضخامت اسمی | |
|---|---|---|---|
| P-Number from Appendix A<br>شماره فلز پایه<br>از پیوست الف | Holding Temperature Rang, F° (C°)<br>مدت نگهداری حرارت محدوده<br>حرارت فارنهایت (سانتیگراد) | Up to 2 in (50 mm) | Over 2 in.(50 mm) |
| P-No-10H<br>Gr-Nos. 1<br>فلز شماره پایه 10H<br>درجه ۱ | None | None | None |

**General Note:** post weld heat treatment is neither required nor prohibited. If any heat treatment is performed after forming or welding, it shall be performed within the temperature rang listed below for the particular alloy, followed by a rapid cool:

**یادآوری عمومی:** عملیات حرارتی پس از جوشکاری نه لازم و نه منع شده است. اگر عملیات حرارتی بعد از جوشکاری انجام شود، باید در محدوده، حرارتی که در زیر برای آلیاژهای خاص آمده است انجام شود و به سرعت سرد گردد.

Alloy S31803 1870°F -2010°F
Alloy S32550 1900°F- 2050°F
Alloy S32750 1880°F- 2060°F
Alloy others 1800°F- 1900°F

| | | Holding Time Based on Nominal Thickness<br>مدت نگهداری حرارت براساس ضخامت اسمی | |
|---|---|---|---|
| P-Number from Appendix A<br>شماره فلز پایه<br>از پیوست الف | Holding Temperature Rang, F° (C°)<br>مدت نگهداری حرارت محدوده<br>حرارت فارنهایت (سانتیگراد) | Up to 2 in (50 mm) | Over 2 in.(50 mm) |
| P-No-101<br>Gr-No. 1<br>فلز شماره پایه 101<br>درجه ۱ | 1,350 (730)<br>To<br>1,500 (815) | 1hr/in.(25 mm)<br>15 min<br>Minimum<br>۱ ساعت براینچ (۲۵ میلیمتر)<br>۱۵ دقیقه | 1 hr /in.(25 mm)<br>۱ ساعت/اینچ<br>(۲۵ میلیمتر) |

**General Notes:**

**a)** in lieu of the cooling rate described in para. 132.5, the P-No-101 material cooling rate shall be not greater than 100°F /hr in the rang above 1,200°F (650°C), after which the cooling rate shall be sufficiently rapid to prevent embrittlement.

**b)** postweld heat treatment is neither required nor prohibited for a nominal thickness of ½ in. or less.

**8.5 Effect of Heat Treatment**

**8.5.1 General**

**8.5.1.1** Many of the mechanical properties of materials are improved by various heat treatments. Unfortunately, such properties as hardness and strength are often achieved at the expense of corrosion resistance. For example, the hardness and strength of martensitic steels are counterbalanced by a lower corrosion resistance than for the ferritic and austenitic steels. The very high strengths achieved for precipitation-hardened steels are due to the secondary precipitates formed during the solution heat treating and aging process. As discussed above, precipitates with electrochemical properties distinctly different from those of the matrix have a deleterious effect on corrosion.

**8.5.1.2** Processes such as cold working, in which the material is plastically deformed into some desired shape, lead to the formation of elongated and highly deformed grains and a decrease in corrosion resistance. Cold working can also introduce residual stresses that make

**یادآوریهای عمومی:**

**الف)** بجای میزان سردکنندگی تعیین شده در پاراگراف 132.5، میزان سردکنندگی فلز شماره 101 نباید متجاوز از ۱۰۰ درجه فارنهایت در ساعت و بالاتر از ۱۲۰۰ درجه فارنهایت (۶۵۰ درجه سانتیگراد) باشد که بعد از آن میزان سردکنندگی باید به اندازه‌ای سریع باشد تا از شکنندگی پیشگیری شود.

**ب )** عملیات حرارتی بعد از جوش برای ضخامت اسمی $\frac{۱}{۲}$ اینچ یا کمتر نه لازم است و نه منع شده است.

**۸-۵ اثرات عملیات حرارتی**

**۸-۵-۱ عمومی**

**۸-۵-۱-۱** بسیاری از خواص مکانیکی مواد با عملیات حرارتی مختلف بهتر میشوند. متأسفانه چنین خواصی مانند سختی و استحکام اغلب به بهای از دست دادن مقاومت در برابر خوردگی به دست می‌آیند. برای مثال، سختی و استحکام فولادهای مارتنزیتی با مقاومت کمتر در برابر خوردگی نسبت به آنچه که برای فولادهای فریتی و آستنیتی است، متوازن می‌گردد. همین استحکام بالایی که برای فولادهایی با رسوب سخت حاصل می‌شود، به واسطه رسوبات ثانوی است که در طول عملیات حرارتی انحلالی و فرآیند پیری به وجود می‌آید. همانگونه که در بالا گفته شد رسوبات با خواص الکترو شیمیایی به وضوح متفاوت از رسوبات زمینه فلزی است که اثر زیان بخشی روی خوردگی دارد.

**۸-۵-۱-۲** فرآیندهایی چون سرد سازی یا خنک کاری که در آن ماده از لحاظ شکل پذیری به بعضی شکلهای دلخواه تغییر میکند. منجر به ایجاد ازدیاد طول و تغییر شکل دانه‌ها و کاهش مقاومت در برابر خوردگی می‌گردد. خنک کاری نیز میتواند باعث باقیماندن تنش‌های داخلی

the material susceptible to stress-corrosion cracking. An improvement in corrosion resistance can be achieved by subsequently annealing at a temperature at which grain recrystallization can occur. A partial anneal leads to stress relief without a major effect on the overall strength of the material.

شده که این امر خود موجب بوجود آمدن ترک های ناشی از خوردگی تنشی می شود. افزایش مقاومت در برابر خوردگی با نرم کردن در درجه حرارتی که کریستالی شدن مجدد دانه‌ها بتواند رخ دهد، به دست می‌آید. باز پخت جزیی بدون اینکه اثر عمده‌ای روی کل استحکام داشته باشد منجر به تنش زدایی می‌شود.

**8.5.1.3** From the corrosion viewpoint, welding is a particularly troublesome treatment. Because welding involves the local heating of a material, it can lead to phase transformations and the formation of secondary precipitates. It can also induce stress in and around the weld. Such changes can lead to significant local differences in electro-chemical properties as well as the onset of such processes as intergranular corrosion. Therefore, the weld filler metal should be as close in electro-chemical properties to the base metal as technically feasible, and the weld should be subsequently stress relieved. Detailed information on the corrosion problems associated with welded joints can be found in the article "corrosion of weldment" in Vol. 13 Corrosion Handbook (see Clause 8.3.1).

**۸-۵-۱-۳** از نقطه نظر خوردگی، جوشکاری به خصوص مشکل آفرین است. زیرا جوشکاری همراه با حرارت دهی موضعی مواد است که این می‌تواند منجر به تغییر شکل‌های فازی و تشکیل رسوب ثانوی شود و نیز باعث تنش در داخل، و اطراف جوش گردد. چنین تغییراتی می‌تواند منجر به تفاوتهای موضعی در خواص الکتروشیمیایی و آغاز چنین فرآیندی به صورت خوردگی بین دانه‌ای گردد. بنابراین فلز پرکننده جوش باید از لحاظ خواص نزدیک به خواص الکتروشیمیایی فلز پایه که از لحاظ فنی عملی است، باشد و جوش باید مورد تنش زدایی بعدی قرارگیرد. اطلاعات مفصل راجع به مشکلات خوردگی همراه با اتصالات جوش شده را می‌توان در مقاله مندرج در "خوردگی قطعات جوش شده" در جلد ۱۳ کتاب راهنمای خوردگی به دست آورد. (به بند ۸-۳-۱ مراجعه شود).

**8.5.1.4** Heat treatment shall be used to avert or relieve the detrimental effects of high temperature and severe temperature gradients inherent in welding, and to relieve residual stresses created by bending and forming. Provisions in 8.5.2 are basic practices which are suitable for most welding, bending, and forming operations, but not necessarily appropriate for all service conditions.

**۸-۵-۱-۴** عملیات حرارتی برای برطرف کردن یا زدایش اثرات زیان بخش درجه حرارت بالا و گرادیانهای شدید درجه حرارت که در جوشکاری، امری ذاتی است، استفاده گردد و نیز برای زدایش تنشهای باقیمانده از خم کاری و شکل دادن به کار گرفته شود. مقررات مندرج در بند ۸-۵-۲ عملیات اساسی مناسب برای جوشکاری، خم کاری و شکل دهی است، اما الزاماً برای تمام شرایط مناسب نخواهد بود.

### 8.5.2 General Heat treatment requirements

### ۸-۵-۲ الزامات عمومی عملیات حرارتی

**8.5.2.1** Heat treatment shall be in accordance with the material groupings and thickness ranges in Table 11 except as provided in Paragraphs 8.5.3.1 and 8.5.3.2.

**۸-۵-۲-۱** عملیات حرارتی باید براساس گروه بندی مواد و درجه ضخامت مندرج در جدول ۱۱، به استثنای آنچه که در پاراگراف ۸-۵-۳-۱ و ۸-۵-۳-۲ آمده است، باشد.

**8.5.2.2** Heat treatment to be used after production welding shall be specified in the Welding Procedure Specification (WPS) and shall be used in qualifying the welding procedure.

**۸-۵-۲-۲** عملیات حرارتی که باید بعد از جوشکاری مورد استفاده قرار گیرد، باید در مشخصات دستورالعمل جوشکاری تعیین شود (WPS) بنابراین باید از روش جوشکاری واجد شرایط استفاده گردد.

**8.5.2.3** The engineering design shall specify the examination and/or other production quality control (not less than the requirements of this Standard) to ensure that the final welds are of adequate quality.

**۸-۵-۲-۳** طراحی مهندسی باید تعیین کننده نوع آزمایش و یا سایر روشهای آزمون کنترل کیفی محصول (نه کمتر از الزامات این استاندارد) باشد تا اطمینان حاصل گردد که جوشهای نهایی از نظر کیفیت مناسب هستند.

**8.5.2.4** Heat treatment for bending and forming shall be in accordance with 8.4.4.

**۸-۵-۲-۴** عملیات حرارتی برای خم کاری و شکل دهی باید براساس پاراگراف ۸-۴-۴ باشد.

**8.5.2.5 Governing thickness**

When components are joined by welding, the thickness to be used in applying the heat treatment provisions of Table 11 shall be that of the thicker component measured at the joint, except as follows.

**۸-۵-۲-۵ ضخامت کنترل کننده**

وقتی قطعات جوشکاری بهم اتصال داده می‌شوند، ضخامتی که برای عملیات حرارتی مطابق مقررات عملیات حرارتی جدول ۱۱ استفاده می‌شود باید اندازه گیری قطعه ضخیم تر در محل اتصال باشد. به استثنای موارد زیر.

**8.5.2.5.1** In the case of branch connections, metal (other than weld metal) added as reinforcement, whether an integral part of a branch fitting or attached as a reinforcing pad or saddle, shall not be considered in determining heat treatment requirements. Heat treatment is required, however, when the thickness through the weld in any plane through the branch is greater than twice the minimum material thickness requiring heat treatment, even though the thickness of the components at the joint is less than the minimum thickness. Thickness through the weld for the details shown in Fig. 13 shall be computed using the following formulas:

**۸-۵-۲-۵-۱** در مورد اتصالات انشعابی، فلز افزودنی به عنوان تقویت کننده، (غیر از فلز جوش) خواه به عنوان بخشی از مجموعه یا یک اتصال انشعابی یا به صورت یک صفحه یا زین تقویتی میانی، در تعیین الزامات عملیات حرارتی نباید در نظر گرفته شود. با این حال عملیات حرارتی وقتی لازم است که ضخامت سراسر جوش در صفحه در سرتاسر انشعاب، بیشتر از دو برابر حداقل ضخامت موادی باشد که نیاز به عملیات حرارتی دارند، حتی اگر ضخامت قطعات در محل اتصال کمتر از حداقل ضخامت باشد. ضخامت سراسر جوش، نشان داده شده در شکل ۱۳ باید با استفاده از معادلات زیر محاسبه شود:

شکل (۱) Sketch (1) = $\overline{T}_b + t_c$

شکل (۲) Sketch (2) = $\overline{T}_h + t_c$

شکل (۳) Sketch (3) = greater of $\overline{T}_b + t_c$ or $\overline{T}_h + t_c$

Where:

$\overline{T}_b$ = nominal thickness of branch pipe ضخامت اسمی لوله انشعابی = $T_b$

$\overline{T}_h$ = nominal thickness of header ضخامت اسمی لوله اصلی = $T_h$

$t_c$ = check (ok) of 0.7 $T_b$ کنترل (صحت) 0.7 $T_b$ = $t_c$

$\overline{T}_r$ = nominal thickness of reinforcing pad or saddle ضخامت اسمی صفحه یا زین تقویتی = $T_r$

$t_{min}$ = lesser of $\overline{T}_b$ or $\overline{T}_r$ هر کدام کوچکتر باشد $T_r$ یا $T_b$ = $t_{min}$

Sketch (4) = $\overline{T}_h + \overline{T}_r + t_c$ شکل (۴)

Sketch (5) = $\overline{T}_b + t_c$ شکل (۵)

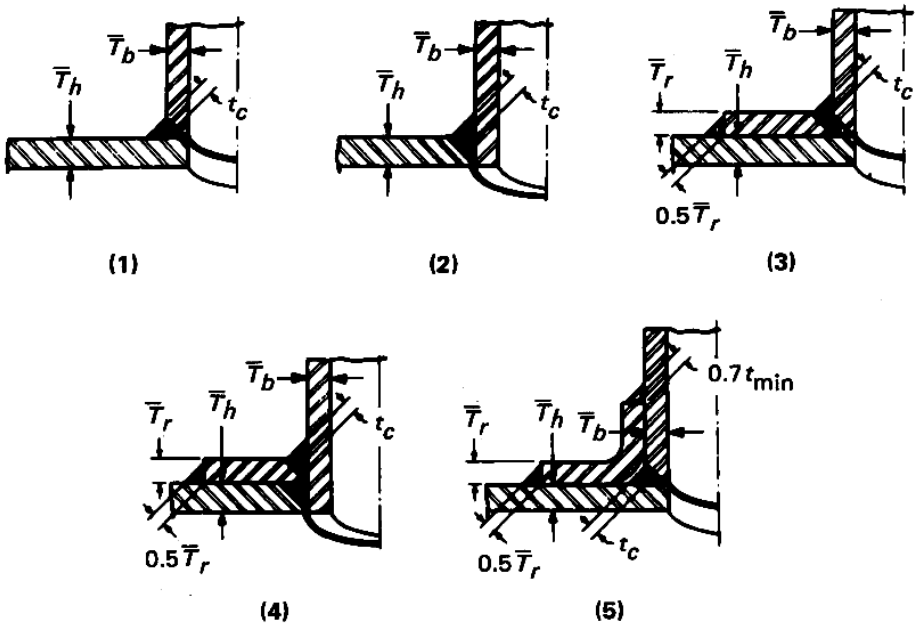



**Fig. 13- ACCEPTABLE DETAILS FOR BRANCH ATTACHMENT WELDS**

**شکل ۱۳- جزییات پذیرفته شده برای جوش اتصالات انشعابی**

**8.5.2.5.2** In the case of fillet welds at slip-on and socket welding flanges and piping connections NPS 2 and smaller, for seal welding of threaded joints in piping NPS 2 and smaller, and for attachment of external non-pressure parts such as lugs or other pipe supporting elements in all pipe sizes, heat treatment is required when the thickness through the weld in any plane is more than twice the minimum material thickness requiring heat treatment (even though the thickness of the components at the joint is less than that minimum thickness) except as follows:

**۸-۵-۲-۵-۲** در مورد جوشهای گلویی در فلنجهای لغزشی و جوشکاری با بوشن و اتصالات لوله کشی با اندازه اسمی لوله ۲ (NPS 2) و کوچکتر، برای جوشکاری آب بند اتصالات رزوه‌دار در لوله کشی با اندازه اسمی لوله ۲ (NPS 2) و کوچکتر و برای اتصال قطعات خارجی بدون فشار مانند گیره ها، قلابها و تکیه‌گاههای لوله ها در تمام اندازه‌ها، عملیات حرارتی لازم است، وقتی که ضخامت سراسر جوش در هر صفحه بیشتر از دو برابر حداقل ضخامت موادی است که نیاز به عملیات حرارتی دارند، (حتی اگر ضخامت قطعات در اتصال کمتر از حداقل ضخامت باشد) به استثنای موارد زیر:

**a)** not required for P-No. 1 materials when weld throat thickness is 16 mm (5/8 inch) or less, regardless of base metal thickness;

**الف)** مواد شماره ۱ صرفنظر از ضخامت فلز پایه، وقتی ضخامت گلویی جوش ۱۶ میلیمتر ($\frac{۵}{۸}$ اینچ) یا کمتر باشد، نیاز به عملیات حرارتی ندارد.

**b)** not required for P-No. 3, 4, 5, or 10A materials (see Table 11) when weld throat thickness is 13 mm (½ inch) or less, regardless of base metal thickness, provided that not less than the recommended preheat is applied, and the specified minimum tensile strength of the base metal is less than 490 MPa (71 ksi);

**ب )** مواد شماره ۳، ۴ و ۵ یا 10A(به جدول ۱۱ مراجعه شود)، وقتی ضخامت گلویی جوش ۱۳ میلیمتر ($\frac{۱}{۲}$ اینچ) یا کمتر است، صرفنظر از ضخامت فلز پایه، نیاز به عمل حرارتی ندارند مشروط بر اینکه کمتر از پیش گرمی توصیه شده به کار نرود و حداقل استحکام کششی فلز پایه کمتر از ۴۹۰ مگاپاسکال (۷۱ کیلوپوند بر اینچ مربع) باشد.

**c)** not required for ferritic materials when welds are made with filler metal which does not air harden. Austenitic welding materials may be used for welds to ferritic materials when the effects of service conditions, such as differential thermal expansion due to elevated temperature, or corrosion, will not adversely affect the weldment.

**ج )** مواد فریتی به عملیات حرارتی احتیاجی ندارند، وقتی که جوشها با فلز پرکننده‌ای که با هوا سخت نشده باشد تولید شود. مواد جوشکاری آستنیتی ممکن است به جای مواد فریتی برای جوش مورد استفاده قرار گیرد، در صورتیکه اثرات شرایط کارکردی مانند انبساط حرارتی غیر یکنواخت به واسطه افزایش درجه حرارت یا خوردگی اثر زیانباری روی قطعه جوشکاری شده نداشته باشد.

**8.5.2.6 Heating and cooling**

The heating method shall provide the required metal temperature, metal temperature uniformity, and temperature control, and may include an enclosed furnace, local flame heating, electric resistance, electric induction, or exothermic chemical reaction. The cooling method shall provide the required or desired cooling rate and may include cooling in a furnace, in air, by application of local heat or insulation, or by other suitable means.

**۸-۵-۲-۶ گرمایش و سرمایش**

روش گرمایش باید درجه حرارت لازم فلز، یکنواختی درجه حرارت فلز و کنترل حرارت را تأمین کند و ممکن است شامل کوره بسته، گرمایش موضعی با شعله، مقاومت برقی، القاء برقی یا گرمازایی واکنش شیمیایی باشد. روش سرمایش باید میزان سرمایش لازم یا مطلوب را تأمین کند و ممکن است شامل سرمایش در کوره، در هوا، با کاربرد گرمایش موضعی یا عایق‌کاری یا با سایر وسایل مناسب، باشد.

**8.5.2.7 Temperature verification**

Heat treatment temperature shall be checked by thermocouple, pyrometers or other suitable methods to ensure that the Welding Procedure Specification (WPS) requirements are met. See Paragraph 8.6.4.2 for attachment of thermocouples by the capacitor discharge method of welding.

**۸-۵-۲-۷ تعیین درجه حرارت**

درجه حرارت عملیات حرارتی باید با پیرومتر، ترموکوپل یا سایر شیوه‌ها برای اطمینان از اینکه الزامات مشخصات دستورالعمل جوشکاری (WPS) برآورده می‌شود، کنترل گردد. برای اتصال ترموکوپل با روش جوشکاری تخلیه خازن، به بند ۸-۶-۴-۲ مراجعه شود.

**8.5.2.8 Hardness tests**

Hardness tests of production welds and of hot bent and hot formed piping are intended to verify satisfactory heat treatment. The hardness limit applies to the weld and to the Heat Affected Zone (HAZ) tested as close as practicable to the edge of the weld:

**a)** Where a hardness limit is specified in Table 11 at least 10% of welds, hot bends, and hot formed components in each furnace heat treated batch and 100% of those locally heat treated shall be tested.

**b)** When dissimilar metals are joined by welding, the hardness limits specified for the base and welding materials in Table 11 shall be met for each material.

**8.5.3 Specific requirements of heat treatment**

Where warranted by experience or knowledge of service conditions, alternative methods of heat treatment or exceptions to the basic heat treatment provisions of Paragraph 8.5.2 may be adopted as provided in 8.5.3.1 and 8.5.3.2.

**8.5.3.1 Alternative heat treatment**

Normalizing, or normalizing and tempering, or annealing may be applied in lieu of the required heat treatment after welding, bending, or forming, provided that the mechanical properties of any affected weld and base metal meet specification requirements after such treatment and that the substitution is approved by the designer.

**8.5.3.2 Exceptions to basic requirements**

The basic practices therein may require modification to suit service conditions in some cases. In such cases, the designer may specify more stringent requirements in the engineering design, including heat treatment and hardness limitations for lesser thickness, or may specify less stringent heat treatment and hardness requirements, including none.

**۸-۵-۲-۸ سختی سنجی**

سختی سنجی جوشها و خم کاری گرم و شکل دادن لوله به روش گرم برای کنترل عملیات حرارتی بصورت رضایت-بخش در نظرگرفته شده است. محدوده سختی که برای آزمون جوش و منطقه متأثر از حرارت جوش به کار می‌رود به همان دقتی است که برای لبه های جوش استفاده می-شود:

**الف)** دست کم ۱۰ درصد جوشها، خم‌کاری‌های گرم و قطعات شکل داده شده گرم در هر عملیات حرارتی کوره غیر پیوسته و ۱۰۰ درصد آنهایی که به طور موضعی مورد عملیات حرارتی قرار گرفته‌اند، باید براساس محدوده سختی تعیین شده در جدول ۱۱ مورد آزمایش قرار گیرند.

**ب )** وقتی فلزات غیرمشابه بوسیله جوشکاری بهم متصل میشوند، محدوده سختی معین شده برای مواد پایه و جوشکاری مندرج در جدول ۱۱ باید مناسب برای هر یک از مواد باشد.

**۸-۵-۳ الزامات ویژه عملیات حرارتی**

در شرایطی که تجربه یا دانش شرایط کاری ایجاب کند، روشهای جایگزین عملیات حرارتی یا موارد استثناء نسبت به مقررات عملیات حرارتی اصلی بند ۸-۵-۲، می‌تواند مطابق بندهای ۸-۵-۳-۱ و ۸-۵-۳-۲ بکار رود.

**۸-۵-۳-۱ عملیات حرارتی جایگزین**

نرمال سازی، یا نرمال سازی و بازپخت، یا نرم کردن می-تواند به جای عملیات حرارتی لازم بعد از جوشکاری، خم کاری یا شکل دهی به کار رود، مشروط بر اینکه خواص مکانیکی هر جوش و فلز پایه بعد از چنین عملیات حرارتی الزامات مشخصاتی را که به وسیله طراح تصویب شده، برآورده نماید.

**۸-۵-۳-۲ استثنائات الزامات اصلی**

روش اصلی ممکن است برای متناسب و سازگار کردن شرایط کاری در بعضی موارد نیاز به اصلاحات داشته باشد. در چنین مواردی طراح باید الزامات جدی‌تری را در طرح مهندسی شامل عملیات حرارتی، محدودیت های سختی برای ضخامت کمتر، تعیین کند و یا الزامات نه چندان سختی را برای عملیات حرارتی و سختی و یا هیچکدام از آنها را مقرر نماید.

**8.5.3.2.1** When provisions less stringent than those in Table 11 are specified, the designer must demonstrate to the owner's satisfaction the adequacy of those provisions by comparable service experience, considering service temperature and its effects, frequency and intensity of thermal cycling, flexibility stress levels, probability of brittle failure, and other pertinent factors. In addition, appropriate tests shall be conducted, including Welding Procedure Specification (WPS) qualification tests.

**۸-۵-۳-۲-۱** وقتی مقررات نسبت به آنچه در جدول ۱۱ معین شده، شدت کمتری داشته باشد، طراح باید برای رضایت صاحب سفارش، کفایت آن مقررات را در قیاس با تجربه کاری، و لحاظ کردن درجه حرارت کارکرد و اثرات آن، تکرار و شدت سیکل حرارتی، میزان انعطاف تنش، احتمال تردی و شکنندگی و سایر عوامل مرتبط را به اثبات رساند. به علاوه، آزمون‌های مناسب شامل آزمونهای کیفی مشخصات دستورالعمل جوشکاری (WPS) باید به عمل آید.

### 8.5.3.3 Dissimilar materials

### ۸-۵-۳-۳ مواد غیرمشابه

**8.5.3.3.1** Heat treatment of welded joints between dissimilar ferritic metals or between ferritic metals using dissimilar ferritic filler metal shall be at the higher of the temperature ranges in Table 11 for the materials in the joint.

**۸-۵-۳-۳-۱** عملیات حرارتی برای اتصالات جوشی بین فلزات فریتی غیرمشابه، یا بین فلزات فریتی با استفاده از فلز پرکننده فریتی غیرمشابه باید در درجه حرارت بالاتر، مندرج در جدول ۱۱ برای مواد موجود در اتصال، صورت گیرد.

**8.5.3.3.2** Heat treatment of welded joints including both ferritic and austenitic components and filler metals shall be as required for the ferritic material or materials unless otherwise specified in the engineering design.

**۸-۵-۳-۳-۲** عملیات حرارتی برای اتصالات جوشی شامل اجزاء فریتی و آستنیتی و فلزهای پرکننده باید مانند عملیات حرارتی که برای مواد فریتی لازم است، صورت گیرد، مگر اینکه به گونه‌ای دیگر در طراحی مهندسی مشخص شده باشد.

### 8.5.3.4 Delayed heat treatment

### ۸-۵-۳-۴ عملیات حرارتی تأخیری

If a weldment is allowed to cool prior to heat treatment, the rate of cooling shall be controlled or other means shall be used to prevent detrimental effects.

اگر قبل از عملیات حرارتی لازم است قطعه جوشکاری شده سرد شود، سرعت سرد شدن باید کنترل گردد یا از سایر وسایل برای پیشگیری اثرات زیانبار آن استفاده شود.

### 8.5.3.5 Partial heat treatment

### ۸-۵-۳-۵ عملیات حرارتی مرحله‌ای

When an entire structure assembly to be heat treated cannot be fitted into the furnace, it is permissible to heat treat in more than one heat, provided there is at least (0.3 m) 1 ft overlap between successive heats, and that parts of the assembly outside the furnace are protected from harmful temperature gradients.

در مواردی که قرار دادن کل یک مجموعه سازه، در یک کوره برای عملیات حرارتی عملی نباشد. انجام عملیات حرارتی بیشتر از یکبار مجاز است، مشروط بر اینکه دست‌کم (۰/۳ متر) ۱ فوت هم‌پوشانی بین حرارتهای متوالی وجود داشته باشد و قطعات مجموعه خارج از کوره از گرادیانهای درجه حرارت مُضّر محافظت شوند.

### 8.5.3.6 Local heat treatment

### ۸-۵-۳-۶ عملیات حرارتی موضعی

When heat treatment is applied locally, a circumferential band of the run structure, and of the branch where applicable, shall be heated until the specified temperature range exists over the entire section(s), gradually diminishing beyond the ends of a band which includes the weldment or the bent or formed

وقتی عملیات حرارتی بطور موضعی بکار می‌رود، نوار محیطی اطراف سازه و انشعاب آن که قابل اعتماد است، تا رسیدن به دامنه تعیین شده دما، حرارت داده می‌شود و قرار گرفتن روی تمام مقطع ، دورتر از دو سر نوار که قطعه جوشکاری شده و یا قسمت شکل گرفته یا

section and at least 25 mm (1 inch) beyond the edges there of.

### 8.5.4 Heat treatment of casing and tubing

#### 8.5.4.1 General

Pipe furnished to this specification shall be made by the seamless or electric weld process as shown in Table 12 and as specified on the purchase order. Pup joints and connectors may be made from standard casing or tubing or by machining heavy wall casing, tubing or bar stock. Couplings shall be manufactured by one of the processes described in ISO 11960. Cold drawn tubular products without appropriate heat treatment are not acceptable:

**a)** Seamless pipe is defined as a wrought steel tubular product made without a welded seam. It is manufactured by hot working steel, or if necessary, by subsequently cold finishing the hot-worked tubular product to produce the desired shape, dimensions, and properties.

**b)** Electric-welded pipe is defined as pipe having one longitudinal seam formed by electric-flash welding or electric-resistance welding, without the addition of extraneous metal. The weld seam of electric-welded pipe shall be heat treated after welding to a minimum temperature of 538°C (1000°F) or processed in such a manner that no untempered martensite remains.

#### 8.5.4.2 Heat treatment

Process of manufacture of pipe for prevention of stress corrosion pipe shall be heat treated as stipulated in Table 12 for the particular grade and type specified by the Purchaser. Heat treated upset pipe shall be heat treated full length after upsetting. When requested by the Purchaser, the manufacturer/processor shall produce evidence to show that the tempering practice for Group 2 pipe will result in the pipe attaining the minimum tempering temperature. Pipe and coupling stock shall be heat treated the full length.

خم شده را در بر می‌گیرد، بتدریج کاهش یابد و حداقل ۲۵ میلیمتر (۱ اینچ) دور از لبه‌های آن موضع باشد.

### ۸-۵-۴ عملیات حرارتی لوله جداری و تیوبینگ

#### ۸-۵-۴-۱ عمومی

لوله‌های تحویل شده بر اساس این مشخصات باید با فرآیند بی‌درز یا جوش الکتریکی مندرج در جدول ۱۲ که براساس سفارش خرید تعیین می‌شود، ساخته شود. اتصالات و بست-ها، میتواند مطابق با استاندارد لوله جداری یا تیوبینگ، یا با ماشینکاری لوله جداری ضخیم درست شود. کوپلینگ‌ها با یکی از روشهای مندرج در استاندارد ISO 11960 باید ساخته شوند. کشش سرد محصولات لوله‌ای بدون عملیات حرارتی قابل قبول نیست.

**الف)** لوله‌ای از جنس فولاد کار شده است که بدون درز جوش ساخته می شود. این لوله به روش گرم تولید می شود. یا در صورت لزوم متعاقباً، برای تولید شکل، ابعاد و خواص مورد نظر عملیات پرداخت گرم روی آن انجام می شود.

**ب )** لوله با جوشکاری الکتریکی، لوله‌ای است با یک درز طولی که با جوشکاری الکتریکی یا جوشکاری مقاومت الکتریکی بدون افزودن فلز دیگر تولید می-شود. درز جوش بعد از جوشکاری باید تحت عملیات حرارتی، با حداقل درجه حرارت ۵۳۸ درجه سانتیگراد (۱۰۰۰ درجه فارنهایت)، قرار گیرد. یا به گونه‌ای به عمل آید که هیچ مارتنزیتی بدون انعطاف پذیری باقی نمایند.

#### ۸-۵-۴-۲ عملیات حرارتی

فرآیند ساخت لوله‌ها برای پیشگیری از خوردگی تنشی باید براساس آنچه در جدول ۱۲ تصریح شده، برای درجه و نوع فولادی که خریدار تعیین می‌کند باید مورد عملیات حرارتی قرار گیرد. براساس درخواست خریدار، سازنده یا تولید کننده باید اثبات کند که کاربرد بازپخت لوله‌های گروه ۲ با حداقل حرارت صورت می‌گیرد و تمام طول لوله و اتصالات باید مورد حداقل دمای بازپخت قرار گیرند.

## TABLE 12 - PROCESS OF MANUFACTURE AND HEAT TREATMENT
## جدول ۱۲- فرآیند ساخت و عملیات حرارتی

| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Tempering temperature, minimum<br>حداقل دمای بازپخت | |
| Group<br>گروه | Grade<br>رده | Type<br>نوع | Process of manufacture<br>فرآیند ساخت | Heat treatment<br>عملیات حرارتی | ° C |
| 1 | H40 | - | S or EW | none | - |
| 1 | J55 | - | S or EW | none (see note) | - |
| 1 | K55 | - | S or EW | none (see note) | - |
| 1 | N80 | | S or EW | (see note) | - |
| | | | | | |
| 2 | L80 | 1 | S or EW | Q&T | 566 |
| 2 | L80 | 9Cr | S | Q&T[a] | 593 |
| 2 | L80 | 13Cr | S | Q&T[a] | 593 |
| 2 | C90 | 1 | S | Q&T | 621 |
| 2 | C90 | 2 | S | Q&T | 621 |
| 2 | C95 | - | S or EW | Q&T | 538 |
| 2 | T95 | 1 | S | Q&T | 649 |
| 2 | T95 | 2 | S | Q&T | 649 |
| | | | | | |
| 3 | P110 | - | S or EW[b] | Q&T | - |
| | | | | | |
| 4 | Q125 | 1 | S or EW[b] | Q&t | - |
| 4 | Q125 | 2 | S or EW[b] | Q&t | - |
| 4 | Q125 | 3 | S or EW[b] | Q&t | - |
| 4 | Q125 | 4 | S or EW[b] | Q&t | - |

**Note:**

**1)** Full length normalized, normalized and tempered (N & T), or quenched and tempered (Q & T), at the manufacturer's option or if so specified on the purchase order.

* Type 9 Cr and 13 Cr grades may be air quenched.

*Unless otherwise agreed on between purchaser and manufacturer/processor.

• Special requirements unique to electric welded Q-125 casing are specified in ISO 11960. SR11. When electric welded P110 or Q-125 casing is furnished, provisions of ISO 11960 SR11 automatically in effect.

**یادآوری:**

**۱)** تمام طول نرمال شده، نرمال شده و باز پخت کردن (N&T)، یا سرد شده و باز پخت کردن (Q&T) در اختیار تولید کننده یا براساس آنچه در سفارش خریدار تعیین شده.

* فولاد با رده‌های ۹ درصد کروم و ۱۳ درصد کروم ممکن است با هوا سرد شود.

* مگر اینکه به گونه‌ای دیگر بین خریدار و تولید کننده و یا سازنده توافق شده باشد.

• الزامات خاص منحصر به فرد برای جوشکاری الکتریکی لوله جداری Q-125 در استاندارد ISO 11960 SR11 مشخص شده است. وقتی فلز شماره P 110 یا لوله جداری Q-125 با جوشکاری الکتریکی جوش داده شود، شرایط استاندارد ISO 11960 SR11 خود بخود نافذ می‌شود.

### ۸-۵-۵ عملیات حرارتی فولاد زنگ نزن

عملیات حرارتی نا مناسب می‌تواند موجب تغییرات زیان بخشی در ریز ساختار فولاد زنگ نزن شود. دشوارترین مشکلات، رسوب کاربید (حساس شدن) و رسوب فازهای مختلف بین فلزی مانند سیگما ( $\sigma$ )، فی ( $\chi$ ) و اِتا ( $\eta$ ) است.

#### ۸-۵-۵-۱ حساس شدن

هنگامی که فولاد زنگ نزن آستنیتی برای مدتی در محدوده حرارتی ۴۲۵ تا ۸۷۰ درجه سانتیگراد (۸۰۰ تا ۱۶۰۰ درجه فارنهایت) قرار گیرد حساس شدن یا رسوب کاربید در مرزدانه‌ها اتفاق می‌افتد. مدت حرارت، مقدار رسوب کاربید را تعیین می‌کند. وقتی کاربید کروم در مرزدانه‌ها رسوب کند، نواحی مجاور از کروم خالی می-شوند. تداوم نسبی رسوب، فولاد زنگ نزن را به خوردگی بین دانه‌ای که نتیجه انحلال لایه با کروم کم، یا ناحیه پیرامون هر دانه است، آسیب پذیر می‌کند. همچنین حساس شدن، مقاومت به سایر اشکال خوردگی مانند حفره‌ای، شیاری و ترک ناشی از خوردگی تنشی را کاهش می‌دهد.

منحنی‌های زمان، دما و حساسیت بعنوان راهنما برای جلوگیری از حساس شدن، و اثر میزان کربن نیز در این پدیده قابل استفاده هستند (شکل ۱۴). منحنی‌های شکل ۱۴، حاکی از این است که برای جلوگیری از حساس شدن، فولاد زنگ نزن نوع 304 با ۰/۰۶۲ درصد کربن باید زیر ۵۹۵ درجه سانتیگراد (۱۱۰۰ درجه فارنهایت) به مدت ۵ دقیقه سرد شود. اما نوع 304L با ۰/۰۳۰ درصد کربن باید زیر ۴۸۰ درجه سانتیگراد (۹۰۰ درجه فارنهایت) به مدت ۲۰ ساعت سرد گردد. این منحنی‌ها راهکارهای کلی هستند که قبل از هر کاربردی در مورد انواع مختلف فولادهای زنگ نزن باید بررسی شوند.

### 8.5.5 Heat treatment of stainless steel

Improper heat treatment can produce deleterious changes in the microstructure of stainless steels. The most troublesome problems are carbide precipitation (sensitization) and precipitation of various intermetallic phases, such as $\sigma$, $\chi$, and laves ($\eta$).

#### 8.5.5.1 Sensitization

Sensitization, or carbide precipitation at grain boundaries, can occur when austenitic stainless steels are heated for a period of time in the range of about 425 to 870°C (800 to 1600°F). Time at temperature will determine the amount of carbide precipitation. When the chromium carbides precipitate in grain boundaries, the area immediately adjacent is depleted of chromium. When the precipitation is relatively continuous, the depletion renders the stainless steel susceptible to intergranular corrosion, which is the dissolution of the low-chromium layer or envelope surrounding each grain. Sensitization also lowers resistance to other forms of corrosion, such as pitting, crevice corrosion, and SCC.

Time-temperature-sensitization curves are available that provide guidance for avoiding sensitization and illustrate the effect of carbon content on this phenomenon Fig. 14. The curves shown in Fig. 14 indicate that a Type 304 stainless steel with 0.062% C would have to cool below 595°C (1100°F) within about 5 min to avoid sensitization, but a Type 304L with 0.030% C could take about 20 h to cool below 480°C (900°F) without becoming sensitized. These curves are general guidelines and should be verified before they are applied to various types of stainless steels.

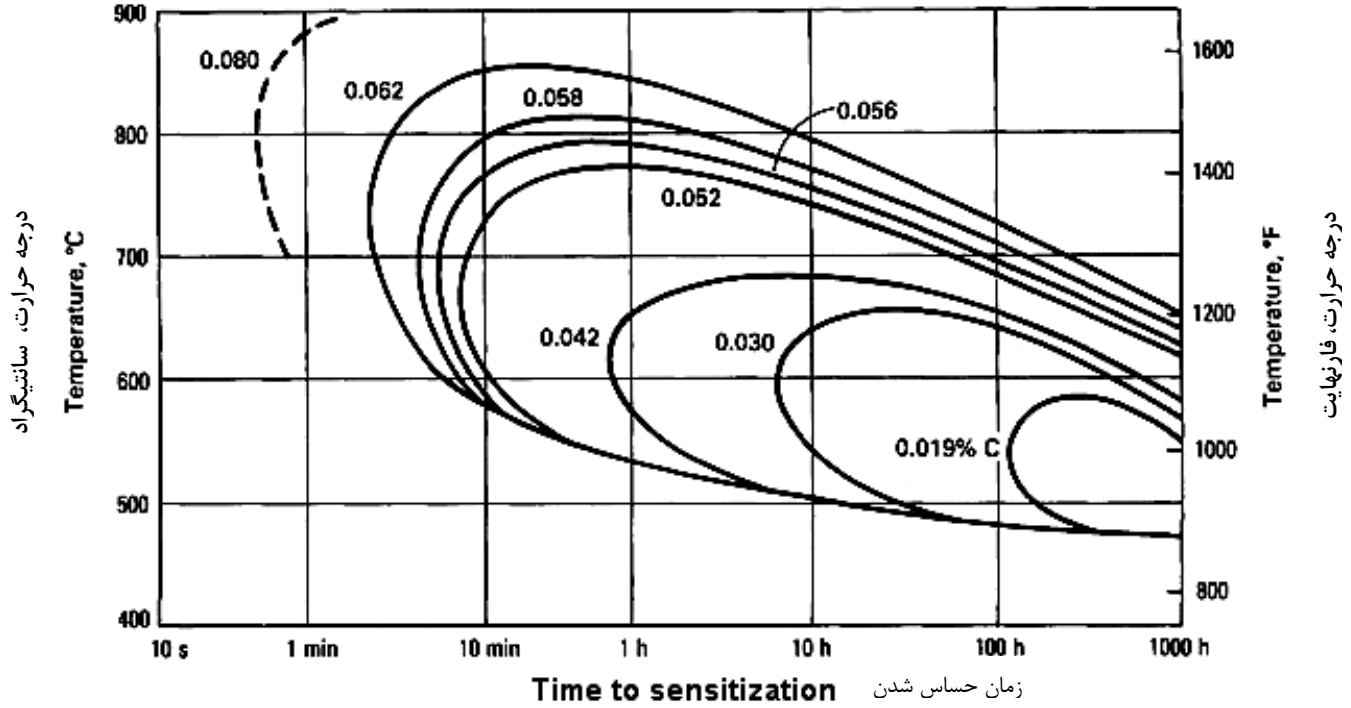



**Fig. 14- TIME-TEMPERATURE-SENSITIZATION CURVES FOR TYPE 304 STAINLESS STEEL IN A MIXTURE OF $CuSO_4$ AND $H_2SO_4$ CONTAINING FREE COPPER. CURVES SHOW THE TIMES REQUIRED FOR CARBIDE PRECIPITATION IN STEELS WITH VARIOUS CARBON CONTENTS. CARBIDES PRECIPITATE IN THE AREAS TO THE RIGHT OF THE VARIOUS CARBON CONTENTS CURVES**

**شکل ۱۴- منحنی‌های زمان و درجه حرارت لازم برای حساس شدن فولاد زنگ نزن نوع 304 با ترکیبی از سولفور مس و اسیدسولفوریک حاوی مس آزاد: نمایش منحنی‌های زمان لازم برای رسوب کاربید در فولادها با میزان کربن‌های مختلف. رسوب کاربیدها در نواحی طرف راست منحنی‌های میزان کربن‌های مختلف**

Another method of avoiding sensitization is to use stabilized steels. Such stainless steels contain titanium and/or niobium. These elements have an affinity for carbon and form carbides readily; this allows the chromium to remain in solution even for extremely long exposures to temperatures in the sensitizing range. Type 304L can avoid sensitization during the relatively brief exposure of welding, but it will be sensitized by long exposures.

روش دیگر جهت جلوگیری از حساس شدن، استفاده از فولادهای پایدار شده است. مانند فولادهای زنگ نزن حاوی تیتانیم و نیوبیم. این عناصر به آسانی میل ترکیب با کربن و تشکیل کاربیدها را دارند و این باعث می‌شود کروم در محلول برای مدت طولانی در معرض دمای محدوده حساس شدن باقی بماند. فولاد نوع 304L در جوشکاری نسبتاً کوتاه از حساس شدن می‌تواند در امان باشد اما برای مدت طولانی حساس خواهد شد.

Annealing is the only way to correct a sensitized stainless steel. Because different stainless steels require different temperatures, times, and quenching procedures, the user shall contact the material supplier for such information. A number of tests can detect sensitization resulting from carbide precipitation in austenitic and ferritic stainless steels. The most widely used tests are described in ASTM Standards A 262 and A 763.

نرم کردن تنها راه برای رفع حساس شدن فولادهای زنگ نزن است. زیرا که فولادهای زنگ نزن مختلف، به حرارت، مدت و دستورالعمل های سرد شدن مختلفی احتیاج دارند. کاربر باید با تهیه کننده مواد برای کسب هر نوع اطلاعات تماس حاصل نماید. شماری از آزمون‌ها می‌توانند حساس شدن ناشی از رسوب کاربیدها را در فولادهای زنگ نزن فریتی و آستنیتی تشخیص دهند. آزمون‌هایی که بیشتر مورد استفاده قرار می-گیرند در استاندارد A763 و ASTM A262 توضیح داده شده است.

**8.5.5.2 Precipitation of intermetallic phases**

Sigma-phase precipitation and precipitation of other intermetallic phases also increase susceptibility to corrosion. Sigma phase is a chromium-molybdenum-rich phase that can render stainless steels susceptible to intergranular corrosion, pitting, and crevice corrosion. It generally occurs in higher-alloyed stainless steels (high-chromium high-molybdenum stainless steels). Sigma phase can occur at a temperature range between 540 and 900°C (1000 and 1650°F). Like sensitization, it can be corrected by solution annealing.

**8.5.5.3 Cleaning procedures**

Any heat treatment of stainless steel shall be preceded and followed by cleaning. Steel shall be cleaned before heat treating to remove any foreign material that may be incorporated into the surface during the high-temperature exposure. Carbonaceous materials on the surface could result in an increase in the carbon content on the surface, causing carbide precipitation. Salts could cause excessive intergranular oxidation. Therefore, the stainless steel must be clean before it is heat treated.

After heat treatment, unless an inert atmosphere was used during the process, the stainless steel surface will be covered with an oxide film. Such films are not very corrosion resistant and must be removed to allow the stainless steel to form its passive film and provide the corrosion resistance for which it was designed. There are numerous cleaning methods that may be used before and after heat treating. An excellent guide is ASTM A 380.

**8.6 Preheating of Metals**

**8.6.1 General**

Preheating is used, along with heat treatment, to minimize the detrimental effects of high temperature and severe thermal gradients inherent in welding. The necessity for preheating and the temperature to be used shall be specified in the engineering design and demonstrated by procedure qualification. The requirements and recommendations herein apply to all types of welding including tack

**۸-۵-۵-۲ رسوب فازهای بین فلزی**

رسوب فاز سیگما و رسوب سایر فازهای بین فلزی، آسیب پذیری به خوردگی را افزایش می‌دهد. فاز سیگما، فاز غنی از کروم – مولیبدنیم است که باعث خوردگی بین دانه‌ای، حفره‌ای و شیاری فولاد زنگ نزن می‌شود. این پدیده در فولادهای پرآلیاژ (فولاد زنگ نزن کروم بالا– مولیبدنیم بالا) اتفاق می‌افتد. مرحله سیگما می‌تواند در دماهای بین ۵۴۰ و ۹۰۰ درجه سانتیگراد (۱۰۰۰ و ۱۶۵۰ درجه فارنهایت) رخ دهد. شبیه حساس شدن، می‌تواند با استفاده از نرم کردن انحلالی اصلاح گردد.

**۸-۵-۵-۳ دستورالعمل های تمیزکاری**

عملیات حرارتی فولاد زنگ نزن نخست باید انجام شود و سپس تمیزکاری به عمل آید. قبل از عملیات حرارتی هر نوع ماده خارجی که در طول درجه حرارت بالا با سطح فولاد آمیخته می شود باید زدوده گردد. مواد کربن‌دار روی سطح فولاد منجر به افزایش مقدار کربن گشته و باعث رسوب کاربید می‌گردد. نمکها نیز باعث اکسیداسیون بین دانه‌ای بیش از حد می‌شوند. بنابراین فولاد زنگ نزن قبل از عملیات حرارتی باید پاک و تمیز گردد.

بعد از عملیات حرارتی، فولاد زنگ نزن از یک لایه نازک اکسید پوشیده خواهد شد مگر اینکه در طول فرآیند از جوّ خنثی استفاده شود. چنین لایه‌هایی در قبال خوردگی خیلی مقاوم نیست و باید زدوده شود تا امکان تشکیل لایه نازک غیرفعال روی سطوح فولاد زنگ نزن بوجود آید که بتواند مقاومت در قبال خوردگی را که برای آن طراحی شده تأمین کند. روشهای مختلف تمیزکاری وجود دارند که قبل و بعد از عملیات حرارتی می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. بهترین راهنما استاندارد ASTM A380 است.

**۸-۶ پیش گرمی فلزات**

**۸-۶-۱ عمومی**

پیش گرمی همراه با عملیات حرارتی برای به حداقل رساندن آثار زیانبار درجه حرارت بالا و گرادیانهای حرارتی شدید که در طبیعت جوشکاری نهفته است، به کار می‌رود. ضرورت پیش گرمی و درجه حرارتی که باید مورد استفاده قرار گیرد باید در طراحی مهندسی تعیین و با قابلیت‌های این روش توضیح داده شود. الزامات و توصیه‌های مندرج در این استاندارد برای انواع جوشکاری

welds, repair welds, and seal welds of threaded joints.

### 8.6.2 Requirements and recommendations

Required and recommended minimum preheat temperatures for materials of various P-Numbers are given in Table 13. If the ambient temperature is below 0°C (32°F), the recommendations in Table 13 become requirements. The thickness intended in Table 13 is that of the thicker component measured at the joint.

از جمله خال جوش، جوش تعمیری و جوش آب‌بندی بکار می‌رود.

### ۸-۶-۲ الزامات و توصیه‌ها

حداقل حرارت پیش گرمی لازم و توصیه شده برای مواد (P-No.) با شماره‌های مختلف فلزات در جدول ۱۳ ارائه شده است. چنانچه دمای محیط زیر صفر درجه سانتیگراد (۳۲ درجه فارنهایت) است، توصیه‌های جدول ۱۳ از الزامات خواهد بود. ضخامتی که در جدول ۱۳ در نظر گرفته شده، ضخامتی است که از جزء ضخیم‌تر در اتصال اندازه‌گیری شده است.

## TABLE 13 - PREHEAT TEMPERATURES
## جدول ۱۳- درجه حرارتهای پیش گرمی

| Base Metal شماره فلز پایه P-NO. [Note(1)] شماره سری | Weld metal Analysis آنالیز فلز جوش A.NO. [Note(2)] شماره شیمیایی فلز | Base Metal Group گروه فلز پایه | Nominal wall Thickness ضخامت اسمی جداره | | Specified Min. Tensile Strength of Basic metal حداقل مشخص شده استحکام کششی فلز پایه | | Min .temperature حداقل درجه حرارت | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | Required مورد لزوم | | Recommended توصیه شده | |
| | | | mm. | m. | MPa | Ksi(s) | ° C | ° F | ° C | ° F |
| 1 | 1 | Carbon steel فولاد کربنی | 〈 25.4 | 〈 1 | ≤ 490 | ≤ 71 | … | … | 10 | 50 |
| | | | ≥ 25.4 | ≥ 1 | All | All | … | … | 79 | 175 |
| | | | All | All | 〉 490 | 〉 71 | … | … | 79 | 175 |
| 3 | 2.22 | Alloy steels Cr s ½ % فولادهای آلیاژی | 〈 12.7 | 〈 1/2 | ≤ 490 | ≤ 71 | … | … | 10 | 50 |
| | | | ≥ 12.7 | ≥ 1/2 | All | All | … | … | 79 | 175 |
| | | | All | All | 〉 490 | 〉 71 | … | … | 79 | 175 |
| 4 | 3 | Alloy steels ½ % 〈 cr ≤ 2% فولادهای آلیاژی | All | All | All | All | 121 | 250 | … | … |
| 5A,B,C | 4.5 | Alloy steels 2.14% ≤ cr ≤ 10% فولادهای آلیاژی | All | All | All | All | 204 | 400 | … | … |
| 6 | 6 | high alloy steels Martensitic فولادهای آلیژی بالای مارتنزیتی | All | All | All | All | … | … | 149[1] | 300[2] |
| 7 | 7 | high alloy steels Ferritic فولادهای آلیاژی بالای فریتی | All | All | All | All | … | … | 10 | 50 |
| 8 | 8,9 | high alloy steels Austenitic فولادهای آلیاژی بالای آستنیتی | All | All | All | All | … | … | 10 | 50 |
| | | nickle alloy steels فولاد آلیاژی نیکلی | All | All | All | All | 121/149 | 250/300 | 95 | 200 |
| 9A,9B | 10 | | | | | | 149-204 | 300-400 | … | … |
| 10 | … | Cr-Cu steel فولاد کرم-مس | All | All | All | All | 149[3] | 300[3] | … | … |
| 10I | … | 27 Cr steel فولاد کرم ۲۷ | All | All | All | All | … | … | 10 | 50 |
| 11A SG 1 | … | 8Ni, 9 Ni steel فولاد نیکل ۹، نیکل ۸ | All | All | All | All | 10 | 50 | … | … |
| 11A SG 2 | … | 5 Ni steel فولاد نیکل ۵ | All | All | All | All | … | … | 10 | 50 |
| 21-52 | … | … | All | All | All | All | | | | |

**Notes:**

**1)** P-Number from Boiler and Pressure Vessel Code (BPV) Section IX, Table QW/QB-422.

**2)** A-Number from BPV Code, Section IX, QW-442.

**3)** Maximum Interpass Temperature 316°C (600°F).

**4)** Maintain interpass Temperature 177°C-232°C (350°F-470°F).

**5)** Ksi is Kip per square inch (1000 lb. per square inch).

**8.6.3 Unlisted materials**

Preheat requirements for an unlisted material shall be specified in the Welding Procedure Specification (WPS).

**8.6.4 Temperature verification**

**8.6.4.1** Preheat temperature shall be checked by use of temperature indicating crayons, thermocouple, pyrometers or other suitable means to ensure that the temperature specified in the WPS is obtained prior to and maintained during welding.

**8.6.4.2** Thermocouples may be temporarily attached directly to pressure containing parts using the capacitor discharge method of welding without welding procedure and performance qualifications. After thermocouples are removed, the areas shall be visually examined for evidence of defects to be repaired.

**8.6.5 Preheat zone**

The preheat zone shall extend at least 25 mm (1 inch) beyond each edge of the weld.

**8.6.6 Heat treatment specific requirements**

**8.6.6.1 Dissimilar materials**

When materials having different preheat requirements are welded together, it is recommended that the higher temperature

**یادآوری ها:**

**۱)** P= شماره فلز از کد دیگهای بخار و ظرف تحت فشار (BPV) قسمت IX جدول QW/QB-422.

**۲)** A= شماره فلز از کد (BPV) قسمت IX، QW-442.

**۳)** حداکثر درجه حرارت بین پاس‌ها ۳۱۶ درجه سانتیگراد (۶۰۰ درجه فارنهایت).

**۴)** درجه حرارت بین پاس‌ها ۱۷۷ تا ۲۳۲ درجه سانتیگراد (۳۵۰ تا ۴۷۰ درجه فارنهایت).

**۵)** Ksi عبارتست از kip بر اینچ مربع (۱۰۰۰ پوند بر هر اینچ مربع).

**۸-۶-۳ مواد فهرست نشده**

الزامات پیش گرمی برای یک ماده فهرست نشده باید در مشخصات فنی دستورالعمل جوشکاری (WPS) تعیین شود.

**۸-۶-۴ تعیین درجه حرارت**

**۸-۶-۴-۱** دمای پیش گرمی ، باید با استفاده از ابزار رنگی (مداد و گچ رنگی) نشان دهنده درجه حرارت ، پیرومتر، ترموکوپل یا سایر وسایل مناسب، برای اطمینان از اینکه درجه حرارت تعیین شده در مشخصات دستورالعمل جوشکاری قبل از جوشکاری و در طول مدت انجام آن حفظ می‌شود، کنترل یا بررسی شود.

**۸-۶-۴-۲** ترموکوپل‌ها می‌توانند مستقیماً به قطعات حاوی فشار، با استفاده از دستورالعمل‌های جوشکاری تخلیه خازن بدون روش جوشکاری و قابلیت‌های عملکرد، موقتاً متصل شوند. بعد از برداشتن ترموکوپل‌ها، محل آنها باید بطور عینی برای وجود نقایصی که باید برطرف گردد، معاینه شود.

**۸-۶-۵ منطقه پیش گرمی**

منطقه پیش گرمی باید حداقل ۲۵ میلیمتر (۱ اینچ) دورتر از لبه‌های جوش ادامه داشته باشد.

**۸-۶-۶ الزامات ویژه عملیات حرارتی**

**۸-۶-۶-۱ مواد غیرمشابه**

وقتی که مواد دارای الزامات پیش گرمی مختلفی هستند و باید بهم جوش شوند، توصیه می‌شود از درجه حرارت

shown in Table 13 be used.

بالاتری که در جدول ۱۳ نشان داده شده، استفاده گردد.

**8.6.6.2 Interrupted welding**

If welding is interrupted, the rate of cooling shall be controlled or other means shall be used to prevent detrimental effects in the piping. The preheat specified in the WPS shall be applied before welding is resumed.

**۸-۶-۶-۲ جوشکاری منقطع**

اگر جوشکاری متوقف شود سرعت سرد شدن باید کنترل شده یا با استفاده از سایر وسایل از آثار زیان‌آور در لوله-کشی پیشگیری شود. قبل از شروع مجدد جوشکاری از پیش گرمی تعیین شده در WPS (مشخصات فنی روش جوشکاری) باید استفاده شود.

**8.6.6.3** For Cr-Mo steels, preheating in accordance with Appendix R of ASME Code Section VIII and irrespective of wall thickness, shall be carried out during the time of welding. This applies also for welding of nozzles, attachments, temporary brackets and miscellaneous supports, temperatures shall be checked and monitored.

**۸-۶-۶-۳** برای فولادهای کروم – مولیبدنیم، پیش گرمی باید براساس پیوست R از استاندارد ASME Code Section VIII، صرفنظر از ضخامت دیواره، در طول مدت جوشکاری انجام گیرد و برای جوشکاری نازلها، اتصالات الحاقی پایه‌ها و تکیه‌گاههای مختلف موقت، دما باید بررسی و پایش شود.

**8.6.6.4** A preheating as above shall be performed also for carbon steel of large thickness (such as above 40 mm), for high-strength steel of mean thickness (such as above 25 mm).

**۸-۶-۶-۴** پیش گرم کردن، به روش فوق، باید برای فولاد کربنی با ضخامت زیاد (بالای ۴۰ میلیمتر) و برای فولادهایی با استحکام بالا با ضخامت متوسط (بیش از ۲۵ میلیمتر) اجرا شود.

**8.6.6.5** When the required preheat temperature is 144°C or higher, the postal temperature shall be maintained at preheat temperature until the weld is completed.

**۸-۶-۶-۵** وقتی درجه حرارت پیش گرمی مورد نیاز، ۱۴۴ درجه سانتیگراد یا بیشتر است، درجه حرارت بعدی باید با همین درجه حرارت تا تکمیل جوش حفظ شود.

**8.7 Surface Treatment of Stainless Steel (See ASTM A380)**

**۸-۷ عملیات سطحی فولاد زنگ نزن (به ASTM A380 مراجعه شود)**

**8.7.1 Surface conditions**

**۸-۷-۱ شرایط سطح**

To ensure satisfactory service life, the surface condition of stainless steels must be given careful attention. Smooth surfaces, as well as freedom from surface imperfections, blemishes, and traces of scale and other foreign material, reduce the probability of corrosion. In general, a smooth, highly polished, reflective surface has greater resistance to corrosion. Rough surfaces are more likely to catch dust, salts, and moisture, which tend to initiate localized corrosive attack.

برای اطمینان از کارکرد مفید، شرایط سطح فولادهای زنگ نزن باید مورد توجه دقیق قرار گیرد. سطوح صاف و هموار و عاری از نقایصی چون لکه، اثرات پوسته و سایر مواد خارجی، احتمال خوردگی را کاهش می‌دهند. به طور کلی سطح صاف و هموار، براق و بازتابنده، مقاومت بیشتری در قبال خوردگی دارد. احتمال جذب گرد و خاک، نمک و رطوبت که شروع کننده حمله خوردگی موضعی به شمار می‌آیند، در سطوح زبر و ناصاف بیشتر است.

Oil and grease can be removed by using hydrocarbon solvents or alkaline cleaners, but these cleaners must be removed before heat treatment. Hydrochloric acid (HCl) formed from residual amounts of trichloroethylene, which is used for degreasing, has caused severe attack of stainless steels. Surface contamination may be caused by machining, shearing, and

روغن و گریس با استفاده از حلالهای هیدروکربنی یا تمیز کننده‌های قلیایی، زدوده می‌شود. اما خود این تمیزکننده‌ها قبل از عملیات حرارتی باید زدوده شوند. اسید کلریدریک (HC1) حاصل از پسماند تری‌کلرواتیلن که برای گریس زدایی به کار می‌رود به فولاد زنگ نزن آسیب جدی می‌زند. آلودگی سطح ممکن است به علت ماشینکاری، برش کاری و

drawing operations. Small particles of metal from tools become embedded in the steel surface and, unless removed, may cause localized galvanic corrosion. These particles are best removed by the passivation treatments described below. Additional information on cleaning and descaling of stainless steel is available in Volume 5 of the 9th Edition of Metals Handbook.

Shotblasting or sandblasting should be avoided unless iron-free silica is used; metal shot, in particular, will contaminate the stainless steel surface. If shotblasting or shotpeening with metal grit is unavoidable, the parts must be cleaned after blasting or peening by immersing them in an HNO3 solution, as noted above.

عملیات کشش پدید آید. ذرات ریز فلز ناشی از کاربرد ابزار در سطوح فولادی نشسته و جای می‌گیرند و موجب خوردگی گالوانیکی موضعی می‌شوند، مگر اینکه زدوده گردند. این ذرات باعملیات غیرفعال سازی که در زیر شرح داده خواهد شد، بهتر زدوده می‌شوند. اطلاعات بیشتر درباره تمیزکاری و پوسته زدایی فولاد زنگ نزن در جلد ۵، ویرایش نهم کتاب راهنمای فلزات به دست می‌آید.

از بلاست کاری ساچمه‌ای یا ماسه‌ای باید احتراز شود. مگر اینکه از سیلیس بدون آهن استفاده گردد؛ ضربه فلز، به ویژه، سطوح فولاد زنگ نزن را آلوده می‌کند. اگر بلاست کاری ساچمه‌ای یا پاشش با ذرات فلزی اجتناب-ناپذیر است، همانگونه که در بالا اشاره شد، پس از بلاست کاری یا پاشش ذرات قطعات بایستی به وسیله غوطه‌وری در محلول اسید نیتریک تمیز گردند.

### 8.7.2 Passivation techniques

During handling and processing operations, such as machining, forming, tumbling, and lapping, particles of iron, tool steel, or shop dirt may be embedded in or smeared on the surfaces of stainless steel components. These contaminants may reduce the effectiveness of the natural oxide (passive) film that forms on stainless steels exposed to oxygen at low temperatures. If allowed to remain, these particles may corrode and produce rustlike spots on the stainless steel. To prevent this condition, semifinished or finished parts are given a passivation treatment. This treatment consists of cleaning and then immersing stainless steel parts in a solution of $HNO_3$ or of $HNO_3$ plus oxidizing salts. The treatment dissolves the embedded or smeared iron, restores the original corrosion-resistant surface, and maximizes the inherent corrosion resistance of the stainless steel.

### ۸-۷-۲ روشهای غیرفعال سازی

در زمان جابجایی و عملیات فرآیندی مانند ماشینکاری، شکل‌دهی، پرداختکاری و پرداخت نهایی ممکن است ذرات آهنی، فولاد ابزار یا کثیفی‌های کارگاه در سطوح قطعات فولاد زنگ نزن جای گرفته یا روی آن را آغشته کنند. این آلاینده‌ها تأثیر لایه اکسید طبیعی (غیرفعال) را روی فولادهای زنگ نزن که در معرض اکسیژن در دمای پایین بوجود می‌آیند، کاهش می‌دهند. اگر این ذرات باقی بمانند فولاد زنگ نزن را خورده و لکه‌هایی شبیه زنگ‌زدگی روی آن بجا می‌گذارند. برای جلوگیری از این شرایط، قطعات نیمه تمام و تمام شده، مورد عملیات غیرفعال سازی قرار می‌گیرند. این عملیات شامل تمیزکاری و سپس غوطه‌وری قطعات فولاد زنگ نزن در محلول اسید نیتریک یا اسید نیتریک به اضافه نمکهای اکسیدکننده است. این عملیات، آهنی را که در فولاد زنگ نزن جای گرفته یا روی آن را آغشته کرده حل می‌کند و سطوح مقاوم در قبال خوردگی را به حالت نخست برمی‌گرداند و مقاومت طبیعی آنرا در قبال خوردگی به حداکثر می‌رساند.

### 8.7.2.1 Cleaning

Each workpiece to be passivated must be cleaned thoroughly to remove grease, coolant, or other shop debris. A worker will sometimes eliminate the cleaning step based on the reasoning that the cleaning and passivation of a grease-laden part will occur simultaneously by immersing it in an $HNO_3$ bath. This assumption

### ۸-۷-۲-۱ تمیزکاری

هر قطعه کاری برای غیر فعال شدن باید تمیز و کاملاً گریس زدایی و از مواد سرد کننده و سایر کثیفی‌های کارگاهی پاک گردد. گاهی یکی از کارکنان، برای یک قطعه کاری آلوده به گریس به فرض اینکه تمیزکاری و غیر فعال سازی همزمان با غوطه‌وری در حمام اسیدنیتریک صورت می‌گیرد، مرحله تمیزکاری را حذف

is mistaken. The grease will react with the $HNO_3$ to form gas bubbles, which collect on the surface of the workpiece and interfere with passivation. Also, contamination of the passivating solution (particularly with high levels of chlorides) can cause flash attack, which results in a gray or black appearance and deterioration of the surface.

To avoid such problems, each part should be wiped clean of any large machining chips or other debris. More tenacious deposits should be removed by brushing with a stainless steel wire brush, grinding, polishing with an iron-free abrasive, or sandblasting. Tools and materials used for these processes should be clean and used only for stainless steels. Machining, forming, or grinding oils must be removed in order for passivation to be effective. Cleaning should begin with solvent cleaning, which may be followed by alkaline soak cleaning and thorough water rinsing. Optimum results are obtained in passivation when the parts to be treated are as clean as they would have to be for plating. When large parts or bulky vessels are to be cleaned, it may be necessary to apply cleaning liquids by means of pressure spray; exterior surfaces may be cleaned by immersion or swabbing.

**8.7.2.2 Passivating**

After cleaning, the workpiece can be immersed in the passivating acid bath. As shown in Table 14, the composition of the acid batch depends on the grade of stainless steel. The 300-series stainless steels can be passivated in 20-50 vol% $HNO_3$. A sodium dichromate ($Na_2Cr_2O_7$. $2H_2O$) addition or an increased concentration of $HNO_3$ is used for less corrosion-resistant stainless steels to reduce the potential for flash attack.

The procedure suggested for passivating free-machining stainless steels is somewhat different from that used for nonfree-machining grades.

This is because sulfides of sulfur-bearing free-machining grades, which are totally or partially removed during passivation, create microscopic discontinuities in the surface of

می‌کند. این فرض اشتباه است زیرا گریس به اسیدنیتریک واکنش نشان داده و با تولید حبابهای گازی که روی قطعه کاری جمع می‌شود با عمل غیرفعال سازی تداخل پیدا می‌کند و نیز آلودگی محلول غیرفعال ساز (بویژه کلریدها اگر مقدارشان زیاد باشد) می‌تواند به سطح کار حمله سریع نماید که منجر به خاکستری یا سیاه شدن ظاهر و سطح قطعه کاری و خرابی آن گردد.

برای رفع چنین مشکلاتی هر قطعه باید از هر تراشه ماشینکاری یا سایر ذرات بازمانده پاک گردد. رسوبات سخت باید با برس سیمی از جنس فولاد زنگ نزن پاک و با سمباده غیرآهنی یا بلاست کاری ماسه‌ای، زدوده شوند. ابزار و موادی که در این فرآیند بکار می‌روند باید تمیز بوده و فقط برای فولاد زنگ نزن مورد استفاده قرار گیرند. آثار ماشینکاری، شکل دهی یا روغنهای سایشی باید زدوده شوند تا غیرفعال سازی به نحو مؤثر انجام گیرد. تمیزکاری بایستی با حلالهای تمیز کننده آغاز شود که ممکن است با تمیز کاری غوطه‌وری با مواد قلیایی و آبکشی کامل قطعات با آب دنبال شود. قطعات بزرگ یا محفظه‌های پر حجم باید تمیز شوند. کاربرد مایعات تمیزکننده با پاشش فشاری (اسپری) صورت گیرد و سطوح خارجی پاک و یا با غوطه‌وری تمیز گردند.

**۸-۷-۲-۲ غیرفعال سازی**

بعد از تمیزکاری، قطعات باید در حمام اسیدی غیرفعال سازی غوطه‌ور شوند. همانطور که در جدول ۱۴ نشان داده شده ترکیب پیمانه اسید بستگی به درجه فولاد زنگ نزن دارد. فولادهای زنگ نزن سری ۳۰۰ در اسیدنیتریک با ۲۵ تا ۵۰ درصد حجمی غیرفعال می‌شوند. افزودن سدیم دی‌کرومات ($Na_2Cr_2O_7$. $2H_2O$) یا افزایش غلظت اسید نیتریک ($HNO_3$) برای فولادهای زنگ نزن کم مقاوم در قبال خوردگی، مورد استفاده قرار می‌گیرد تا پتانسیل خوردگی را کاهش دهد.

این دستورالعمل‌های پیشنهادی برای غیرفعال سازی فولاد زنگ نزن قابل ماشینکاری، متفاوت از روشی است که برای رده‌های فولاد زنگ نزن غیر قابل ماشینکاری به کار می‌رود.

این موضوع به این دلیل است که سولفید موجود در فولادهای زنگ نزن گوگرد دار با قابلیت ماشینکاری کلاً یا بخشی از آن هنگام غیرفعال سازی زدوده می‌شوند و باعث

ناپیوستگی بسیار ریز در سطح قسمت ماشینکاری شده می‌گردند. معمولاً حتی با شستشوی موثر با آب، پسماند اسیدی در این نا پیوستگی‌ها بعد از غیرفعال سازی حبس شده و به سطح قطعه آسیب می‌زند مگر اینکه خنثی و یا زدوده گردد. به همین دلیل فرآیند غیرفعال سازی خاصی که به روش قلیایی – اسید – قلیایی معروف است برای فولادهای زنگ نزن با رده‌های مختلف قابل ماشینکاری پیشنهاد می‌شود.

the machined part. Even normally efficient water rinses can leave residual acid trapped in these discontinuities after passivation. This acid can then attack the surface of the part unless it is neutralized or removed. For this reason, a special passivation process, referred to as the alkaline-acid-alkaline method, is suggested for free-machining grades.

TABLE 14- PASSIVATING SOLUTIONS FOR STAINLESS STEELS (NONFREE-MACHINING GRADES) (TO BE CONTINUED)

| Alloy | Condition | Treatment | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Code | Solution, Volume, %[A] | Temperature, °F (°C) | Time, Minutes |
| **PART I—Cleaning with Nitric-Hydrofluoric Acid** | | | | | |
| *Purpose*—For use after descaling by mechanical or other chemical methods as a further treatment to remove residual particles of scale or products of chemical action (that is, smut), and to produce a uniform "white pickled" finish. | | | | | |
| 200 and 300 Series, 400 Series containing Cr 16 % or more, and precipitation-hardening alloys (except free-machining alloys). | fully annealed only | D | $HNO_3$, 6–25 % plus HF, 1/2 to 8 %[B,C] | 70–140 (21–60) | as necessary |
| Free-machining alloys, maraging alloys, and 400 Series containing less than Cr 16 %. | fully annealed only | E | $HNO_3$, 10 % plus HF, 1/2 to 1 1/2 %[B,C] | 70 (up to 140 with caution) (21–60) | 1–2 |
| **PART II—Cleaning-Passivation with Nitric Acid Solution** | | | | | |
| *Purpose*—For removal of soluble salts, corrosion products, and free iron and other metallic contamination resulting from handling, fabrication, or exposure to contaminated atmospheres (see 6.2.11) | | | | | |
| 200 and 300 Series, 400 Series, precipitation hardening and maraging alloys containing Cr 16 % or more (except free-machining alloys).[D] | annealed, cold-rolled, thermally hardened, or work-hardened, with dull or nonreflective surfaces | F | $HNO_3$ 20–50 % | 120–160 (49–71)<br>70–100 (21–38) | 10–30<br>30–60[C] |
| Same[D] | annealed, cold-rolled, thermally hardened, or work-hardened with bright-machined or polished surfaces | G | $HNO_3$ 20–40 % plus $Na_2Cr_2O_7 \cdot 2H_2O$, 2–6 weight % | 120–155 (49–69)<br>70–100† (21–38) | 10–30<br>30–60[C] |
| 400 Series, maraging and precipitation-hardening alloys containing less than Cr 16 % high-carbon-straight Cr alloys (except free-machining alloys).[D] | annealed or hardened with dull or non-reflective surfaces | H | $HNO_3$, 20–50 % | 110–130 (43–54)<br>70–100 (21–38) | 20–30<br>60 |
| Same[D] | annealed or hardened with bright machined or polished surfaces | I[E] | $HNO_3$ 20–25 % plus $Na_2Cr_2O_7 \cdot 2H_2O$, 2–6 weight % | 120–130 (49–54)<br>70–100 (21–38) | 15–30<br>30–60 |
| 200, 300, and 400 Series free-machining alloys.[D] | annealed or hardened, with bright-machined or polished surfaces | J[E] | $HNO_3$, 20–50 % plus $Na_2Cr_2O_7 \cdot 2H_2O$, 2–6 weight %[F] | 70–120 (21–49) | 25–40 |
| Same[D] | same | K[G] | $HNO_3$, 1–2 % plus $Na_2Cr_2O_7 \cdot 2H_2O$, 1–5, weight % | 120–140 (49–60) | 10 |
| Same[D] | same | L[E] | $HNO_3$, 12 % plus $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, 4 weight % | 120–140 (49–60) | 10 |

TABLE 14 - PASSIVATING SOLUTIONS FOR STAINLESS STEELS (NONFREE-MACHINING GRADES) (CONT'D)

| Alloy | Condition | Treatment | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Code | Solution, Volume, %[A] | Temperature, °F (°C) | Time, Minutes |
| Special free-machining 400 Series alloys with more than Mn 1.25 % or more than S 0.40 %[D] | annealed or hardened with bright-machined or polished surfaces | M[E] | $HNO_3$, 40–60 % plus $Na_2Cr_2O_7 \cdot 2H_2O$, 2–6 weight % | 120–160 (49–71) | 20–30 |
| PART III—Cleaning with Other Chemical Solutions | | | | | |
| | *Purpose*—General cleaning. | | | | |
| 200, 300, and 400 Series (except free-machining alloys), precipitation hardening and maraging alloys | fully annealed only | N | citric acid, 1 weight % plus, $NaNO_3$, 1 weight % | 70 (21) | 60 |
| Same | same | O | ammonium citrate, 5–10 weight % | 120–160 (49–71) | 10–60 |
| Assemblies of stainless and carbon steel (for example, heat exchanger with stainless steel tubes and carbon steel shell) | sensitized | P | inhibited solution of hydroxyacetic acid, 2 weight % and formic acid, 1 weight % | 200 (93) | 6 h |
| Same | same | Q | inhibited ammonia-neutralized solution of EDTA (ethylene-diamene-tetraacetic acid) followed by hot-water rinse and dip in solution of 10 ppm ammonium hydroxide plus 100 ppm hydrazine | up to 250 (121) | 6 h |

[A] Solution prepared from reagents of following weight %: $HNO_3$, 67; HF, 70.

[B] For reasons of convenience and handling safety, commercial formulations containing fluoride salts may be found useful in place of HF for preparing nitric-hydrofluoric acid solutions.

[C] After acid cleaning and water rising, a caustic permanganate solution containing NaOH, 10 weight %, and $KMnO_4$, 4 weight %, 160 to 180°F (71 to 82°C), 5 to 60 min, may be used as a final dip for removal of smut, followed by thorough water rinsing and drying.

[D] The purchaser shall have the option of specifying in his purchase documents that all 400 Series ferritic or martensitic parts receive additional treatment as follows: Within 1 h after the water rinse following the specified passivation treatment, all parts shall be immersed in an aqueous solution containing 4 to 6 weight % $Na_2Cr_2O_7 \cdot 2H_2O$, at 140 to 160°F (60 to 71°C), 30 min. This immersion shall be followed by thorough rinsing with clean water. The parts then shall be thoroughly dried.

[E] See A2.2.

[F] If flash attack (clouding of stainless steel surface) occurs, a fresh (clean) passivating solution or a higher $HNO_3$ concentration will usually eliminate it.

[G] Shorter times may be acceptable where established by test and agreed upon by the purchaser.

†Corrected Editorially.

**جدول ۱۴- محلولهای رویین ساز برای فولادهای زنگ نزن (قابلیت ماشینکاری) ادامه دارد**

| آلیاژ | شرایط | عملیات | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | محلول، حجم، درصد [A] | کد | درجه حرارت به °F (°C) | مدت به دقیقه |
| **بخش ۱- تمیزکاری با اسید نیتریک - هیدروفلوریک** | | | | | |
| **هدف – برای استفاده بعد از پوسته زدایی با روشهای مکانیکی یا سایر روشهای شیمیایی به عنوان عملیات بیشتر برای زدودن ذرات پسماند پوسته یا حاصل از کنش‌های شیمیایی (یعنی لکه) و پرداخت یکنواخت اسیدشویی سفید** | | | | | |
| سری‌های ۲۰۰ و ۳۰۰، سری‌های ۴۰۰ حاوی ۱۶٪ کروم یا بیشتر، و رسوب سختی آلیاژها (به استثنای آلیاژهای ماشینکاری نشده) | فقط به طور کامل نرم کردن شود | $HNO_3$ 6-25% plus HF.1/2 to 8%[B,C] | D | (۱۴۰-۷۰)<br>(۶۰-۲۱) | در صورت ضرورت<br>۲-۱ |
| آلیاژهای ماشینکاری نشده، آلیاژهای پیری سازی و سری-های ۴۰۰ حاوی کروم کمتر از ۱۶٪. | فقط به طور کامل نرم کردن شود | $HNO_3$ 10% plus HF,1/2 to 1 1/2 %[B,C] | E | ۷۰-۱۴۰<br>بااحتیاط<br>(۶۰-۲۱) | |
| **بخش ۲- تمیزکاری غیرفعال سازی با محلول اسید نیتریک** | | | | | |
| **هدف – برای زدودن نمک‌های حل شدنی، محصولات خوردگی، و آهن آزاد و آلودگی فلزی ناشی از ساخت و قرار گرفتن در محیط آلوده (به ۶-۲-۱۱ مراجعه شود).** | | | | | |
| سری‌های ۲۰۰ و ۳۰۰، سری‌های ۴۰۰ آلیاژهای رسوب سختی و پیری سازی، حاوی ۱۶٪ کروم یا بیشتر (به استثنای آلیاژهای ماشینکاری نشده)[D] | نرم کردن شده، سردنورد شده، سخت شده گرمایی، یا سخت کاری شده با سطوح کدر | $HNO_3$ 20-50% | F | (۱۶۰-۱۲۰)<br>(۷۱-۴۹) | ۳۰-۱۰ |
| | | | | (۱۰۰-۷۰)<br>(۳۸-۲۱) | ۳۰-۶۰[c] |
| مانند فوق[D] | نرم کردن شده، سردنورد شده، سخت شده گرمایی، یا سخت کاری شده با سطوح براق با ماشینکاری یا دستی | $HNO_3$ 20-40% plus $Na_2Cr_2O_7$. $2H_2O$ 2-6 weight% | G | ۱۵۵-۱۲۰<br>(۶۹-۴۹) | ۳۰-۱۰ |
| | | | | ۱۰۰-۷۰†<br>(۳۸-۲۱) | ۳۰-۶۰[c] |
| مانند فوق[D] ۴۰۰ آلیاژهای رسوب سختی و پیری سازی حاوی کربن کمتر از ۱۶٪ آلیاژهای پرکربن – کروم (به استثنای آلیاژهای ماشینکاری نشده)[D] | نرم کردن شده یا سخت شده با سطوح کدر | $HNO_3$ 20-50% | H | ۱۳۰-۱۱۰<br>(۵۴-۴۳) | ۳۰-۲۰ |
| | | | | ۱۰۰-۷۰<br>(۳۸-۲۱) | ۶۰ |
| مانند فوق[D] | نرم کردن شده، سخت شده با سطوح براق با ماشینکاری یا دستی. | $HNO_3$ 20-25% plus $Na_2Cr_2O_7$. $2H_2O$ 2-6 weight% | I[E] | ۱۳۰-۱۲۰<br>(۵۴-۴۹) | ۳۰-۱۵ |
| | | | | ۱۰۰-۷۰<br>(۳۸-۲۱) | ۶۰-۳۰ |
| آلیاژهای سری‌های ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ ماشینکاری نشده[D] | نرم کردن یا سخت شده، با سطوح براق با ماشینکاری یا دستی | $HNO_3$ 20-50% plus $Na_2Cr_2O_7$. $2H_2O$ 2-6 weight%[F] | J[E] | ۱۲۰-۷۰<br>(۴۹-۲۱) | ۴۰-۲۵ |
| مانند فوق[D] | مانند فوق | $HNO_3$ 1-2% plus $Na_2Cr_2O_7$. 1-5 weight% | K[G] | ۱۴۰-۱۲۰<br>(۶۰-۴۹) | ۱۰ |
| مانند فوق[D] | مانند فوق | $HNO_3$ 12% plus $CuSO_4$. $5H_2O4$ weight% | L[E] | ۱۴۰-۱۲۰<br>(۶۰-۴۹) | ۱۰ |

ادامه جدول ۱۴- محلولهای غیر فعال کننده برای فولادهای زنگ نزن (قابلیت ماشینکاری)

| آلیاژ | شرایط | عملیات | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | محلول، حجم، درصد [A] | کد | درجه حرارت به °F (°C) | مدت به دقیقه |
| آلیاژهای خاص قابل ماشینکاری سری ۴۰۰ با بیش از ۱/۲۵٪ منگنز یا بیش از ۴۰٪ سولفور [D] | نرم کردن یا سخت شده با سطوح براق شده دستی یا ماشینی | $HNO_3$ 40-60% plus $N_aCr_2O_7$. $2H_2O$ 2-6 weight% | M [E] | ۱۲۰-۱۶۰ (۴۹-۷۱) | ۲۰-۳۰ |
| **بخش ۳- تمیزکاری با سایر محلولهای شیمیایی** | | | | | |
| آلیاژهای رسوب سختی و فولادهای پیرسازی سری‌های ۲۰۰، ۳۰۰ و ۴۰۰ (باستثنای آلیاژهای ماشینکاری نشده) | هدف – تمیزکاری کلی و فقط به طور کامل نرم کردن | Cltric acid, 1 weight% Plus. $NaNO_3$ 1 weight% | N | ۷۰ (۲۱) | ۶۰ |
| مانند فوق | مانند فوق | Ammonium citrate, 5-10 weight% | O | ۱۲۰-۱۶۰ (۴۹-۷۱) | ۱۰-۶۰ |
| مجموعه فولاد کربنی و زنگ نزن (برای مثال مبدل حرارتی با لوله های فولاد زنگ نزن و پوسته فولاد کربنی) | هدف-تمیزکاری کلی | Inhibited solution of hydroxyacetic acid, 2 weight% and formic acid, 1 weight% | P | ۲۰۰ (۹۳) | ۶ ساعت |
| مانند فوق | مانند فوق | Inhibilted ammonia-neutralized solution of EDTA (ethylene-diamene-tertracetic acid) followed by hot-water rinse and dip in solution of 10 ppm ammo-nium hydroxide plus 100 ppm hydrazine | Q | تا ۲۵۰ (۱۲۱) | ۶ ساعت |

A محلول آماده شده با درصد وزنی HF، 67 و $HNO_3$

B به دلایل سهولت و جابجایی مطمئن فرمولاسیون های تجاری حاوی نمکهای فلورید می‌تواند بجای HF برای تهیه ها محلولهای اسیدنیتریک – هیدروفلوریک سودمند باشد.

C بعد از تمیزکاری اسیدی آبکشی محلول پرمنگنات خورنده حاوی NaOH، ۱۰٪ وزنی و $KMnO_4$، ۴٪ وزنی، ۱۸۰-۱۶۰ درجه فارنهایت(۷۱ تا ۸۲ درجه سانتیگراد)، از ۵ تا ۶۰ دقیقه می‌تواند به صورت غوطه‌وری نهایی برای زدودن لکه و سپس آبکشی و خشک کردن کامل به کار رود.

D خریدار این اختیار را خواهد داشت تا در مدارک درخواست خرید تعیین کند که تمام قطعات مارتنزیتی یا فریتی سری‌های ۴۰۰ مورد عملیات اضافی قرار گیرد مانند: یک ساعت بعد از غیرفعال سازی معین شده آبکشی شود و سپس تمام قطعات باید در محلول حاوی ۴ تا ۶ درصد وزنی $Na_2Cr_2O_7$، $2H_2O$ در ۱۴۰ تا ۱۸۰ درجه فارنهایت (۵۰ تا ۷۱ درجه سانتیگراد) به مدت ۳۰ دقیقه، غوطه‌ور شوند. سپس با آب تمیز کاملاً آبکشی شده و خشک گردند.

E نگاه کنید به A2-2

F اگر حمله سریع (کدری سطح فولاد زنگ نزن) اتفاق افتد، به وسیله محلول غیرفعال ساز تمیز یا اسیدنیتریک با غلظت بیشتر پاک خواهد شد.

G اگر با آزمون به اثبات رسد که عملیات در مدت کوتاه‌تر امکان پذیر است، برای خریدار مورد قبول واقع می‌شود.

† از نظر ویرایش اصلاح شده است.

هنگام غیرفعال سازی فولاد زنگ نزن با قابلیت ماشینکاری به روش قلیا – اسید – قلیا، اقدامات زیر باید به عمل آید:

The following steps should be followed when passivating free-machining stainless steels with the alkaline-acid-alkaline technique:

**۸-۷-۲-۲-۱** پس از گریس زدایی، قطعات به مدت ۳۰ دقیقه در ۵ درصد وزنی (Wt) سدیم هیدروکسید (NaOH) در ۷۰ تا ۸۰ درجه سانتیگراد (۱۶۰ تا ۱۸۰ درجه فارنهایت) خیس شوند.

**8.7.2.2.1** After degreasing, soak the parts for 30 min in 5 wt% sodium hydroxide (NaOH) at 70 to 80°C (160 to 180°F).

**۸-۷-۲-۲-۲** شستشو با آب.

**8.7.2.2.2** Water rinse.

**۸-۷-۲-۲-۳** قطعه به مدت ۳۰ دقیقه در ۲۰ درصد حجمی نیتریک اسید به اضافه ۲۲ گرم بر لیتر (۳ انس بر گالن) دی کرومات سدیم از ۵۰ تا ۶۰ درجه سانتیگراد (۱۲۰ تا ۱۴۰ درجه فارنهایت) غوطه ور شود.

**8.7.2.2.3** Immerse the part for 30 min in 20 vol% $HNO_3$ plus 22 g/L (3 oz/gal) $Na_2Cr_2O_7.2H_2O$ at 50 to 60°C (120 to 140 °F).

**۸-۷-۲-۲-۴** شستشو با آب.

**8.7.2.2.4** Water rinse.

**۸-۷-۲-۲-۵** غوطه‌وری به مدت ۳۰ دقیقه در ۵ درصد وزنی هیدروکسید سدیم در ۷۰ تا ۸۰ درجه سانتیگراد (۱۶۰ تا ۱۸۰ درجه فارنهایت).

**8.7.2.2.5** Immerse for 30 min in 5 wt% NaOH at 70 to 80°C (160 to 180°F).

**۸-۷-۲-۲-۶** شستشو با آب و سپس خشک کردن.

**8.7.2.2.6** Water rinse and dry.

**۸-۷-۲-۳ آزمایش**

**8.7.2.3 Testing**

آزمایش، اغلب برای ارزیابی سطح غیر فعال شده انجام می‌شود. برای مثال سری ۴۰۰ فولادهای زنگ نزن با قابلیت ماشینکاری و سخت شدن رسوبی اغلب در کابینتی که قادر به حفظ ۱۰۰ درصد رطوبت در ۳۵ درجه سانتیگراد (۹۵ درجه فارنهایت) به مدت ۲۴ ساعت باشد، مورد آزمون قرار می‌گیرد. موادی که به معنای واقعی غیرفعال می‌شوند باید عاری از گرد و خاک و لکه‌هایی که ممکن است بوجود آید باشند. رده‌های آستنیتی سری ۳۰۰ را می‌توان با استفاده از روش ارائه شده در استاندارد ASTM A380 ارزیابی کرد. این آزمون شامل خیس کردن هر قطعه در محلول سولفات مس و اسیدسولفوریک است. خیسی به مدت ۶ دقیقه باید حفظ شود.

Testing is often performed to evaluate the passivated surface. For example, 400-series, precipitation-hardening, and free-machining stainless steels are often tested in a cabinet capable of maintaining 100% humidity at 35°C (95°F) for 24 h. Material that is properly passivated will be virtually free of rust, although light staining may occur. Austenitic 300-series grades can be evaluated using a technique given in ASTM Standard Method A 380. This test consists of swabbing the part with a copper sulfate ($CuSO_4.5H_2O$)/sulfuric acid ($H_2SO_4$) solution; wetness should be maintained for 6 min.

چنانچه آهن آزاد وجود داشته باشد مس را از محلول خارج ساخته و رویه یا رنگ مسی ایجاد می‌کند. اطلاعات لازم در مورد عملیات غیر فعال سازی فولادهای مقاوم به خوردگی همچنین در مشخصات فدرال آمریکا QQ-P-35B در دسترس می باشد.

Free iron, if present, plates out the copper from the solution, and the surface develops a copper cast or color. Information on passivation treatments for corrosion-resistant steels is also available in US Federal Specification QQ-P-35B.

### 8.8 Painting, Coating and Lining

#### 8.8.1 Painting

Painting shall be in accordance with IPS-C-TP-102, with respect to Engineering Standard IPS-E-TP-100.

#### 8.8.2 Coating

Coating when specified shall be in accordance with IPS-C-TP-274, with respect to relevant Engineering Standard IPS-E-TP-270.

#### 8.8.3 Lining

Lining shall be referred in accordance with IPS-C-TP-352, with respect to relevant Engineering Standard IPS-E-TP-350.

### 8.9 Installation, Assembly and Erection

**8.9.1** Metallic structures, steelworks and components are prepared for assembly and erection by one or more of the fabrication processes covered in this Standard. When any of these processes is used in assembly and erection, considerations are the same as for fabrication.

**8.9.2** Thermal insulating of pipe and equipment shall be in accordance with IPS-C-TP-701, with respect to the engineering standard of IPS-E-TP-700.

**8.9.3** Painting, coating and lining and their repairs after assembly shall be in accordance with 8.8.

**8.9.4** Cathodic and anodic protection installations shall be in accordance with IPS-C-TP-820, with respect to engineering standard for cathodic protection IPS-E-TP-820.

### 8.10 Handling, Transport, Storage and Erection of Coated Metal works

#### 8.10.1 Selection of coating systems

One of the factors which shall be taken into account when selecting a coating system for a particular item is its resistance to mechanical damage during service. When works-coated steelwork is involved, the risk of damage to coatings during handling, transport, storage and erection is greatly increased and the coating's

### ۸-۸ رنگ‌آمیزی، پوشش بیرونی و پوشش داخلی

#### ۸-۸-۱ رنگ‌آمیزی

رنگ‌آمیزی براساس استاندارد IPS-C-TP-102 با توجه به استاندارد مهندسی IPS-E-TP-100 انجام می‌شود.

#### ۸-۸-۲ پوشش

پوشش در مواردی که تعیین شده باشد براساس استاندارد IPS-C-TP-274 با توجه به استاندارد مهندسی IPS-E-TP-270.

#### ۸-۸-۳ پوشش داخلی

پوشش داخلی براساس استاندارد IPS-C-TP-352 با توجه به استاندارد مهندسی IPS-E-TP-350.

### ۸-۹ نصب، مونتاژ و برپا کردن

**۸-۹-۱** سازه‌های فلزی، قطعات فولادی و اجزاء مرتبط مطابق با فرآیند یا فرآیندهای ساخت در این استاندارد آماده مونتاژ و نصب می‌شوند. برای کاربرد هر یک از این فرآیندها، در مونتاژ و نصب همان ملاحظاتی که برای ساخت در نظر گرفته می‌شود، باید اعمال گردد.

**۸-۹-۲** عایق کاری حرارتی لوله‌ها و تجهیزات باید مطابق با استاندارد IPS-C-TP-701 با توجه به استاندارد مهندسی IPS-E-TP-700 باشد.

**۸-۹-۳** رنگ‌آمیزی، پوشش ، پوشش داخلی و تعمیرات آنها پس از مونتاژ باید براساس بند ۸-۸ انجام شود.

**۸-۹-۴** حفاظت کاتدی و آندی تأسیسات باید مطابق استاندارد IPS-C-TP-820 با توجه به استاندارد مهندسی IPS-E-TP-820 انجام شود.

### ۸-۱۰ جابجایی، حمل، انباشت و برپا کردن قطعات فلزی پوشش شده

#### ۸-۱۰-۱ انتخاب سامانه‌های پوشش

هنگام انتخاب سامانه پوشش یک قطعه خاص، یکی از عواملی که باید در نظر گرفته شود مقاومت پوشش در قبال صدمات مکانیکی آن قطعه در طول کارکرد است. وقتی قطعات فلزی در کارخانه پوشش شده باشد، خطر صدمه به پوشش در طول جابجایی، حمل و نقل، انباشت و برپایی، بیشتر افزایش پیدا می‌کند. لذا مقاومت پوشش

در برابر آسیب‌های مکانیکی از اهمیت اساسی برخوردار است.

علاوه بر مخاطرات ناشی از آسیب‌های مکانیکی، پوشش به کار رفته نیز تابع محیط‌های مختلف نامساعد در طول حمل و نقل و انباشت قطعات فولادی، قبل از برپایی است. برای محیط‌های دریایی و سایر محیط‌های آلاینده، رطوبت بالا، در معرض قرار گیری طولانی، به دلایل مختلف اجباراً مجاز است. در بعضی موارد روکش‌ها و سایر اَشکال حفاظتی قبل از نصب ممکن است مهیا شود، اما در بسیاری موارد، سامانه پوششی الزاماتی را علاوه بر ایفای نقش خود هنگام کارکرد قطعه در شرایط عادی، باید در نظر گیرد.

آسیب مکانیکی وارده به پوشش وقتی تنها بخشی از سامانه پوششی اعمال شود پیامد کمتری دارد، چون اصلاح آسیب سامانه کامل پوشش دشوارتر و هزینه‌بر است و حتی در جائیکه رنگ آمیزی وصله‌ای پوششهای نهایی مجاز نیست می‌تواند غیر ممکن باشد. بهرحال اتخاذ روشهایی برای پوشش‌های جزئی در کارگاه و تکمیل سامانه در مرحله بعدی ممکن است منجر به مشکلات آلودگی بین لایه‌های پوشش شود و مقاومت آنرا در برابر تحت تاثیر نامناسب در طول حمل و نقل و انباشت کاهش دهد.

### ۸-۱۰-۲ روشهای جلوگیری از آسیب

دقت در انتخاب سامانه‌های پوششی برای به حداقل رساندن آسیب وارده به پوشش‌های تجهیزات، قبل از نصب کمک خواهد کرد. مشخصه‌هایی که می‌تواند در طراحی ساخت منظور شود و نیز سایر اقداماتی که به شرح زیر می‌توانند آسیب مکانیکی را به حداقل رسانند عبارتند از:

**الف)** طرح باید تسمه‌ها و قلابهای بالابر را در جایی که عملی است، شامل شود.

**ب)** مهیا کردن تسمه‌های ویژه بالابر، بندهای نایلونی، زنجیرهایی با محافظ لاستیکی و گُوِه.

**ج)** زمان کافی برای خشک کردن و به عمل آوردن هر لایه پوشش و برای کل سامانه، قبل از جابجایی.

**د)** روشهای بارگیری که جابجایی در کارگاه را به حداقل می‌رساند.

resistance to mechanical damage assumes prime importance.

In addition to the risks of mechanical damage, coatings applied at works may also be subjected to many different adverse environments during transport and storage of steelwork before erection. Marine and other contaminating environments of various types, high humidity, and prolonged exposure for a variety of reasons may have to be allowed for. In some cases covers and other forms of protection may be provided prior to erection but in most cases, the coating system shall take these requirements into account in addition to fulfilling its role when in normal service.

Mechanical damage to coatings is of less consequence when only part of the system has been applied, because the making-good of damage to a full coating system is more difficult and costly, and may even be impossible where patch painting of a final coat is not permitted. However, the adoption of a policy of partial coating at works and completion of the system at a later stage may lead to problems of intercoat contamination, and the resistance of the coating to the effects of adverse environments during transport and storage is reduced.

### 8.10.2 Methods of preventing damage

Care in the selection of coating systems will help to minimize damage to coatings before erection. Features which can be incorporated in the design of the fabrication and other measures which can be adopted to reduce further the effects of mechanical damage are as follows:

**a)** The design shall include lifting lugs or brackets where practicable.

**b)** The provision of a special lifting harness, nylon slings, rubber protected chains and chocks, etc.

**c)** An adequate drying/curing period for each coat and for the complete system before handling.

**d)** Methods of loading that will reduce site handling to the minimum.

**e)** Order and timing of loading to reduce site storage to the minimum.

**ه)** سفارش و زمانبندی بارگیری که انباشت کردن در محل را به حداقل می‌رساند.

**f)** Special supports, packings and lashings on the vehicles and trucks, and stacking in holds and on decks, to avoid chafing.

**و)** نگهدارنده‌های ویژه، بسته بندی‌ها و نوارهای باربند روی وسایل نقلیه و کامیون‌ها و انباشتن در انبار و عرشه به منظور جلوگیری از سایش سطوح فلزی اقلام.

**g)** Special wrapping of coated pipes and packaging of smaller items.

**ز)** در لفافه پوشاندن لوله‌های پوشش شده و بسته-بندی کردن اقلام کوچکتر.

### 8.10.3 Storage of coated steelwork

### ۸-۱۰-۳ انبار کردن قطعات فولادی پوشش شده

The degradation of coatings on stored steelwork can be minimized (especially in poor environments) by the adoption of the following precautions.

با رعایت احتیاط های زیر، کاهش کیفیت پوشش قطعات فولادی انبار شده را می‌توان به حداقل کاهش داد (بویژه در محیط های نامساعد).

#### 8.10.3.1 Separators

#### ۸-۱۰-۳-۱ تفکیک کننده‌ها

Coated surfaces should preferably not be in contact. Wrapping, packaging or crates used to reduce damage whilst items are in transit may perform this function. For large items, timber packings should be specified.

سطوح پوشش شده ترجیحاً نباید با چیزی تماس داشته باشد. با نوار پیچی و بسته بندی کردن در جعبه، آسیب را کاهش می‌یابد و حال آنکه اقلامی که در انتقال هستند این نکات در موردشان رعایت می‌شود. برای اقلام بزرگ، بسته بندی با الوار یا تیرهای چوبی باید تعیین گردد.

#### 8.10.3.2 Stacking

#### ۸-۱۰-۳-۲ رویهم چیدن

Components shall be stacked in such a manner that there can be no pending where cover is not provided. It may be necessary to limit the number of layers in a stack. The bottom layer shall be laid on packings raised above the ground and the rain splash zone. Timber, usually of a softwood variety, provides a good surface on which coated steelwork may be stored with minimum damage to the coatings. Timber packing may be set on top of concrete or other more rigid supports. The area of the timber in contact with the members should be sufficiently large to avoid damage to the coatings, taking into account the dead weight of the steelwork stacked on the packing. The number of positions of the packing shall ensure that steelwork is not distorted. Packings shall be reasonably clean and free from any contaminating agents which may adversely affect coatings.

قطعات باید به گونه‌ای رویهم چیده شوند که در حال تعلیق نباشند. محدود کردن لایه‌ها برای رویهم چیدن ضروری است. لایه زیرین باید روی کفی قرار گیرد که از سطح زمین بالاتر و در برابر پاشش باران مصون بماند. الوار یا تیرهای چوبی از انواع چوب نرم است که سطح خوبی را فراهم می‌سازد تا روی آن کارهای فولادی پوشش‌دار با حداقل صدمه، انبار شوند. بسته بندی با تیرهای چوبی روی بتن یا جاهای سخت است. سطح الوار در تماس با اجزاء باید به اندازه کافی وسیع باشد تا از صدمه به پوشش‌ها جلوگیری به عمل آید، وزن ثابت قطعات فولادی در رویهم چیدن باید در نظر گرفته و اطمینان حاصل شود که قطعات تغییر شکل نداده باشند. بسته بندی باید تمیز و عاری از هر عامل آلوده کننده باشد تا روی پوشش‌ها اثر نامطلوبی نگذارد.

**8.10.4 Responsibilities for preventing damage**

The responsibilities for care of the coatings should be given careful consideration, since the benefits of careful coating work and handling whilst the items are at the works can be lost by rough treatment during transport to, or storage on, the site. The possible variations in the methods of transport and handling whilst steelwork is being moved and erected and also in storage environments, and other considerations are limitless. It is not possible to give firm recommendations and the requirements for each project should be considered individually. It is essential, however, that the responsibilities at the design and erection stage are clearly defined and that decisions on coating systems, design requirements, methods of transport and handling, equipment used and other special measures, are taken with a clear understanding of all requirements.

**8.10.5 Transportation, handling, and storage of coated pipes**

**8.10.5.1 General**

Tubular goods in general, and threads/bevel in particular, API RP 5CI are made with such precision that they require careful handling, and whether new, used, or reconditioned, they should always be handled with thread/bevel protectors in place.

**8.10.5.2 Transportation**

**8.10.5.2.1 Water transportation**

Suppliers or their agents should provide proper supervision at the time of loading and unloading of water carriers to guard against improper or insufficient dunnage, inadequate bracing to prevent shifting during lurching of the ship, stowing in or adjacent to bilge water, injurious chemicals or other corrosive material, dragging pipe along the pile and permitting couplings or thread/bevel protectors to hook together or strike the edge of hatch opening or bump against the ship rail.

**۸-۱۰-۴ مسئولیت‌ها برای پیشگیری از آسیب**

مسئولیت‌ها برای مراقبت از پوشش‌ها باید مورد دقت قرار گیرد. زیرا مزایای دقت در اعمال پوشش و جابجایی اقلامی که در فرآیند کاری هستند، با عملیات بی‌ملاحظه در حمل و نقل، یا انباشت در محل از دست خواهد رفت. چون احتمال تغییرات در روشهای حمل و نقل و جابجایی قطعات فولادی حین جابجایی و نصب و یا نیز در محیط های انبار و سایر ملاحظات نامحدود است، ارائه توصیه‌ها و الزامات قطعی امکان ندارد. لذا برای هر پروژه‌ای باید جداگانه عمل شود. با این حال ضروری است که مسئولیت‌ها در مراحل طراحی و نصب بوضوح معین شود و تصمیم‌گیری در انتخاب سامانه‌های پوششی، الزامات طراحی، روشهای حمل و نقل و جابجایی، تجهیزات مورد استفاده و سایر اقدامات ویژه با درک روشن از تمام الزامات به عهده گرفته شود.

**۸-۱۰-۵ حمل و نقل، جابجایی و انباشت لوله‌های پوشش شده**

**۸-۱۰-۵-۱ عمومی**

بطور کلی کالاهای لوله‌ای شکل، به ویژه رزوه/پخ (API RP 5CI) با چنان دقتی ساخته می‌شوند که نیاز به جابجایی دقیق دارند. خواه تازه، مستعمل یا دوباره اصلاح شده باشند، همیشه برای جابجایی باید رزوه‌هایشان درپوش محافظ داشته باشند.

**۸-۱۰-۵-۲ حمل و نقل**

**۸-۱۰-۵-۲-۱ حمل و نقل دریایی**

تامین‌کنندگان و نمایندگانشان باید نظارت کافی بر بارگیری و تخلیه کشتی داشته تا از موارد زیر پیشگیری به عمل آید: ناکافی بودن پوشال و مواد سبکی که محافظت محموله‌ها را به عهده دارند، عدم توانایی مهار کننده‌ها برای جلوگیری از جابجایی محموله به واسطه چرخش کشتی، چیدن محموله ها در / یا کنار آب ته انبار کشتی، وجود مواد شیمیایی و سایر مواد خورنده، کشیدن لوله از طول و قلاب کردن بوشن‌ها یا محافظ های رزوه/پخ یا تصادم با لبه حفره موجود در عرشه کشتی و تکان ضربه حاصل از جهت مخالف مسیر کشتی.

**8.10.5.2.2 Railroad transportation**

When loading pipe on freight cars in addition to ICC (International Chamber of Commerce) requirements, wooden stringers shall be provided across the bottom of the car to provide suitable support for pipe and to allow space for lifting, and also to keep pipe away from dirt. If the bottom of the car is uneven, the stringers shall be rigidly shimmed so that their tops will be in the same plane. Stringers shall not be placed under couplings or the upset part of pipe. The load shall be tied down and properly bulkheaded to keep it from shifting.

**8.10.5.2.3 Truck transportation**

The following precautions shall be taken for truck transportation:

**a)** Load pipe on bolsters and tie down with suitable chain at the bolsters. In hauling long pipe, an additional chain shall be provided in the middle.

**b)** Load pipe with all couplings on the same end of truck.

**c)** Care shall be taken to prevent chafing of tool-joint shoulders on adjacent joints.

**d)** Do not overload truck to the point where there is any danger that load cannot be delivered to its destination without unloading.

**e)** After load has been hauled a short distance retighten load binding chains loosened as a result of the load settling.

**8.10.5.3 Handling**

The following precautions shall be observed in handling pipe:

**a)** Before unloading, make sure that the thread/bevel protectors are tightly in place. The use of a spreader-bar with a choker-sling at each end is the recommended method of handling long pipe.

**۸-۱۰-۵-۲-۲ حمل و نقل ریلی**

هنگام بارگیری لوله‌ها در واگنهای باری، علاوه بر رعایت الزامات ICC (اتاق تجارت بین‌المللی) ، از تیرهای چوبی در کف واگن، برای تأمین تکیه گاه مناسب برای لوله‌ها و ایجاد فاصله‌های مناسب برای بالا بردن لوله‌ها و دور نگهداشتن آنها از گرد و خاک و سایر مواد آلوده‌کننده استفاده شود. اگر کف واگن ناهموار است تیرهای چوبی فوق باید بطور محکم تراز شوند به نحوی که بالای لوله‌ها در یک صفحه قرار گیرد، تیرها نباید زیر بوشن‌ها و لوله‌هایی که دو انتهای آنها برجسته است گذاشته شود و محموله باید به طور صحیحی مهار شوند و برای جلوگیری از جابجایی محموله‌ها با دیواره-ای محافظت گردند.

**۸-۱۰-۵-۲-۳ حمل و نقل با کامیون**

احتیاط های زیر برای حمل و نقل با کامیون باید در نظر گرفته شود:

**الف)** محموله‌ها روی تکیه‌گاه بارگیری شود و با زنجیری مناسب محکم گردند. در حمل و نقل لوله‌های بلند، زنجیر اضافی برای وسط محموله‌ها به کار رود.

**ب )** لوله‌ها با تمام اتصالات در یک انتهای کامیون بار شود.

**ج)** برای جلوگیری از خراشیدگی قطعات اتصال دهنده روی اتصالات مجاور، باید دقت به عمل آید.

**د )** کامیون بیش از اندازه بار نشود که نتواند بدون تخلیه به مقصد برسد.

**هـ)** زنجیر بسته‌بندی محموله کامیون پس از طی مسافتی کوتاه اگر بعلت نشست شل شود، باید محکم گردد.

**۸-۱۰-۵-۳ جابجایی**

احتیاط های زیر باید در جابجایی لوله‌ها رعایت شود:

**الف)** قبل از تخلیه بار باید اطمینان حاصل شود که محافظ‌های رزوه/پخ ، محکم در جای خود قرار دارند. استفاده از میله پخش بار همراه با زنجیر یا طناب در دو سر برای جابجایی لوله‌های بلند توصیه می‌شود.

**b)** Avoid rough handling which might dinge or dent the body of pipe. Out-of-roundness will reduce collapse strength greatly.

**ب )** از جابجایی بی‌ملاحظه که موجب ضربه خوردن و فرورفتگی در سطح بدنه لوله‌ها می‌گردد، خودداری شود. خارج شدن شکل لوله از حالت مدور، به طور قابل ملاحظه‌ای باعث کاهش مقاومت گسیختگی خواهد شد.

**c)** Do not unload pipe by dropping. Unload one, two, or three lengths at a time, depending upon the number that can be fully controlled. When unloading by hand use rope slings. When rolling down skids roll pipe parallel to the stack and do not allow pipe to gather momentum or to strike the ends because, even with protectors in place, there is danger of damaging the threads/bevel.

**ج )** لوله‌ها با پائین انداختن تخلیه نشود. هنگام تخلیه‌دستی، از قلابهای طنابی (Rope Slings) استفاده گردد. در هر نوبت متناسب با تعداد قابل کنترل، یک، دو یا سه شاخه لوله تخلیه شود. هنگام غلتاندن لوله‌ها، آنها را به موازات سایر لوله‌های انباشته بغلتانید تا از تجمع نیروی ضربه‌ای یا تصادم انتهای لوله‌ها جلوگیری به عمل آید چون حتی با وجود محافظ، رزوه‌ها/پخ ممکن است آسیب ببینند.

**d)** Stop each length before it reaches the preceding length, then push into place by hand.

**د )** هنگام حرکت هر لوله، قبل از اینکه به لوله قبلی رسیده و تصادم پیدا کند، متوقف شود و سپس با فشار دست به سمت محل خود هدایت گردد.

**8.10.5.4 Storage**

**۸-۱۰-۵-۴ انباشت**

The following precautions are recommended for pipe storage:

احتیاط های زیر برای انباشت لوله‌ها توصیه می‌گردد:

**a)** Do not pile pipe directly on ground, rails, steel or concrete floors. The first tier of pipe shall be no less than 18 inch from the ground to keep moisture and dirt away from pipe.

**الف)** لوله‌ها نباید مستقیماً روی زمین، ریل و کفهای بتنی و فولادی انباشته شوند. اولین لایه لوله‌ها نباید کمتر از ۱۸ اینچ از سطح زمین فاصله داشته باشد تا از رطوبت و گرد و خاک و سایر مواد خارجی حفظ شوند.

**b)** Pipe shall rest on supports properly spaced to prevent bending of the pipe or damage to the threads/bevel. The stringers shall lie in the same plane and be reasonably level, and shall be supported by piers adequate to carry the full stack load without settling.

**ب )** لوله‌ها باید، برای جلوگیری از خم کاری و صدمه خوردن به رزوه‌ها/پخ، با فاصله مناسب روی تکیه‌گاهها چیده شوند. تیرهای چوبی باید در همان سطح قرار داده شده و در حد قابل قبولی تراز شوند و بوسیله ستونهایی حائل گردند تا کل بار لوله‌ها که روی هم انباشته شده بدون اینکه فرو نشیند تحمل کند.

**c)** Provide wooden strips as separators between successive layers of pipe so that no weight rests on the couplings. Use at least three spacing strips.

**ج )** باریکه‌های چوبی فاصله گذار بین لایه‌های متوالی لوله‌ها، تهیه شود تا هیچ وزنی روی اتصالات قرار نگیرد. حداقل از سه باریکه استفاده شود.

**d)** Place spacing strips at right angles to pipe and directly above the lower strips and supports to prevent bending of the pipe.

**د )** باریکه‌های چوبی با زاویهٔ قائم نسبت به لوله‌ها و مستقیماً روی باریکه‌های زیرین و تکیه‌گاهها برای جلوگیری از خم کاری لوله‌ها قرار گیرند.

**e)** Stagger adjoining lengths of pipe in the tiers an amount approximating the length of

**هـ)** لوله‌های مجاور در هر ردیف بصورت یکی در میان با فاصله طولی تقریبی معادل طول اتصالات

the coupling.

چیده شود.

**f)** Block pipe by nailing 1 by 2 or 2 by 2 blocks at both ends of the spacing strips.

**و )** برای ثابت نگهداشتن لوله‌ها، در بلوکهای ۲×۱ یا ۲×۲ در دو انتهای باریکه‌های فاصله گذار با میخ کوبیده شود.

**g)** For purposes of safety, ease of inspection, and handling, pipe shall not be stacked higher than 3m (10 ft.) Pipe shall not be stacked higher than five tiers at the rig.

**ز )** به منظور ایمنی، سهولت بازرسی و جابجایی لوله‌ها نباید بلندتر از ۳ متر (۱۰ پا) و بیش از ۵ ردیف روی هم انباشته شوند.

**h)** Pipe in storage shall be inspected periodically and protective coatings applied when necessary to arrest corrosion.

**ح )** لوله‌های انبار شده باید مرتباً مورد بازرسی قرار گیرند و در صورت لزوم محافظهای پوششی برای جلوگیری از خوردگی به کار رود.

### 8.10.6 Handling and storage of aluminum

### ۸-۱۰-۶ جابجایی و انباشت آلومینیم

**8.10.6.1** Because of the excellent corrosion resistance of the 1xxx, 3xxx, 4xxx, 5xxx, and 6xxx series alloys, users occasionally have not employed good practice in the handling and storage of these alloys. This can result in water stains or in pitting. Methods to avoid these unsightly surface effects are described in the article "Cleaning and Finishing of Aluminum and Aluminum Alloys" in Volume 5 of the 9th Edition of Metals Handbook.

**۸-۱۰-۶-۱** چون آلیاژهای سری‌های 1xxx، 3xxx، 4xxx، 5xxx و 6xxx دارای مقاومت عالی در برابر خوردگی هستند، کاربران گاهی در جابجایی و انباشت این آلیاژها بی‌دقتی می‌کنند که منجر به لکه-های ناشی از آب و خوردگی حفره‌ای می‌گردد. روشهایی برای احتراز از اثرات جزئی روی سطح فلز در مقاله "تمیزکاری و پرداخت آلومینیم و آلیاژهای آن" در کتاب راهنما فلزات، ویرایش نهم جلد ۵ شرح داده شده است.

**8.10.6.2** Water stain is superficial corrosion that occurs when sheets of bare metal are stacked or nested in the presence of moisture. The source of moisture may be condensation from the atmosphere that forms on the edges of the stack and is drawn between the sheets by capillary action. Aluminum should not be stored at temperatures or under atmospheric conditions conductive to condensation. When such conditions cannot be avoided, the metal sheets or parts should be separated and coated with oil or a suitable corrosion inhibitor. Once formed, water stain can be removed by either mechanical or chemical means, but the original surface brightness may be altered.

لکه ناشی از آب در سطح فلز وقتی اتفاق می‌افتد که ورق‌های بدون پوشش، با وجود رطوبت، رویهم قرار می-گیرند. منبع رطوبت، چگالش آتمسفر است که روی لبه-های فلزات انباشته و به بین ورق‌ها با عمل موئینگی کشیده می‌شود. آلومینیم نباید در دما یا در شرایط محیطی برای چگالش قرار گیرد. وقتی نتوان از چنین شرایطی جلوگیری کرد، ورق‌های فلزی باید جدا شده و با روغن پوشش داده شوند و یا از بازدارنده خوردگی مناسب استفاده کرد. لکه‌های ناشی از آب، در صورت بوجود آمدن، می‌تواند با وسایل مکانیکی یا شیمیایی زدوده شوند، اما درخشندگی اولیه صفحه ممکن است تغییر کند.

**8.10.6.3** Outdoor storage of aluminum, even under a tarpaulin, is generally not desirable for long periods of time; this varies with the alloy, the end product, and the local environment. Moisture can collect on the surface, sometimes at relative humidities below the dew point, because of the hygroscopic nature of the dust

**۸-۱۰-۶-۳** انباشت آلومینیم در هوای آزاد حتی زیر مشمّع برای مدت طولانی جایز نیست و این وضع با آلیاژ آلومینیم، محصول نهایی و با در نظر گرفتن شرایط محیطی تفاوت می‌کند. رطوبت، گاهی در رطوبت‌های نسبی زیر نقطه شبنم می‌تواند، روی سطح آلومینیم تجمع کند. زیرا گرد و خاک و ذرّات موجود در محیطی

or particles that deposit on the metal from the atmosphere. The resulting staining or localized pitting, although of little structural consequence in the 1xxx, 3xxx, 4xxx, 5xxx, and 6xxx alloys, is undesirable if the aluminum will be used for an end product for which surface finish is critical. The 2xxx and 7xxx bare alloys are susceptible to intergranular attack under these conditions, and for these alloys, use of strippable coatings, protective wrappers, papers, or inhibited organic films is advisable when adverse conditions can not be avoided.

**8.10.6.4** Mechanical damage can be easily avoided by good housekeeping practices, proper equipment, and proper protection during transportation. When transporting flat sheets or plates, the aluminum should be oiled or interleaved with approved paper to prevent traffic marks, where fretting action at points of contact causes surface abrasion.

دارای ماهیت جذب رطوبت هستند. نتایج حاصل از لکه-دار شدن یا خوردگی حفره‌ای موضعی. اگرچه عواقب ساختاری ناچیزی در آلیاژهای 1xxx ، 3xxx، 4xxx، 5xxx و 6xxx دارند نامطلوب هستند چنانچه آلومینیم بعنوان محصول نهایی مصرف شود پرداخت آن روی سطح نهایی مهم است. آلیاژهای بدون روکش 2xxx و 7xxx تحت این شرایط به خوردگی بین دانه‌ای آسیب پذیرند و برای آنها استفاده از پوشش محافظ موقتی، نوار-های محافظ، کاغذ یا لایه‌های نازک آلی بازدارنده، گاهی که نتوان از شرایط نامساعد جلوگیری کرد، توصیه شدنی می‌شود.

**۸-۱۰-۶-۴** مواردی چون مواظبت درست، تجهیزات مناسب و حفاظت مناسب در طول حمل و نقل به آسانی از آسیب مکانیکی جلوگیری می‌کند. هنگام حمل و نقل ورقها و یا صفحات صاف فلزی، صفحات آلومینیمی باید روغن زده شود و یا بین ورقها از کاغذ مجاز برای جلوگیری از لکه‌ها و آسیب ناشی از ترافیک استفاده کرد، که عمل سایشی در نقاط تماس بین ورقها باعث خراشیدگی و سایش سطوح می‌گردد.

## 8.11 Inspection

## ۸-۱۱ بازرسی

### 8.11.1 Importance of inspection

Excellent materials selection, design, and detailed specification for construction of a plant or a piece of equipment may be set forth, but they can be essentially meaningless if they are not followed. Proper inspection is a must-particularly for critical components operating under hazardous conditions. Inspectors shall scrutinize critically during fabrication and construction - not limiting inspection to the final product only. In addition to being capable and well qualified, inspectors should have substantial authority. Inspectional aspects are as important as design and material selection, and shall be considered in accordance with inspection standard requirements.

### ۸-۱۱-۱ اهمیت بازرسی

ممکن است انتخاب مواد عالی، طراحی و مشخصات فنی مفصل برای ساخت کارخانه یا قطعه‌ای از تجهیزات ارائه شود اما اگر به طور جدی مراحل مختلف آن دنبال نشود بی‌فایده خواهد بود. بازرسی مناسب و به موقع قطعات در حال کارکرد در شرایط خطرناک از واجبات است. در طول فرآیند ساخت، باید بازرسی به عمل آید و صرفاً نباید به بازرسی محصول نهایی محدود شود. علاوه بر توانایی و واجد شرایط بودن، بازرسان باید از اختیارات قابل توجهی برخوردار باشند. مسائل بازرسی به اندازه طراحی و انتخاب مواد از اهمیت برخوردار است و باید مطابق با الزامات استاندارد بازرسی باشد.

### 8.11.2 Results of lack of good inspection

Many examples of premature and sometimes catastrophic failures are known as follows:

- A section of welded 254 mm (10 inch) pipe failed because the weld penetration at the joint was only 1.6

### ۸-۱۱-۲ نتایج عدم بازرسی مناسب

شواهد زیادی از خرابی‌های پیش هنگام و گاهی فاجعه آمیز بشرح زیر تشخیص داده شده است:

- قسمتی از لوله جوش شده ۲۵۴ میلیمتری (۱۰ اینچ) به دلیل نفوذ ناقص جوش دچار

نقص گردید، به این دلیل که نفوذ جوش در محل اتصال فقط ۱/۶ میلیمتر (۱/۱۶ اینچ) بود. نفوذ ناقص جوش امری غیرعادی نیست.

mm (1/16 inch) (merely an overlay) incomplete weld penetration is not uncommon.

- آویزهای لوله در کوره یک پالایشگاه نفت به واسطه ریختگی نامناسب که پر از خلل و فرج بود، دچار نقص گردید. (در برش عرضی بیش از ۵۰ درصد در نقطه شکست از حباب‌ها تشکیل می‌شد).

- Tube hungers in an oil refinery furnace failed because these castings were extremely porous (over 50% of the cross section at the point of fracture consisted of voids).

- به دلیل عدم رعایت دستورالعمل‌های تمیزکاری، عملکردهای حاصله رضایت بخش نبود.

- Un-satisfactory performances obtained because cleaning procedures were not followed.

- عدم اتصال فلز روکش با لایه زیری فولادی بواسطهٔ پاک نکردن لایه‌های کاغذی شناسایی روی سطح داخلی فلز روکش شده.

- Cladding metal did not bond to the substrate steel because paper labels on the inner surface of the cladding were not removed.

- خوردگی سریع لوله مبدل حرارتی ناشی از کاربرد فولاد زنگ نزن نوع 304 به عوض نوع 316.

- Rapid corrosion of heat exchanger tubing resulted because Type 304 stainless steel was used instead of the specified 316 stainless steel.

- خرابی‌های ناشی از خوردگی تنشی و خستگی به دلیل گوشه‌های تیز بجای گوشه‌های گرد، همانطور که در نقشه معین شده بود.

- Stress corrosion and/or fatigue failures because the radii at fillets were sharp instead of rounded as called for on the drawings.

- آزمون‌های فشار که باید به طور صحیح به اجرا در می‌آمد.

- Pressure tests must be properly executed.

- موارد متعددی از وجود عملیات حرارتی نامناسب.

- Many cases of improper heat treatment exist.

- مونتاژ نامناسب، مانند خم کاری لوله با روش سرد و گرم برای همترازی مناسب که موجب تنشهای زیاد و سایر عوامل نامطلوب می‌شود.

- Improper assembly such as cold or hot bending of pipe to proper alignment induces high stresses and other undesirable factors.

- استفاده از مفتول جوشکاری نامناسب.

- The wrong welding rod is sometimes used.

- آماده سازی ضعیف سطح که منجر به نقص پوشش می‌شود.

- Poor surface preparation results in failure of coatings.

معلوم شده است که بازرسی کافی منجر به کنترل کیفیت خوب خواهد شد.

It was found that adequate inspection translates into good quality control.

## پیوست‌ها

## پیوست الف

## خوردگی قطعات جوشکاری شده

### الف-۱ عمومی

این پیوست به عنوان مکمل بند ۸-۳-۱ تهیه شده تا جزییات بیشتری راجع به خوردگی قطعات جوشکاری شده فلزات و آلیاژهای مورد استفاده در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی ارائه دهد.

### الف-۲ خوردگی قطعات جوشکاری شده فولاد کربنی

### الف-۲-۱ ترک ناشی از خوردگی تنشی در پالایشگاههای نفت

منو اِتانول آمین (MEA) ماده‌ای جذب کننده است که برای زدودن گازهای اسیدی حاوی هیدروژن سولفید و کربن دی‌اکسید $H_2S$ و $CO_2$ در عملیات پالایشگاههای نفتی به کار می‌رود. نقایص کنونی چند پالایشگاه نشان داده است ترک‌ها نسبت به جوش، موازی یا نرمال هستند و این بستگی به جهت تنشهای کششی دارد. گزارش‌ها حاکی از این است که ترک‌ها درون دانه‌ای و بین دانه‌ای هستند.

قبل از سال ۱۹۷۸ تنش زدایی پس از جوش قطعات فولاد کربنی در سامانه‌های MEA فقط هنگامی به مرحله عمل در می‌آمد که پیش بینی می‌شد درجه حرارت فلز تجهیزات متجاوز از ۶۵ درجه سانتیگراد (۱۵۰ درجه فارنهایت) و محتوی گاز اسیدی بیش از ۸۰ درصد دی‌اکسیدکربن، و یا درجه حرارت بیش از ۹۵ درجه سانتیگراد (۲۰۰ درجه فارنهایت) و گاز اسیدی در هر غلظتی، باشد.

اخیراً هریک از تجهیزات حاوی منو اِتانول آمین (MEA) در هر دمایی و با هر غلظت گاز اسیدی، پس از جوشکاری تنش زدایی شوند. این امر نتیجه مطالعاتی است که توسط چند پالایشگاه به منظور تعیین میزان مشکل SCC در چنین محیطی انجام گرفت. این مطالعات نشان داد که نشتی‌ها متداول و گسترده بوده و در ظروفی با سابقه کاری ۲ تا ۲۵ سال رخ داده است. بهره‌روی از ترک خوردگی مخازنی که بعد از جوشکاری تنش زدایی شده بودند گزارشی نشد. بعلاوه معلوم گردید که این ترکها ناشی از MEA با هر غلظتی در دمای پایین (زیر ۵۵ درجه سانتیگراد، یا ۱۳۰ درجه فارنهایت) پدید آمده است. تجهیزاتی که از ترک خوردگی آسیب می‌دیدند

## APPENDICES

## APPENDIX A

## Corrosion of Weldments

### A.1 General

This Appendix is prepared as a supplementary to Clause 8.3.1 to give some more details about the corrosion of weldments of metal and alloys used in Petroleum, Gas and Petrochemical Industries.

### A.2 Corrosion of Carbon Steel Weldments

### A.2.1 SCC in oil refineries

Monoethanolamine (MEA) is an absorbent used to remove acid gases containing $H_2S$ and $CO_2$ in oil refining operations. Recent failures in several refineries have shown that cracks can be parallel or normal to welds, depending on the orientation of principal tensile stresses. Cracking has been reported to be both transgranular and intergranular.

Before 1978, postweld stress relief of carbon steel weldments in MEA systems was performed only when the metal temperature of the equipment was expected to exceed 65°C (150°F) and the acid gas contained more than 80% $CO_2$ or when temperatures were expected to exceed 95°C (200°F) in any acid gas concentration.

Currently, any equipment containing MEA at any temperature and at any acid gas concentration is being postweld stress relieved. This is the result of surveys conducted by several refineries to define the extent of the SCC problem in this environment. These inspection programs showed that leaks were widespread and were found in vessels that ranged in age from 2 to 25 years. However, there were no reports of cracking in vessels that had been postweld stress relieved. In addition, it was found that all concentrations of MEA were involved and that MEA solutions were usually at relatively low temperatures (below 55°C, or 130°F). Equipment found to suffer from cracking included tanks, absorbers,

carbon treater drums, skimming drums, and piping. The following example of a metallurgical investigation conducted by one oil refinery illustrates the problem of SCC of carbon steel in amine service.

عبارت بودند از مخازن، جذب کننده‌ها، درام‌های عمل آورنده کربن، درام‌های کف‌گیر یا رویه‌گیر و لوله‌کشی. نمونه زیر تحقیقی است که از لحاظ متالورژیکی توسط یک پالایشگاه انجام گرفته. مشکل SCC فولاد کربنی را در کارکرد آمین (Amine) نشان می‌دهد.

### A.2.2 Leaking carbon steel weldments in a sulfur recovery unit

### الف-۲-۲ نشتی قطعات جوشکاری شده فولاد کربنی در واحد استحصال گوگرد

In December 1983, two leaks were discovered at a sulfur recovery unit. More specifically, the leaks were at pipe-to elbow welds in a 152-mm (6 inch) diam line operating in lean amine service at 50°C (120°F) and 2.9 Mpa (425 psig). Thickness measurements indicated negligible loss of metal in the affected areas, and the leaks were clamped. In March 1984, 15 additional leaks were discovered, again at pipe-to-elbow welds of lean amine lines leading to two major refining units. The piping had been in service for about 8 years.

در دسامبر ۱۹۸۳ در واحد استحصال سولفور گوگرد دو مورد نشتی تشخیص داده شد، به بیان دقیق‌تر نشتی در محل جوشهای لوله به زانو در خطی به قطر ۱۵۲ میلیمتر (۶ اینچ) در کارکرد آمین، در ۵۰ درجه سانتیگراد (۱۲۰ درجه فارنهایت) و ۲/۹ مگاپاسکال (Mpa) و (۴۲۵ پوند بر اینچ مربع) به کار گرفته شده بود. اندازه‌گیری ضخامت نشان دهنده خوردگی جزئی فلز در حوزه‌هایی که دچار نشتی شدند مهار گردید. در مارس ۱۹۸۴، ۱۵ نشتی دیگر دوباره در محل اتصال لوله به زانو در خطوط حاوی آمین که به دو واحد عمده پالایشگاه هدایت می‌شدند، مشاهده گردید. لوله‌های با کارکرد ۸ ساله.

### A.2.2.1 Investigation

### الف-۲-۲-۱ مطالعات انجام شده

Metallurgical examination of several of the welds revealed that leaking occurred at what appeared to be stress-corrosion cracks originating from the inside surface. Cracks were present in weld metal and base metal approximately 5 mm (0.2 inch) away from the weld, and they passed through the HAZ, as shown in Fig. A.2.1. In other cases, stress-corrosion cracks also originated in the HAZ. The cracks typically ran parallel to the weld (Fig. A.2.2).

آزمون متالورژیکی چند جوش نشان داد که نشتی حاصل از ترک ناشی از خوردگی تنشی است که از سطح داخلی سرچشمه می‌گیرد. ترک‌ها در فلز جوش و فلز پایه حدود ۵ میلیمتر (۰/۲ اینچ) با جوش فاصله دارند و از میان منطقه متأثر از حرارت، همانطور که در شکل الف-۲-۱ مشخص است، عبور می‌کنند. در موارد دیگر ترک‌های ناشی از خوردگی تنشی نیز از منطقه از حرارت جوش سرچشمه می‌گیرند. ترک‌ها عموماً به موازات جوش هستند (شکل الف-۲-۲).

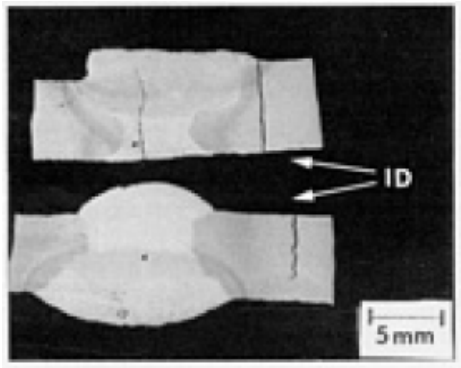



**Fig. A.2.1 CROSS SECTIONS OF PIPE-TO-ELBOW WELDS SHOWING STRESS-CORROSION CRACKS ORIGINATING FROM THE INSIDE SURFACE OF THE WELD METAL AND THE BASE METAL**

**شکل الف-۲-۱ برشهای عرضی جوش‌ها در محل اتصال لوله به زانو که از ترک‌های ناشی از خوردگی تنشی سرچشمه گرفته از سطح داخلی فلز جوش و فلز پایه را نشان می‌دهد**

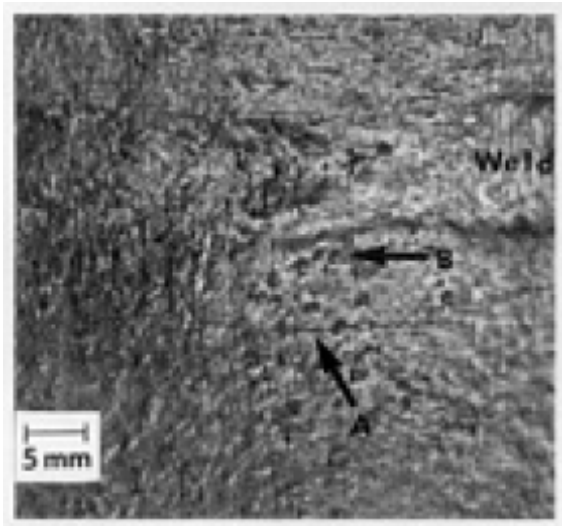



**Fig. A.2.2 PHOTOGRAPH OF INSIDE SURFACE OF A PIPE SHOWING 38-mm (1.5 INCH) STRESSCORROSION CRACK (A) NEXT TO AND PARALLEL TO A CIRCUMFERENTIAL WELD. ALSO SHOWN ARE SHALLOW CORROSION PITS (B)**

**شکل الف -۲-۲ تصویر سطح داخلی یک لوله که نمایشگر ترک ناشی از خوردگی تنشی ۳۸ میلیمتری (۱/۵ اینچ) (الف) در مجاورت و به موازات یک جوش محیطی است. همچنین آنچه نشان داده می‌شود حفره‌های کم عمق خوردگی است (ب)**

Brinell hardness values, obtained by conversion of Knoop microhardness readings, were 133 to 160 (pipe base metal), 160 to 230 (weld metal), 182 to 227 (HAZs), and 117 to 198 (elbow base metal). The pipe base metal had an equiaxed fine-grain microstructure typical of low-carbon steel, and the elbow base metal had a nonequiaxed microstructure typical of hot-finished fittings. Carbon contents ranged from 0.25 to 0.30% by weight. Cracking was intergranular.

مقیاس‌های سختی برینل با تبدیل قرائت‌های ریزسختی نوپ بدست آمده عبارت بودند از: ۱۳۳ تا ۱۶۰ (فلز پایه)، ۱۶۰ تا ۲۳۰ (فلز جوش)، ۱۸۲ تا ۲۲۷ (مناطق متاثر از جوش)، و ۱۱۷ تا ۱۹۸ (فلز پایه زانویی). فلز پایه لوله نوعاً، فولاد کم کربن با ریزساختار دانه‌ای کوچک با محورهای مساوی کریستالها در یک راستا، و فلز پایه زانویی نوعاً اتصالی با پرداخت گرم با ریزساختاری با محورهای نامساوی کریستالهایی در یک راستا، محتوای کربن از لحاظ وزنی بین ۰/۲۵ تا ۰/۳۰ درصد وزنی و ترک خوردگی بین دانه‌ای.

گردانندگان پالایشگاه فوراً اقدام به برنامه‌ریزی برای بازرسی چشمی از تمام خطوط حامل آمین کردند. از ژوئیه ۱۹۸۵ در کل، ۳۵ نشتی در مجموعه لوله‌های حامل آمین مشاهده شد. تمام نشتی‌ها در ترکهایی بودند که در، یا اطراف محل جوشهای اتصال لوله به زانو بود، به استثنای دو نشتی در جوشها که در یک سه راهی و یک تبدیل به چشم می‌خورد. مجموعه لوله‌ها از ۷۶ تا ۳۰۵ میلیمتر (۳ تا ۱۲ اینچ) متغییر بود. درجه حرارت لازم برای کارکرد از ۴۰ تا ۶۰ درجه سانتیگراد (۱۰۰ تا ۱۴۰ درجه فارنهایت) و بیشترین نشتی‌ها در خطوط حامل آمین در ۵۵ درجه سانتیگراد (۱۳۰ درجه فارنهایت) رخ داد. فشار آتمسفر تا ۲/۹ Mpa (۴۲۵ Psig)، با بیشترین نشتی‌ها بین ۲/۸ و ۲/۹ Mpa (۴۰۰ و ۴۲۵ Psig) اتفاق افتاد. مجموعه لوله‌ها دارای ۸ سال سابقه کارکرد بودند. به استثنای ۲ نشتی در جوشهای لوله‌هایی که فقط به مدت ۴ سال سابقه کارکرد داشتند.

The refinery operators immediately embarked on a program of visual inspection of all amine lines. As of June 1985, a total of 35 leaks in lean amine piping had been discovered. All leaks were at cracks in or around pipe-to-elbow welds, except for two leaks at welds that connected a tee and reducer, respectively. Piping size ranged from 76 to 305 mm (3 to 12 inch). Service temperature ranged from 40 to 60°C (100 to 140°F), with most leaks having occurred in lines carrying lean amine at 55°C (130°F). Pressures ranged from atmospheric to 2.9 Mpa (425 psig), with most leaks having occurred between 2.8 and 2.9 Mpa (400 and 425 psig). All piping had been in service for about 8 years, except two leaks at piping welds that had been in service for only 4 years.

همانطور که در عملیات صنعتی عموماً پذیرفته شده بود، مشخصات لازم برای تنش زدایی یا عملیات حرارتی بعد از جوش لوله‌ها و ظروف که برای آمین در درجه حرارت بالای ۹۵ درجه سانتیگراد (۲۰۰ درجه فارنهایت) به کار می‌رفتند، نیاز بود. بنابراین احتمال این که در هر یک از جوشهای نشت کننده، عملیات حرارتی پس از جوش انجام شده باشد، وجود نداشت. آزمون بیشتر متالورژیکی، جوشهای نشت‌دار را در خطوط مختلف به طور قاطع تأیید کردند، نشتی از ترک ناشی از خوردگی تنشی سرچشمه می‌گرفت. هیچ نشتی در مجموعه لوله‌های آمین غنی شده پیدا نشد. مشخصات وضعیت ترک‌ها نشان داد سازوکار خوردگی، نوع SCC ناشی از کاستیک بوده است.

As had been generally accepted industry practice, the specifications called for stress relieving or postweld heat treatment of piping and vessels in amine service at temperatures above 95°C (200°F). Therefore it was highly unlikely that any of the leaking welds had received postweld heat treatment. Further metallurgical examination of leaking welds from various lines conclusively confirmed that the leaking originated at stress corrosion cracks. No leaks were found in rich amine piping. The characteristics of the mode of fracture suggested that the failure mechanism was a form of caustic SCC.

جالب است که یادآوری شود سایر پژوهشگران از نظر متالورژیکی نمونه‌های متعددی با ترک‌های مشابه را مورد آزمون قرار دادند و نتایج کارشان به اختصار به شرح زیر است:

It is interesting to note that other researchers also have metallographically examined numerous samples of similar cracks; their results can be summarized as follows:

- ترک‌ها بین دانه‌ای و پر از پوسته اکسید خاکستری رنگ بودند.
- سختی جوشها و مناطق متأثر از حرارت کمتر از ۲۰۰ واحد سختی برینل بود.
- اعتقاد بر این بود که علت ترک‌ها نوعی ترک خوردگی تنشی ناشی از کاستیک بود.

- Cracks were essentially intergranular and were filled with gray oxide scale.
- Hardness of welds and HAZ's was less than 200 HB.
- Cause of fracture was believed to be a form of caustic SCC.

- Cracking occurs whether or not MEA solutions contain corrosion inhibitors.

- ترکیدگی اعم از اینکه محلولها حاوی بازدارنده‌های خوردگی باشند یا نباشند اتفاق می‌افتد.

**A.2.2.2 Preventive measures**

As a result of this particular investigation and others, all welds in equipment in MEA service are being inspected. Wet fluorescent magnetic-particles inspection after sandblasting to remove oxides and scale appears to be the most effective technique. Shear-Wave Ultrasonic (SWU) inspection has also been used for piping, but it does not always distinguish SCC and other defect indications, such as shrinkage cracks, slag inclusions, lack of fusion, or fatigue cracks. Nevertheless, SWU is considered helpful, because these other types of defects also can pose a threat to the structural integrity of the system in question. Inspection frequency is dependent on the critical nature of the particular equipment in question, and most important, all welds in these systems are not being postweld stress relieved.

**الف-۲-۲-۲ اقدامات پیشگیرانه**

در نتیجه این بررسی خاص و سایر بررسی‌ها، از تمام جوش‌ها در کارکرد MEA، بازرسی مرتب به عمل می-آید. بازرسی توسط روش ذرات مغناطیسی با فلورسنت خیس، بعد از ماسه پاشی برای زدایش اکسیدها و پوسته-ها، بنظر می‌رسد بهترین روش مؤثر است. بازرسی موج برشی فرا صوتی SWU برای لوله‌کشی نیز به کار رفته است، اما اغلب بین SCC و سایر نشانه‌ها معایبی مانند ترک‌های انقباضی، تداخل سرباره‌ای، نقص ذوب و ترک-های خستگی، تمایزی قائل نمی‌شوند. معهذا، SWU بسیار مفید بشمار می‌آید. زیرا این نوع معایب می‌تواند خطراتی برای یکپارچگی ساختار سامانه مورد بحث، را مطرح سازد. دفعات بازرسی بستگی به ماهیت حساس این تجهیزات خاص دارد و مهمترین آنها این است که تمام جوش‌ها در این سامانه‌ها بعد از جوش، تنش زدایی نمی‌شوند.

**A.2.3 Corrosion of welds in carbon steel deaerator tanks**

Deaerator tanks, the vessels that control free oxygen and other dissolved gases to acceptable levels in boiler feedwater, are subject to a great deal of corrosion and cracking. Several years ago, there were numerous incidences of deaerator tank failures that resulted in injury to personnel and property damage losses. Since that time, organizations such as the National Board of Boiler and Pressure Vessel Inspectors and the Technical Association of the Pulp and Paper Industry have issued warnings to plant operators, and these warnings have resulted in the formation of programs for evaluating the integrity of deaerator tanks. As a result, many operators have discovered serious cracking problems. The following example illustrates the problem.

**الف-۲-۳ خوردگی جوش‌ها در مخازن هوا زدای فولاد کربنی**

مخازن هوازدا که اکسیژن آزاد و سایر گازهای محلول به میزان قابل قبول در آب ورودی دیگ‌های بخار را کنترل می‌کنند، دستخوش خوردگی و ترک ناشی از خوردگی متعددی هستند. در گذشته وقوع متعدد نقایص مخازن هوازدا، منجر به آسیب دیدگی کارکنان و ضرر و زیان و آسیب به اموال گردید. از آن زمان به بعد سازمان‌هایی مانند هیئت ملی بازرسان ظروف تحت فشار و دیگ‌های بخار و انجمن فنی صنایع کاغذ و خمیر کاغذ هشدارهایی برای گردانندگان کارخانه‌ها منتشر کردند که باعث تنظیم برنامه‌هایی برای ارزیابی کامل مخازن هوازدا، شدند. در نتیجه گردانندگان کارخانه‌ها موفق به کشف ترک ناشی از خوردگی‌های جدی شدند. مثال زیر این مشکل را توضیح می‌دهد.

**A.2.4 Weld cracking in oil refinery deaerator vessels**

Two deaerator vessels with associated boiler feedwater storage tanks operated in similar

**الف-۲-۴ ترک ناشی از جوش در ظرف هوازدای پالایشگاه نفت**

مخازن هوازدا و مخازن ذخیره آب ورودی در پالایشگاه

service at a refinery. The vertical deaerator vessels were constructed of carbon steel (shell and dished heads), with trays, spray nozzles, and other internal components fabricated of Type 410 stainless steel. Boiler feedwater was treated by sand filtration using pressure filters, followed by ion-exchange water softening. Hardness was controlled at less than 0.5 ppm calcium carbonate ($CaCO_3$). A strong cationic primary coagulant (amine) was used to aid the filtering of colloidal material. Treated water was blended with condensate containing 5 ppm of a filming amine corrosion inhibitor. Final chemistry of the feedwater was controlled to the limits given in Table A.2.1. Oxygen scavenging was ensured by the addition of catalyzed sodium bisulfite ($NaHSO_3$) to the storage tanks. Treated water entered the top of the tray section of the deaerators through five or six spray nozzles and was stored in the horizontal tanks below the deaerators.

کارکرد مشابهی داشتند. مخازن هوازدای عمودی از فولاد کربنی (بدنه و کلگی ها)، سینی‌ها، نازل‌های افشان، و سایر قطعات داخلی از فولاد زنگ نزن نوع 410 ساخته شده بودند. آب ورودی دیگ بخار با صافی ماسه و با استفاده از صافی‌های فشاری و به دنبال آن گرفتن سختی آب با تبادل یونی، تصفیه و سختی با کلسیم کربنات کمتر از ۰/۵ ppm کنترل می‌شد. یک منعقد کننده اصلی کاتدی قوی (آمین) به کار گرفته شد تا به تصفیه مواد کلوئیدی کمک کند. آب تصفیه شده با میعان حاوی ۵ ppm با لایه بازدارنده خوردگی آمین مخلوط بود. ترکیب شیمیایی آب ورودی با محدوده‌هایی که در جدول الف-۲-۱ آمده است، کنترل می‌گردید. اکسیژن زدا، با افزودن سدیم بی‌سولفید کاتالیز شده به آب ورودی مخازن، تأمین می‌شد. آب تصفیه شده از طریق پنج یا شش نازل پاششی وارد بالای قسمت سینی هوازداها و در در مخزن افقی زیر هوازداها ذخیره می‌گردید.

**TABLE A.2.1 - CHEMISTRY LIMITS ON DEAERATOR FEEDWATER**

**جدول الف-۲-۱ محدوده‌های ترکیب شیمیایی آب ورودی هوازداها**

| CONTROL PARAMETERS<br>پارامترهای کنترل | LIMIT<br>محدوده |
|---|---|
| Total hardness سختی کل | < 0.5 ppm as $CaCO_3$ |
| Phenolphthalien alkalinity<br>قلیایی بودن فنل فتالئین | Trace (max.) |
| Methyl orange alkalinity<br>قلیایی بودن متیل اورانژ | 14-18 ppm as $CaCO_3$ |
| Chloride کلراید | 7.6-8.8 ppm |
| Total dissolved solids<br>کل جامدات حل شده | 70-125 ppm |

### A.2.4.1 Inspection results

Deaerator vessel and storage Tank A were inspected. All tray sections were removed from the deaerator. With the exception of the top head to shell weld in the deaerator, all internal welds were ground smooth and magnetic particle inspected.

No cracks were found. Corrosion damage was limited to minor pitting of the bottom head in the deaerator vessel. Inspection of deaerator vessel B revealed cracking at one weld. Tray sections were removed from the deaerator

### الف-۲-۴-۱ نتایج بازرسی

ظرف هوازدا و مخازن ذخیره الف مورد بازرسی قرار گرفت. بـه استثنای جوش درپوش فوقانی بـه پوسته بـدنه در هوازدا، تمام جوشهای داخلی با سنگ زدن صاف شده و مورد بازرسی به روش ذرات مغناطیسی قرار گرفتند.

ترکی پیدا نشد. خوردگی حفره‌ای جزیی، پایین درپوش در ظرف هوازدا بود. در بازرسی هوازدای «ب» ترک در یک جوش نشان داده شد. قسمتهای سینی از ظرف هوازدا برداشته شد و جوشهای بدنه ماسه پاشی گردید. به

vessel, and shell welds were gritblasted. Except for the top head to shell weld in the deaerator, all internal welds in both B units were then ground smooth and magnetic particle inspected. Three transverse cracks were found at the bottom circumferential weld in the deaerator vessel. These were removed by grinding to a depth of 1.5 mm (0.06 inch).

Inspection of storage tank B revealed numerous cracks transverse to welds. With the shell constructed from three rings of plate, the longitudinal ring welds were located just below the water level. These longitudinal welds exhibited no detectable cracking. One circumferential crack was found above the working water level in the vessel. The remaining cracks were located at circumferential welds below the working water level. Numerous cracks transverse to circumferential welds were detected, but only one longitudinal crack was detected. All cracks were removed by grinding to a depth of 2 mm (0.08 inch).

Unlike deaerator vessel A, it was noted that none of the spray nozzles in deaerator vessel B was operational at the time of inspection. In addition, two valves had fallen to the bottom of the deaerator vessel. The bottom section of trays in deaerator vessel B had fallen to the bottom of the storage vessel. Corrosion damage in deaerator vessel B was limited to underdeposit pitting attack at circumferential welds in the bottom.

### A.2.4.2 Metallurgical analysis

A section was cut from a circumferential weld region in storage tank B. The cracking was predominantly transverse to the weld. Chemical analysis was performed on samples cut from weld metal and base metal; the results are given in Table A.2.2. The results show that the steel plate was not aluminum-or silicon-killed, but was most likely a rimmed grade. Cross sections were cut perpendicular to both transverse and longitudinal cracks and were examined metllographically.

استثنای جوش درپوش فوقانی به جداره بدنه در هوازدا، تمام جوشهای داخلی در دو واحد (ب) با سنگ زدن صاف شده و به روش ذرات مغناطیسی مورد آزمایش قرار گرفتند، سه ترک عرضی در جوش دایره‌ای کف ظرف هوازدا، یافته شد که با سایش یا سنگ زنی به عمق ۱/۵ میلیمتر (۰/۰۶اینچ) زدوده شدند.

در بازرسی مخزن ذخیره «ب» ترک‌های عرضی در جوشهای متعددی مشاهده شد. در پوسته که از سه حلقه ورق ساخته شده بود جوشهای طولی، درست زیر سطح آب وجود داشت، در این جوشهای طولی هیچ ترک قابل تشخیصی پیدا نگردید. یک ترک محیطی درست بالای ارتفاع خط مایع در این ظرف پیدا شد. بقیه ترک‌ها در جوش‌های محیطی زیر ارتفاع خط مایع وجود داشتند. ترکهای عرضی متعددی در جوشهای محیطی تشخیص داده شد. اما فقط یک ترک، طولی بود. تمام ترک‌ها با سایش یا سنگ زنی به عمق ۲ میلیمتر (۰/۰۸اینچ) زدوده گردید.

برخلاف ظرف هوازدای الف، معلوم شد که هیچیک از نازل-های پاششی در ظرف هوازدای «ب»، در زمان بازرسی در حال کار نبودند. به علاوه دو شیر در داخل، به کف ظرف هوازدا، افتاده بود. قسمت پایینی سینی‌ها در ظرف هوازدای «ب» به کف ظرف ذخیره سقوط کرده بود. آسیب خوردگی در ظرف هوازدای «ب» محدود به حمله حفره‌ای زیر رسوب در جوشهای محیطی در کف ظرف بوده است.

### الف-۲-۴-۲ آنالیز متالورژیکی

قسمتی از منطقه جوش محیطی از مخزن ذخیره «ب» بریده شد. ترک ناشی از خوردگی در جوش اکثراً عرضی بود. نمونه بریده شده از فلز جوش و فلز پایه مورد آنالیز شیمیایی قرار گرفت که نتایج آن در جدول الف-۲-۲ آمده است. نتایج نشان می‌دهد صفحه فولادی از آلومینیم یا سیلیس کشته نبود، بلکه به احتمال زیاد فولاد کم کربن، کمتر از ۰/۰۱۵ درصد، بود. برشهای عمودی از ترک‌های عرضی و طولی انجام و از لحاظ شناخت ساختار درونی فلز، مورد آزمون متالورژیکی قرار گرفت.

**TABLE A.2.2 CHEMICAL ANALYSES OF STEELS AND WELD DEPOSIT**
**جدول الف-۲-۲ آنالیز شیمیایی فولادها و رسوب جوش**

| ANALYSIS, % درصد ترکیبات | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SAMPLE نمونه | C | Mn | Si | P | S | Ni | Cr | Mo | Al | Fe |
| Plate 1 صفحه ۱ | 0.25 | 0.88 | < 0.050 | 0290 | 036 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.03 | < 0.01 | bal. |
| Plate 2 صفحه ۲ | 0.21 | 0.83 | < 0.05 | 0.030 | 024 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.03 | < 0.0 1 | bal. |
| Weld deposit رسوب جوش | 0.14 | 0.53 | 0.14 | 0.035 | 0.031 | < 0.05 | < 0.05 | < 0.03 | < 0.01 | bal. |

آزمون متالورژیکی ساختار درونی فلز پایه، فازهای فریت و پرلیت لایه‌ای با ساختار دانه‌های هم محور یا هم راستا را نشان داد. اندازه تقریبی دانه‌ها ASTM 6 To 7 بود. (به الحاقیه ASTM E 112 مراجعه شود). شکل الف-۲-۳ ترک طولی را در جوش منطقه متاثر از حرارت با دانه‌های پالایش یافته، نشان می‌دهد. ترک ناشی از خوردگی از کف حفره آغاز می‌شد. آنالیز رسوب اکسید در ترک با اسپکتروسکپی پراکنشی طول موج، اکسیژن کمتری نسبت به استاندارد $Fe_2O_3$ را نشان داد. بنابراین فرض بر این بود که رسوب اکسید مخلوطی از $Fe_3O_4$ و $Fe_2O_3$ آن است.

Metallographic examination of the base metal structures revealed ferrite and lamellar pearlite phases with a nearly equiaxed grain structure. The approximate grain size was ASTM 6 to 7. (See Adjunet to ASTM E 112).Fig. A.2.3 shows a longitudinal crack in a weld HAZ, with associated grain refinement. Cracking initiated from the bottom of a pit. The oxide associated with the major crack was extensive and contained numerous secondary cracks. Analysis of the oxide deposit within the crack by wavelength-dispersive spectroscopy revealed slightly less oxygen than an $Fe_2O_3$ standard. Therefore, it was assumed that the oxide deposit was a mixture of $Fe_3O_4$ and $Fe_2O_3$.

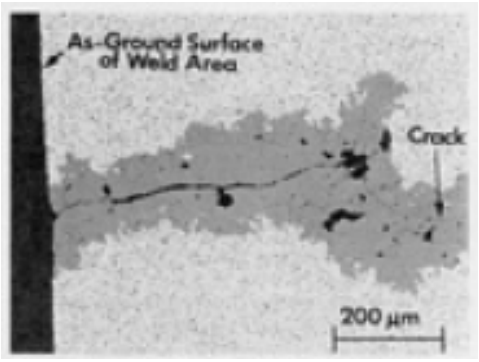
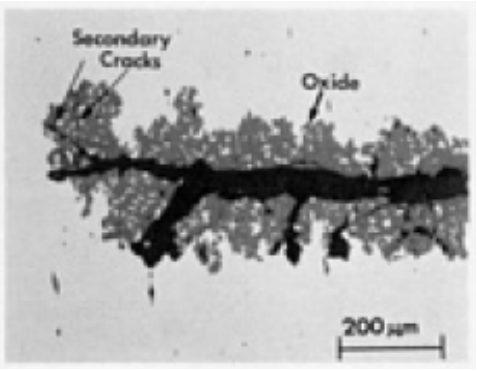



**Fig. A.2.3 MICROGRAPH OF A LONGITUDINAL CRACK IN THE HAZ OF A WELD FROM STORAGE VESSEL "B" ETCHED WITH NITAL**

**شکل الف-۲-۳ تصویر میکروسکوپی ترک طولی در منطقه متاثر از حرارت یک جوش از ظرف دخیره «ب» حکّ شده با نیتال**

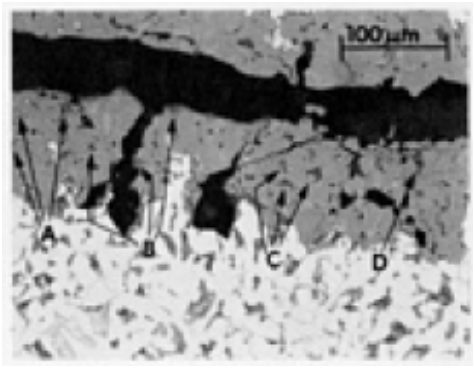
شکل الف-۲-۴ (الف-ب-ج) در مقطع عرضی جوش, این شکل ادامه ترکی را به فلز پایه و تشکیل ترک دیگری را در اطراف منطقه اکسیده نشان می‌دهد. ترک داخلی وسیعی به وضوح در معرض دید قرار دارد. در این شکل بجا ماندن لایه فاز پرلیت (کدر)، در خوردگی اکسید به چشم می‌خورد. بعلاوه نوک ترک‌ها فاقد تیزی است.

Fig. A.2.4 (a,b,c) shows a crack extending into base metal, transverse to the weld, with secondary cracking to the periphery of the oxidized region. It was clear that the oxide exhibited extensive internal cracking. Fig. A.2.4 (a,b,c) also shows the entrainment of lamellar pearlite phase (dark) within the oxide corrosion product. In addition, the crack tips are blunt.



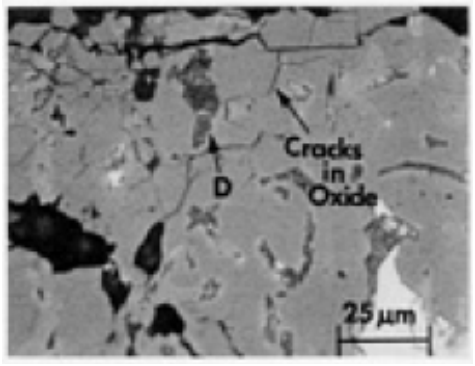

**a) Crack extending into base metal. As-polished**

**الف) گسترش ترک به فلز پایه**




**b) Lamellar pearlite phase (dark) entrained in the oxide corrosion product**

**ب) فاز (تیره رنگ) پرلیت لایه‌ای محبوس شده در محصول اکسید خوردگی**




**c) Microcracks and entrained pearlite phase in the oxide corrosion product**

**ج) ریزترکها و فاز آلیاژ پرلیت لایه‌ای محبوس شده در محصول اکسید خوردگی**

**Fig. A.2.4- (a, b, c) MICROGRAPHS OF A TRANSVERSE CRACK IN STORAGE VESSEL**

**شکل الف-۲-۴ (الف-ب-ج) تصاویر میکروسکوپی ترک عرضی در ظرف ذخیره**

### A.2.4.3 Discussion

The cracks described in this example are very similar to those found in many other investigations, despite a variety of deaerator vessel designs and operating conditions. Cracks typically display the following characteristics:

### الف-۲-۴-۳ بحث

علیرغم وجود انواع وسایل هواگیری از مایعات و شرایط عملکرد، ترک‌هایی که در این مثال تشریح شده خیلی مشابه ترک‌هایی است که در بسیاری از مطالعات دیگر نشان داده شده است. ترکهای نمونه مشخصات زیر را بیان می‌کند:

- Cracks occur most often in welds and HAZs, but can also occur in the base metal.

- Cracks are generally transverse to the weld HAZ, and occur both parallel and perpendicular to the hoop stress direction.

- The worst cracks appear to be located in circumferential and head-to-shell welds in horizontal vessel designs.

- Cracks are concentrated at, but not solely located within, the working water level in the vessel.

- Cracks are perpendicular to the vessel plate surface.

- Cracks are predominantly transgranular with minor amounts of branching.

- Cracks are filled with iron oxide. Cracking of the oxide corrosion product is followed by progressive corrosion.

  The ferrite phase is selectively attacked, with retention of the pearlite phase within the oxide corrosion product.

- Cracks initiate from corrosion pits. Weld defects, however, can also become active sites for crack initiation.

- Crack tips are blunt.

**A.2.4.4 Conclusions**

These findings suggest that the failure mechanism is a combination of low-cycle corrosion fatigue and stress-induced corrosion. Extensive oxide formation relative to the depth of cracking is a key feature. The formation of oxide was associated with corrosion attack of the ferrite phase. The lamellar pearlite phase remained relatively intact and was contained within the oxide product. The oxide itself exhibited numerous cracks, allowing aqueous corrosion of fresh metal to occur at the oxide/metal interface. Mechanical or thermal stresses are most likely responsible for this

- ترک‌ها اغلب در جوشها و مناطق متأثر از حرارت اتفاق می‌افتد، که می‌تواند در فلز پایه نیز پدید آید.
- ترک‌ها معمولاً در منطقه متاثر از حرارت جوش به صورت عرضی نسبت به مسیر جوش هستند و نیز به طور موازی و عمودی نسبت به جهت محیطی تنش قرار دارند.
- بدترین ترک‌ها در جوش محیطی و جوشهایی که عدسی (کلگی) ظرف افقی را به پوسته بدنه استوانه متصل می‌کند بوجود می‌آید.
- ترک‌ها متمرکز در داخل محدوده جابجایی تراز آب ظرف می‌باشند ولی به آنها محدود نمی-شوند.
- ترک‌ها نسبت به سطح صفحه فلزی ظرف عمودی است.
- ترک‌ها به صورت برجسته‌ای درون دانه‌ای با مقادیر جزئی شاخه های فرعی می‌باشند.
- ترک‌ها با اکسید آهن پر می‌شوند. ترک خوردگی حاصل از خوردگی اکسید، خوردگی پیشرونده را به دنبال دارد.

- فاز فریت، بصورت گزینشی دچار خوردگی می‌شود، با حفظ فاز پرلیت در داخل محصول حاصل از خوردگی اکسید.

- ترک‌ها از حفره‌های خوردگی، آغاز می‌شود. با این حال معایب جوش نیز می‌توانند محل فعالی برای شروع ترک شوند.
- ترک حفره‌ها به کندی صورت می‌گیرد. (ترک حفره ها نوک تیز نیستند)

**الف-۲-۴-۴ نتایج**

این یافته‌ها اشاره بر این دارد که ساز و کار معایب، ترکیبی از خوردگی خستگی با سیکل پایین و خوردگی تنشی است. تشکیل اکسید در سطح گسترده با توجه به عمق ترک ناشی از خوردگی، یک ویژگی کلیدی است. تشکیل اکسید، مرتبط با حمله خوردگی فاز فریتی بود. فاز پرلیت لایه‌ای نسبتاً بی عیب باقی ماند، و جزو عناصر حاصل از اکسید گردید. خود اکسید، ترک‌های متعددی را نشان داد و وقوع خوردگی آبی روی فلز اکسید نشده را در فصل مشترک اکسید/فلز امکان پذیر ساخت. تنش‌های

network of cracks within the oxide product. The mechanism appears to be stress-assisted localized corrosion. Sharp, tight cracks were not found in fresh metal beyond the periphery of the oxide corrosion product. It therefore appears reasonable that cracking could have occurred subsequent to corrosion and within the brittle oxide.

حرارتی و مکانیکی به احتمال قوی مسبب این شبکه ترک‌ها در محدوده حاصل از اکسید هستند. این سازوکار در خوردگی موضعی به کمک تنش، نمایان می‌شود. ترک‌های محکم و تیز در فلز تازه (اکسید نشده)، دورتر از محدوده عناصر حاصل از خوردگی اکسید، پیدا نشد. بنابراین منطقی به نظر می‌آید که ترک ناشی از خوردگی می‌توانست در نتیجه وقوع خوردگی در درون اکسید ترد، اتفاق افتد.

Cracking at welds and HAZs suggests that residual weld shrinkage stresses play a major role. Welds in deaerator vessels typically have not been postweld stress relieved. It is not unusual to find residual welding stresses of yield strength magnitude. This problem can be aggravated by vessel design (high localized bending stresses around saddle supports that fluctuate with water level and are accelerated by operational upsets). No fault was found with the steel plate chemical composition or with welding consumables. There was no evidence of embrittlement or caustic SCC (that is, no branched intergranular cracks).

ترک ناشی از خوردگی در جوش‌ها و مناطق متأثر از حرارت جوش نشان می‌دهد که تنش‌های انقباضی پسماند جوش، نقش مهمی را ایفاء می‌کنند. جوش‌ها در ظروف هوازدا، نوعاً پس از جوشکاری تنش‌زدایی نشده‌اند. پدید آمدن تنش‌های پسماند جوشکاری در حد استحکام تسلیم، غیر معمول نیست. این مشکل می‌تواند با طراحی ظرف بحرانی‌تر شود (تنش های بالا، ناشی از خم کاری موضعی در اطراف نگهدارنده های حایل که با تغیر سطح آب و آشفتگی در عملیات تشدید میشوند). هیچ عیبی در ترکیب شیمیایی ورق فولادی یا در مواد مصرفی جوشکاری پیدا نشد و هیچ نشانه‌ای از تردی یا SCC کاستیک (یعنی هیچ ترک بین دانه‌ای شاخه‌ای) مشاهده نگردید.

### A.2.4.5 Recommendations

All welds in deaerator vessels shall be postweld stress relieved. Operational upsets should be avoided, and water chemistry must be maintained with acceptable limits. This is especially true with regard to water oxygen levels, which should be kept low to minimize pitting corrosion.

### الف-۲-۴-۵ توصیه‌ها

تمام جوش‌ها در ظروف هوازدا، باید تنش زدایی شوند. از آشفتگی‌ها در عملیات باید احتراز گردد و آنالیز شیمیایی آب در محدوده قابل قبول حفظ گردد و این امر بخصوص راجع به مقدار اکسیژن آب صادق است که باید در سطح پایین نگاه داشته شود تا خوردگی حفره‌ای را به حداقل کاهش دهد.

## A.3 Corrosion of Austenitic Stainless Steel Weldments

## الف-۳ خوردگی قطعات فولادی زنگ نزن آستنیتی جوشکاری شده

### A.3.1 Effects of GTA weld shielding gas composition

### الف-۳-۱ اثرات ترکیب گاز محافظ جوش GTA

The chromium in a stainless steel has a strong chemical affinity for oxygen and carbon. Weld pools formed by electric arc processes must be shielded from the atmosphere to prevent slag formation and oxidation, to maintain a stable arc, and to reduce contamination of the molten metal by the weld environment. Argon or argon plus helium gas mixtures are commonly used in GTA welding processes to create a barrier between the solidifying weld and the atmosphere. In other cases, nitrogen is

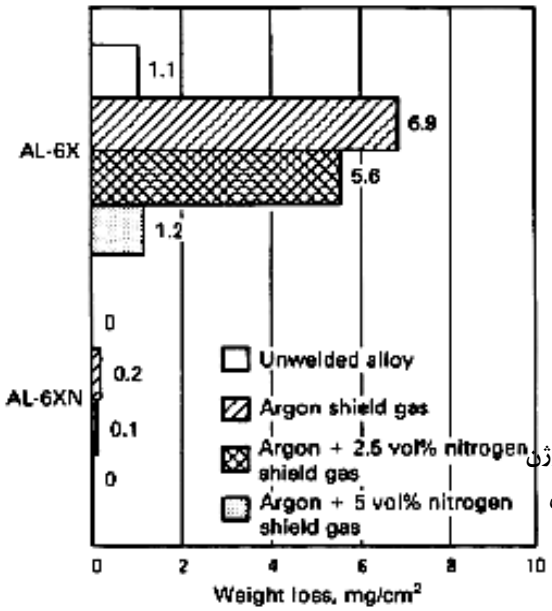
کروم در فولاد زنگ نزن دارای میل ترکیبی شدیدی با اکسیژن و کربن است. حوضچه‌های جوش که با فرآیندهای قوس الکتریکی ایجاد می‌شود باید از آتمسفر محافظت گردد تا از تشکیل سرباره و اکسیداسیون پیشگیری به عمل آید و قوس پایدار بماند و آلودگی فلز ذوب شده بوسیله محیط جوش، کاهش یابد. گاز آرگون یا مخلوط آرگون و گاز هلیوم معمولاً در فرآیندهای جوشکاری (GTA) به کار می‌رود تا در حین یکپارچگی جوش مانعی بین جوش و محیط بوجود آید.

commonly used as a backing gas to protect the backside of the root pass.

The composition of a shielding gas can be modified to improve the microstructure and properties of GTA welds in austenitic stainless steels. More specifically, the use of argon mixed with small volumes of nitrogen (10 vol% $N_2$ or less) in a GTA welding process enhances the corrosion resistance of iron-chromium- nickel- molybdenum- nitrogen stainless alloys in oxidizing acid chloride solutions (Fig. A.3.1). In certain nonoxidizing solutions, argon-nitrogen shielding gas reduces the ferrite content of weld metal, and influences weld metal solidification behavior.

در موارد دیگر نیتروژن بصورت گاز پشتیبان استفاده می‌شود تا از پاس ریشه حفاظت شود.

ترکیب گاز محافظ می‌تواند اصلاح شود تا ریزساختار و خواص جوش‌های GTA را در فولادهای زنگ نزن آستینتی بهبود بخشد. بویژه استفاده از مخلوط آرگون با حجم نیتروژن کم (حجم ۱۰ درصد نیتروژن یا کمتر) در فرآیند جوشکاری GTA، مقاومت به خوردگی آلیاژهای زنگ نزن آهن – کرم – نیکل – مولیبدنیم – نیتروژن در محلول‌های اکسید کننده اسید کلرید را تقویت می‌کند (شکل الف-۳-۱). در بعضی محلولهای غیراکسیدکننده، گاز محافظ آرگون – نیتروژن از مقدار فریت در فلز جوش می‌کاهد و بر رفتار انقباضی آن تأثیرگذار است.




-آلیاژ جوشکاری نشده
- گاز محافظ آرگون
- ارگون +۲/۵ درصد حجمی گاز محافظ نیتروژن
- آرگون+۵ درصد حجمی گاز محافظ نیتروژن

پرت وزنی میلی گرم بر سانتیمتر مکعب

**Fig. A.3.1 EFFECT OF GTA WELD SHIELDING GAS COMPOSITION ON THE CORROSION RESISTANCE OF TWO-AUSTENITIC STAINLESS STEELS. WELDED STRIP SAMPLES WERE TESTED, (BY ASTM, G48) THE TEST TEMPERATURE WAS 35°C (95°F)**

**شکل الف-۳-۱ اثر ترکیب گاز محافظ جوش GTA در مقاومت دو فولاد زنگ نزن آستنیتی در برابر خوردگی، نمونه‌های نوار جوش شده مورد آزمایش قرار گرفت (با ASTM, G48)**

**درجه حرارت آزمون ۳۵ درجه سانتیگراد (۹۵ درجه فارنهایت)**

The nitrogen content of weld metal increases with the partial pressure of nitrogen in the GTA weld shielding gas. The increase in weld metal nitrogen content is greater when nitrogen is mixed with an oxidizing gas, such as $CO_2$, than with either a reducing (hydrogen) or a neutral (argon) gas. Porosity and concavity are

مقدار نیتروژن فلز جوش، با فشار جزیی نیتروژن در گاز محافظ جوش GTA، افزایش می‌یابد. افزایش نیتروژن در فلز جوش، هنگامی که نیتروژن با یک گاز اکسیدکننده مانند دی اکسید کربن مخلوط شود، نسبت به کاهش هیدروژن یا گاز خنثی یعنی آرگون بیشتر می‌شود. خلل و

observed in austenitic stainless steel weld metals when more than 10 vol% nitrogen is added to an argon shielding gas. Although solid-solution additions of nitrogen are not detrimental to the SCC resistance of unwelded molybdenum-containing austenitic stainless steels, an increased weld metal nitrogen content tends to increase susceptibility to SCC.

فرج و فرورفتگی در فلزات جوش فولاد زنگ نزن آستنیتی وقتی مشاهده می‌شود که بیشتر از ۱۰ درصد حجم نیتروژن به گاز محافظ خنثی، یعنی آرگون اضافه شود. اگرچه افزودنی‌های محلول جامد نیتروژن، برای فولادهای حاوی مولیبدنیم زنگ نزن آستنیتی جوش نشده، به لحاظ مقاومت در برابر SCC زیان آور نیست، ولی فلز جوش حاوی نیتروژن، باعث افزایش میل آسیب پذیری در برابر SCC می‌گردد.

**A.3.2 Effects of heat-tint oxides on the corrosion resistance of austenitic stainless steels**

**الف-۳-۲ اثرات اکسیدهای رنگی - حرارتی روی مقاومت به خوردگی فولاد زنگ نزن آستنیتی**

Under certain laboratory conditions, a mechanically stable chromium-enriched oxide layer can be formed on a stainless steel surface that enhances corrosion resistance. In contrast, the conditions created by arc-welding operations produce a scale composed of elements that have been selectively oxidized from the base metal. The region near the surface of an oxidized stainless steel is depleted in one or more of the elements that have reacted with the surrounding atmosphere to form the scale. The rate of oxidation for a stainless steel, and consequently the degree of depletion in the base metal, is independent of the alloy composition and is controlled by diffusion through the oxide. The oxidized, or heat-tinted, surface of a welded stainless steel consists of a heterogeneous oxide composed primarily of iron and chromium above a chromium-depleted layer of base metal. The properties of such a surface depend on:

در بعضی شرایط آزمایشگاهی یک لایه اکسید کرم غنی شده پایدار، روی سطح فولاد زنگ نزن تشکیل می‌شود که باعث تقویت مقاومت در برابر خوردگی می‌گردد. در مقایسه، شرایط ایجاد شده در اثر عملیات جوش قوسی، باعث ایجاد رسوبی مرکب از عناصری که به طور انتخابی از فلز پایه اکسید شده‌اند می‌نماید. محدوده نزدیک به سطح فولاد زنگ نزن اکسید شده نسبت به یک یا چند عنصر که با محیط، واکنش و تشکیل پوسته داده‌اند فقیر شده است. میزان اکسیداسیون برای فولاد زنگ نزن و در نتیجه میزان تهی شدن در فلز پایه، مستقل از ترکیب آلیاژ است و با انتشار از طریق اکسید کنترل می‌شود. سطح اکسید شده فولاد زنگ نزن جوش شده، مرکب از اکسید ناهمگن است که اساساً تشکیل شده از آهن و کروم، که روی لایه‌ای از فلز پایه که از کروم تهیه شده است، قرار می‌گیرد. مشخصات چنین سطحی بستگی دارد به:

- The time and temperature of the thermal exposure.
- مدت و دمایی که سطح فلز در معرض حرارت قرار می‌گیرد.
- The composition of the atmosphere in contact with the hot metal surface.
- ترکیب محیط در تماس با سطح فلز گرم.
- The chemical composition of the base metal beneath the heat-tint oxide.
- ترکیب شیمیایی فلز پایه در زیر اکسید رنگی - حرارتی .
- The physical condition of the surface (contamination, roughness, thermo mechanical history) prior to heat tinting.
- شرایط فیزیکی سطح فلز (آلودگی، زبری، سابقه ترمومکانیکی)، قبل از تغییر رنگ سطح فلز بر اثر حرارت.

- The adherence of the heat-tint oxide to the base metal.

The defects, internal stresses, and composition of the heat-tint oxide make it a poor barrier to any corrosive media that might initiate localized corrosion in the chromium-depleted layer of base metal.

The severity of localized corrosion at heat-tinted regions exposed to oxidizing chloride solutions is directly related to the temperature of the hot metal surface during welding. A heat-tint oxide on an austenitic stainless steel exposed in air first becomes obvious at approximately 400°C (750°F). As the surface temperature is increased, differently colored oxides develop that appear to be superimposed upon the oxides formed at lower temperatures (Table A.3.1). Dark blue heat-tint oxides are the most susceptible to localized corrosion. It should be noted that gas-shielded surfaces do not form the same distinctly colored oxides as surfaces exposed to air during welding, but gas-shielded surfaces can also be susceptible to preferential corrosion.

- چسبیدگی لایه اکسید رنگی - حرارتی به فلز پایه.

معایب، تنش‌های داخلی و ترکیب لایه اکسید رنگی - حرارتی، این لایه را برای هر نوع محیط خورنده‌ای ضعیف نموده بطوریکه ممکن است باعث شروع خوردگی موضعی در لایه فقیر شده از کرم فلز پایه شود.

شدت خوردگی موضعی مناطق رنگی - حرارتی در معرض اکسیداسیون محلول کلرید، بستگی مستقیم به دمای سطح فلز داغ در طی جوشکاری دارد. لایه اکسید رنگی - حرارتی سطح فولاد زنگ نزن آستنیتی که در معرض هوا قرار دارد نخست در دمای ۴۰۰ درجه سانتیگراد (۷۵۰ درجه فارنهایت) ظاهر می‌شود. هر قدر دمای سطح فلز افزایش یابد اکسیدهای رنگی متفاوتی پدید می‌آید که به نظر می‌رسد روی اکسیدهایی که در درجه حرارت پایین‌تر (جدول الف ۳-۱) تشکیل شده‌اند، ظاهر شود. لایه اکسید به رنگ آبی تیره در برابر خوردگی موضعی بسیار آسیب پذیر است. باید توجه داشت که سطوح حفاظت شده با همان لایه‌های اکسید رنگی مجزا که در طول جوشکاری در معرض هوا بوجود می‌آیند را تشکیل نمی‌دهند ولی در برابر خوردگی انتخابی آسیب پذیرند.

**TABLE A.3.1 - WELDING CONDITIONS AND CORROSION RESISTANCE OF HEAT-TINTED UNS 531726 STAINLESS STEEL PLATE**

**جدول الف-۳-۱ شرایط جوشکاری و مقاومت ورق فولاد زنگ نزن UNS 531726 رنگی - حرارتی در برابر خوردگی**

| WELDING CONDITIONS(a) شرایط جوشکاری | | | | CORROSION TEST RESULTS(b) نتایج آزمایش خوردگی | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Heat Input حرارت ورودی Kj/mm | kj/in | Welding Current,A شدت جریان جوشکاری | Centerline Heat –Tint Color رنگ خط مرکزی رنگی - حرارتی | Maximum Pit Depth, حداکثر عمق حفره | | Number Of Pits On Heat-Tinted Surface تعداد حفرها در سطح رنگی - حرارتی |
| 0.3 | 7.525 | 50 | None بی رنگ | 0.1 | 4 | 2 |
| 0.59 | 15.050 | 100 | Straw کاهی | 0.7 | 28 | 10 |
| 0.89 | 22.576 | 150 | Rose سرخ | 0.8 | 31 | 50 |
| 1.19 | 30.101 | 200 | Blue آبی | 0.7 | 28 | >70 |
| 1.48 | 37.626 | 250 | White سفید | 0.9 | 35 | >70 |

**a)** Single-pass autogenous bead-on-plate GTA welds were made to heat-tint the root surface of 6.4-mm (¼ inch) thick plate samples.

**الف)** گرمای بوجود آمده خودگیر روی ورق در جوش-های تک پاس در جوشکاری GTA باعث تغییر رنگی - حرارتی سطح ریشه در ورق‌های نمونه به ضخامت ۶/۴ میلیمتر ( $\frac{۱}{۴}$ اینچ)، می‌شود.

**b)** Duplicate coupons, each one with 25 × 51 mm (1 × 2 inch) heat-tinted surface, were exposed to 10% $FeCl_3$ solutions at 50°C (120°F). The weld face and edges of each coupon were covered with a protective coating.

**ب** ) کوپن‌های دوتایی تغییر رنگی - حرارتی برای هر یک از سطوح ۲۵×۵۱ میلیمتر (۱×۲ اینچ) که سطح ریشه آنها در محلول ۱۰ درصد کلرید فّریک در ۵۰ درجه سانتیگراد (۱۲۰ درجه فارنهایت) قرار می‌گیرند. نمای جوش و لبه‌های هر کوپن بوسیله یک پوشش حفاظتی پوشانده می‌شود.

Whether a weld heat tint oxide should be removed prior to service depends on the corrosion behavior of the given alloy when exposed to the particular environment in question. Preferential corrosion at heat-tinted regions is most likely to occur on an alloy that performs near the limit of its corrosion resistance in service, but certain solutions do not affect heat-tinted regions. Even when heat-tinted regions are suspected of being susceptible to accelerated corrosion in a particular environment, the following factors should be considered:

اینکه اکسید رنگی – حرارتی جوش قبل از به کارگیری باید زدوده شود یا نه بستگی به رفتار خوردگی آلیاژی دارد که در محیط خاص مورد نظر قرار می‌گیرد. خوردگی ترجیحی در مناطق تغییر رنگی - حرارتی به احتمال زیاد روی آلیاژی در محدوده مقاومت در برابر خوردگی است، اتفاق می‌افتد. ولی بعضی محلول‌ها روی این مناطق مؤثر نیستند. حتی وقتی که مناطق رنگی در یک محیط خاص به آسیب پذیری در برابر خوردگی سریع مشکوک هستند، عوامل زیر باید در نظر گرفته شود:

- The rate at which pits, once initiated in the chromium-depleted surface layer, will propagate through sound base metal.

- سرعتی که در آن خوردگی حفره‌ای با عاری شدن کروم از لایه سطحی شروع می‌شود و به سراسر فلز پایه منتشر می‌گردد.

- The hazards associated with the penetration, due to localized corrosion, of a process unit.

- خطرات مربوط به نفوذ بواسطه خوردگی موضعی در یک واحد فرآیندی.

- The cost and effectiveness of an operation intended to repair a heat-tinted stainless steel surface.

- موثر و مقرون به صرفه بودن عملیات برای تعمیر سطح رنگی - حرارتی از فولاد زنگ نزن.

The corrosion resistance of heat-tinted regions can be restored in three stages. First, the heat-tint oxide and chromiumdepleted layer are removed by grinding or wire brushing. Second, the abraded surface is cleaned with an acid solution or a pickling paste (a mixture of $HNO_3$ and HF suspended in an inert paste or gel) to remove any surface contamination and to promote the reformation of a passive film. Third, after a sufficient contact time, the acid cleaning solution or pickling paste is thoroughly rinsed with water, preferably demineralized or with a low chloride ion ($Cl^-$) content.

مقاومت به خوردگی مناطق رنگی - حرارتی در سه مرحله می‌تواند به حالت نخست برگردد. اول اینکه اکسید ظاهر شده رنگی و لایه عاری از کروم، با سنگ زنی یا برس سیمی برطرف شود. دوم اینکه سطح ساییده، با محلول اسیدی تمیز شود یا خمیر اسیدشویی (مخلوطی از اسید نیتریک و اسید هیدروفلوریک معلق در خمیر یا ژل بی اثر) برای زدودن هر سطح آلوده‌ای برای بهبود و بازساخت لایه غیرفعال، سوم اینکه بعد از زمان تماس کافی فلز ، محلول تمیزکننده اسیدی یا خمیر اسیدشویی ترجیحاً با آب، بدون املاح و با میزان پائین یون کلرید کامل شستشو گردد.

Grinding or wire brushing may not be sufficient to repair a heat-tinted region. Such

سنگ زنی یا استفاده از برس سیمی ممکن است برای تعمیر مناطق تغییر رنگ یافته فلز کافی نباشد. چنین

abrading operations may only smear the heat-tint oxide and embed the residual scale into the surface, expose the chromium-depleted layer beneath the heattint oxide, and contaminate the surface with ferrous particles that were picked up by the grinding wheel or wire brush. A stainless steel surface should never be abraded with a wheel or brush that has been used on a carbon or low-alloy steel; wire brushes with bristles that are not made of a stainless steel of similar composition should also be avoided. Conversely, attempting to repair a heat-tinted region with only a pickling paste or acid solution may stain or even corrode the base metal if the solution is overly aggressive or is allowed to contact the surface for an extended time. If the acid is too weak, a chromium-depleted scale residue may remain on a surface. Even if the chromium-depleted layer were completely removed by a grinding operation, mechanically ground surfaces generally have inferior corrosion resistance compared to properly acid-pickled surfaces.

**A.3.3 Unmixed zones**

All methods of welding stainless steel with a filler metal produce a weld fusion boundary consisting of base metal that has been melted but not mechanically mixed with filler metal and a partially melted zone in the base metal. The weld fusion boundary lies between a weld composite consisting of filler metal diluted by base metal and an HAZ in the base metal (Fig. 1). The width of the unmixed zone depends on the local thermal conditions along the weld fusion line. For a GTA welding process, the zone is most narrow at the weld face and is broadest near the middle of the weld thickness.

An unmixed zone has the composition of base metal but the microstructure of an autogenous weld. The microsegregation and precipitation phenomena characteristic of autogenous weldments decrease the corrosion resistance of an unmixed zone relative to the parent metal. Unmixed zones bordering welds made from over alloyed filler metals can be preferentially attacked when exposed on the weldment surface.

The potential for preferential attack of unmixed zones can be reduced by minimizing the heat input to the weld and/or by flowing molten

عملیات سایشی فقط باعث لکه‌دار شدن اکسید سطحی و تثبیت پوسته پسماند به داخل سطح فلز و در معرض قرار گرفتن لایه عاری از کروم را در معرض زیر لایه اکسید قرار می‌دهد و باعث آلودگی سطح فلز با ذرات آهن که بوسیله برس یا ابزار دیگر جذب شده‌اند، می‌گردد. برای سطح فولاد زنگ نزن از برسی که برای فولاد کم آلیاژ و یا کم کربن بکار رفته، نباید استفاده کرد و نیز برسی را که سیمهای آن از فولاد زنگ نزن ساخته شده نیز باید پرهیز شود، نباید بکار برد. برعکس، بازساخت منطقه تغییر رنگ یافته، تنها به روش اسیدشویی و یا محلول اسیدی، اگر محلول بیش از حد تهاجمی بوده و مدت تماس آن با سطح فلز بیش از اندازه باشد، موجب لکه‌دار شدن سطح فلز و یا حتی خوردگی فلز پایه می‌گردد. اگر اسید خیلی ضعیف باشد پسماند پوسته عاری از کروم روی سطح فلز باقی می‌ماند، حتی اگر کاملاً با سنگ زنی یا ساییدن پاک شود. سنگ زنی یا سایش مکانیکی در مقایسه با سطوحی که بخوبی اسیدشویی شده باشند، معمولاً مقاومت آنها به خوردگی را کمتر می‌کند.

**الف-۳-۳ مناطق مخلوط نشده**

همه روشهای جوشکاری فولاد زنگ نزن با فلز پرکننده، یک مرز ذوب جوشی بوجود می‌آورند که شامل فلز پایه ذوب شده بوده که با فلز پرکننده مخلوط نشده و منطقه‌ای در فلز پایه که تا حدی ذوب شده است بوجود می‌آورند. از جوش ذوبی بین ترکیب جوش، مرکب از فلز پرکننده رقیق شده با فلز پایه، و منطقه متأثر از حرارت جوش در فلز پایه قرار می‌گیرد (شکل ۱). پهنای منطقه مخلوط نشده بستگی به شرایط دمای موضعی در طول خط جوش ذوبی دارد. برای فرآیند جوشکاری GTA، باریک‌ترین منطقه در رویه جوش و پهن‌ترین در وسط ضخامت جوش است.

منطقه مخلوط نشده، بجز ریزساختار جوش خودگیر، دارای ترکیب فلز پایه است. ویژگی پدیده‌های رسوب و جدایش میکروسکوپی قطعات جوشکاری شده خودگیر ، مقاومت به خوردگی یک منطقه مخلوط نشده را نسبت به فلز اصلی کاهش می‌دهد. جوشهای مرز منطقه مخلوط نشده که از فلزات پرکننده فوق آلیاژی ساخته می‌شود، وقتی قطعه جوش شده در معرض قرا می‌گیرد می‌تواند مورد حمله واقع شود.

پتانسیل حمله ترجیحی به مناطق مخلوط نشده می‌تواند، با به حداقل رساندن حرارت ورودی به جوش و/ یـا بـا بـه

filler metal over the surface of the unmixed zone to form a barrier to the service environment. Care must be taken in this latter operation to avoid cold laps and lack-of-fusion defects. In both cases, preferential attack is avoided as long as the surface of the unmixed zone lies beneath the exposed surface of the weldment.

جریان انداختن ذوب شده پر کننده روی سطح منطقه مخلوط نشده به عنوان مانعی به محیط کارکرد، کاهش یابد. اجتناب از نقص‌های جوش سرد و ذوب ناقص در عملیات آخر دقت لازم صورت گیرد. در هر دو مورد، تا زمانی که سطح منطقه مخلوط نشده زیر سطح قطعه جوشکاری شده قرار گیرد، از حمله ترجیحی جلوگیری خواهد شد.

### A.3.4 Chloride SCC

### الف-۳-۴ ترک ناشی از خوردگی تنشی کلرید

Welds in the 300-series austenitic stainless steels, with the exception of types 310 and 310 Mo, contain a small amount of (-ferrite (usually less than 10%) to prevent hot cracking during weld solidification. In hot aqueous chloride environments, these duplex weldments generally show a marked resistance to cracking, while their counterparts crack readily.

جوشهای فولادهای زنگ نزن آستنیتی سری ۳۰۰، به استثنای نوع 310 Mo و 310 حاوی مقدار کمی از (فّریت، معمولاً کمتر از ۱۰درصد)، از ترک ناشی از خوردگی گرم در طول انجماد جوش جلوگیری به عمل می‌آورند. در محیط-های کلریدی داغ، قطعات جوشکاری شده دو فازی عموماً مقاومت قابل توجهی در برابر ترک ناشی از خوردگی از خود نشان می‌دهند درحالیکه همتاهای آنها به آسانی ترک می-خورند.

The generally accepted explanation for this behavior is that the ferrite phase is resistant to chloride SCC and impedes crack propagation through the austenite phase. Electrochemical effects may also play a part; however, under sufficient tensile stress, temperature, and chloride concentration, these duplex weldments will readily crack. An example is shown in Fig. A.3.2.

عموماً توضیح قابل قبول برای این رفتار این است که فاز فّریت به SCC کلرید مقاوم است و مانع انتشار ترک در سراسر فاز آستنیتی می‌گردد. اثرات الکتروشیمیایی نیز ممکن است برای یک قسمت به موقع ظاهر شود بپیوندد. بهرحال تحت تنش کششی کافی، حرارت و غلظت کلرید، قطعات جوش شده دو فازی به آسانی ترک خواهند خورد. به عنوان مثال در شکل الف-۳-۲ نشان داده می‌شود.

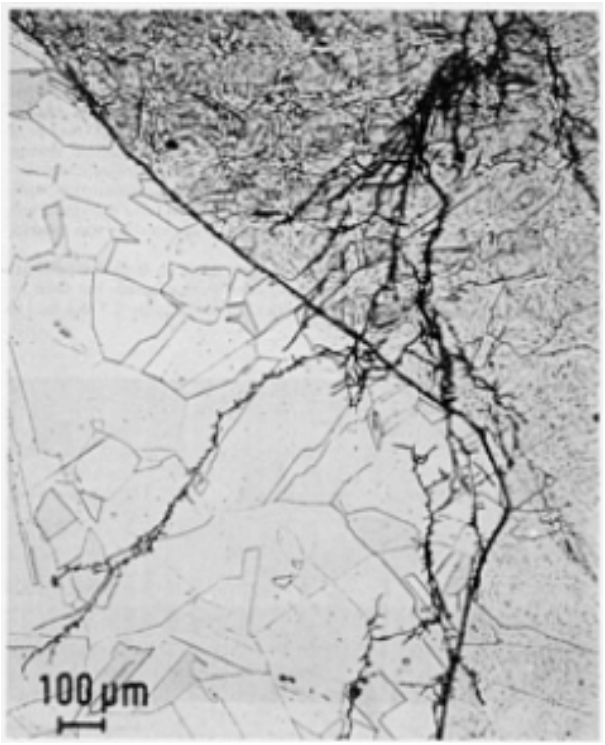



**Fig. A.3.2 CHLORIDE SCC OF TYPE 304 STAINLESS STEEL BASE METAL AND TYPE 308 WELD METAL IN AN AQUEOUS CHLORIDE ENVIRONMENT AT 95°C (200°F). CRACKS ARE BRANCHING AND TRANSGRANULAR**

**شکل الف-۳-۲ ترک ناشی از خوردگی تنشی کلرید فلز پایه فولاد زنگ نزن نوع 304 و فلز جوش نوع 308 در یک محیط کلرید آبی در ۹۵ درجه سانتیگراد (۲۰۰ درجه فارنهایت) ترک‌ها شاخه‌ای و درون دانه‌ای هستند.**

### A.3.5 Caustic embrittlement (caustic SCC)

Susceptibility of austenitic stainless steels to this form of corrosion usually becomes a problem when the caustic concentration exceeds approximately 25% and temperatures are above 100°C (212°F). Because welding is involved in most fabrications, the weld joint becomes the focus of attention because of potential stress raiser effects and because of high residual shrinkage stresses. Cracking occurs most often in the weld HAZ.

In one case, a Type 316L reactor vessel failed repeatedly by caustic SCC in which the process fluids contained 50% sodium hydroxide (NaOH) at 105°C (220°F). Failure was restricted to the weld HAZ adjacent to bracket attachment welds used to hold a steam coil.

### الف-۳-۵ تردی ناشی از عامل کاستیک (SCC کاستیک)

آسیب پذیری فولادهای زنگ نزن آستنیتی نسبت به این نوع خوردگی معمولاً وقتی تبدیل به مشکلی می‌شود که غلظت کاستیک تقریباً از ۲۵ درصد و دما از ۱۰۰ درجه سانتیگراد (۲۱۲ درجه فارنهایت) به بالا تجاوز کند. چون جوشکاری در بیشتر فرآیندهای ساخت به کار می‌رود، اتصال جوش به دلیل اثرات افزایش تنش بالقوه و تنش-های انقباضی پسماندها، در مرکز توجه می‌باشند. ترک خوردگی بیشتر در HAZ جوش اتفاق می‌افتد.

در یک مورد، یک مخزن تحت فشار راکتور از نوع 316L توسط SCC کاستیک در جایی که سیال فرآیندهای آن حاوی ۵۰ درصد هیدروکسید سدیم (NaOH) در ۱۰۵ درجه سانتیگراد (۲۲۰ درجه فارنهایت) بود مکرراً دچار خرابی شد. این نقص، محدود به منطقه متأثر از حرارت جوش مجاور جوشهای اتصال قلاب برای نگاهداری کویل بخار بود.

The stresses caused by the thermal expansion of the Nickel 200 steam coil at 1034 kPa (150 psig) aggravated the problem. Fig. A.3.3 shows the cracks in the weld HAZ to be branching and intergranular. Because it was not practical to reduce the operating temperature below the threshold temperature at which caustic SCC occurs, it was recommended that the vessel be weld overlaid with nickel or that the existing vessel be scrapped and a replacement fabricated from Nickel 200.

تنشهای ناشی از انبساط حرارتی کویل بخار نیکل 200، در ۱۰۳۴ کیلوپاسکال (۱۵۰ پوند بر هر اینچ مربع psig) مشکل را حادتر کرد. شکل الف-۳-۳ ترک خوردگی‌ها را در منطقه متأثر از حرارت جوش که شاخه‌ای و بین دانه-ای هستند نشان می‌دهد. پایین آوردن حرارت عملیاتی زیر آستانه درجه‌ای که در آن خوردگی SCC ناشی از کاستیک اتفاق می‌افتد، عملی نیست. توصیه‌ها بر این بود که ظرف با نیکل اندود شود، یا اینکه کنار گذاشته شود و یا ظرفی که از نیکل ۲۰۰ ساخته شده جایگزین گردد.

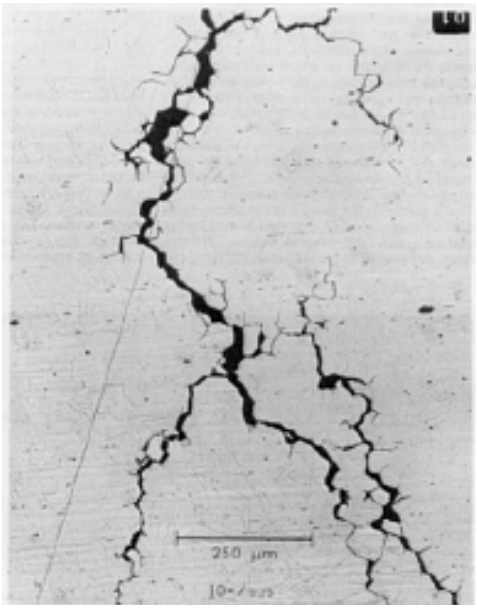



**Fig. A.3.3 CAUSTIC SCC IN THE HAZ OF A TYPE 316L STAINLESS STEEL NaOH REACTOR VESSEL. CRACKS ARE BRANCHING AND INTERGRANULAR**

**شکل الف-۳-۳ خوردگی SCC در HAZ فولاد زنگ نزن نوع 316L ظرف راکتور هیدروکسید.**
**ترک‌ها ، شاخه‌ای و بین دانه‌ای هستند**

### A.3.6 Microbiologically induced corrosion (MIC)

Microbiological corrosion in the process industries is most often found in three areas: cooling water systems, aqueous waste treatment, and groundwater left in new equipment or piping systems after testing. Nearly all confirmed cases of MIC have been accompanied by characteristic deposits. These are usually discrete mounds. Deposit color can also be an indication of the types of microorganisms that are active in the system. For example, iron bacteria deposits on stainless steel, such as those produced by Gallionella are often reddish.

Investigators have shown that in almost all cases the environment causing the damage was a natural, essentially untreated water containing one or more culprit species of microbiological organisms. In the case of austenitic stainless steel weldments, corrosion generated by bacteria takes a distinctive form, that is, subsurface cavities with only minute pinhole penetration at the surface.

### A.4 Corrosion of Ferritic Stainless Steel Weldments

### A.4.1 Leaking welds in a ferritic stainless steel wastewater vaporizer

A nozzle in a wastewater vaporizer began leaking after approximately 3 years of service with acetic and formic acid wastewaters at 105°C (225°F) and 414 kPa (60 psig):

**a) Investigation**

The shell of the vessel was weld fabricated in 1972 from 6.4 mm (¼ inch) E-Brite stainless steel plate. The shell measured 1.5 m (58 inch) in diameter and 8.5 m (28 ft) in length. Nondestructive examination included 100% radiography, dye-penetrant inspection, and hydrostatic testing of all E-Brite welds.

An internal inspection of the vessel revealed that portions of the circumferential and longitudinal seam

### الف-۳-۶ خوردگی میکروبی (MIC)

خوردگی میکروبی در صنایع فرآیندی اغلب در سه حوزه پیدا می‌شود: سامانه خنک کننده آب، تصفیه پسابها و آب زیرزمینی که بعد از آزمون در تجهیزات و سامانه‌های لوله‌کشی باقی می‌ماند. تقریباً تمام موارد تائید شده خوردگی میکروبی رسوبات مشخصه خود را به همراه دارد اینها معمولاً به شکل برآمدگی‌های جدا از هم می باشد. رنگ رسوبات می‌تواند نشانه‌ای از نوع میکروارگانیسمی باشد که در سامانه فعال است. برای مثال رسوبات باکتری آهن روی فولاد زنگ نزن مانند آنهایی که با گالیونِلا (Gallionella) تولید می‌شود اغلب برنگ قرمز است.

محققان نشان داده‌اند که تقریباً در تمام مواردی که باعث آسیب محیطی شده‌اند ناشی از یک عامل طبیعی بوده است. خصوصاً آب تصفیه نشده‌ای که حاوی یک یا بیشتر از گونه‌های جاندار میکروبی می‌باشد. در مورد قطعات جوشکاری شده فولاد زنگ نزن آستینی، خوردگی ایجاد شده ناشی از یک باکتری است که شکل متمایزی بخود گرفته که با ایجاد حفره‌های زیر سطحی به اندازه سوراخ سوزن در سطح نفوذ می‌کند.

### الف-۴ خوردگی قطعات فولاد زنگ نزن فّریتی جوشکاری شده

### الف-۴-۱ نشتی جوشها در تبخیر کننده پساب از فولاد زنگ نزن فّریتی

نازل در یک تبخیر کننده پساب بعد از تقریباً سه سال کارکرد با پسابهای اسید استیک و اسید فرمیک در ۱۰۵ درجه سانتیگراد (۲۲۵ درجه فارنهایت) و ۴۱۴ کیلوپاسکال (۶۰ پوند بر اینچ مربع نسبی) شروع به نشت کردن نمود.

**الف) بررسی**

پوسته ظرفی در سال ۱۹۷۲ از ورق ۶/۴ میلیمتری ( $\frac{1}{4}$اینچ) فولادی زنگ نزن فّریتی خالص و مقاوم در برابر خوردگی ساخته شده بود (E-Brite). پوسته به قطر ۱/۵ متر (۵۸ اینچ) و طول ۸/۵ متر(۲۸ فوت) اندازه‌گیری شد. آزمون غیرمخرب شامل ۱۰۰ درصد پرتونگاری، بازرسی به کمک رنگهای نفوذ کننده و آزمون ایستابی از تمام جوشهای فلز فوق به عمل آمد.

بازرسی داخلی ظرف، خوردگی بین دانه‌ای را علاوه بر جوش نازلها در بخشهایی از درز جوشهای

welds, in addition to the leaking nozzle weld, displayed intergranular corrosion. At the point of leakage, there was a small intergranular crack.

The evidence indicated weldment contamination; therefore, effort was directed at finding the levels of carbon, nitrogen, and oxygen in the various components present before and after welding. The averaged results were as follows:

**E-Brite, stainless steel plate**

**Base plate**

**C** = 6 ppm

**N** = 108 ppm (C + N = 114 ppm)

**O** = 57 ppm

**Corroded longitudinal weld**

**C** = 133 ppm

**N** = 328 ppm (C + N = 461 ppm)

**O =** 262 ppm

**Corroded circumferential weld**

**C** = 34 ppm

**N** = 169 ppm (C + N = 203 ppm)

**O** = 225 ppm

**E-Brite**

**Weld wire**

**C** = 3 ppm

**N** = 53 ppm (C + N = 56 ppm)

**O =** 55 ppm

محیطی و طولی نیز نشان می‌دهد. در نقطه نشتی یک ترک بین دانه‌ای کوچک به چشم می‌خورد.

شواهد آلودگی قطعه جوش را مشخص می‌نمود، بنابراین تلاش در جهت پی بردن به مقدار کربن، نیتروژن و اکسیژن در ترکیبات موجود قبل و بعد از جوشکاری به عمل آمد. میانگین نتایج بشرح زیر بود:

**E-Brite ، ورق فولاد زنگ نزن**

**فلز پایه**

کربن = ۶ ppm

نیتروژن = ۱۰۸ ppm (کربن + نیتروژن = ۱۱۴ ppm)

اکسیژن = ۵۷ppm

**جوش طولی خورده شده**

کربن = ۱۳۳ppm

نیتروژن = ۳۲۸ ppm (کربن + نیتروژن = ۴۶۱ ppm)

اکسیژن = ۲۶۲ ppm

**جوش دایره‌ای خورده شده**

کربن = ۳۴ ppm

نیتروژن = ۱۶۹ ppm (کربن + نیتروژن = ۲۰۳ ppm )

اکسیژن = ۲۲۵ppm

**E-Brite**

**سیم جوش**

کربن = ۳ ppm

نیتروژن = ۵۳ ppm (کربن + نیتروژن = ۵۶ ppm)

اکسیژن = ۵۵ppm

**جوش طولی بدون خوردگی**

کربن = ۱۰ ppm

نیتروژن = ۱۲۴ ppm (کربن + نیتروژن = ۱۳۴ppm)

اکسیژن = ۱۸۸ppm

**جوش دایره‌ای بدون خوردگی**

کربن = ۲۰ppm

نیتروژن = ۱۰۶ ppm (کربن + نیتروژن = ۱۲۶ ppm)

اکسیژن = ۸۵ ppm

این نتایج تردیدهایی که معایب را بواسطه مقادیر بیش از اندازه کربن، نیتروژن و اکسیژن تلقی می‌کرد مورد تأیید قرار داد. برای مشخص‌تر شدن شرایط ظرف، آزمون ضربه‌ای (شارپی) روی فلز پایه بدون تغییر، منطقه HAZ و فلز جوش بدون خوردگی نیز به عمل آمد. این آزمون‌ها درجه حرارت گذار از نرم به تُرد را بشرح زیر نشان می‌دهد:

**Sound longitudinal weld**

**C** = 10 ppm

**N** = 124 ppm (C + N = 134 ppm)

**O** = 188 ppm

**Sound circumferential weld**

**C** = 20 ppm

**N** = 106 ppm (C + N = 126 ppm)

**O** = 85 ppm

These results confirmed suspicions that failure was due to excessive amounts of nitrogen, carbon, and oxygen. To characterize the condition of the vessel further, Charpy V-notch impact tests were run on the unaffected base metal, the HAZ, and the uncorroded (sound) weld metal. These tests showed the following ductile-to-brittle transition temperatures:

| Specimen<br>نمونه | Ductile-to-brittle transition temperature<br>دمای انتقالی نرم به ترد | |
|---|---|---|
| | °C سانتیگراد | °F فارنهایت |
| Base metal<br>فلز پایه | 40±3 | 105±5 |
| HAZ<br>منطقه متاثر از حرارت جوش | 85±3 | 180±5 |
| Weld<br>جوش | 5±3 | 40±5 |

مقایسه سطوح درون شبکه‌ای جوشهای خورده شده، جوشهای بدون خوردگی، فلز پایه و مفتول‌های پرکننده حاکی از این بود که آماده سازی ناقص اتصال (جذب کربن) و گاز محافظ معیوب احتمالاً عوامل اصلی بودند که موجب خوردگی جوش شدند، طی مذاکراتی با فروشنده، دو تفاوت و اختلاف آشکار شد. نخست اینکه جوشکار از یک نازل بزرگ سرامیکی به قطر داخلی ۱۹

Comparison of the interstitial levels of the corroded welds, sound welds, base metal, and filler wire suggested that insufficient joint preparation (carbon pickup) and faulty gas shielding were probably the main contributing factors that caused this weld corrosion failure. Discussions with the Vendor uncovered two discrepancies. First, the welder was using a large, 19 mm (¾ inch) inside diameter ceramic

nozzle with a gas lens, but was flowing only 19 L/min (40 ft³/h) of argon; this was the flow rate previously used with a 13-mm (½ inch) inside diameter gas lens nozzle. Second, a manifold system was used to distribute pure argon welding gas from a large liquid argon tank to various satellite welding stations in the welding shop. The exact cause for the carbon pickup was not determined.

**b) Conclusions**

Failure of the nozzle weld was the result of intergranular corrosion caused by the pickup of interstitial elements and subsequent precipitation of chromium carbides and nitrides. Carbon pickup was believed to have been caused by inadequate joint cleaning prior to welding. The increase in the weld nitrogen level was a direct result of inadequate argon gas shielding of the molten weld puddle. Two areas of inadequate shielding were identified:

- Improper gas flow rate for a 19 mm (¾ inch) diam gas lens nozzle.
- Contamination of the manifold gas system.

In order to preserve the structural integrity and corrosion performance of the new generation of ferritic stainless steels, it is important to avoid the pickup of the interstitial elements carbon, nitrogen, oxygen, and hydrogen. In this particular case, the Vendor used a flow rate intended for a smaller welding torch nozzle. The metal supplier recommended a flow rate of 23 to 28 L/min (50 to 60 ft³/min) of argon for a 19 mm (¾ inch) gas lens nozzle. The gas lens collect body is an important and necessary part of the torch used to weld these alloys. Failure to use a gas lens will result in a flow condition that is turbulent enough to aspirate air into the gas stream, thus contaminating the weld and

میلیمتر ( $\frac{۳}{۴}$ اینچ) با عدسی گازی استفاده می‌کرد، ولی میزان جریان فقط ۱۹ لیتر آرگون در دقیقه بود (۴۰ فوت مکعب بر ساعت) که این میزانی بود که قبلاً با شیپوره با عدسی گازی به قطر داخلی ۱۳ میلیمتر ( $\frac{۱}{۲}$ اینچ) مورد استفاده قرار می‌گرفت. دوم اینکه از یک سامانه چند راهه برای توزیع گاز جوشکاری آرگون خالص از یک مخزن بزرگ آرگون مایع به ایستگاه‌های جوشکاری اقماری در کارگاه جوشکاری استفاده می‌گردید. ولی دلیل مشخصی برای جذب کربن معلوم نشد.

**ب ) نتیجه گیری**

عیب جوش نازل نتیجه خوردگی بین دانه‌ای بوده که با جذب عناصر درون شبکه‌ای و رسوب بعدی کاربید و نیترات کروم بوجود آمد. عقیده بر این بود که جذب کربن به دلیل تمیزکاری ناقص اتصال، پیش از جوشکاری روی داده است. افزایش مقدار نیتروژن در جوش نتیجه مستقیم ناکافی بودن گاز آرگون محافظ در حوضچه مذاب جوش بود. دو ناحیه محافظ ناکافی شناخته شده بشرح زیر است:

- مقدار جریان گاز نامناسب برای گلوگاه گازی شیپوره به قطر ۱۹ میلیمتر ( $\frac{۳}{۴}$ اینچ).
- آلودگی سامانه چند راهه گاز.

برای حفظ یکپارچگی ساختار و عملکرد مناسب در مقابل خوردگی نسل جدید فولاد زنگ نزن فّریتی، جلوگیری از جذب عناصر درون شبکه‌ای اکسیژن، هیدروژن، کربن و نیتروژن اهمیت دارد. در این مورد خاص، فروشنده از مقدار جریانی که برای شیپوره مشعل جوشکاری کوچکتر در نظر گرفته شده بود، استفاده کرد. تأمین کننده فلز، مقدار جریان آرگون را از ۲۳ تا ۲۸ لیتر در دقیقه (۵۰ تا ۶۰ فوت مکعب بر دقیقه) برای گلوگاه شیپوره گاز به قطر ۱۹ میلیمتری ( $\frac{۳}{۴}$ اینچ) توصیه کرده بود. بدنه جمع کننده گلوگاه گازی یک بخش ضروری مشعل است که برای جوشکاری این آلیاژها به کار می‌رود. معیوب بودن گلوگاه گازی برای استفاده منتج به شرایط جریانی می‌شود که کاملاً باعث آشفتگی در نفوذ هوا به سامانه گاز می‌گردد، بنابراین باعث

destroying its mechanical and corrosion properties.

The manifold gas system also contributed to this failure. When this system is first used, it is necessary to purge the contents of the manifold of any air to avoid oxidation and contamination. When that is done, the system functions satisfactorily; however, when it is shut down overnight or for repairs, air infiltrates back in, and a source of contamination is re-established. Manifold systems are never fully purged, and leaks are common.

The contaminated welds were removed, and the vessels were rewelded and put back into service. Some rework involved the use of covered electrodes of dissimilar composition. No problems have been reported to date.

**c) Recommendations**

- First, to ensure proper joint cleaning, solvent washing and wiping with a clean lint-free cloth shall be performed immediately before welding. The filler wire shall be wiped with a clean cloth just prior to welding. Also, a word of caution: Solvents are generally flammable and can be toxic. Ventilation shall be adequate. Cleaning shall continue until cloths are free of any residues.

- Second, when GTA welding, a 19 mm (¾ inch) diameter ceramic nozzle with gas lens collect body is recommended, an argon gas flow rate of 28 L/min (60 ft³/h) is optimum. Smaller nozzles are not recommended. Argon back gas shielding is mandatory at a slight positive pressure to avoid disrupting the flow of the welding torch.

- Third, the tip of the filler wire shall be kept within the torch shielding gas envelope to avoid contamination and pickup of nitrogen and oxygen (they embrittle the weld). If the tip becomes contaminated, welding shall be stopped, the contaminated weld area ground out, and the

آلودگی جوش و تخریب خواص فیزیکی و خوردگی خواهد بود.

سامانه چند راهه گاز نیز به این نقص کمک کرد. وقتی این سامانه برای اولین بار استفاده می‌شود، پاکسازی محتویات چند راهه از هر هوایی برای جلوگیری از اکسیداسیون و آلودگی ضرورت دارد. پس از انجام اینکار سامانه به طور رضایت بخشی عمل خواهد کرد. بهرحال اگر این سامانه برای یک شب و یا برای تعمیرات بسته شود هوا دوباره نفوذ می‌کند و منبعی برای آلودگی مجدد خواهد شد. سامانه‌های چند راهه هیچگاه به طور کامل پاکسازی نمی‌شوند و نشتی ها امری عادی خواهد بود.

جوشهای آلوده برطرف گردید و ظرف دوباره جوشکاری و به کار گرفته شد. در بعضی از جوشکاریها الکترودهای پوشش‌دار با ترکیب ناهمگن بود، تا این تاریخ هیچ مشکلی گزارش نشده است.

**ج ) توصیه ها**

- نخست برای تأمین تمیزکاری مناسب اتصال، شستشو با حلال‌ها و پاک کردن با پارچه‌ای تمیز و بدون پرز باید بی درنگ قبل از جوشکاری انجام شود. سیم پرکننده نیز قبل از جوشکاری با پارچه تمیز گردد. جمله احتیاط آمیز "حلال‌ها عموماً آتش‌زا و سمّی هستند" باید تهیه شود. تهویه باید کافی باشد، تمیزکاری باید تا زدودن تمام ذرات باقیمانده ادامه یابد.

- دوم اینکه هنگام جوشکاری GTA، نازل سرامیکی به قطر ۱۹ میلیمتر ( $\frac{۳}{۴}$ اینچ) و با بدنه جمع‌کننده گلوگاه گازی توصیه می‌شود و با جریان گاز آرگون ۲۸ لیتر در دقیقه(۶۰ فوت مکعب بر ساعت)، در حدّ مطلوب خواهد بود. شیپوره‌های کوچکتر قابل توصیه نیست. پشت بند محافظ گاز آرگون با فشاری مختصر برای جلوگیری از پخش شدن جریان مشعل جوشکاری، اجباری است.

- سوم اینکه نوک سیم پرکننده باید میان گاز محافظ مشعل، برای پیشگیری از آلودگی و جذب نیتروژن و اکسیژن (شکننده جوش)، محصور شود. اگر نوک سیم آلوده شود، جوشکاری باید متوقف گردد، آلودگی جوش ساییده و یا سنگ زنی شود و

tip of the filler wire that has been oxidized shall be snipped off before proceeding with welding.

نوک سیم پرکننده که اکسید شده است، قبل از اقدام به جوشکاری بریده شود.

- Fourth, a manifold gas system shall not be used to supply shielding and backing gas. Individual argon gas cylinders have been found to provide optimum performance. A weld button spot test shall be performed to confirm the integrity of the argon cylinder and all hose connections. In this test, the weld button sample shall be absolutely bright and shiny. Any cloudiness is an indication of contamination. It is necessary to check for leaks or replace the cylinder.

- چهارم اینکه سامانه چند راهه گازی برای تهیه پشت بند و گاز محافظ باید به کار گرفته نشود. معلوم گردید که سیلندرهای انفرادی گاز آرگون برای تأمین کارکرد، بسیار مطلوب است. آزمون جوش نقطه‌ای برای تأیید درست و کامل بودن سیلندر آرگون و تمام اتصالات شلنگ باید انجام گیرد. برای آزمون، نمونه جوش نقطه ای باید کاملاً درخشنده و براق باشد چون هر تیرگی نشانه‌ای از آلودگی است. کنترل نشتی‌ها یا جایگزینی سیلندر ضرورت دارد.

- Fifth, it is important to remember that corrosion resistance is not the only criterion when evaluating these new ferritic stainless steels. Welds must also be tough and ductile, and these factors must be considered when fabricating welds.

- پنجم اینکه مهم است که بخاطر داشته باشیم که مقاومت به خوردگی، هنگام ارزیابی فولادهای زنگ نزن فرّیتی جدید، تنها معیار نیست و جوش‌ها باید چقرمه و نرم باشند که هنگام ساخت جوش‌ها در نظر گرفته شود.

- Lastly, dissimilar weld filler metals can be successfully used. To avoid premature failure the dissimilar combination shall be corrosion tested to ensure suitability for the intended service.

- سرانجام فلزات پرکننده جوش غیر مشابه، می‌تواند بطور موفقیت آمیز بکار رود. برای جلوگیری از خوردگی زودرس ترکیب غیرمشابه باید مورد آزمون قرار گیرد تا مناسب بودن آنها برای کارکرد مورد نظر تأمین گردد.

### A.5 Corrosion of Duplex Stainless Steel Weldments

### الف-۵ خوردگی قطعات جوشکاری شده فولاد زنگ نزن دو فازی

The influence of different welding conditions on various material properties of Alloy 2205 is studied as follows:

اثر متفاوت وضعیت های جوشکاری، روی خواص مختلف آلیاژ 2205 بشرح زیر مورد مطالعه قرار گرفت:

Chemical compositions of test materials are given in Table A.5.1, and the results of the investigation are detailed in the following sections.

ترکیبات شیمیایی مواد آزمون در جدول الف-۵-۱ ارائه شده و نتایج بررسی در زیر به تفصیل آمده است.

**TABLE A.5.1 – CHEMICAL COMPOSITIONS OF ALLOY 2205 SPECIMENS TESTED AND FILLER METALS USED IN UNS, S 31803**

**جدول الف-۵-۱ خواص شیمیایی نمونه‌های آلیاژ 2205 آزمون شده و فلزات پرکننده سری 31803 براساس سامانه شماره گذاری (UNS)**

| SPECIMEN SIZE AND CONFIGURATION<br>شکل و اندازه نمونه‌ها | ELEMENT, %<br>درصد و عنصر | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | C<br>کربن | Si<br>سیلیس | Mn<br>منگنز | P<br>فسفر | S<br>گوگرد | Cr<br>کروم | Ni<br>نیکل | Mo<br>مولیبدنیم | Cu<br>مس | N<br>نیتروژن |
| **PARENT METALS** فلزات مبنا | **0.015** | **0.37** | **1.54** | **0.024** | **0.003** | **21.84** | **5.63** | **2.95** | **0.09** | **0.15** |
| 48.1-mm (1.89 inch) OD, 3.8-mm (0.149 inch) wall tube<br>جداره تیوب | **0.017** | **0.28** | **1.51** | **0.025** | **0.003** | **21.90** | **5.17** | **2.97** | **0.09** | **0.15** |
| 88.9-mm (3.5 inch) OD, 3.6-mm (0.142 inch) wall tube<br>جداره تیوب | **0.027** | **0.34** | **1.57** | **0.027** | **0.003** | **21.96** | **5.62** | **2.98** | **0.09** | **0.13** |
| 110- mm (4.3 inch) OD, 8-mm (0.31 inch) wall tube<br>جداره تیوب | **0.017** | **0.28** | **1.50** | **0.026** | **0.003** | **21.85** | **5.77** | **2.98** | **0.10** | **0.15** |
| 213- mm (8.4 inch) OD, 18-mm (0.7 inch) wall tube<br>جداره تیوب | **0.019** | **0.39** | **1.80** | **0.032** | **0.003** | **22.62** | **5.81** | **2.84** | **. . .** | **0.13** |
| 20- mm (¾ inch) plate | | | | | | | | | | |
| **FILLER METALS** فلزات پرکننده | | | | | | | | | | |
| 1.2 mm (0.047 inch) diam wire قطر سیم | | | | | | | | | | |
| 1.6 mm (0.063 inch) diam rod xv ltj,g قطر مفتول | **0.011** | **0.48** | **1.61** | **0.016** | **0.003** | **22.50** | **8.00** | **2.95** | **0.07** | **0.13** |
| 3.2 mm (0.125 inch) diam wire قطر سیم | | | | | | | | | | |
| 3.25 mm (0.127 inch) diam covered electrode<br>قطر الکترود روکش دار | **0.020** | **1.01** | **0.82** | **0.024** | **0.011** | **23.1** | **10.4** | **3.06** | **. . .** | **0.13** |
| 4.0 mm (0.16 inch) diam covered electrode<br>قطر الکترود روکش دار | **0.016** | **0.94** | **0.78** | **0.015** | **0.011** | **23.0** | **10.5** | **3.13** | **. . .** | **0.11** |

### A.5.1 Intergranular corrosion

Despite the use of very high arc energies (0.5 to 6 kJ/mm, or 13 to 152 kJ/inch) in combination with multipass welding, the Strauss test (ASTM A 262, Practice E) failed to uncover any signs of sensitization after bending through 180°.

### الف-۵-۱ خوردگی بین دانه‌ای

علیرغم استفاده از انرژی‌های خیلی بالای قوس (۰/۵ تا ۶ کیلوژول بر میلیمتر یا ۱۳ تا ۱۵۲ کیلوژول بر اینچ) در جوشکاری چند پاسه، آزمون اشتراس (Strauss) (ASTM A 262, Practice E) نتوانست هیچ نشانه‌ای از حساس شدن را بعد از خم کاری تا ۱۸۰ درجه آشکار سازد.

The results of Huey tests (ASTM A 262, Practice C) on submerged-arc welds showed that the corrosion rate increased slightly with arc energy in the studied range of 0.5 to 6.0 kJ/mm (13 to 152 kJ/inch). For comparison, the corrosion rate for parent metal typically varies between 0.15 and 1.0 mm/yr (6 and 40 mils/yr), depending on surface finish and heat treatment cycle.

Similar results were obtained in Huey tests of specimens from bead-on-tube welds produced by GTA welding. In this case, the corrosion rate had a tendency to increase slightly with arc energy up to 3 kJ/mm (76 kJ/inch).

### A.5.2 Pitting tests

Pitting tests were conducted in 10% ferric chloride ($FeCl_3$) at 25 and 30°C (75 and 85°F) in accordance with ASTM G 48. Results of tests on submerged-arc test welds did not indicate any significant change in pitting resistance when the arc energy was increased from 1.5 to 6 kJ/mm (38 to 152 kJ/inch). Pitting occurred along the boundary between two adjacent weld beads. Attack was caused by slag entrapment in the weld; therefore, removal of slag is important.

Gas tungsten arc weld test specimens (arc energies from 0.5 to 3 kJ/mm, or 13 to 76 kJ/inch) showed a marked improvement in pitting resistance with increasing arc energy. In order for duplicate specimens to pass the $FeCl_3$ test at 30°C (85°F), 3 kJ/mm (76 kJ/inch) of arc energy was required. At 25°C (75°F), at least 2 kJ/mm (51 kJ/inch) was required to achieve immunity. Welds made autogenously (no nickel enrichment) were somewhat inferior, but improvements were achieved by using higher arc energies.

For comparison with a different alloy, Fig. A.5.1 shows the effect of heat input on the corrosion resistance of Ferralium Alloy 255 welds made autogenously and tested in $FeCl_3$

نتایج آزمون‌های هویی (ASTM A 262, Practice C). جوشهای قوس زیر پودری نشان داد که میزان خوردگی با انرژی قوس در دامنه مقادیر مطالعه شده، از ۰/۵ تا ۶ کیلوژول در میلیمتر (۱۳ تا ۱۵۲ کیلوژول در اینچ) کمی افزایش یافت. برای مقایسه، نرخ خوردگی برای فلز مبنا نوعاً بین ۰/۱۵ تا ۱ میلیمتر mm در سال (۶ و ۴۰ هزارم اینچ در سال) تغییر می‌کند که بستگی به پرداخت سطح و سیکل عملیات حرارتی دارد.

با آزمون‌هایی (Huey) روی نمونه جوش‌های خط جوش حاصل از جوشکاری GTA نتایج مشابهی بدست آمد. در این مورد نرخ خوردگی با انرژی قوس تا ۳ کیلو ژول در میلیمتر (۷۶ کیلوژول در اینچ)، تمایل به کمی افزایش داشت.

### الف-۵-۲ آزمون خوردگی حفره‌ای

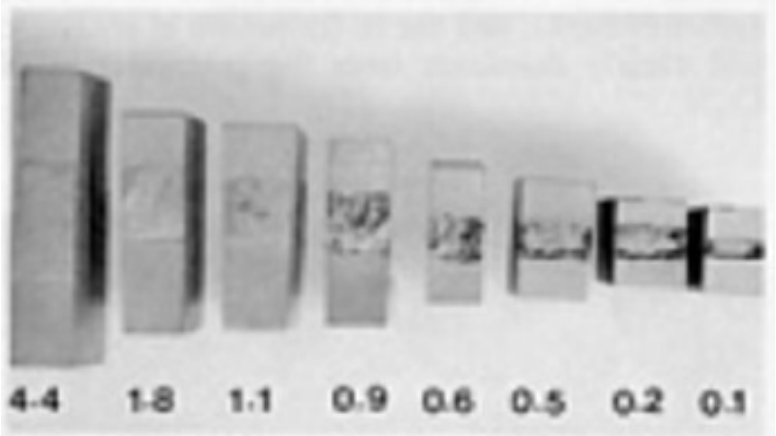
آزمون حفره‌ای در کلریدفریک ۱۰ درصد ($FeCL_3$) در ۲۵ و ۳۰ درجه سانتیگراد (۷۵ تا ۸۵ درجه فارنهایت) مطابق با استاندارد ASTM G48 با انرژی قوس از ۱/۵ تا ۶ کیلو ژول در میلیمتر (۳۸ تا ۱۵۲ کیلوژول در اینچ) انجام شد. در نتایج آزمون جوش قوس زیر پودری هیچ نشانه‌ای از تغییر مشاهده نگردید. خوردگی حفره‌ای در طول مرز بین دو خط جوش مجاور هم اتفاق افتاد که آن هم نتیجه حبس شدن سرباره در جوش بوده است، بنابراین زدودن سرباره از اهمیت برخوردار است.

نمونه‌های آزمایشی با جوشکاری قوسی تنگستنی گازی (با انرژی قوس از ۰/۵ تا ۳ کیلو ژول در میلیمتر یا ۱۳ تا ۷۶ کیلوژول در اینچ) پیشرفت قابل توجهی با افزایش انرژی قوس در مقاومت به خوردگی حفره‌ای از خود نشان دادند. برای نمونه‌های مشابه، آزمون کلریدفریک در ۳۰ درجه سانتیگراد (۸۵ درجه فارنهایت)، ۳ کیلوژول در میلیمتر (۷۶ کیلوژول در اینچ) انرژی قوس مورد نیاز بود. برای مصون ماندن از خوردگی در ۲۵ درجه سانتیگراد (۷۵ درجه فارنهایت) حداقل ۲ کیلوژول در میلیمتر (۵۱ کیلوژول در اینچ) مورد احتیاج بود. در جوشهایی که خودگیر بودند (بدون نیکل غنی شده) مقاومتشان کمتر بود ولی با استفاده از انرژی قوس بیشتر، بهبود مقاومت در برابر خوردگی به دست آمد.

برای مقایسه با یک آلیاژ متفاوت که در تصویر الف-۵-۱ منعکس شده است اثر حرارت ورودی روی مقاومت به خوردگی جوشهای آلیاژ 255 فرالیم (Ferralium) به طور خودگیر بوجود آمدند و در کلرید فّریک در ۱۵

at 15°C (60°F). Preferential corrosion of the ferrite phase is shown in Fig. A.5.2. In a different test, Ferralium Alloy 255 was welded autogenously and tested in a neutral chloride solution according to ASTM D 1141 (Ref. 4) at 60 to 100°C (140 to 212°F). In this case, preferential attack of the austenite phase was observed. An example is shown in Fig. A.5.3. Similar results would be expected for Alloy 2205.

درجه سانتیگراد (۶۰ درجه فارنهایت) مورد آزمون قرارگرفتند. خوردگی ترجیحی فاز فریت در تصویر الف-۵-۲ نشان داده شده است در آزمون متفاوت، جوشهایی از آلیاژ 255 فرالیم به طور خودگیر پدید آمدند و در محلول کلرید خنثی براساس استاندارد ASTM D1141 در ۶۰ تا ۱۰۰ درجه سانتیگراد (۱۴۰ تا ۲۱۲ درجه فارنهایت) مورد آزمون قرار گرفتند. در این حالت حمله ترجیحی فاز آستنیتی مشاهده شد. یک مثال در شکل الف-۵-۳ نشان داده شده است. نتایج مشابهی برای آلیاژ 2205 قابل پیش بینی است.




**Heat input kj/mm**
**حرارت ورودی کیلو ژول/میلیمتر**

**Fig. A.5.1 EFFECT OF WELDING HEAT INPUT ON THE CORROSION RESISTANCE OF AUTOGENOUS GTA (GAS TUNGSTEN ARC) WELDS IN FERRALIUM ALLOY 255 IN 10% $FeCl_3$ AT 10°C (40°F). THE BASE METAL WAS 25.4 mm (1 INCH) THICK**

**شکل الف -۵-۱ اثر حرارت ورودی جوشکاری مقاومت به خوردگی جوشهای خودگیر (GTA)**
**از آلیاژ 255 در ۱۰٪ کلریدفریک با ۱۰ درجه سانتیگراد (۴۰ درجه فارنهایت)**
**فلز پایه به ضخامت ۲۵/۴ میلیمتر (اینچ)**

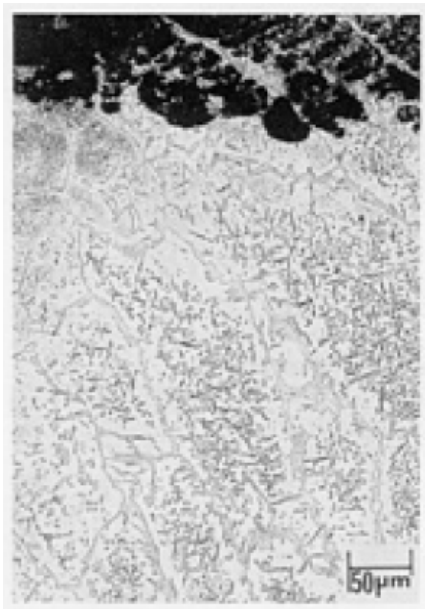



**Fig. A.5.2 PREFERENTIAL CORROSION OF THE FERRITE PHASE IN THE WELD METAL OF FERRALIUM ALLOY 255 GTA WELDS IN 10% $FeCl_3$ AT ROOM TEMPERATURE. BASE METAL WAS 3.2 mm (1/8 INCH) THICK**

**شکل الف -۵-۲ خوردگی ترجیحی فاز فّریت در فلز جوش با آلیاژ 255 فرالیم (Ferralium) جوشکاری قوسی تنگستنی گازی ۱۰٪ کلرید فریک در دمای محیط. فلز پایه به ضخامت ۳/۲ میلیمتر (۱/۸ اینچ)**

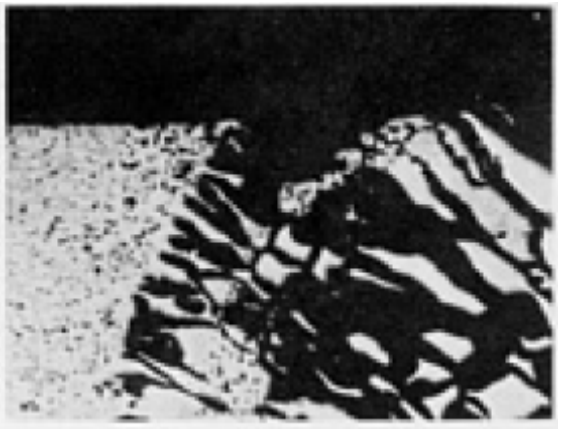


**Fig. A.5.3 PREFERENTIAL ATTACK OF THE CONTINUOUS AUSTENITE PHASE IN AN AUTOGENOUS GTA WELD IN FERRALIUM ALLOY 255. CREVICE CORROSION TEST WAS PERFORMED IN SYNTHETIC SEAWATER ACCORDING TO ASTM D 1141 AT 100°C (212°F). ETCHED WITH 50% $HNO_3$. 100 ×**

**شکل الف -۵-۳ حمله ترجیحی فاز آستنیتی مداوم در جوشکاری قوس تنگستنی گازی خودگیر از آلیاژ 255 فرالیم آزمون خوردگی شیاری در آب شور ترکیبی، براساس استاندارد ASTM D1141 در ۱۰۰ درجه سانتیگراد (۲۱۲ درجه فارنهایت) حّک کاری شده با ۵۰٪ اسید نیتریک (HNO3) با بزرگ نمایی ۱۰۰ برابر**

A study of the Alloy 2205 weld microstructures revealed why high arc energies were found to be beneficial to pitting resistance. Many investigations have indicated that the presence of chromium nitrides in the ferrite phase lowers the resistance to pitting of the weld metal and the HAZ in duplex stainless steels. In this study, both weld metal and HAZ

مطالعه ریزساختارهای جوش با آلیاژ 2205 نشان داد که چرا انرژی‌های بالای قوس برای مقاومت به خوردگی حفره‌ای مفید و مؤثر است. بررسی‌های زیادی که انجام شده حاکی از این است که حضور نیترید کروم در فاز فّریت مقاومت فلز جوش و HAZ در فولاد زنگ نزن دو فازی را در برابر خوردگی حفره‌ای کاهش می‌دهد. در این

produced by low arc energies contained an appreciable amount of Chromium Nitride ($Cr_2N$) Fig. A.5.4. The nitride precipitation vanished when an arc energy of 3 kJ/mm (76 kJ/inch) was used (Fig. A.5.5).

بررسی‌ها فلز جوش و HAZ با انرژی‌های قوس پایین حاوی مقدار قابل توجهی نیترید کروم ($Cr_2N$) بوده است. تصویر الف-۵-۴. وقتی که از انرژی قوس ۳ کیلوژول بر میلیمتر (۷۶ کیلوژول بر اینچ) استفاده شد، رسوب نیترات محو گردید.(شکل الف-۵-۵)

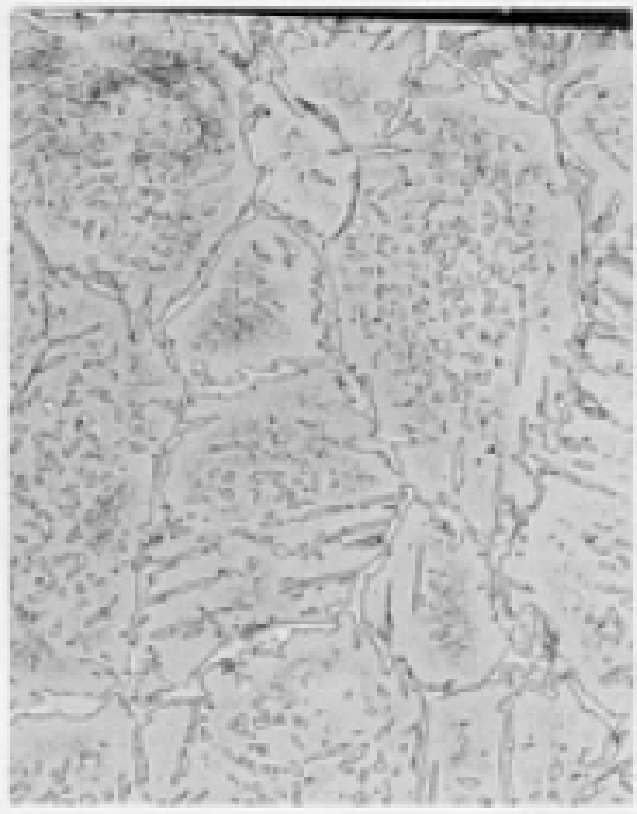


**Fig. A.5.4 MICROSTRUCTURE OF BEAD-ON-TUBE WELD MADE BY AUTOGENOUS GTA WELDING WITH AN ARC ENERGY OF 0.5 kJ/mm (13 kJ/inch). NOTE THE ABUNDANCE OF CHROMIUM NITRIDES IN THE FERRITE PHASE. SEE ALSO FIG. 21 200 ×**

**شکل الف-۵-۴ ریزساختار خط جوش روی جوش خودگیر لوله با جوشکاری GTA با انرژی قوس ۰/۵ کیلوژول بر میلیمتر (۱۳ کیلوژول بر اینچ) پر از نیترات کروم در فار فّریت. همچنین به تصویر ۲۱ با بزرگ نمایی ۲۰۰ برابر مراجعه شود**

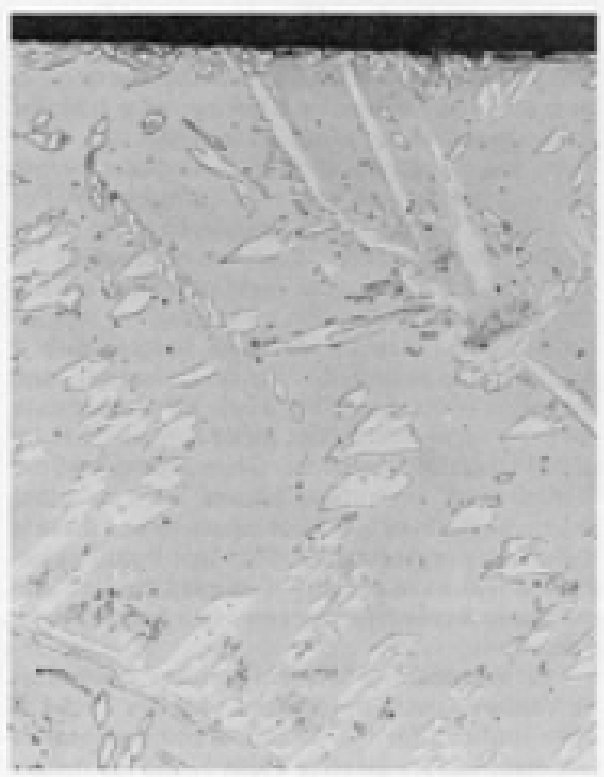


**Fig. A.5.5 MICROSTRUCTURE OF BEAD-ON-TUBE WELD MADE BY AUTOGENOUS GTA WELDING WITH AN ARC ENERGY OF 3 kJ/mm (76 kJ/inch). VIRTUALLY NO CHROMIUM NITRIDES ARE PRESENT, WHICH RESULTS IN ADEQUATE PITTING RESISTANCE. 200 ×**

**شکل الف-۵-۵ ریزساختار خط جوش روی جوش خودگیر لوله با جوشکاری GTA با انرژی قوس ۳ کیلو ژول بر میلیمتر (۷۶ کیلوژول بر اینچ) که در واقع هیچ نیترات کروم به چشم نمی‌خورد که نتیجه مقاومت کافی به خوردگی حفره‌ای است. با بزرگ نمایی ۲۰۰ برابر**

The results of $FeCl_3$ tests on Submerged-Arc Welds (SAW) showed that all top weld surfaces passed the test at 30°C (85°F) without pitting attack, irrespective of arc energy in the range of 2 to 6 kJ/mm (51 to 152 kJ/inch). Surprisingly, the weld metal on the root side, which was the first to be deposited, did not pass the same test temperature.

The deteriorating effect of high arc energies on the pitting resistance of the weld metal on the root side was unexpected. Potentiostatic tests carried out in 3% NaCl at 400 mV versus SCE confirmed these findings. The higher the arc energy, the more austenite of this kind was present in the first two weld beads. Thus, nitrides give rise to negative effects on the pitting resistance, as do fine austenite precipitates that were presumably reformed at as low a temperature as approximately 800°C (1470°F).

نتایج آزمونهای کلریدفّریک روی جوشهایی با جوشکاری قوس زیر پودری (SAW) نشان داد که تمامی سطوح روی جوش، آزمون در ۳۰ درجه سانتیگراد (۸۵ درجه فارنهایت)، را بدون در نظر گرفتن انرژی قوس در محدوده ۲ تا ۶ کیلوژول بر میلیمتر (۵۱ تا ۱۵۲ کیلوژول بر اینچ)، گذراندند. شگفت اینکه فلز جوش در ریشه که اول ازهمه رسوب می‌کرد از عهده آزمون با دمای فوق بر نیامد.

اثر تخریبی انرژی‌های بالای قوس روی مقاومت به خوردگی فلز جوش در ریشه غیر منتظره بود. آزمونهای پتانسیل پایی در ۳ درصد کلرید سدیم در ۴۰۰ میلی ولت (mV) در مقایسه با SCE این یافته‌ها را مورد تأیید قرار دادند. هر قدر انرژی قوس بالاتر باشد، آستنیت بیشتری از این نوع در اولین دو خط جوش وجود دارد. بنابراین، نیتراتها موجب افزایش اثرات منفی روی مقاومت به خوردگی تقریبی می‌شوند، همانطور که رسوب ریز آستنیت که در درجه حرارت تقریبی ۸۰۰ درجه سانتیگراد (۱۴۷۰ درجه فارنهایت)، تغییر شکل دادند.

Therefore, the resistance of Alloy 2205 to pitting corrosion is dependent on several factors. First, $Cr_2N$ precipitation in the coarse ferrite grains upon rapid cooling from temperatures above about 1200°C (2190°F) caused the most severe impairment to pitting resistance. This statement is supported by a great number of $FeCl_3$ tests as well as by potentiostatic pitting tests. Generally, it seems difficult to avoid $Cr_2N$ precipitation in welded joints completely, particularly in the HAZ, the structure of which can be controlled only by the weld thermal cycle. From this point of view, it appears advisable to employ as high an arc energy as practical in each weld pass. In this way, the cooling rate will be slower (but not slow enough to encounter 475°C (885°F) embrittlement), and the re-formation of austenite will clearly dominate over the precipitation of $Cr_2N$.

In addition, if there were no restriction on maximum interpass temperature, the heat produced by previous weld passes could be used to decrease the cooling rate further in the critical temperature range above about 1000°C (1830°F). Preliminary tests with preheated workpieces have shown the significance of temperature in suppressing $Cr_2N$ precipitation. Currently, the maximum recommended interpass temperature for Alloy 2205 is 150°C (300°F). This temperature limit does not appear to be critical, and it is suggested that this limit could be increased to 300°C (570°F). The maximum recommended interpass temperature for Ferralium Alloy 255 is 200°C (390°F).

Excessive grain growth as a result of too much heat input must also be considered to avoid loss of ductility and impact toughness.

Second, the fine austenite precipitates found in the reheated ferrite when high arc energies and multipass welding were combined are commonly referred to as $\gamma 2$ in the literature. The harmful influence of $\gamma 2$ on the pitting resistance has been noted with isothermally

بنابراین مقاومت آلیاژ 2205 در برابر خوردگی به عواملی چند بستگی دارد. نخست اینکه رسوب نیترید کروم $Cr_2N$ در دانه‌های درشت فّریت به مجرد سرد شدن سریع از دمای بالای ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد (۲۱۹۰ درجه فارنهایت) باعث شدیدترین آسیب به مقاومت در برابر خوردگی گردید. این امر با آزمونهای کلریدفّریک و آزمونهای پتانسیواستاتیکی خوردگی حفره‌ای مورد تأیید قرار گرفت. در کل اینطور به نظر می‌رسد که جلوگیری کامل از رسوب نیترید کروم در اتصالات جوش شده مشکل است. به ویژه در منطقه متأثر از حرارت جوش که ساختار آنرا می‌توان فقط با سیکل حرارتی جوش کنترل کرد. از این نقطه نظر کاربرد انرژی بالای قوس تا آنجایی که در هر پاس جوش عملی باشد، قابل توصیه است. بدین طریق سرعت سرد کنندگی آهسته‌تر خواهد شد (البته نه به آن اندازه که بتواند با تردی در ۴۷۵ درجه سانتیگراد (۸۸۵ درجه فارنهایت) مقابله کند و شکل‌گیری مجدد آستنیتی بخوبی بر رسوب نیترید کروم غالب خواهد بود.

به علاوه اگر محدودیتی برای حداکثر درجه حرارت بین پاس وجود نداشت، از حرارت پاس جوشهای قبلی برای کاهش سرعت سرد کنندگی بیشتر از محدوده درجه حرارت بحرانی بالای ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد (۱۸۳۰ درجه فارنهایت)، می‌شد استفاده به عمل آورد. آزمونهای اولیه پیش گرمی کردن قطعات جوش شده، اهمیت درجه حرارت را برای پیشگیری از رسوب نیترید کروم نشان داده است. اخیراً برای آلیاژ 2205، حداکثر درجه حرارت بین پاس، ۱۵۰ درجه سانتیگراد (۳۰۰ درجه فارنهایت) توصیه شده است. این محدوده درجه حرارت به نظر بحرانی نمی‌رسد و افزایش آن تا۳۰۰ درجه سانتیگراد (۵۷۰ درجه فارنهایت) پیشنهاد می‌گردد. حداکثر درجه بین پاس‌ها برای آلیاژ 255 فرالیم، ۲۰۰ درجه سانتیگراد (۳۹۰ درجه فارنهایت) توصیه می‌گردد.

رشد بیش از اندازه دانه‌ها در نتیجه حرارت ورودی بیش از حد نیز باید برای افت شکل پذیری و اثر چقرمگی در نظر گرفته شود.

با بکارگیری ترکیبی از انرژی‌های قوس سطح بالا به مقدار زیاد و جوشکاری چند پاسه، که معمولاً به فاز ۲ گاما نام برده می‌شود، رسوبات ریز آستنیتی در فّریتی که مجدداً مورد پیش گرمایی قرار گرفتند، یافت گردید. اثر زیان بخش فاز ۲ گاما روی مقاومت در برابر خوردگی

aged specimens, but as far as is known, it has never been observed in connection with welding. It is felt, however, that $\gamma 2$ is less detrimental to pitting than $Cr_2N$, Moreover, $\gamma 2$ formation is believed to be beneficial to mechanical properties, such as impact strength and ductility.

حفره ای و نمونه‌هایی که از لحاظ هم دمایی پیر شدند، مورد توجه قرار گرفته است. اما تا آنجایی که مشخص شده در ارتباط با جوشکاری هرگز چنین چیزی مشاهده نشده است. بهرحال نسبت به خوردگی حفره ای، فاز ۲ گاما کمتر از نیترید کروم زیان آورتر است. از این گذشته تشکیل فاز ۲ گاما برای خواص مکانیکی مانند مقاومت شکل پذیری و استحکام در برابر ضربه مفید است.

A third factor that lowers pitting resistance is oxide scale. Where possible, all surface oxides shall be removed by mechanical means or, preferably, by pickling. Root surfaces (in pipe), however, are generally inaccessible, and pitting resistance must rely on the protection from the backing gas during GTA welding. It is therefore advisable to follow the current recommendation for stainless steels, which is a maximum of 25 ppm oxygen in the root backing gas.

عامل سومی که مقاومت به خوردگی حفره‌ای را کاهش می-دهد، پوسته اکسید است. تا جایی که امکان پذیر است اکسیدهای سطح فلز باید با ابزار مکانیکی، ترجیحاً با اسیدشویی زدوده شود. سطوح ریشه جوش در لوله‌ها که معمولاً قابل دسترسی نیستند، برای ایجاد مقاومت در برابر خوردگی حفره‌ای تکیه باید به حفاظت از گاز پشتیبان در طول جوشکاری GTA متکی باشد. بنابراین توصیه می‌شود از توصیه‌های رایج برای فولاد زنگ نزن از اکسیژن حداکثر ۲۵ ppm در گاز محافظ ریشه، پیروی شود.

### A.5.3 Stress-corrosion cracking

### الف-۵-۳ ترک ناشی از خوردگی تنشی

The SCC resistance of Alloy 2205 in aerated, concentrated chloride solutions is very good. The effect of welding on the SCC resistance is negligible from a practical point of view. The threshold stress for various welds, as well as for unwelded parent metal in the $CaCl_2$ test, is as 90% of the tensile strength at the testing temperature. This is far above all conceivable design limits.

مقاومت آلیاژ 2205 در محلول‌های هوادار غلیظ کلرید در برابر ترک ناشی از خوردگی تنشی (SCC) بسیار خوب است، اثر جوشکاری روی مقاومت در برابر SCC از نقطه نظر اجرائی قابل اغماض است. آستانه تنش برای جوشهای مختلف و فلز مبنای جوش نشده در آزمون کلرید کلسیم $CaCl_2$، ۹۰ درصد استحکام کششی در دمای آزمون است. این میزان بالاتر از همه محدوده‌های طراحی در نظر گرفته شده است.

Also, in environments containing both hydrogen sulfide ($H_2S$) and chlorides, the resistance of welds is almost as high as for the parent metal. In this type of environment, however, it is important to avoid too high a ferrite content in weld metal and HAZ. For normal welding of joints, the resulting ferrite contents shall not cause any problems. For weld repair situations, however, care shall be taken so that extremely high ferrite contents (> 75%) are avoided. To preserve the high degree of resistance to SCC, the ferrite content shall not be less than 25%.

همچنین در محیط‌های حاوی سولفید هیدروژن ($H_2S$) و کلریدها، مقاومت جوشها تقریباً به اندازه فلز پایه است. با این حال در این نوع محیط، از مقدار زیاد فّریت در فلز پایه و HAZ باید احتراز شود. برای جوشکاری عادی، اتصالات فریت حاصله مشکلی به وجود نمی آورد. برای تعمیر جوشها باید دقت به عمل آید که از فّریت بالاتر از ۷۵ درصد اجتناب گردد. برای حفظ درجه بالای مقاومت در برابر SCC، فّریت محتوی نباید کمتر از ۲۵ درصد باشد.

Another reason to avoid coarse weld microstructures (generated by excessive welding heat) is the resultant nonuniform plastic flow, which can locally increase stresses and induce preferential corrosion and cracking effects.

دلیل دیگر برای پیشگیری از ریزساختارهای نامرغوب جوش (ناشی از دمای بیش از حد جوش) ناشی از جریان پلاستیک غیر یکنواخت است که باعث افزایش تنشهای موضعی و خوردگی ترجیحی و ترک ناشی از خوردگی خواهد شد.

**A.5.4 Use of high-alloy filler metals**

In critical pitting or crevice corrosion applications, the pitting resistance of the weld metal can be enhanced by the use of high nickel-chromium-molybdenum alloy filler metals. The corrosion resistance of such weldments in Ferralium Alloy 255 is shown in Table A.5.2. For the same weld technique, it can be seen that using highalloy fillers does improve corrosion resistance. If high-alloy fillers are used, the weld metal will have better corrosion resistance than the HAZ and the fusion line. Therefore, again, proper selection of welding technique can improve the corrosion resistance of the weldments.

**الف-۵-۴ استفاده از فلزات پرکننده پرآلیاژ**

کاربردهای فلز جوشی که باعث خوردگی بحرانی حفره‌ای یا شیاری می‌شود، مقاومت فلز جوش را می‌توان با استفاده از آلیاژ فلزات پرکننده پرنیکل- کروم- مولیبدنیم تقویت کرد و افزایش داد. مقاومت بهتری در برابر خوردگی قطعات جوشکاری شده در آلیاژ 255 فرالیوم در جدول الف-۵-۲ نشان داده می‌شود. برای همین روش جوشکاری، می‌توان دید که استفاده از پرکننده‌های پر آلیاژ ، مقاومت در برابر خوردگی را بهبود می‌بخشد، اگر پرکننده‌های پرآلیاژ بکار گرفته شود، فلز جوش دارای مقاومت بهتری در برابر خوردگی در HAZ و خط ذوب خواهد بود. بنابراین، بار دیگر باید گفت، انتخاب صحیح روش جوشکاری می‌تواند باعث بهبودی مقاومت خوردگی قطعات جوش شده گردد.

**TABLE A.5.2 - CORROSION RESISTANCE OF FERRALIUM ALLOY 255 WELDMENTS USING VARIOUS NICKEL-BASE ALLOY FILLERS AND WELD TECHNIQUES 3.2 mm (0.125 inch) plates tested in 10% $FeCl_3$ for 120 h**

**جدول الف-۵-۲ مقاومت در برابر خوردگی قطعات جوشکاری شده از آلیاژ 255 فرلیوم با استفاده از پرکننده های آلیاژ پایه نیکل مختلف و روشهای جوش ۳/۲ میلیمتری (۰/۱۲۵ اینچ)**
**ورقها در ۱۰ درصد کلرید فّریک $FeCl_3$ به مدت ۱۲۰ ساعت مورد آزمون قرار گرفتند**

| FILLER METAL فلز پرکننده | CRITICAL PITTING TEMPERATURE درجه حرارت بحرانی حفره ای شدن | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | GAS TUNGSTEN ARC قوس گاز تنگستن | | GAS METAL ARC قوس گاز-فلز | | SUBMERGED ARC قوس زیر پودری | |
| | °C | °F | °C | °F | °C | °F |
| Hastelloy alloy G-3 | 30-35 | 85-95(a) | 30 | 85(a) | 30-35 | 85-95(b) |
| IN-112 | 30 | 85(a) | --- | --- | 35-40 | 65-105(b) |
| Hastelloy alloy C-276 | --- | --- | --- | --- | 25-30 | 75-85(a) |
| Hastelloy alloy C-22 | 30 | 85(a) | --- | --- | 35-40 | 95-105(a) |

**(a) HAZ**

**(b) HAZ plus weld metal**

**الف) منطقه متاثر از حرارت جوش**

**ب ) منطقه متاثر از حرارت جوش به اضافه فلز جوش.**

**A.6 Corrosion of Nickel-Base Alloys**

**A.6.1 The nickel-molybdenum alloys**

Represented by Hastelloy Alloys B and B-2, have been primarily used for their resistance to

**الف-۶ خوردگی آلیاژهای با پایه نیکل**

**الف-۶-۱ آلیاژهای نیکل – مولیبدنیم**

آلیاژهای B و Hastelloy B-2 معرفی شده، بطور عمده با توجه به ویژگی مقاومت در برابر خوردگی آنها در

corrosion in nonoxidizing environments such as HCl. Hastelloy Alloy B has been used since about 1929 and has suffered from one significant limitation: weld decay. The welded structure has shown high susceptibility to knife-line attack adjacent to the weldmetal and to HAZ attack at some distance from the weld. The former has been attributed to the precipitation of molyb-denum carbide ($Mo_2C$); the latter, to the formation of $M_6C$-type carbides. This necessitated postweld annealing, a serious shortcoming when large structures are involved. Many approaches to this problem were attempted, including the addition of carbide-stabilizing elements, such as vanadium, titanium, zirconium, and tantalum, as well as the lowering of carbon.

The addition of 1% V to an Alloy B-type composition was first patented in 1959. The resultant commercial alloys . Corronel 220 and Hastelloy Alloy B-282 ( were found to be superior to Alloy B in resisting knife-line attack but were not immune to it. In fact, it was demonstrated that the addition of 2% V decreased the corrosion resistance of the base metal in HCl solutions. During this time, improvements in melting techniques led to the development of a low-carbon low-iron version of Alloy B called Alloy B-2. This alloy did not exhibit any propensity to knife-line attack.

Segregation of molybdenum in weld metal can be detrimental to corrosion resistance in some environments. In the case of boiling HCl solutions, the weld metal does not corrode preferentially. However, in $H_2SO_4$ + HCl and $H_2SO_4$ + $H_3PO_4$ acid mixtures, preferential corrosion of as-welded Alloy B-2 has been observed. No knifeline or HAZ attack was noted in these tests. During solidification, the initial solid is poorer in molybdenum and therefore can corrode preferentially. In such cases, postweld annealing at 1120°C (2050°F) will be beneficial.

### A.6.2 The nickel-chromium-molybdenum alloys

Represented by the Hastelloy C family of alloys and by Inconel 625 have also undergone evolution because of the need to improve the corrosion resistance of weldments. Hastelloy

محیط‌های غیراکسیدکننده، مانند HCl بکار گرفته شده است. آلیاژ نوع B که در حدود سال ۱۹۲۹ مورد استفاده قرار گرفت از محدودیت قابل توجه پوسیدگی جوش در مضیقه بود. سازه جوش داده شده در برابر حمله شیارچاقویی، مجاور فلز جوش و در برابر حمله منطقه متاثر از حرارت جوش با فاصله از جوش، آسیب پذیری زیادی نشان داده است. حمله شیار چاقویی، به رسوب کاربید مولیبدنیم ($Mo_2C$)، و به تشکیل کاربیدهای نوع $M_6C$ نسبت داده می‌شود. برای رفع این مشکل تلاشهای زیادی با استفاده از روشهای مختلف به عمل آمده است از جمله افزودن عناصر پایدارساز کاربید مانند وانادیم، تیتانیم، زیرکونیم، تانتالیم و کاهش دادن کربن.

افزودن ۱٪ وانادیم به ترکیب آلیاژ نوع B نخست در سال ۱۹۵۹ به ثبت رسید. آلیاژ Corronel 220 و آلیاژ Hastelloy B -282، که مشخص شد که نسبت به آلیاژ B در برابرحمله شیار چاقویی مقاوم تر است ولی بهرحال مصونیت کاملی در برابر آن ندارد. در واقع با اضافه کردن ۲ درصد وانادیم مقاومت به خوردگی فلز پایه را در محلول HCl کاهش می‌دهد. در طول زمان با پیشرفت در روشهای جوشکاری منتهی به آلیاژ کم آهن و کم کربن B، که B-2 نامیده شد، این آلیاژ نسبت به حمله شیار چاقویی، گرایشی نشان نداد.

جدایش مولیبدنیم در فلز جوش می‌تواند برای مقاومت آن در برابر خوردگی در بعضی محیط ها زیان‌آور باشد. در محلول HC1 جوشان، فلز پایه دچار خوردگی ترجیحی نمی‌شود. در هر صورت در مخلوطی از اسید سولفوریک+ اسیدکلریدریک و اسید سولفوریک+ اسید فسفریک، خوردگی ترجیحی در جوش بدون عملیات اضافی از آلیاژ B-2 مشاهده نشده است. در این آزمون‌ها حمله به منطقه متاثر از حرارت جوش یا شیار چاقویی ملاحظه نگردید. در این موارد، نرم کردن بعد از جوش در ۱۱۲۰ درجه سانتیگراد (۲۰۵۰ درجه فارنهایت) سودمند خواهد بود.

### الف-۶-۲ آلیاژهای نیکل – کروم – مولیبدنیم

آلیاژهای خانواده C، با Hastelloy و با اینکُونِل (Inconel) ۶۲۵ که معرفی شد، به دلیل نیاز به بهبود مقاومت قطعات جوشکاری شده در برابر خوردگی نیز دستخوش تحول گردید. آلیاژ C، Hastelloy ( UNS

Alloy C (UNS N10002) containing nominally 16% Cr, 16% Mo, 4% W, 0.04% C and 0.5% Si had been in use for some time but had required the use of postweld annealing to prevent preferential weld and HAZ attack. Many investigations were carried out on the nature of precipitates formed in Alloy C, and two main types of precipitates were identified. The first is a $Ni_7Mo_6$ intermetallic phase called μ, and the second consists of carbides of the Mo6C type. Other carbides of the $M_{23}C_6$ and $M_2C$ were also reported. Another type, an ordered $Ni_2Cr$-type precipitate, occurs mainly at lower temperatures and after a long aging time; it is not of great concern from a welding viewpoint.

Both the intermetallic phases and the carbides are rich in molybdenum, tungsten, and chromium and therefore create adjacent areas of alloy depletion that can be selectively attacked. Carbide precipitation can be retarded considerably by lowering carbon and silicon; this is the principle behind Hastelloy Alloy C-276. The time-temperature behaviors of Alloys C and C-276 are compared in Fig. A.6.1, which shows much slower precipitation kinetics in Alloy C-276. Therefore, the evolution of Alloy C-276 from Alloy C enabled the use of this alloy system in the as-welded condition. However, because only carbon and silicon were controlled in C-276, there remained the problem of intermetallic μ-phase precipitation, which occurred at longer times of aging. Alloy C-4 was developed with lower iron, cobalt, and tungsten levels to prevent precipitation of μ-phases.

N10002) به طور اسمی حاوی ۱۶ درصد کروم (Cr)، ۱۶ درصد مولیبدنیم (Mo)، ۴ درصد تنگستن (W)، ۰/۰۴ درصد کربن (C) و ۰/۵ درصد سیلیس (Si) برای مدتی مورد استفاده قرار گرفت و نیازی به نرم کردن بعد از جوشکاری برای جلوگیری از خوردگی ترجیحی و حمله HAZ نداشت. تحقیقات زیادی درباره ماهیت رسوباتی که در آلیاژ C شکل گرفت، به عمل آمد و دو نوع رسوب شناسایی شد. اولی فاز بین فلزی $Ni_7Mo_6$ بود که فاز مُو (μ) گفته می‌شود. دومی مرکب از کاربیدهای نوع $Mo_6C$ است، و سایر کاربیدها $M_{23}C_6$ و $M_2C$ نیز گزارش گردید. نوع دیگر رسوب $Ni_2Cr$ است که اصولاً در درجه حرارت پایین‌تر و بعد از مدت طولانی پیری اتفاق می‌افتد که برای قطعات جوش شده، از نقطه نظر جوشکاری، جای نگرانی نیست.

هم فازهای بین فلزی و هم فازهای کاربیدی از لحاظ مولیبدنیم، کروم و تنگستن غنی هستند و بنابراین حوزه‌های مجاور تهی از آلیاژ را بوجود می‌آورند که می‌تواند مورد حمله ترجیحی قرار گیرند. رسوب کاربیدی با کاهش کربن، سیلیس یا سیلیکون به طور قابل ملاحظه‌ای متوقف می‌شود. رفتارهای زمان حرارت آلیاژهای C-276 در شکل الف-۶-۱ مورد مقایسه قرار گرفته است که حرکت رسوب بسیار کندتری را در آلیاژ C-276 نشان می‌دهد. بنابراین تکامل آلیاژ C-276 از آلیاژ C، با استفاده از این سامانه، آلیاژ را در شرایط جوش بدون عملیات اضافی میسر می‌سازد. نظر به اینکه در آلیاژ C-276 فقط میزان کربن و سیلیس کنترل شده‌اند، مشکل فاز مُو (μ-phase) بین فلزی همچنان باقی ماند که در مدت طولانی‌تری پیری روی داد. آلیاژ C-4 با مقادیر کمتری از آهن – کبالت و تنگستن به منظور پیشگیری از رسوب فازهای مُو ساخته شد.

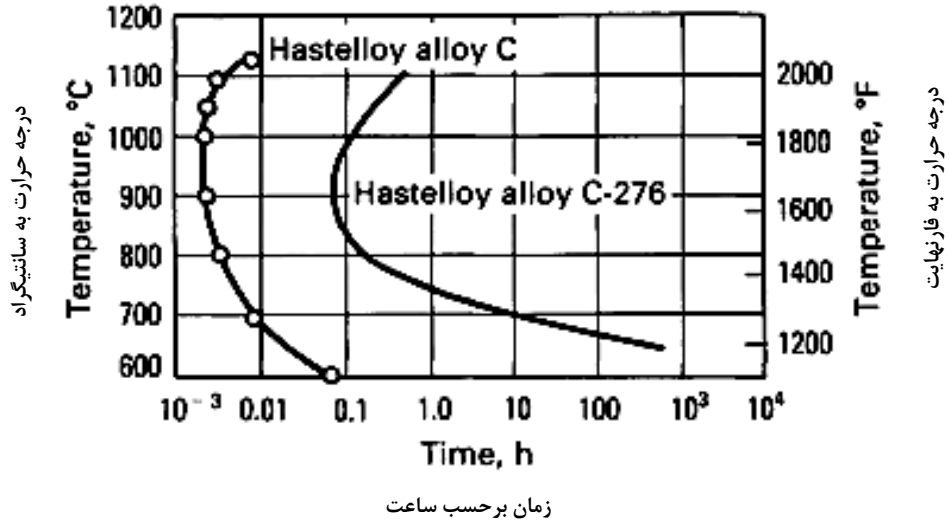



**Fig. A.6.1 TIME-TEMPERATURE TRANSFORMATION CURVES FOR HASTELLOY ALLOYS C AND C-276. INTERMETALLICS AND CARBIDE PHASES PRECIPITATE IN THE REGIONS TO THE RIGHT OF THE CURVES**

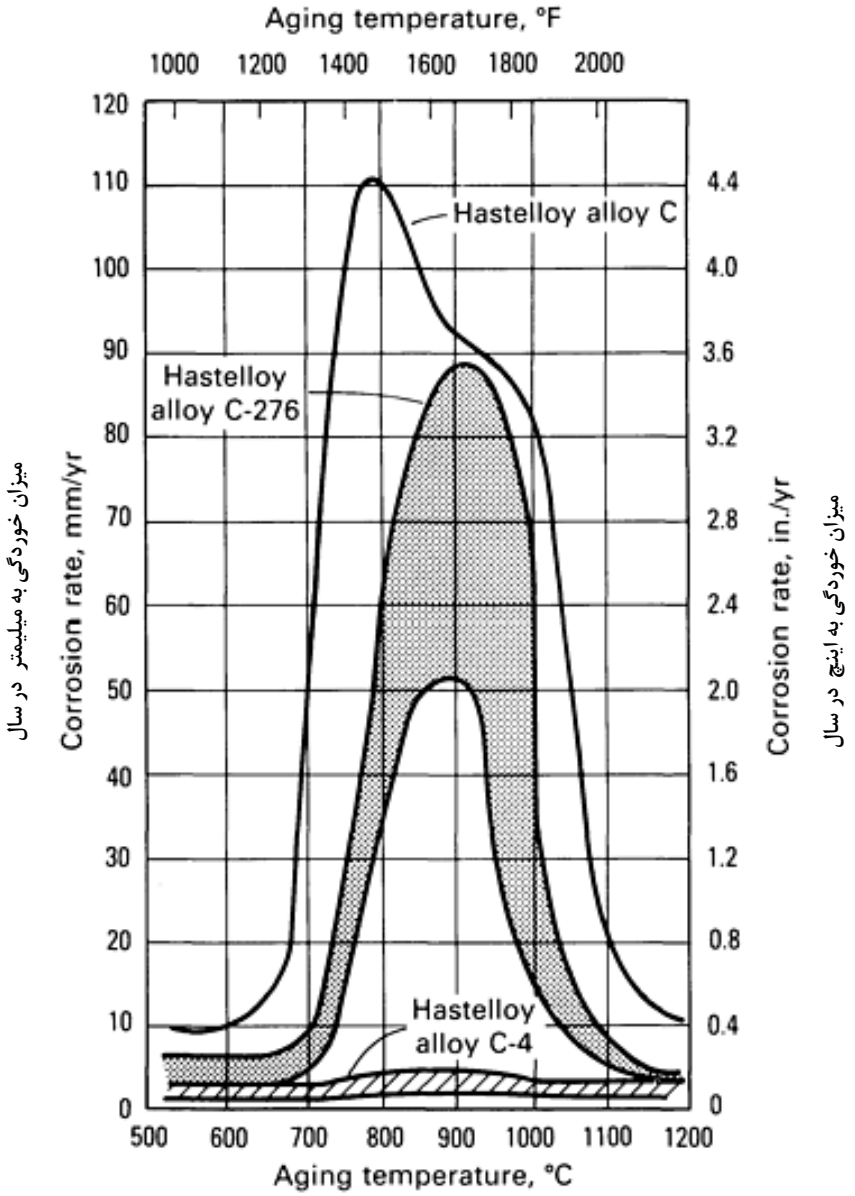
**شکل الف-۶-۱ منحنی‌های گذار زمان حرارت برای آلیاژهای C و Hastelloy C-276**

**رسوب فازهای فلزی و کاربید در نواحی سمت راست منحنی**

The effect of aging on sensitization of Alloys C, C-276, and C-4 is shown in Fig. A.6.2. For Alloy C, sensitization occurs in two temperature ranges (700 to 800°C, or 1290 to 1470°F, and 900 to 1100°C, or 1650 to 2010°F) corresponding to carbide and μ-phase precipitation, respectively. For Alloy C-276, sensitization occurs essentially in the highertemperature region because of μ-phase precipitation. Also, the μ-phase precipitation kinetics in Alloy C-276 are slow enough not to cause sensitization problems in many high heat input weldments; however, precipitation can occur in the HAZ of Alloy C-276 welds. Because C-4 has lower tungsten than C-276, it has lower pitting and crevice corrosion resistance, for which tungsten is beneficial. Therefore, an alternate solution to Alloy C-4 was needed in which both corrosion resistance and thermal stability are preserved. Hastelloy Alloy C-22 has demonstrated improved corrosion resistance and thermal stability.

اثر پیری روی حساس شدن آلیاژهای C، C-276 و C-4 در شکل الف-۶-۲ نشان داده شده است. حساس شدن آلیاژ C در دو محدوده حرارتی (۷۰۰ تا ۸۰۰ درجه سانتیگراد یا ۱۲۹۰ تا ۱۴۷۰ درجه فارنهایت، و ۹۰۰ تا ۱۱۰۰ درجه سانتیگراد یا ۱۶۵۰ تا ۲۰۱۰ درجه فارنهایت) اتفاق می‌افتد و وضعیت مشابه فوق، به ترتیب برای رسوب فاز مُو(μ) و کاربید نیز روی می‌دهد. برای آلیاژ C-276، حساس شدن ضرورتاً در ناحیه‌ای با درجه حرارت بالاتر به دلیل رسوب فاز مُو، رخ می‌دهد. همچنین رسوب فاز مُو در آلیاژ C-276 آنقدر آهسته است که مشکلات حساس شدن در دمای بالای ورودی قطعات جوش شده را باعث نشود. رسوب می‌تواند در HAZ جوشهایی با آلیاژ C-276 روی دهد. چون آلیاژ C-4 تنگستن کمتری از آلیاژ C-276 دارد، از مقاومت کمتری به خوردگی حفره‌ای و شیاری برخوردار است، لذا وجود تنگستن برای آن سودمند است. بنابراین برای آلیاژ C-4 که مقاومت به خوردگی و پایداری دمای آن باید حفظ شود، راه حل دیگری لازم است. آلیاژ C-22 مقاومت بهتری به خوردگی و پایداری دما از خود نشان داده است.

درجه حرارت پیری برحسب فارنهایت




درجه حرارت پیری برحسب سانتیگراد

**Fig. A.6.2 EFFECT OF 1-h AGING TREATMENT ON CORROSION RESISTANCE OF THREE HASTELLOY ALLOYS IN 50% $H_2SO_4$ + 42 g/L $Fe_2(SO_4)_3$**

**شکل الف-۶-۲ اثرعملیات پیری به مدت یک ساعت روی مقاومت خوردگی**
**سه آلیاژ Hastelloy در ۵۰٪ اسیدسولفوریک + ۴۲ گرم در لیتر**
**سولفات آهن سه ظرفیتی**

به دلیل مقدار کم کربن آلیاژ C-22، حرکت رسوب کاربیدها آهسته‌تر شد. به دلیل اینکه آلیاژ C-22 دارای مولیبدنیم و تنگستنی کمتر از آلیاژ C-276 است، رسوب فاز مُو(μ-phase) نیز به تأخیر افتاد.

در منطقه متأثر از حرارت جوش، این تفاوت در رسوب کمتر مرزدانه‌ای منعکس است، حتی در دمای بالای ورودی جوش. ریزساختار HAZ آلیاژ C-4 وضع مشابهی داشت.

Because of the low carbon content of Alloy C-22, the precipitation kinetics of carbides were slowed. Because Alloy C-22 has lower molybdenum and tungsten levels than Alloy C-276, μ-phase precipitation was also retarded.

From a weld HAZ point of view, this difference is reflected in lower grain-boundary precipitation even in a high heat input weld. The HAZ microstructure of Alloy C-4 was similar to this.