

DIN EN ISO 15156-2



ICS 75.180.01

Entwurf

Einsprüche bis 2020-09-30
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN ISO 15156-2:2015-12

**Erdöl- und Erdgasindustrie –
Werkstoffe für den Einsatz in H₂S-haltiger Umgebung bei der Öl- und
Gasgewinnung –
Teil 2: Gegen Rissbildung beständige unlegierte und niedriglegierte Stähle
und Gusseisen (ISO/FDIS 15156-2:2020);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 15156-2:2020**

Petroleum and natural gas industries –

Materials for use in H₂S-containing environments in oil and gas production –

Part 2: Cracking-resistant carbon and low-alloy steels, and the use of cast irons
(ISO/FDIS 15156-2:2020);

German and English version prEN ISO 15156-2:2020

Industries du pétrole et du gaz naturel –

Matériaux pour utilisation dans des environnements contenant de l'hydrogène sulfuré
(H₂S) dans la production de pétrole et de gaz –

Partie 2: Aciers au carbone et aciers faiblement alliés résistants à la fissuration, et utilisation
de fontes (ISO/FDIS 15156-2:2020);

Version allemande et anglaise prEN ISO 15156-2:2020

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2020-07-31 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und
Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs
besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-
Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de,
sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an noeg@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im
Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-
Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Erdöl- und Erdgasgewinnung (NÖG), 10772 Berlin oder
Saatwinkler Damm 42/43, 13627 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten
Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 118 Seiten

DIN-Normenausschuss Erdöl- und Erdgasgewinnung (NÖG)

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser Norm ist ...^{*}.

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 15156-2:2020) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 67 „Materials, equipment and offshore structures for petroleum, petrochemical and natural gas industries“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 12 „Materialien, Ausrüstungen und Offshore-Bauwerke für die Erdöl-, petrochemische und Erdgasindustrie“ erarbeitet, dessen Sekretariat von NEN (Niederlanden) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Gremium ist der Arbeitskreis NA 109-00-01-70 AK „Korrosionsbeständige Werkstoffe“ im DIN-Normenausschuss Erdöl- und Gasgewinnung (NÖG).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Diese Norm enthält neben den gesetzlichen Einheiten auch die Einheiten „°F“, „in (inch)“, „ksi“ und „psi“, die in Deutschland nicht zugelassen sind. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Anwendung dieser Einheiten im nationalen amtlichen und geschäftlichen Verkehr auf Grund des Gesetzes über Einheiten im Messwesen und die Zeitbestimmung (EinhZeitG) nicht zulässig ist. Die Angabe dieser Einheiten dient lediglich als Hilfe im amtlichen und geschäftlichen Verkehr (z. B. bei Einfuhr und Ausfuhr) mit solchen Staaten, die diese Einheiten anwenden.

Umrechnung:

Nicht zugelassene Einheit	Zugelassene Einheit	Umrechnung
°F	°C	°C = (5/9) (°F-32)
in (inch)	mm	1 inch = 25,4 mm
ksi	MPa	1 ksi = 6,894 757 MPa
psi (psig)	kPa	1 psi = 6,894 757 kPa

Für die in diesem Dokument zitierten Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 3183	siehe	DIN EN ISO 3183
ISO 6506 (all parts)	siehe	DIN EN ISO 6506 (alle Teile)
ISO 6507 (all parts)	siehe	DIN EN ISO 6507 (alle Teile)
ISO 6508 (all parts)	siehe	DIN EN ISO 6508 (alle Teile)
ISO 6892-1	siehe	DIN EN ISO 6892-1
ISO 10423	siehe	DIN EN ISO 10423
ISO 15156-1	siehe	DIN EN ISO 15156-1
ISO 15156-3	siehe	DIN EN ISO 15156-3
ISO 18265	siehe	DIN EN ISO 18265

^{*} wird bei Ausgabe als Norm festgelegt.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO 15156-2:2015-12 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Korrekturen der Temperaturumwandlung beim Schweißen (siehe A.2.1.4), der Kaltverformung und des Spannungsabbaus (siehe A.2.1.6), Kennzeichnungsstempel (siehe A.2.1.9), Rohre und Rohrkomponenten (siehe A.2.2.3.4), Verdichterlaufräder (siehe A.2.3.3.2);
- b) Hinzufügung von C110 und Änderung der Bezeichnung von C95 in R95 in Tabelle A.3;
- c) Änderung des Verweises auf NACE TM0316 in Tabelle B.1;
- d) Hinzufügung eines Verweises auf BS 8701 in B.4.3;
- e) Änderungen und Ergänzungen in Tabelle B.3;
- f) Änderung von Anhang C zur Aufnahme alternativer Parameter und erweiterte Erklärung für die Verwendung von chemische Aktivität und Fugazität, und um einige allgemeine Richtlinien für die Verwendung von thermodynamischer Modellierung für die Bestimmung des Schweregrades der Umwelt.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 3183, *Erdöl- und Erdgasindustrie — Stahlrohre für Rohrleitungstransportsysteme*

DIN EN ISO 6506 (alle Teile), *Metallische Werkstoffe — Härteprüfung nach Brinell*

DIN EN ISO 6507 (alle Teile), *Metallische Werkstoffe — Härteprüfung nach Vickers*

DIN EN ISO 6508 (alle Teile), *Metallische Werkstoffe — Härteprüfung nach Rockwell*

DIN EN ISO 6892-1, *Metallische Werkstoffe — Zugversuch — Teil 1: Prüfverfahren bei Raumtemperatur*

DIN EN ISO 10423, *Erdöl- und Erdgasindustrie — Bohr- und Förderausrüstung — Bohrlochkopf- und Eruptionskreuz-Ausrüstung*

DIN EN ISO 15156-1:—, *Erdöl- und Erdgasindustrie — Werkstoffe für den Einsatz in H₂S-haltiger Umgebung bei der Öl- und Gasgewinnung — Teil 1: Allgemeine Grundlagen für die Auswahl von gegen Rissbildung beständigen Werkstoffen*

DIN EN ISO 15156-3, *Erdöl- und Erdgasindustrie — Werkstoffe für den Einsatz in H₂S-haltiger Umgebung bei der Öl- und Gasgewinnung — Teil 3: Hochlegierte Stähle (CRAs) und andere Legierungen*

DIN EN ISO 18265, *Metallische Werkstoffe — Umwertung von Härtewerten*

<i>Titel de:</i>	Erdöl- und Erdgasindustrie — Werkstoffe für den Einsatz in H ₂ S-haltiger Umgebung bei der Öl- und Gasgewinnung — Teil 2: Gegen Rissbildung beständige unlegierte und niedriglegierte Stähle und Gusseisen (ISO/FDIS 15156-2:2020)
<i>Titel en:</i>	Petroleum and natural gas industries — Materials for use in H ₂ S-containing environments in oil and gas production — Part 2: Cracking-resistant carbon and low-alloy steels, and the use of cast irons (ISO/FDIS 15156-2:2020)
<i>Titel fr:</i>	Industries du pétrole et du gaz naturel — Matériaux pour utilisation dans des environnements contenant de l'hydrogène sulfuré (H ₂ S) dans la production de pétrole et de gaz — Partie 2: Aciers au carbone et aciers faiblement alliés résistants à la fissuration, et utilisation de fontes (ISO/FDIS 15156-2:2020)

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort.....	4
Vorwort	5
Einleitung.....	7
1 Anwendungsbereich.....	8
2 Normative Verweisungen	9
3 Begriffe	10
4 Symbole und Abkürzungen.....	13
5 Kaufinformationen.....	14
6 Faktoren, die das Verhalten von unlegierten und niedriglegierten Stählen in H ₂ S-haltigen Umgebungen beeinträchtigen.....	15
7 Qualifizierung und Auswahl von unlegierten und niedriglegierten Stählen, die gegen SSC, SOHIC und SZC beständig sind.....	16
7.1 Wahlmöglichkeit 1 — Auswahl von gegen SSC beständigen Stählen (und Gusseisen) nach A.2	16
7.1.1 Bei $p_{H_2S} < 0,3$ kPa (0,05 psi).....	16
7.1.2 Bei $p_{H_2S} \geq 0,3$ kPa (0,05 psi).....	16
7.2 Wahlmöglichkeit 2 — Auswahl von Stählen für besondere Anwendungen in sauren Einsatzbereichen oder für Bereiche mit Sauergas.....	16
7.2.1 H ₂ S-induzierte Spannungsrisskorrosion	16
7.2.2 SOHIC und SZC.....	18
7.3 Anforderungen an die Härte.....	18
7.3.1 Allgemeines.....	18
7.3.2 Grundmetalle	19
7.3.3 Schweißnähte.....	19
7.4 Weitere Herstellungsverfahren.....	24
8 Beurteilung von unlegierten und niedriglegierten Stählen hinsichtlich ihrer Beständigkeit gegen HIC/SWC.....	25
9 Kennzeichnung, Beschriftung und Dokumentation.....	25
Anhang A (normativ) Gegen SSC beständige unlegierte und niedriglegierte Stähle (und Anforderungen und Empfehlungen zur Verwendung von Gusseisen).....	26
A.1 Allgemeines.....	26
A.2 Gegen SSC beständige unlegierte und niedriglegierte Stähle und die Verwendung von Gusseisen	26
A.2.1 Allgemeine Anforderungen an unlegierte und niedriglegierte Stähle.....	26
A.2.2 Anwendung bei bestimmten Produktformen	30
A.2.3 Anwendung bei Ausrüstungen.....	32
A.2.4 Anforderungen an die Verwendung von Gusseisen	33
A.3 Gegen SSC beständige Stähle zur Verwendung im gesamten SSC-Bereich 2	34
A.3.1 Allgemeines.....	34
A.3.2 Mantelrohre für Bohrlöcher, Rohre und rohrförmige Bauteile	34
A.3.3 Pipeline-Stähle.....	34
A.4 Gegen SSC beständige Stähle zur Verwendung im gesamten SSC-Bereich 1	34

A.4.1	Allgemeines	34
A.4.2	Mantelrohre für Bohrlöcher, Rohre und rohrförmige Bauteile	34
A.4.3	Pipeline-Stähle	35
Anhang B (normativ) Qualifizierung von unlegierten und niedriglegierten Stählen für den		
	H₂S-Einsatz durch Laborprüfung.....	36
B.1	Anforderungen	36
B.2	Anwendungen von Laborqualifizierungen	37
B.2.1	Allgemeines	37
B.2.2	Qualifizierung von hergestellten Erzeugnissen.....	38
B.2.3	Qualifizierung einer Fertigungsquelle und eines Fertigungsweges.....	38
B.2.4	Anwendung von Laborprüfungen als Grundlage für die Beantragung von Ergänzungen	
	und Änderungen von Anhang A.....	39
B.3	Prüfverfahren zur Beurteilung der Beständigkeit von unlegierten und niedriglegierten	
	Stählen gegen SSC.....	40
B.4	Prüfverfahren zur Beurteilung der Beständigkeit von unlegierten und niedriglegierten	
	Stählen gegen SOHIC und SZC.....	43
B.4.1	Allgemeines	43
B.4.2	Prüfungen in kleinem Maßstab.....	43
B.4.3	Prüfungen von ganzen Rohrringen.....	44
B.5	Prüfverfahren und Annahmekriterien zur Beurteilung der Beständigkeit von	
	unlegierten und niedriglegierten Stählen gegen HIC/SWC.....	44
Anhang C (informativ) Bestimmung des H₂S-Partialdrucks und Anwendung alternativer		
	Parameter	46
C.1	Berechnung des Partialdrucks von H₂S für Systeme mit einer Gasphase	46
C.1.1	Allgemeines	46
C.1.2	Betrachtungen der Gasphase, H₂S-Partialdruck und Fugazität.....	46
C.1.3	Betrachtungen der wässrigen Phase, H₂S-Konzentration und chemische Aktivität	47
C.2	Berechnungen des wirksamen H₂S-Partialdrucks für gasfreie Flüssigsysteme	48
C.2.1	Allgemeines	48
C.2.2	Betrachtungen für gasfreie Ölbohrungen mit hohem Druck, H₂S-Aktivität.....	49
Anhang D (informativ) Empfehlungen für die Bestimmung des pH-Wertes		51
Anhang E (informativ) Angaben, die bei der Werkstoffbeschaffung mitgeliefert werden sollten.....		57
Literaturhinweise.....		60

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 15156-2:2020) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 67 „Materials, equipment and offshore structures for petroleum, petrochemical and natural gas industries“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 12 „Materialien, Ausrüstungen und Offshore-Bauwerke für die Erdöl-, petrochemische und Erdgasindustrie“ erarbeitet, dessen Sekretariat von NEN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird ISO 15156-2:2015 ersetzen.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/FDIS 15156-2:2020 wurde von CEN als prEN ISO 15156-2:2020 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsinstitute (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Normungsthemen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der erhaltenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Für eine Erläuterung des freiwilligen Charakters von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO, en: World Trade Organization) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT, en: Technical Barriers to Trade) berücksichtigt, siehe www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 67, *Materials, equipment and offshore structures for petroleum, petrochemical and natural gas industries*, in Zusammenarbeit mit dem Europäischen Komitee für Normung (CEN), Technisches Komitee CEN/TC 12, *Materialien, Ausrüstungen und Offshore-Bauwerke für die Erdöl-, petrochemische und Erdgasindustrie*, gemäß der Vereinbarung über technische Kooperation zwischen ISO und CEN (Wiener Vereinbarung) erarbeitet.

Diese vierte Ausgabe ersetzt die dritte Ausgabe (ISO 15156-2:2015), die technisch überarbeitet wurde. Die wesentlichen Änderungen im Vergleich zur Vorgängerausgabe sind folgende:

- Korrekturen der Temperaturumrechnung für Schweißarbeiten (siehe A.2.1.4), Kaltverformung und Spannungsarmglühen (siehe A.2.1.6), Identifizierungsprägung (siehe A.2.1.9), Rohre und rohrförmige Bauteile (siehe A.2.2.3.4), Verdichterlaufräder (siehe A.2.3.3.2);
- Änderung des Titels von A.2.3.2.2 von Scherbacken zu Schieber;
- Ergänzung von C110 und Änderungen der Bezeichnung von C95 zu R95 in Tabelle A.3;
- Änderung der Verweisung in Tabelle B.1 zu NACE TM0316;
- Ergänzung einer Verweisung auf BS 8701 in B.4.3;
- Änderungen und Ergänzungen in Tabelle B.3;

- Änderung von Anhang C dahingehend, dass alternative Parameter und eine erweiterte Erläuterung für die Verwendung von chemischer Aktivität und Fugazität aufgenommen wurden, und einige allgemeine Leitlinien für die Anwendung einer thermodynamischen Modellierung zur Bestimmung des Schärfegrades der Umgebung bereitgestellt werden.

Eine Auflistung aller Teile der Normenreihe ISO 15156 ist auf der ISO-Internetseite abrufbar.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Auflistung dieser Institute ist unter www.iso.org/members.html zu finden.

Einleitung

Die Auswirkungen plötzlich aufgetretener Schäden an metallischen Bauteilen in Öl- und Gasfeldausrüstungen, die H₂S-haltigen Medien ausgesetzt waren, haben zur Erstellung der ersten Fassung von NACE MR0175 geführt, die im Jahre 1975 von der National Association of Corrosion Engineers, jetzt als NACE International bekannt, herausgegeben wurde.

Die erste und die nachfolgenden Ausgaben von NACE MR0175 legten Grenzwerte für den H₂S-Partialdruck fest, bei deren Überschreitung Vorkehrungen gegen H₂S-induzierte Spannungsrisskorrosion (SSC) grundsätzlich als erforderlich betrachtet wurden. Sie gaben auch Hilfestellung bei der Auswahl und Festlegung von SSC-beständigen Werkstoffen für Fälle, in denen diese H₂S-Schwellenwerte überschritten wurden. In jüngeren Fassungen von NACE MR0175 wurden zudem praktische Grenzwerte für einige korrosionsbeständige Legierungen in Bezug auf die Zusammensetzung der Umgebung und den pH-Wert, die Temperatur und H₂S-Partialdrücke angegeben.

Unabhängig hiervon hat die European Federation of Corrosion 1995 die EFC-Publikation Nr. 16 sowie 1996 die EFC-Publikation Nr. 17 herausgegeben. Diese Dokumente ergänzen im Allgemeinen diejenigen von NACE, auch wenn sie sich im Anwendungsbereich und in den Einzelheiten unterscheiden.

2003 wurde zum ersten Mal die Herausgabe der Normenreihe ISO 15156 und von NACE MR0175/ISO 15156 abgeschlossen. In diesen technisch identischen Dokumenten wurden die vorstehend angegebenen Quellen verwendet, um Anforderungen und Empfehlungen für die Qualifizierung von Werkstoffen und ihre Auswahl zum Einsatz in nassen H₂S-haltigen Umgebungen in Systemen der Öl- und Gasgewinnung zu geben. Sie werden durch die Prüfverfahren in NACE TM0177 und NACE TM0284 ergänzt.

Die Überarbeitung dieses Dokumentes, d. h. ISO 15156-2, umfasst die Zusammenführung aller im Technischen Rundschreiben 1, ISO 15156-2:2015/Cir.1:2017, dem Technischen Rundschreiben 2, ISO 15156-2:2015/Cir.2:2018 und dem Technischen Rundschreiben 3, ISO 15156-2:2015/Cir.3:2019 vereinbarten und veröffentlichten Änderungen, die von dem für die Agentur zur Dokumentenpflege der Normenreihe ISO 15156 zuständigen Sekretariat bei DIN veröffentlicht wurden.

Die Änderungen wurden von repräsentativen Gruppen innerhalb der Öl- und Gasgewinnungsindustrie erarbeitet und durch Abstimmung anerkannt. Die große Mehrheit dieser Änderungen betrifft Themen, die von Anwendern des Dokumentes zur Sprache gebracht wurden. Eine Beschreibung des Prozesses, wie diese Änderungen anerkannt wurden, kann der Dokumentenpflege-Webseite der Normenreihe ISO 15156 entnommen werden: www.iso.org/iso15156maintenance.

Künftige vorläufige Änderungen dieses Dokumentes werden, wenn sie von Fachleuten der Öl- und Gasgewinnungsindustrie für notwendig erachtet werden, in derselben Art und Weise erarbeitet und führen zu vorläufigen Aktualisierungen dieses Dokumentes in Form von Technischen Berichtigungen oder Technischen Rundschreiben. Anwendern des Dokumentes sollte bewusst sein, dass es derartige Dokumente geben kann und dass diese sich auf die Gültigkeit der in diesem Dokument in Bezug genommenen Verweisungen auswirken können.

Die Agentur zur Dokumentenpflege der Normenreihe ISO 15156 bei DIN wurde eingerichtet, nachdem das ISO Technical Management Board in Dokument Nr. 34/2007 seine Zustimmung gegeben hat. Dieses Dokument beschreibt den Aufbau der Agentur, in der Fachleute von NACE, EFC und ISO/TC 67 einbezogen sind, sowie das Verfahren für die Zustimmung zu Änderungen. Es steht auf der Dokumentenpflege-Webseite der Normenreihe ISO 15156 und beim Sekretariat ISO/TC 67 zur Verfügung. Die Webseite bietet auch Zugang zu zugehörigen Dokumenten, die mehr Einzelheiten über die Maßnahmen zur Dokumentenpflege der Normenreihe ISO 15156 enthalten.

WARNUNG — Nach diesem Dokument ausgewählte unlegierte und niedriglegierte Stähle und Gusseisen sind in festgelegten H₂S-haltigen Umgebungen bei der Öl- und Gasgewinnung rissbeständig, aber nicht notwendigerweise unter allen möglichen Betriebsbedingungen. Der Nutzer der Ausrüstung trägt die Verantwortung für die Auswahl von für den beabsichtigten Einsatz geeigneten unlegierten und niedriglegierten Stählen und Gusseisen.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument nennt Anforderungen und gibt Empfehlungen für die Auswahl und Qualifizierung von unlegierten und niedriglegierten Stählen für den Betrieb in Einrichtungen der Öl- und Gasgewinnung und in Erdgasbehandlungsanlagen im Bereich H₂S-haltiger Umgebungen, deren Versagen ein mögliches Gesundheits- und Sicherheitsrisiko für die Allgemeinheit und das Personal oder für die Umwelt darstellen kann. Es kann angewendet werden zur Vermeidung kostspieliger Beschädigungen infolge von Korrosion der Anlage selbst. Es ergänzt, ersetzt aber nicht die in einschlägigen Konstruktionsrichtlinien, Normen oder Regelwerken enthaltenen Anforderungen an Werkstoffe.

Dieses Dokument behandelt die Beständigkeit dieser Stähle gegen Beschädigungen, die durch H₂S-induzierte Spannungsrisskorrosion (SSC) und die damit verbundenen Erscheinungen der spannungsorientierten wasserstoffinduzierten Rissbildung (SOHIC) und der Weichzonenrissbildung (SZC) verursacht werden können.

Dieses Dokument behandelt außerdem die Beständigkeit dieser Stähle gegen wasserstoffinduzierte Rissbildung (HIC) und deren mögliche Verbindung zu Stufenrissen (SWC).

Dieses Dokument behandelt ausschließlich die Rissbildung. Es befasst sich nicht mit Werkstoffverlusten durch allgemeine (durch Massenverlust bedingte) oder örtliche Korrosion.

Tabelle 1 enthält als nicht erschöpfende Liste eine Übersicht von Ausrüstungen, die in den Anwendungsbereich dieses Dokumentes fallen, einschließlich Ausnahmen.

Dieses Dokument gilt für die Qualifizierung und Auswahl von Werkstoffen für Ausrüstungen, die unter Anwendung von lastgesteuerten Auslegungsverfahren ausgelegt und gebaut wurden. Für Konstruktionen, bei denen auf Dehnung beruhende Auslegungsverfahren zur Anwendung kommen, siehe ISO 15156-1:2020, Abschnitt 5.

Anhang A enthält eine Auflistung von SSC-beständigen unlegierten und niedriglegierten Stählen und A.2.4 enthält Anforderungen an die Verwendung von Gusseisen.

Dieses Dokument ist nicht zwangsläufig auch für die Anwendung auf Ausrüstungen in Raffinerie- oder nachgeschalteten Verfahren und Einrichtungen geeignet.

Tabelle 1 — Übersicht von Ausrüstungen

Dieses Dokument gilt für in den folgenden Ausrüstungen eingesetzte Werkstoffe	Ausnahmen
Bohrungen, Bohrlochaufbauten und Bohrloch-Serviceausrüstungen	Ausrüstungen, die nur Bohrflüssigkeiten mit kontrollierter Zusammensetzung ausgesetzt sind ^a Bohrmeißel Scherblätter für Blowout-Preventer (BOP) ^b Steigleitungssysteme Betriebsstränge Drahtseile und Drahtseilausrüstungen ^c Außen- und Zwischenfutterrohre
Bohrungen einschließlich Untertageeinrichtungen, Gasliftausrüstungen, Bohrlochköpfe und Eruptionskreuze	Tiefpumpen und Pumpgestänge ^d elektrische Tauchpumpen weitere Fördereinrichtungen Keile
Förderleitungen, Sammelleitungen, Anlagen im Feld und in Weiterverarbeitungsanlagen	Rohöllager- und -betriebseinrichtungen mit einem Gesamtabсолютdruck unter 0,45 MPa (65 psi)
Ausrüstungen zur Wasserhandhabung	Einrichtungen zur Wasserhandhabung mit einem Gesamtabсолютdruck unter 0,45 MPa (65 psi) Wassereinpresseinrichtungen und Ausrüstungen zur Abwasserentsorgung
Erdgas-Behandlungsanlagen	—
Transportpipelines für Flüssigkeiten, Gase und mehrphasige Medien	Leitungen zum Weitertransport von Gas, das für den allgemeinen gewerblichen und den Privatverbrauch vorgesehen ist
für alle vorstehend aufgeführten Ausrüstungen	nur mit Druck belastete Komponenten
^a Für weitere Informationen siehe A.2.3.2.3. ^b Für weitere Informationen siehe A.2.3.2.1. ^c Drahtseilschmierungen und Schmierverbindungsrichtungen sind nicht ausgenommen. ^d Hinsichtlich Tiefpumpen und Pumpgestängen kann auf NACE MR0176 verwiesen werden.	

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 6506 (all parts), *Metallic materials — Brinell hardness test*

ISO 6507 (all parts), *Metallic materials — Vickers hardness test*

ISO 6508 (all parts), *Metallic materials — Rockwell hardness test*

ISO 6892-1, *Metallic materials — Tensile testing — Part 1: Method of test at room temperature*

ISO 10423, *Petroleum and natural gas industries — Drilling and production equipment — Wellhead and christmas tree equipment*

ISO 15156-1:2020, *Petroleum and natural gas industries — Materials for use in H₂S-containing environments in oil and gas production — Part 1: General principles for selection of cracking-resistant materials*

ISO 15156-3, *Petroleum and natural gas industries — Materials for use in H₂S-containing environments in oil and gas production — Part 3: Cracking-resistant CRAs (corrosion-resistant alloys) and other alloys*

NACE TM0177¹, *Laboratory testing of metals for resistance to sulfide stress cracking and stress corrosion cracking in H₂S environments*

NACE TM0284, *Evaluation of pipeline and pressure vessel steels for resistance to hydrogen-induced cracking*

NACE TM0316, *Four-point bend testing of materials for oil and gas applications*

SAE AMS-2430², *Shot Peening*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 15156-1 und die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>

3.1

Brinellhärte

HBW

Härtewert eines Werkstoffes, der üblicherweise mit einer Wolframcarbidkugel mit 10 mm Durchmesser als Eindringkörper unter Aufbringung einer Kraft von 29,42 kN gemessen wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Messung muss nach der Normenreihe ISO 6506 erfolgen. Hierbei entspricht ASTM E10 ISO 6506-1.

3.2

Blasendruck

p_B

Druck, bei dem sich in einer Flüssigkeit bei einer bestimmten Betriebstemperatur Gasblasen bilden

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe C.2.

¹ www.nace.org

² www.sae.org

3.3

Polieren

Prozess zur Glättung von Oberflächen, bei dem der Reibungskontakt zwischen dem Werkstoff und einigen anderen harten Werkstoffstücken, zum Beispiel gehärteten Stahlkugeln, ausgenutzt wird

3.4

Gussstück

Metall, das durch Erstarren von eingeschmolzenem Metall in einer Form in seine endgültige oder nahezu endgültige Form gebracht wird

3.5

Gusseisen

Eisen-Kohlenstoff-Legierung, die einen Massenanteil an Kohlenstoff von etwa 2 % bis 4 % enthält

3.5.1

graues Gusseisen

Gusseisen, das auf Grund des Vorhandenseins von Lamellengraphit eine graue Bruchfläche aufweist

3.5.2

weißes Gusseisen

Gusseisen, das auf Grund des Vorhandenseins von Zementit eine weiße Bruchfläche aufweist

3.5.3

Temperguss

weißes Gusseisen, das thermisch behandelt wird, so dass der größte Teil oder der gesamte Zementit zu Graphit (Temperkohle) umgewandelt wird

3.5.4

duktiler Guss

Kugelgraphitgusseisen

Gusseisen, das beim Schmelzen mit einem Element (üblicherweise Magnesium oder Cer) behandelt wird, wodurch sich Kugelgraphit bildet

3.6

Zementit

Gefügebestandteil von Stählen, der hauptsächlich aus Eisencarbid (Fe_3C) besteht

3.7

Kaltverformen

Kaltschmieden

Kaltformen

Kaltumformung

plastische Metallverformung bei Temperaturen und Umformgeschwindigkeiten, die zu einer Kaltverfestigung führen, die meist, aber nicht notwendigerweise, bei Raumtemperatur durchgeführt wird

3.8

Gebrauchstauglichkeit

Eignung für die Verwendung unter den zu erwartenden Betriebsbedingungen

3.9

Automatenstahl

Stahl, dem absichtlich Elemente wie Schwefel, Selen und Blei beigefügt wurden, um die Zerspanbarkeit zu verbessern

3.10

untere kritische Temperatur

Temperatur eines Eisenmetalls, bei der sich während der Erwärmung Austenit zu bilden beginnt oder bei der während der Abkühlung die austenitische Umwandlung abgeschlossen ist

3.11

Nitrieren

Oberflächenhärtungsprozess, bei dem Stickstoff in die Oberfläche von metallischen Werkstoffen (meist Eisenlegierungen) eingebracht wird

BEISPIEL Badnitrieren, Gasnitrieren, Ionennitrieren und Plasmanitrieren.

3.12

Normalglühen

Erwärmung eines Eisenmetalls auf eine geeignete Temperatur oberhalb des Umwandlungsbereiches (Austenitisierung), Beibehalten der Temperatur über einen geeigneten Zeitraum und anschließende Abkühlung bei stillstehender Luft (oder unter Schutzatmosphäre) auf eine Temperatur, die wesentlich unter dem Umwandlungsbereich liegt

3.13

plastisch verformt

dauerhaft verformt durch Belastung über die Elastizitätsgrenze hinaus, d. h. über die Grenze der Proportionalität der Spannung zur Dehnung hinaus

3.14

drucktragendes Teil

Teil, bei dem ein Versagen der vorgesehenen Funktion zur Freisetzung des zurückbehaltenen Mediums in die Atmosphäre führt

BEISPIEL Ventilkörper, Schutzkappen und Spindeln.

3.15

vergütet

abschreckgehärtet und dann angelassen

3.16

Rockwellhärte C

HRC

Härtewert eines Werkstoffes, der mit einem Rockwell-C-Diamantkegel-Eindringkörper unter Aufbringung einer Kraft von 1 471 N gemessen wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Messung muss nach der Normenreihe ISO 6508 erfolgen. Hierbei entspricht ASTM E18 ISO 6508-1.

3.17

Kugelstrahlen

Einleiten von Druckbelastungen in die Oberflächenschicht eines Werkstoffes durch Beschuss mit einem ausgewählten Medium (üblicherweise rundes Stahlstrahlmittel) unter überwachten Bedingungen

3.18

Spannungsarmglühen

Erwärmen eines Metalls auf eine geeignete Temperatur, Beibehalten dieser Temperatur über einen Zeitraum, der lang genug ist, um Restspannungen zu verringern, und anschließendes Abkühlen, das so langsam erfolgt, dass die Entstehung neuer Restspannungen gering gehalten wird

3.19

Anlassen

Wärmebehandlung durch Erwärmen auf eine Temperatur, die unter der unteren kritischen Temperatur liegt, mit dem Ziel, die Härte von gehärtetem Stahl, gehärtetem Gusseisen und manchmal von normalisiertem Stahl zu verringern und seine Zähigkeit zu erhöhen

3.20

Zugfestigkeit

Bruchfestigkeit

Verhältnis zwischen der Höchstlast und der ursprünglichen Querschnittsfläche

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe ISO 6892-1.

3.21

Prüflos

Gruppe von Gegenständen, die ein Fertigungslos repräsentieren, dessen Übereinstimmung mit einer festgelegten Anforderung durch Prüfung repräsentativer Proben nach einem festgelegten Verfahren ermittelt werden kann

3.22

rohrförmiges Bauteil

zylinderförmiges Bauteil (Rohr) mit einer Längsbohrung, das bei Bohrarbeiten/Produktionsprozessen zum Transport von Flüssigkeiten verwendet wird

3.23

Vickershärte

HV

Härtewert eines Werkstoffs, der unter Verwendung einer Diamantpyramide als Eindringkörper und mit einer aus einer Vielzahl möglicher aufzubringender Lasten ermittelt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Messung muss nach der Normenreihe ISO 6507 erfolgen. Hierbei entspricht ASTM E384 ISO 6507-1.

3.24

Schweißstelle

Teil eines Bauteils, der geschweißt wurde, einschließlich des Schweißmetalls, der Wärmeeinflusszone und des angrenzenden Grundmetalls

3.25

Schweißmetall

Teil einer Schweißstelle, der beim Schweißen aufgeschmolzen wurde

3.26

durch Warmverformung bearbeitet

durch mechanische Bearbeitung (Walzen, Strangpressen, Schmieden usw.) gewöhnlich bei einer hohen Temperatur in eine gewünschte Form gebracht

4 Symbole und Abkürzungen

AYS effektive Streckgrenze (en: actual yield strength)

CLR Risslängenverhältnis (en: crack length ratio)

CSR Rissflächenverhältnis (en: crack surface ratio)

CTR	Rissdickenverhältnis (en: crack thickness ratio)
DCB	Doppelbalken (Prüfung) [en: double cantilever beam (test)]
FPB	Vier-Punkt-Biegeprüfung (Prüfung) [en: four-point bend (test)]
HBW	Brinellhärte (en: Brinell hardness)
HIC	wasserstoffinduzierte Rissbildung (en: hydrogen-induced cracking)
HRC	Rockwellhärte (Skala C) [en: Rockwell hardness (scale C)]
HSC	wasserstoffinduzierte Spannungsrisskorrosion (en: hydrogen stress cracking)
OCTG	Ölfeldrohre, d. h. Futterrohre, Produktionsrohre und Bohrgestängerohre (en: oil country tubular goods, i. e. casing, tubing and drill pipe)
p_{H_2S}	H ₂ S-Partialdruck (en: partial pressure of H ₂ S)
$R_{p0,2}$	0,2-%-Dehngrenze nach ISO 6892-1 (en: 0,2 % proof stress in accordance with ISO 6892-1)
SMYS	festgelegte Mindeststreckgrenze (en: specified minimum yield strength)
SOHIC	spannungsorientierte wasserstoffinduzierte Rissbildung (en: stress-oriented hydrogen-induced cracking)
SSC	schwefelwasserstoffinduzierte Spannungsrisskorrosion (en: sulfide stress-cracking)
SWC	Stufenrissbildung (en: stepwise cracking)
SZC	Weichzonenrissbildung (en: soft-zone cracking)
T	Temperatur (en: temperature)
UNS	einheitliches Nummerierungssystem (aus SAE-ASTM, <i>Metals and alloys in the Unified Numbering System</i>) [en: Unified Numbering System (from SAE-ASTM, <i>Metals and alloys in the Unified Numbering System</i>)]
UT	einachsige Zugbeanspruchung (Prüfung) [en: uniaxial tensile (test)]

5 Kaufinformationen

5.1 Die Erstellung von Spezifikationen zur Beschaffung von Werkstoffen kann die Kooperation und den Austausch von Daten zwischen dem Nutzer der Ausrüstung, dem Lieferanten der Ausrüstung und dem Werkstoffhersteller erforderlich machen, um sicherzustellen, dass der beschaffte Werkstoff ISO 15156-1 und diesem Dokument entspricht.

5.2 Die folgenden Angaben sind vorzusehen:

- bevorzugte Werkstoffarten und/oder -güten (falls bekannt);
- Art der Ausrüstung (falls bekannt);
- Verweisung auf dieses Dokument;

- akzeptable Grundlagen für die Auswahl von Werkstoffen hinsichtlich Beständigkeit gegen SSC (siehe Abschnitt 7);
- Anforderungen an die Beständigkeit gegen HIC (siehe Abschnitt 8).

5.3 Der Nutzer der Ausrüstung und der Lieferant der Ausrüstung/Werkstoffhersteller dürfen vereinbaren, dass andere als die in Anhang A beschriebenen und/oder aufgeführten unlegierten oder niedriglegierten Stähle in Abhängigkeit von geeigneten Qualifizierungsprüfungen nach Anhang B und ISO 15156-1 ausgewählt werden dürfen. Die Anforderungen an die Qualifizierung dürfen auf die Beständigkeit gegen SOHIC und SZC ausgeweitet werden.

Wenn der Kunde beabsichtigt, von derartigen Vereinbarungen, Ergänzungen und Qualifizierungen Gebrauch zu machen, müssen die entsprechenden Zusatzangaben deutlich in der Spezifikation zur Beschaffung von Werkstoffen gekennzeichnet sein. Diese Angaben dürfen Folgendes umfassen:

- Anforderungen an die Prüfung auf SSC (siehe 7.1 und 7.2);
- Betriebsbedingungen für besondere Anwendungen in sauren Einsatzbereichen; und
- weitere besondere Anforderungen.

5.4 Anhang C enthält eine Beschreibung, wie der H_2S -Partialdruck zu berechnen ist, und in Anhang D wird eine Anleitung gegeben, wie der pH-Wert eines Fluids bestimmt wird.

5.5 Die für die Werkstoffbeschaffung erforderlichen Angaben sind auf geeigneten Datenblättern anzugeben. Empfohlene Formate sind in Anhang E angegeben.

6 Faktoren, die das Verhalten von unlegierten und niedriglegierten Stählen in H_2S -haltigen Umgebungen beeinträchtigen

Das Verhalten von unlegierten und niedriglegierten Stählen in H_2 -haltigen Umgebungen wird durch vielschichtige Wechselwirkungen von Parametern beeinträchtigt, die Folgendes einschließen:

- a) chemische Zusammensetzung, Herstellungsverfahren, Produktform, Festigkeit, Härte des Werkstoffs und seiner örtlichen Ausprägungen, Ausmaß der Kaltverformung, Zustand bei Wärmebehandlung, Gefüge, Gleichmäßigkeit des Gefüges, Korngröße und Reinheit des Werkstoffs;
- b) H_2S -Partialdruck oder gleichwertige Konzentration in der Wasserphase;
- c) Chloridionen-Konzentration in der Wasserphase;
- d) Acidität (pH-Wert) der Wasserphase;
- e) Vorhandensein von Schwefel oder anderen Oxidationsmitteln;
- f) Beanspruchung durch Fluide, die nicht aus der Produktion stammen;
- g) Beanspruchungstemperatur;
- h) Gesamtzugspannung (aufgebrachte zuzüglich Restspannung);
- i) Dauer der Beanspruchung.

Bei Anwendung dieses Dokumentes zur Auswahl von Werkstoffen, die für den Einsatz in H_2S -haltigen Umgebungen in Systemen der Öl- und Gasgewinnung geeignet sind, müssen diese Faktoren beachtet werden.

7 Qualifizierung und Auswahl von unlegierten und niedriglegierten Stählen, die gegen SSC, SOHIC und SZC beständig sind

7.1 Wahlmöglichkeit 1 — Auswahl von gegen SSC beständigen Stählen (und Gusseisen) nach A.2

7.1.1 Bei $p_{H_2S} < 0,3 \text{ kPa (0,05 psi)}$

Die Auswahl von gegen SSC beständigen Werkstoffen mit einem p_{H_2S} unter 0,3 kPa (0,05 psi) wird in diesem Dokument nicht im Detail betrachtet. Üblicherweise sind bei der Auswahl von Stählen zur Verwendung unter diesen Bedingungen keine besonderen Vorkehrungen erforderlich, bei hochempfindlichen Stählen kann es jedoch trotzdem zur Rissbildung kommen. Zusätzliche Angaben zu Faktoren, die die Anfälligkeit von Stählen beeinflussen, und zu Angriffen durch andere Rissbildungsarten außer SSC sind in 7.2.1 angegeben.

7.1.2 Bei $p_{H_2S} \geq 0,3 \text{ kPa (0,05 psi)}$

Wenn der H_2S -Partialdruck im Gas gleich oder größer als 0,3 kPa (0,05 psi) ist, müssen gegen SSC beständige Stähle nach A.2 ausgewählt werden.

ANMERKUNG 1 Die in A.2 beschriebenen oder angegebenen Stähle werden als beständig gegen SSC in Anlagen der Erdöl- und Erdgasgewinnung sowie in Erdgasbehandlungsanlagen betrachtet.

ANMERKUNG 2 Nutzer, die mit dem Auftreten von SOHIC und/oder SZC zu tun haben, können zu Wahlmöglichkeit 2 übergehen (siehe 7.2.2).

ANMERKUNG 3 Bei HIC und SWC siehe Abschnitt 8.

7.2 Wahlmöglichkeit 2 — Auswahl von Stählen für besondere Anwendungen in sauren Einsatzbereichen oder für Bereiche mit Sauergas

7.2.1 H_2S -induzierte Spannungsrisskorrosion

7.2.1.1 Allgemeines

Wahlmöglichkeit 2 ermöglicht es dem Nutzer, Werkstoffe zu qualifizieren und auszuwählen, die bei besonderen Anwendungen in sauren Einsatzbereichen oder in Bereichen mit Sauergas gegen H_2S -induzierte Spannungsrisskorrosion (SSC) beständig sind.

Für einen bestimmten Werkstoff dürfen die für besondere Anwendungen in sauren Einsatzbereichen oder für einen Bereich mit Sauergas durch Qualifizierung nach Wahlmöglichkeit 2 festgelegten Grenzwerte für umgebungsbezogene und metallurgische Größen alle für diesen Werkstoff in A.2 (Wahlmöglichkeit 1) aufgeführten Grenzwerte für umgebungsbezogene und metallurgische Größen ersetzen.

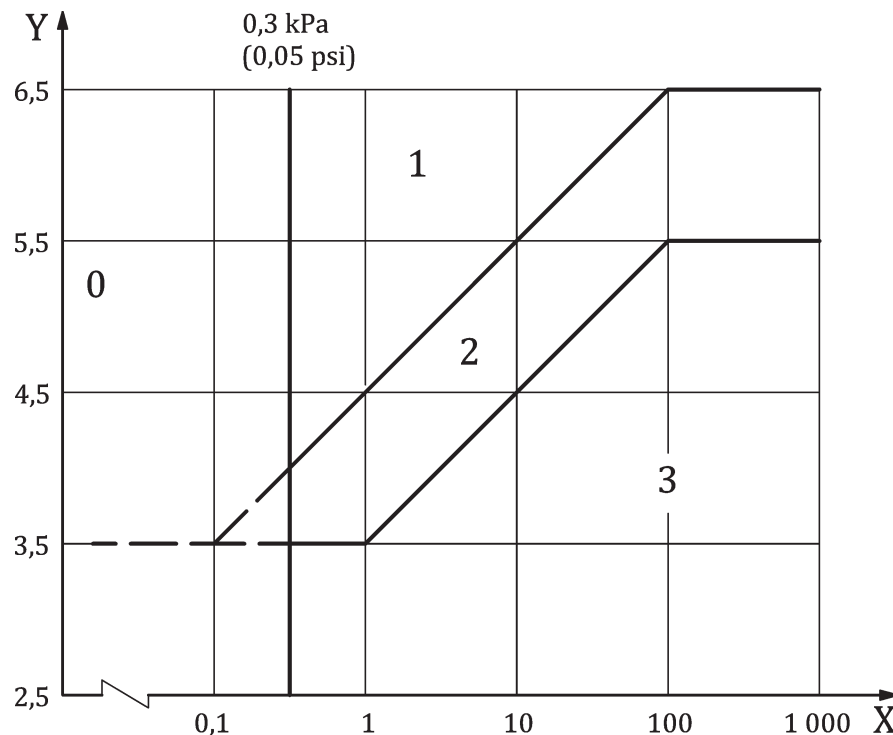
Die Anwendung von Wahlmöglichkeit 2 kann es erforderlich machen, dass sowohl der pH-Wert am Einsatzort als auch der H_2S -Partialdruck und ihre mit der Zeit auftretenden Schwankungen bekannt sein müssen; siehe ISO 15156-1.

Wahlmöglichkeit 2 ermöglicht die Beschaffung von Massengütern, wie z. B. Ölfeldrohren (OCTG) oder Leitungsrohren, bei denen der wirtschaftliche Anreiz, Werkstoffe zu verwenden, die nicht in Anhang A beschrieben oder aufgeführt sind, die zusätzliche Qualifizierung und weitere Kosten, die entstehen können, aufwiegt. Stähle für andere Ausrüstungen dürfen ebenfalls qualifiziert werden. In einigen Fällen erfordert dies eine Vereinbarung zwischen dem Lieferanten und dem Nutzer der Ausrüstung hinsichtlich der Anforderungen an die Prüfung und Annahme. Derartige Vereinbarungen sind zu dokumentieren.

Wahlmöglichkeit 2 kann auch Beurteilungen der Gebrauchstauglichkeit von vorhandenen Ausrüstungen aus unlegierten oder niedriglegierten Stählen ermöglichen, die härteren Sauer gasbedingungen ausgesetzt sind als für die aktuelle Ausführung angenommen.

7.2.1.2 SSC-Bereiche mit bestimmtem Schärfegrad der Umgebung

Der nach ISO 15156-1 bestimmte Schärfegrad der sauren Umgebung bezüglich der SSC bei unlegierten oder niedriglegierten Stählen ist mithilfe von Bild 1 zu bewerten. Bei der Festlegung des Schärfgrades der H₂S-haltigen Umgebung sollte die Möglichkeit der Beanspruchung durch ungepufferte Kondenswasserphasen mit geringem pH-Wert bei Systemstörungen oder -abschaltungen oder der Beanspruchung durch Säuren zur Stimulation von Bohrungen und/oder durch den Rückfluss der Stimulationssäure nach der Reaktion berücksichtigt werden.



Legende

X	H ₂ S-Partialdruck, angegeben in Kilopascal	1	SSC-Bereich 1
Y	pH-Wert am Einsatzort	2	SSC-Bereich 2
0	Bereich 0	3	SSC-Bereich 3

ANMERKUNG 1 Die Unterbrechungen im Bild bei einem H₂S-Partialdruck von unter 0,3 kPa (0,05 psi) und über 1 MPa (150 psi) spiegeln die Unsicherheit hinsichtlich der Messung des H₂S-Partialdruckes (bei geringem H₂S-Gehalt) und der Beständigkeit des Stahls außerhalb dieser Grenzwerte (sowohl bei geringem als auch bei hohem H₂S-Gehalt) wider.

ANMERKUNG 2 Eine Anleitung zur Berechnung des H₂S-Partialdruckes ist in Anhang C angegeben.

ANMERKUNG 3 Eine Anleitung zur Berechnung des pH-Wertes ist in Anhang D angegeben.

Bild 1 — Bereiche mit einem bestimmten Schärfegrad der Umgebung im Hinblick auf die SSC bei unlegierten und niedriglegierten Stählen

7.2.1.3 Bereich 0 — Bei $p_{H_2S} < 0,3$ kPa (0,05 psi)

Üblicherweise sind zur Auswahl von Stählen für den Einsatz unter diesen Bedingungen keine Vorkehrungen erforderlich. Dennoch sollten die folgenden Faktoren, die die Beständigkeit des Stahls in diesem Bereich beeinträchtigen können, beachtet werden.

- Bei Stählen, die gegenüber SSC und HSC hoch anfällig sind, kann es zur Rissbildung kommen.
- Die physikalischen und metallurgischen Eigenschaften eines Stahls beeinträchtigen dessen natürliche Beständigkeit gegen SSC und HSC, siehe Abschnitt 6.
- Bei sehr hochfesten Stählen kann es zu HSC in wässrigen Umgebungen ohne Vorhandensein von H_2S kommen. Bei einer Streckgrenze von mehr als etwa 965 MPa (140 ksi), sollten die Zusammensetzung des Stahls und seine Verarbeitung beachtet werden, um sicherzustellen, dass diese Stähle in Umgebungen des Bereiches 0 keine SSC oder HSC aufweisen.
- Spannungsanhäufungen erhöhen das Risiko einer Rissbildung.

7.2.1.4 SSC-Bereiche 1, 2 und 3

Bezüglich der in Bild 1 festgelegten Bereiche mit einem entsprechenden Schärfegrad der Beanspruchung dürfen Stähle für den Bereich 1 nach A.2, A.3 oder A.4 ausgewählt werden; Stähle für den Bereich 2 dürfen nach A.2 oder A.3 ausgewählt werden; und Stähle für den Bereich 3 dürfen nach A.2 ausgewählt werden.

Bei Fehlen geeigneter Auswahlmöglichkeiten aus Anhang A dürfen unlegierte und niedriglegierte Stähle für die Verwendung unter besonderen Bedingungen in sauren Einsatzbereichen oder für die Verwendung in einem bestimmten SSC-Gesamtbereich geprüft und qualifiziert werden. Die Prüfung und Qualifizierung muss nach ISO 15156-1 und Anhang B erfolgen.

Dokumentierte praktische Erfahrungswerte dürfen ebenfalls als Grundlage für die Auswahl von Werkstoffen für eine bestimmte Anwendung im sauren Einsatzbereich verwendet werden; siehe ISO 15156-1.

7.2.2 SOHIC und SZC

Bei der Beurteilung von unlegierten Stählen in Blechform und deren Schweißprodukten für saure Einsatzbereiche in H_2S -haltigen Umgebungen sollte der Nutzer SOHIC und SZC nach ISO 15156-1 berücksichtigen.

B.4 enthält Hinweise zu Prüfverfahren und Annahmekriterien für die Beurteilung der Beständigkeit gegen SOHIC und SZC.

ANMERKUNG Diese Erscheinungen treten selten auf und sind noch nicht gut erforscht. Sie haben in Grundmetallen (SOHIC) und in der Wärmeeinflusszone von Schweißnähten (SOHIC und SZC) zu Schäden geführt. Es wird angenommen, dass sie nur bei unlegierten Stählen auftreten. Es wird vermutet, dass das Vorhandensein von Schwefel oder Sauerstoff in der Umgebung des Einsatzbereiches die Wahrscheinlichkeit von Schäden durch diese Rissbildungsarten erhöht.

7.3 Anforderungen an die Härte

7.3.1 Allgemeines

Die Härte der Grundwerkstoffe und Schweißnähte und deren Wärmeeinflusszonen spielen bei der Bestimmung der SSC-Beständigkeit von unlegierten und niedriglegierten Stählen eine große Rolle. Die Steuerung der Härte kann ein akzeptables Mittel zur Erreichung der SSC-Beständigkeit sein.

7.3.2 Grundmetalle

Wenn Messungen der Härte an Grundmetallen festgelegt werden, sind ausreichende Härteprüfungen durchzuführen, um die tatsächliche Härte des zu untersuchenden Stahls festzustellen. Einzelne Ablesungen der Rockwellhärte HRC, die den nach diesem Dokument zulässigen Wert überschreiten, dürfen als annehmbar angesehen werden, wenn der Mittelwert aus mehreren nah beieinander vorgenommenen Ablesungen den nach diesem Dokument zulässigen Wert nicht überschreitet und keine Einzelablesung mehr als 2 HRC über dem festgelegten Wert liegt. Die gleichen Anforderungen müssen für weitere Verfahren der Härtemessung gelten, wenn sie in diesem Dokument festgelegt oder in einer Arbeitsvorschrift in Bezug genommen werden.

ANMERKUNG Die Anzahl und die Stellen der Härteprüfungen am Grundmetall sind in der Normenreihe ISO 15156 nicht festgelegt.

Für ferritische Stähle enthält die EFC-Publikation Nr.16 [38] Diagramme für die Umrechnung von Härtewerten von Vickers-Härte (HV) in Rockwellhärte (HRC) und von Vickershärte (HV) in Brinellhärte (HBW), die aus den Tabellen von ASTM E140 und ISO 18265 abgeleitet wurden. Es gibt auch noch weitere Umrechnungstabellen. Nutzer dürfen für einzelne Werkstoffe Zuordnungen herstellen.

7.3.3 Schweißnähte

7.3.3.1 Allgemeines

Die metallurgischen Veränderungen, die beim Schweißen von unlegierten und niedriglegierten Stählen auftreten, beeinflussen deren Anfälligkeit für SSC, SOHIC und SZC.

Die Auswahl beim Schweißen verwendeter Prozesse und Verbrauchsmaterialien sollte nach der bewährten Verfahrensweise erfolgen und so vorgenommen werden, dass die erforderliche Beständigkeit gegen Rissbildung erreicht wird.

Die Schweißarbeiten sind in Übereinstimmung mit entsprechenden Richtlinien und Normen, wie zwischen dem Lieferanten und dem Kunden vereinbart, durchzuführen. Schweißverfahrensrichtlinien (WPS) und Berichte über die Qualifizierung des Schweißverfahrens (PQR) müssen zur Überprüfung durch den Nutzer der Ausrüstung zur Verfügung stehen.

Die Qualifizierung von Schweißverfahren für saure Einsatzbereiche muss eine Prüfung der Härte nach 7.3.3.2, 7.3.3.3 und 7.3.3.4 einschließen.

7.3.3.2 Verfahren für die Prüfung der Härte zur Qualifizierung von Schweißverfahren

Die Prüfung der Härte zur Qualifizierung von Schweißverfahren muss üblicherweise mit dem Prüfverfahren nach Vickers HV 10 oder HV 5 entsprechend ISO 6507-1 oder mit dem Prüfverfahren nach Rockwell unter Verwendung der 15N-Skala entsprechend ISO 6508-1 durchgeführt werden.

ANMERKUNG Für die Anwendung dieser Festlegung entspricht ASTM E384 ISO 6507-1 und ASTM E18 ISO 6508-1.

Das HRC-Verfahren darf zur Qualifizierung von Schweißverfahren verwendet werden, sofern die zulässige Spannung nicht mehr als zwei Drittel der festgelegten Mindeststreckgrenze beträgt und die Schweißverfahrensrichtlinie eine Wärmenachbehandlung nach dem Schweißen vorsieht. In allen anderen Fällen ist zur Anwendung des HRC-Verfahrens für die Qualifizierung von Schweißverfahren die Zustimmung des Nutzers der Ausrüstung erforderlich.

ANMERKUNG Härtegutachten, bei denen die Prüfverfahren nach Vickers oder nach Rockwell HR 15N angewendet werden, ergeben ein detaillierteres Bild über die Härte von Schweißnähten und deren Schwankungen. Härtegutachten, die mit dem HRC-Prüfverfahren erstellt wurden, könnten möglicherweise kleine Zonen in Schweißnähten oder Wärmeeinflusszonen nicht erkennen, in denen die Härte die Annahmekriterien für das Prüfverfahren nach Vickers oder

das Verfahren nach Rockwell HR 15N überschreitet. Die Bedeutung solch kleiner harter Zonen ist noch unzureichend erforscht.

Für die Anwendung weiterer Verfahren zur Prüfung der Härte muss der Nutzer der Ausrüstung seine Zustimmung geben.

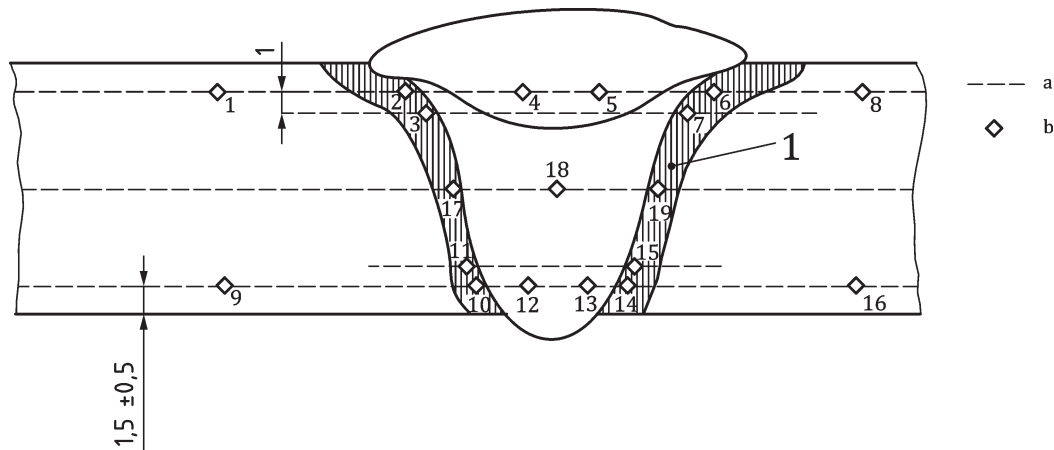
Das Prüfverfahren nach Vickers oder nach Rockwell HR 15N ist zur Qualifizierung von alternativen Annahmekriterien für die Härte von Schweißnähten nach 7.3.3.4 zu verwenden.

7.3.3.3 Härtegutachten für die Qualifizierung von Schweißverfahren

Härtegutachten nach Vickers müssen für Stoßnähte mit Bild 2, für Kehlnähte mit Bild 3 und für Ausbesserungsschweißnähte und teilweise durchgeschweißte Nähte mit Bild 4 übereinstimmen. HRC-Gutachten für Stoßnähte müssen mit Bild 5 übereinstimmen. Anforderungen an das Härtegutachten für weitere Schweißnaht-Anordnungen sind aus diesen Bildern zu erschließen.

Härtegutachten für die Qualifizierung von Auftragsschweißungen müssen mit Bild 6 übereinstimmen.

Maße in Millimeter



Legende

1 Wärmebeeinflusszone der Schweißnaht (nach dem Ätzen sichtbar)

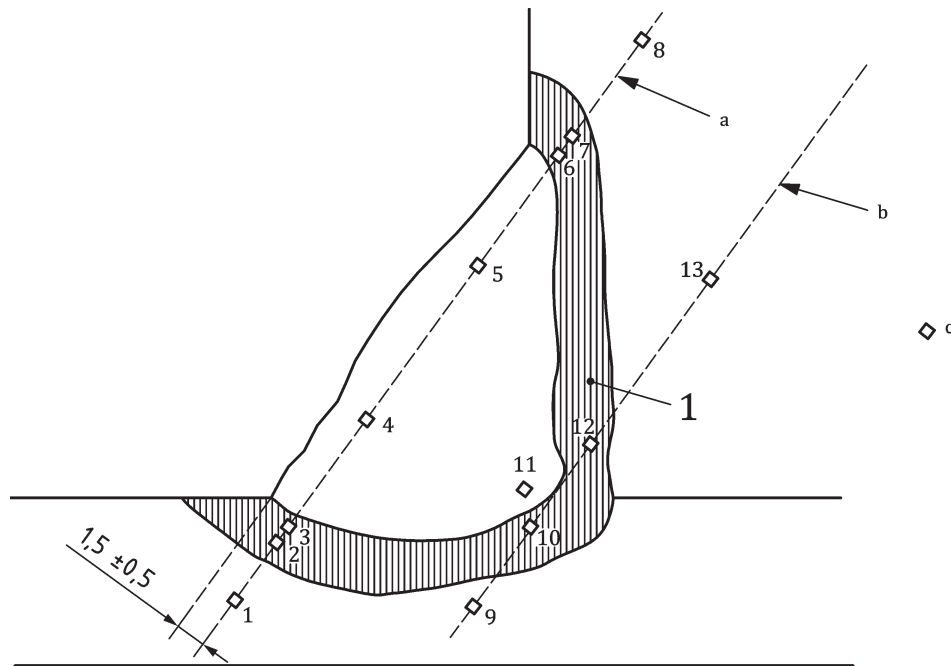
a Messlinien.

b Härteeindrücke: Die Eindrücke 2, 3, 6, 7, 10, 11, 14, 15, 17 und 19 sollten sich gänzlich innerhalb der Wärmebeeinflusszone befinden und möglichst nahe an der Schmelzgrenze zwischen dem Schweißmetall und der Wärmebeeinflusszone angeordnet sein.

Die oberste Messlinie sollte so angeordnet sein, dass die Eindrücke 2 und 6 mit der Wärmebeeinflusszone der Decklage oder des Profilwechsels der mit der Decklage verbundenen Verschmelzungslinie zusammenfällt.

Bild 2 — Messverfahren zur Messung der Härte nach Vickers für Stoßnähte

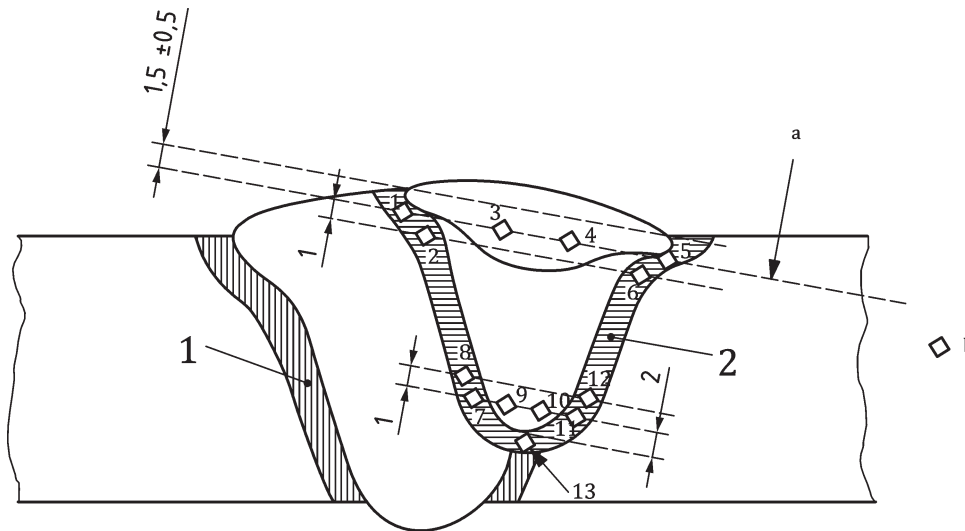
Maße in Millimeter



Legende

- 1 Wärmeeinflusszone der Schweißnaht (nach dem Ätzen sichtbar)
- a Messlinie.
- b Messlinie, die parallel zur Linie B verläuft und durch die Schmelzgrenze zwischen dem Schweißmetall und der Wärmeeinflusszone am Hals der Kehlnaht hindurchgeht.
- c Härteeindrücke: Die Eindrücke 3, 6, 10 und 12 sollten sich gänzlich innerhalb der Wärmeeinflusszone befinden und möglichst nahe an der Schmelzgrenze zwischen dem Schweißmetall und der Wärmeeinflusszone angeordnet sein

Bild 3 — Kehlnaht



Legende

- 1 Wärmeeinflusszone der ursprünglichen Schweißnaht
- 2 Wärmeeinflusszone der Ausbesserungsschweißnaht

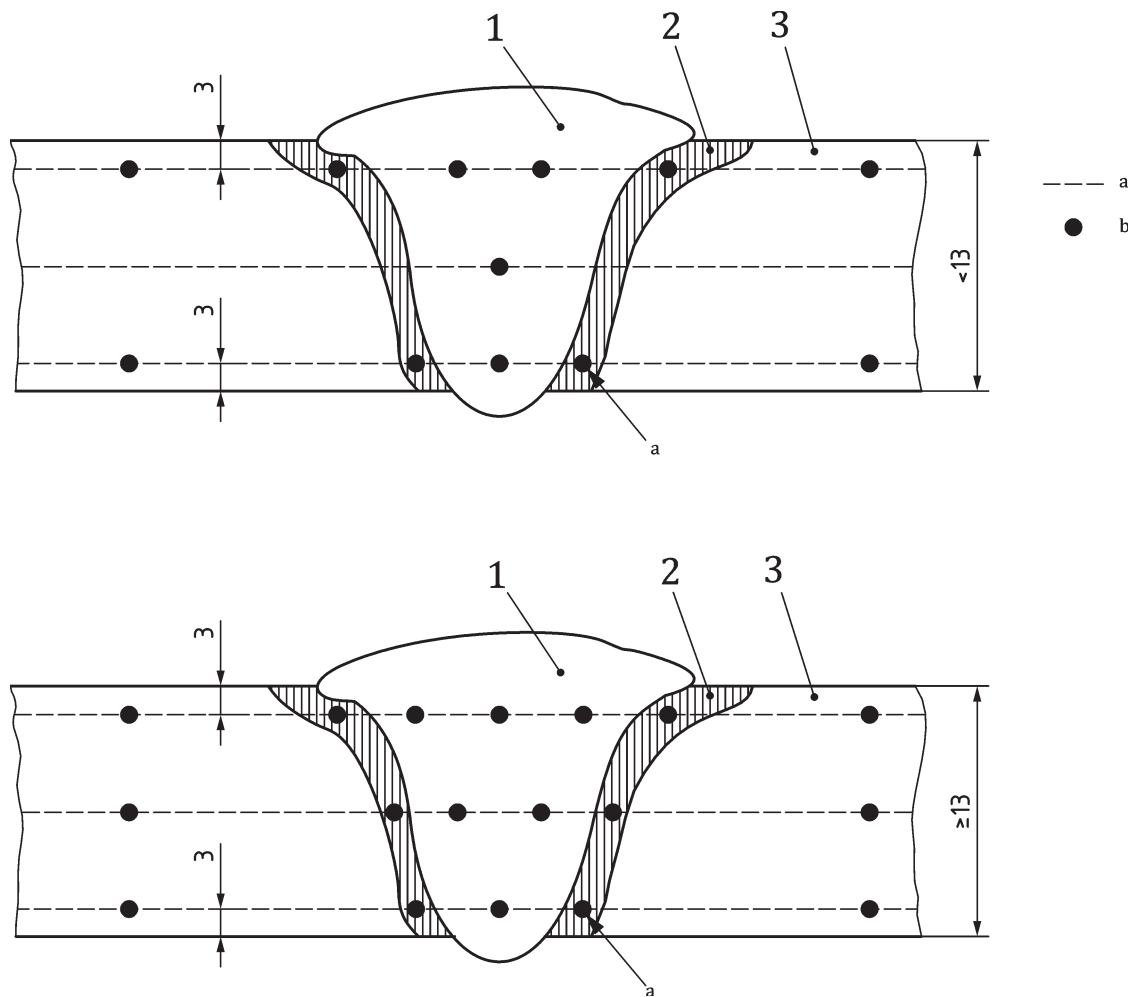
a Parallele Messlinien.

b Härteeindrücke: Eindrücke in der Wärmeeinflusszone sollten möglichst nahe an der Schmelzgrenze angeordnet sein.

Die oberste Messlinie sollte so angeordnet sein, dass die Eindrücke in der Wärmeeinflusszone mit der Wärmeeinflusszone der Decklage oder des Schweißkappenprofilwechsels der mit der Decklage verbundenen Verschmelzungslinie zusammenfällt.

Bild 4 — Ausbesserungsschweißnähte und teilweise durchgeschweißte Nähte

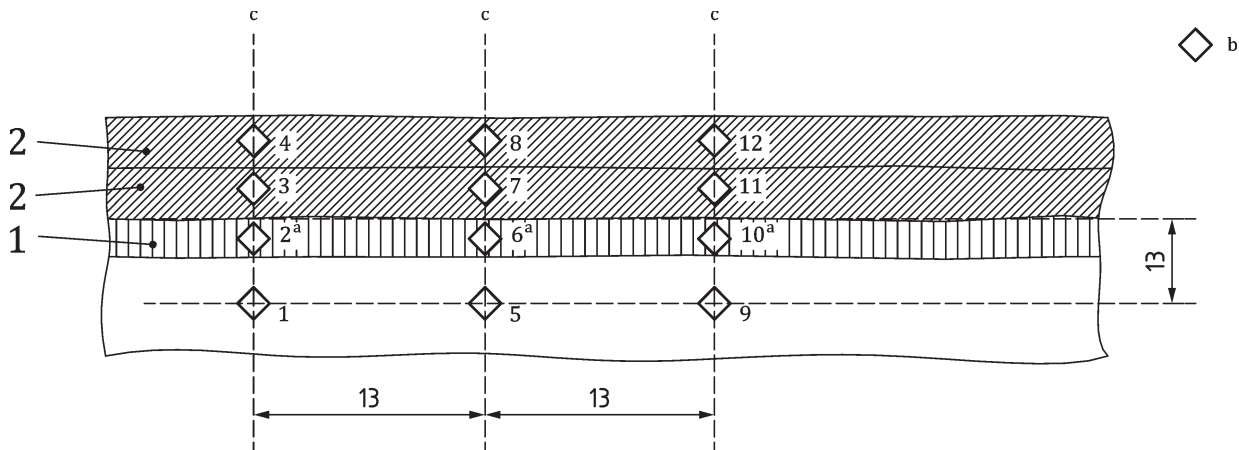
Maße in Millimeter



Legende

- 1 Schweißnaht
- 2 Wärmeeinflusszone der Schweißnaht (nach dem Ätzen sichtbar)
- 3 Grundmetall
- a Messlinien.
- b Härteeindrücke: Eindrücke in der Wärmeeinflusszone sollten innerhalb von 2 mm von der Schmelzgrenze angeordnet sein.

Bild 5 — Messverfahren zur Messung der Rockwellhärte bei Stoßnähten



Legende

- 1 Wärmeeinflusszone der Schweißnaht (nach dem Ätzen sichtbar)
- 2 Auftragsschweißschicht (nach dem Ätzen sichtbar)

Das Messverfahren zur Messung der Rockwellhärte HRC darf nach den Anforderungen von 7.3.3.2 angewendet werden. Die HRC-Härteeindrücke in der Wärmeeinflusszone müssen innerhalb von 2 mm von der Schmelzgrenze angeordnet sein.

- ^a Bei Anwendung der Messverfahren nach Vickers oder nach Rockwell HR 15N sollten die Härteeindrücke 2, 6 und 10 sich gänzlich innerhalb der Wärmeeinflusszone befinden und möglichst nahe, jedoch nicht mehr als 1 mm von der Schmelzgrenze zwischen der Auftragsschweißung und der Wärmeeinflusszone entfernt angeordnet sein.
- ^b Härteeindrücke.
- ^c Messlinien für die Härteeindrücke 1 bis 12.

Bild 6 — Auftragsschweißung

7.3.3.4 Annahmekriterien für die Härte von Schweißnähten

Die Annahmekriterien für die Härte von Schweißnähten bei Stählen, die nach Wahlmöglichkeit 1 ausgewählt wurden (siehe 7.1), müssen den in A.2.1.4 festgelegten Werten entsprechen. Alternative Annahmekriterien für die Härte von Schweißnähten dürfen anhand erfolgreich durchgeführter Prüfungen auf SSC an geschweißten Proben festgelegt werden. Die SSC-Prüfungen müssen nach Anhang B erfolgen.

Die Annahmekriterien für die Härte von Schweißnähten bei Stählen, die nach Wahlmöglichkeit 2 qualifiziert und/oder ausgewählt wurden (siehe 7.2), dürfen anhand erfolgreich durchgeführter Prüfungen auf SSC an geschweißten Proben festgelegt werden. Die SSC-Prüfungen müssen nach Anhang B erfolgen.

7.4 Weitere Herstellungsverfahren

Bei Stählen, die einer Änderung der Härte unterliegen, die durch andere Herstellungsverfahren als Schweißen hervorgerufen werden, ist die Härteprüfung als Teil der Qualifizierung des Herstellungsprozesses festzulegen. Die Härteprüfung ist als Teil der Qualifizierung von Brenn- und Schneidarbeiten festzulegen, wenn im Endprodukt eine Wärmeeinflusszone (HAZ) verbleibt. Es müssen die für das Herstellungsverfahren ausgelegten Anforderungen sowie die Annahmekriterien für die Härte nach 7.3 gelten.

Die Form und Lage der für die Beurteilung und Prüfung verwendeten Proben müssen für den Nutzer der Ausrüstung annehmbar sein.

8 Beurteilung von unlegierten und niedriglegierten Stählen hinsichtlich ihrer Beständigkeit gegen HIC/SWC

Der Nutzer der Ausrüstung muss bei der Beurteilung von unlegierten Flachstahlprodukten für Umgebungen mit saurem Einsatzbereich, selbst wenn sie nur Spuren Mengen von H₂S enthalten, HIC/SWC wie in ISO 15156-1 festgelegt berücksichtigen und Prüfungen dieser Produkte auf HIC/SWC in Erwägung ziehen. Anhang B gibt eine Anleitung zu Prüfverfahren und Annahmekriterien für die Beurteilung der Beständigkeit gegen HIC/SWC.

Die Wahrscheinlichkeit, dass HIC/SWC auftritt, wird durch die chemischen Eigenschaften des Stahls und den Fertigungsweg beeinflusst. Der Schwefelgehalt im Stahl ist von besonderer Bedeutung, typische maximal annehmbare Gehalte sind bei Flachstahlprodukten ein Massenanteil von 0,003 % bzw. ein Massenanteil von 0,01 % bei nahtlos gewalzten Produkten. Gebräuchliche Schmiedestücke mit einem Schwefelgehalt von weniger als 0,025 % Massenanteil sowie Gussstücke werden üblicherweise nicht als empfindlich gegenüber HIC oder SOHIC betrachtet.

ANMERKUNG 1 HIC/SWC, die zu einer Stofffreisetzung führt, ist bei nahtlosen Rohren und anderen Erzeugnissen, die nicht flachgewalzt sind, nur selten aufgetreten. Außerdem sind nahtlose Rohre, die nach modernen Technologien hergestellt werden, wesentlich weniger empfindlich gegenüber HIC/SWC als ältere Produkte. Daher kann die Beurteilung von nahtlosen Rohren hinsichtlich ihrer Beständigkeit gegen HIC/SWC für Anwendungen, bei denen die möglichen Folgen eines Versagens dies rechtfertigen, von Nutzen sein.

ANMERKUNG 2 Es wird vermutet, dass sich durch das Vorhandensein von Eisenoxid, Schwefel oder Sauerstoff in der Umgebung des Einsatzbereiches, insbesondere gemeinsam mit Chloriden, die Wahrscheinlichkeit von Schädigungen erhöht.

9 Kennzeichnung, Beschriftung und Dokumentation

Werkstoffe nach diesem Dokument müssen vor ihrer Auslieferung vorzugsweise mittels Kennzeichnung rückverfolgbar gemacht werden. Eine entsprechende Beschriftung oder Dokumentation ist ebenfalls annehmbar.

Bei Werkstoffen, die für eine besondere Anwendung nach Anhang B qualifiziert und ausgewählt wurden, muss die Rückverfolgbarkeit eine Verweisung auf die Umgebungsbedingungen des besonderen Einsatzbereiches enthalten.

Der Nutzer der Ausrüstung darf vom Lieferanten der Ausrüstung oder der Werkstoffe verlangen, dass ihm eine Dokumentation zur Verfügung gestellt wird, die Angaben zu den in der Ausrüstung oder den Bauteilen enthaltenen Werkstoffen sowie zu den Grenzwerten für ihre Umgebungsbedingungen, wie in diesem Dokument festgelegt, enthält.

Tabelle E.1 und Tabelle E.2 enthalten Bezeichnungen, die zur Kennzeichnung von Werkstoffen verwendet werden dürfen.

Anhang A (normativ)

Gegen SSC beständige unlegierte und niedriglegierte Stähle (und Anforderungen und Empfehlungen zur Verwendung von Gusseisen)

A.1 Allgemeines

Dieser Anhang umfasst eine Beschreibung und Auflistung von gegen SSC beständigen unlegierten und niedriglegierten Stählen. Anforderungen an die Verwendung von Gusseisen sind in A.2.4 aufgeführt.

Stähle nach diesem Anhang könnten ohne Festlegung zusätzlicher Anforderungen möglicherweise nicht gegen SOHIC, SZC, HIC oder SWC beständig sein (siehe 7.2.2 und/oder Abschnitt 8).

ANMERKUNG A.2 stimmt mit den bereits zuvor festgelegten Anforderungen von NACE MR0175 überein.

Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses Dokumentes liegen keine Auflistungen von Stählen, die für den SSC-Bereich 2 (A.3) oder für den SSC-Bereich 1 (A.4) anerkannt sind, vor. Deshalb wird in A.3 und A.4 lediglich auf Eigenschaften hingewiesen, die für Stähle typisch sind, von denen erwartet wird, dass sie für die Verwendung unter den festgelegten Bedingungen geeignet sind.

A.2 Gegen SSC beständige unlegierte und niedriglegierte Stähle und die Verwendung von Gusseisen

A.2.1 Allgemeine Anforderungen an unlegierte und niedriglegierte Stähle

A.2.1.1 Allgemeines

Unlegierte und niedriglegierte Stähle müssen A.2.1.2 bis A.2.1.9 entsprechen.

Unlegierte und niedriglegierte Stähle, Produkte und Bauteile, die A.2 entsprechen, sind, mit den festgelegten Ausnahmen, nach diesem Dokument ohne weitere Prüfung auf SSC qualifiziert. Trotzdem müssen alle SSC-Prüfungen, die Teil einer Herstellungsspezifikation für einen Werkstoff sind, erfolgreich durchgeführt werden und die Ergebnisse sind aufzuzeichnen.

Die Mehrheit der Stähle, die den allgemeinen Anforderungen von A.2 entsprechen, wird nicht einzeln aufgeführt; der Einfachheit halber werden jedoch einige Beispiele für solche Stähle in Tabelle A.2, Tabelle A.3 und Tabelle A.4 aufgeführt.

ANMERKUNG 1 Die in NACE MR0175 (alle überarbeiteten Fassungen) beschriebenen/angegebenen unlegierten und niedriglegierten Stähle wurden durch umfassende Zuordnungen von fehlgeschlagenen/erfolgreichen Feldprüfungen sowie Laborwerten bestimmt. Der für die meisten unlegierten und niedriglegierten Stähle geltende Härte-Grenzwert von HRC 22 beruht auf Wechselbeziehungen von Wärmebehandlung, chemischer Zusammensetzung, Härte und Erfahrungswerten aus Schäden. Die höheren Grenzwerte für die Härte von Chrom-Molybdän-Stählen beruhen auf ähnlichen Betrachtungen.

ANMERKUNG 2 Es kann möglich sein, einen unlegierten oder niedriglegierten Stahl, der nicht im Text oder in den Tabellen von A.2 beschrieben oder aufgelistet ist, für die Verwendung in besonderen Anwendungen in sauren Einsatzbereichen oder in einem Bereich mit Sauerogas nach Wahlmöglichkeit 2 (7.2) zu qualifizieren.

A.2.1.2 Zusammensetzung des Grundmetalls, Wärmebehandlung und Härte

Unlegierte und niedriglegierte Stähle sind bei einer maximalen Härte von 22 HRC unter der Voraussetzung annehmbar, dass sie einen Massenanteil von weniger als 1 % Nickel enthalten, es sich dabei nicht um Automatenstähle handelt und sie in einem der folgenden Wärmebehandlungszustände verwendet werden:

- a) warmgewalzt (nur unlegierte Stähle);
- b) wärmebehandelt;
- c) normalgeglüht;
- d) normalgeglüht und angelassen;
- e) normalgeglüht, austenitisiert, vergütet;
- f) austenitisiert, vergütet.

A.2.1.3 Unlegierte Stähle, die mit überarbeiteten oder zusätzlichen Einschränkungen annehmbar sind

Zusätzlich zu den Einschränkungen in A.2.1.2 sind einige unlegierte Stähle in Abhängigkeit von den folgenden überarbeiteten oder zusätzlichen Einschränkungen annehmbar:

- a) nach ASTM A105 hergestellte Schmiedestücke sind annehmbar, wenn die Härte nicht mehr als 187 HBW beträgt;
- b) durch Warmverformung bearbeitete Rohrformstücke nach ASTM A234, Klasse WPB und WPC, sind annehmbar, wenn die Härte nicht mehr als 197 HBW beträgt.

A.2.1.4 Schweißarbeiten

Schweißarbeiten und Bestimmungen der Härte von Schweißnähten sind nach 7.3.3 durchzuführen.

Annehmbare Höchstwerte für die Härte von Kohlenstoffstahl, Kohlenstoff-Mangan-Stahl und von Schweißnähten aus niedriglegierten Stählen sind in Tabelle A.1 angegeben.

Bei unbehandelten Kohlenstoffstählen, Kohlenstoff-Mangan-Stählen und niedriglegierten Stählen, die die Anforderungen an die Härte nach Tabelle A.1 erfüllen, ist eine Wärmenachbehandlung nach dem Schweißen nicht erforderlich.

Rohrförmige Produkte mit einer festgelegten Mindeststreckgrenze (SMYS) von nicht mehr als 360 MPa (52 ksi), die in Tabelle A.2 aufgeführt sind, sind im unbehandelten Zustand annehmbar. Bei diesen Produkten darf bei Zustimmung des Nutzers der Ausrüstung auf eine Härteprüfung der Schweißverfahren verzichtet werden.

Einige rohrförmige Produkte mit einer festgelegten Mindeststreckgrenze (SMYS) von mehr als 360 MPa (52 ksi) (siehe A.2.2.2) können im unbehandelten Zustand annehmbar sein, wenn geeignete qualifizierte Schweißverfahren angewendet werden. Die Bedingungen von Tabelle A.1 sind zu erfüllen.

Schweißstellen von unlegierten Stählen, Kohlenstoff-Mangan-Stählen und niedriglegierten Stählen, die nicht mit den anderen Anforderungen dieses Unterabschnitts übereinstimmen, sind nach dem Schweißen einer Wärmenachbehandlung zu unterziehen. Die Temperatur und Dauer der Wärmebehandlung sind so zu wählen, dass sichergestellt wird, dass die nach 7.3 bestimmte maximale Härte der Schweißzone 250 HV beträgt, oder in Abhängigkeit von den in 7.3.3 beschriebenen Einschränkungen 22 HRC.

Bei der Wärmenachbehandlung nach dem Schweißen ist für niedriglegierte Stähle eine Mindesttemperatur von 621 °C (1 150 °F) anzuwenden.

Die Annehmbarkeit aller durch die gewählte Wärmebehandlung und ihre Dauer verursachten Auswirkungen auf andere mechanische Eigenschaften als auf die Härte muss der Zustimmung des Nutzers der Ausrüstung unterliegen.

Schweißzusätze und -verfahren, die ein Schweißgut erzeugen, das einen Massenanteil an Nickel von mehr als 1 % enthält, sind nach erfolgreicher Qualifizierung der Schweißnaht auf SSC durch Prüfung nach Anhang B annehmbar.

Tabelle A.1 — Annehmbare Höchstwerte für die Härte von Kohlenstoffstahl, Kohlenstoff-Mangan-Stahl und Schweißnähte aus niedriglegiertem Stahl

Härteprüfverfahren	Stellen für die Härteprüfung zur Qualifizierung des Schweißverfahrens	Annehmbare höchste Härte
Vickers HV 10 oder HV 5 oder Rockwell HR 15N	Schweißnahtwurzel:	250 HV
	Grundmetall, HAZ und Metall für die Schweißnahtwurzel wie in Bild 2, Bild 3 oder Bild 4 dargestellt	70,6 HR 15N
	Grundmetall und HAZ für Auftragsschweißungen wie in Bild 6 dargestellt, siehe auch A.2.1.5 b)	250 HV 70,6 HR 15N
	Schweißkappe: Grundmetall, HAZ und Schweißmetall der nicht medienberührten Schweißkappe wie in Bild 2 oder Bild 4 dargestellt	275 HV ^a 73,0 HR 15N
Rockwell HRC; siehe 7.3.3.2	wie in Bild 5 dargestellt	22 HRC
	Grundmetall und HAZ für Auftragsschweißungen wie in Bild 6 dargestellt; siehe auch A.2.1.5 b)	22 HRC
^a Der Höchstwert muss 250 HV oder 70,6 HR 15N betragen, außer wenn alle drei der folgenden Bedingungen erfüllt sind: — der Nutzer der Ausrüstung stimmt dem alternativen Grenzwert für die Härte der Schweißkappe zu; — das/die Grundmetall(e) ist/sind mehr als 9 mm dick; — die Schweißkappe ist der sauren Umgebung nicht direkt ausgesetzt.		

A.2.1.5 Oberflächenbehandlungen, Deckschichten, galvanische Überzüge, Beschichtungen, Auskleidungen usw.

ANMERKUNG Die Zusammensetzung und Beständigkeit gegen Rissbildung von Deckschichten werden in ISO 15156-3 behandelt.

Metallische Überzüge (elektrolytisch und stromlos abgeschieden), Konversionsbeschichtungen, Kunststoffüberzüge und Auskleidungen sind zur Verhinderung von SSC nicht annehmbar.

Durch thermische Verfahren, wie z. B. Schweißen, Hartlöten mit Silberlot oder Metallspritzen aufgebraute Deckschichten sind annehmbar, wenn sie eine der folgenden Anforderungen erfüllen:

- der wärmebehandelte Zustand des Trägerwerkstoffs ist unverändert, d. h. beim Aufbringen der Deckschicht wird die untere kritische Temperatur nicht überschritten;
- der Höchstwert der Härte und der endgültige wärmebehandelte Zustand des Grundmetall-Trägerwerkstoffs entsprechen A.2.1.2 und bei Auftragsschweißungen A.2.1.4. Auf diese Anforderung darf nach

ISO 15156-3:2020, A.13.1 verzichtet werden. Der Höchstwert der Härte und/oder weitere Eigenschaften des Schweißgutes müssen den Anforderungen von ISO 15156-3 oder dieses Dokumentes, wie jeweils anwendbar, entsprechen.

Die Verbindung ungleicher Werkstoffe, wie z. B. die Verbindung von Hartmetallen mit Stählen durch Hartlöten mit Silberlot, ist annehmbar. Das Grundmetall nach dem Hartlöten muss A.2.1.2 entsprechen.

Nitrieren mit einer maximalen Einsatzhärtungstiefe von 0,15 mm (0,006 in) ist eine annehmbare Form der Oberflächenbehandlung, sofern es bei einer Temperatur durchgeführt wird, die unter der unteren kritischen Temperatur der zu behandelnden Legierung liegt.

A.2.1.6 Kaltverformung und Spannungsarmglühen

Unlegierte und niedriglegierte Stähle sind nach jeder Kaltverformung durch Walzen, Kaltschmieden oder weitere Herstellungsprozesse, die zu einer bleibenden Randfaserverformung von mehr als 5 % führen, spannungsarm zu glühen. Das Spannungsarmglühen muss nach einer geeigneten Richtlinie oder Norm erfolgen. Die Mindesttemperatur für das Spannungsarmglühen muss 593 °C (1 100 °F) betragen. Der endgültige Höchstwert der Härte muss 22 HRC betragen, außer bei nach ASTM A234, Klasse WPB oder WPC, hergestellten Rohrformstücken, für die die endgültige Härte 197 HBW nicht überschreiten darf.

Die vorstehend angegebene Anforderung gilt nicht für durch Druckprüfung vermittelte Kaltverformung nach einer zutreffenden Richtlinie oder Norm bei Zustimmung durch den Nutzer der Ausrüstung.

Durch Umlauf-Kaltrichten bearbeitete Rohre sind nur annehmbar, wenn dies nach den zutreffenden ISO- oder API-Produktnormen zulässig ist; siehe auch A.2.2.3.4.

Kaltverformte Formstücke für Leitungsrohre nach ASTM A53, Klasse B, ASTM A106, Klasse B, API 5L, Klasse X-42, ISO 3183, Klasse L290 oder Klassen mit geringerer Streckgrenze mit ähnlichen chemischen Zusammensetzungen sind bei einer Kaltverformung, die 15 % oder weniger entspricht, unter der Voraussetzung annehmbar, dass die Härte im beanspruchten Bereich nicht mehr als 190 HBW beträgt.

Zur Begründung weiterer Grenzwerte für die Kaltverformung dürfen die SSC-Prüfung und die Qualifizierung nach Anhang B verwendet werden.

A.2.1.7 Gewindeschneiden

Mit einem maschinellen Schneidevorgang hergestellte Gewinde sind annehmbar.

Gewinde, die durch Kaltformen (Walzen) hergestellt werden, sind bei Stählen annehmbar, die ansonsten die Anforderungen an die Wärmebehandlung und Härte nach A.2.1.2 erfüllen.

A.2.1.8 Kaltverformung von Oberflächen

Die Kaltverformung von Oberflächen ist annehmbar, sofern sie durch Prozesse wie z. B. Polieren verursacht wird, die nicht mehr Kaltumformungsarbeit implizieren, als bei gewöhnlichen Bearbeitungsverfahren anfällt (wie z. B. Drehen, Bohren, Walzen, Gewindeschneiden, Aufbohren usw.).

Kaltverformung durch gesteuertes Kugelstrahlen ist annehmbar, wenn sie bei Grundwerkstoffen angewendet wird, die diesem Dokument entsprechen, und wenn sie auf eine maximale Kugelgröße von 2,0 mm (0,080 in) und eine Almenintensität von nicht mehr als 10C beschränkt ist. Der Prozess muss nach SAE AMS-2430 gesteuert werden.

A.2.1.9 Identifizierungsprägung

Die Verwendung einer Identifizierungsprägung unter Verwendung von spannungsarmen (Punkt-, Schwingungs- und abgerundeten V-) Stempeln ist annehmbar.

Die Verwendung herkömmlicher scharfer V-Stempel ist in spannungsarmen Bereichen, wie z. B. dem Außendurchmesser von Flanschen, annehmbar.

Eine herkömmliche scharfe V-Prägung darf in Bereichen mit hoher Spannung nicht vorgenommen werden, wenn dieser Bereich nicht nachfolgend bei einer Mindesttemperatur von 593 °C (1 100 °F) spannungsarmgeglüht wird.

A.2.2 Anwendung bei bestimmten Produktformen

A.2.2.1 Allgemeines

Außer wie nachstehend geändert gelten die allgemeinen Anforderungen von A.2.1 für alle Produktformen.

A.2.2.2 Rohr, Blech und Formstücke

Beispiele für rohrförmige Produkte, die A.2.1 entsprechen können, sind in Tabelle A.2 aufgeführt.

Stähle für Druckbehälter, die als P-Nr. 1, Gruppe 1 oder Gruppe 2, in Abschnitt IX des ASME Boiler and Pressure Vessel Code eingestuft werden, sind annehmbar.

Produkte, die aus Flachstählen hergestellt werden, die mit Spuren Mengen H_2S in Berührung kommen [d. h., selbst wenn p_{H_2S} weniger als 0,3 kPa (0,05 psi) beträgt], können anfällig für Schädigungen durch HIC/SWC sein.

Tabelle A.2 — Beispiele für rohrförmige Produkte, die A.2.1 entsprechen können

ISO-Spezifikationen und Klassen	Andere Bezeichnungen
ISO 3183 Klassen: L245 bis L450	API Specification 5L-Klassen: A und B und X-42 bis X-65 ASTM A53 ASTM A106, Klasse A, Klasse B und Klasse C ASTM A333 Klasse 1 und Klasse 6 ASTM A524 Klasse 1 und Klasse 2 ASTM A381, Klasse 1, Y35 bis Y65

Längsschweißnähte von Rohren müssen A.2.1 entsprechen.

A.2.2.3 Mantelrohre für Bohrlöcher, Rohre und rohrförmige Bauteile

A.2.2.3.1 Die ISO- und API-Klassen für Mantelrohre und Rohre sind für die in Tabelle A.3 angegebenen Temperaturbereiche annehmbar.

A.2.2.3.2 Aus niedriglegierten Cr-Mo-Stählen hergestellte Rohre und rohrförmige Bauteile (UNS G41XX0, früher AISI 41XX, und Modifizierungen) sind, wenn sie in der rohrförmigen Form vergütet wurden, akzeptabel, sofern ihre Härte nicht mehr als 30 HRC beträgt und sie SMYS-Klassen von 690 MPa (100 ksi),

720 MPa (105 ksi) und 760 MPa (110 ksi) zugeordnet werden. Der Höchstwert der Streckgrenze für jede Klasse darf die festgelegte Mindeststreckgrenze (SMYS) um nicht mehr als 103 MPa (15 ksi) überschreiten. Die Beständigkeit gegen SSC muss durch Prüfung jedes Prüfloses nachgewiesen werden und muss B.1 entsprechen, wobei die UT-Prüfung anzuwenden ist.

A.2.2.3.3 Aus niedriglegierten Cr-Mo-Stählen hergestellte Rohre und rohrförmige Bauteile (UNS G41XX0, früher AISI 41XX, und Modifizierungen) sind, wenn sie in der rohrförmigen Form vergütet wurden, akzeptabel, sofern ihre Härte nicht mehr als 26 HRC beträgt. Diese Produkte sollten durch Prüfung auf SSC nach B.1 mittels UT-Prüfung qualifiziert werden.

A.2.2.3.4 Wenn Rohre und rohrförmige Bauteile bei Temperaturen von 510 °C (950 °F) oder niedriger kaltgerichtet werden, müssen sie bei einer Mindesttemperatur von 482 °C (900 °F) spannungsarmgeglüht werden. Wenn Rohre und rohrförmige Bauteile kaltverformt werden (verengt und/oder aufgeweitet) und die sich daraus ergebende bleibende Randfaserverformung mehr als 5 % beträgt, so sind die kaltverformten Bereiche bei einer Mindesttemperatur von 593 °C (1 100 °F) spannungsarm zu glühen.

Wenn die Anschlüsse hochfester Rohre mit Härtewerten über 22 HRC kaltverformt werden, so sind sie bei einer Mindesttemperatur von 593 °C (1 100 °F) spannungsarm zu glühen.

Tabelle A.3 — Umgebungsbedingungen, bei denen die jeweiligen Klassen von Mantelrohren und Rohren annehmbar sind

Für alle Temperaturen	Für $\geq 65\text{ °C}$ (150 °F)	Für $\geq 80\text{ °C}$ (175 °F)	Für $\geq 107\text{ °C}$ (225 °F)
ISO 11960 ^a Klassen: H40 J55 K55 M65 L80 Typ 1 C90 Typ 1 T95 Typ 1	ISO 11960 ^a Klassen: N80 Typ Q R95 ^c C110	ISO 11960 ^a Klassen: N80 P110	ISO 11960 ^a Klasse: Q125 ^b
Zugehörige Klassen wie in A.2.2.3.3 beschrieben	Firmeneigene Güteklassen für Vergütungsstähle mit einer maximalen Streckgrenze von 760 MPa (110 ksi) oder weniger. Mantelrohre und Rohre aus niedriglegierten Cr-Mo-Stählen wie in A.2.2.3.2 beschrieben.	Firmeneigene Güteklassen für Vergütungsstähle mit einer maximalen Streckgrenze von 965 MPa (140 ksi) oder weniger.	
<p>Die angegebenen Temperaturen sind zulässige Mindestbetriebstemperaturen bezüglich SSC.</p> <p>Die Zähigkeit bei niedrigen Temperaturen (Stoßfestigkeit) wird nicht in Betracht gezogen, Nutzer der Ausrüstung müssen die Anforderungen dafür getrennt festlegen.</p> <p>^a Für die Anwendung dieser Festlegung entspricht API 5CT ISO 11960:2020.</p> <p>^b Typ 1 und Typ 2 beruhen auf Cr-Mo-Vergütungsstahl mit einer maximalen Streckgrenze bis 1 036 MPa (150 ksi). C-Mn-Stähle sind nicht annehmbar.</p> <p>^c In früheren Ausgaben von ISO 11960/API 5CT wurde dieses Klasse mit C95 bezeichnet. Für die Anwendung dieser Festlegung gelten R95 und die frühere Bezeichnung C95 als gleichwertig.</p>			

A.2.2.4 Verschraubungen und Befestigungsmittel

Verschraubungen, die direkt einer sauren Umgebung ausgesetzt sein können oder die unterirdisch verlegt, isoliert oder mit Flanschschutz versehen sind oder auf andere Weise vor direkten Witterungseinflüssen oder direkter offener Beanspruchung durch Meerwasser geschützt sind, müssen den allgemeinen Anforderungen von A.2.1 entsprechen.

Konstrukteuren und Nutzern sollte bewusst sein, dass es notwendig sein kann, bei Verwendung von gegen SSC beständigen Verschraubungen und Befestigungsmitteln den Nenndruck der Ausrüstung abzusenken. Die Verwendung von gegen SSC beständigen Verschraubungen und Befestigungsmitteln mit API-Flanschen muss nach ISO 10423 erfolgen.

Tabelle A.4 — Annehmbare Verschraubungswerkstoffe

Schrauben	Muttern
ASTM A193 Klasse B7M ASTM A320 Klasse L7M	ASTM A194 Klassen 2HM, 7M

A.2.3 Anwendung bei Ausrüstungen

A.2.3.1 Allgemeines

Es gelten die allgemeinen Anforderungen von A.2.1 mit den folgenden Änderungen.

A.2.3.2 Blowout-Preventer für Bohrungen

A.2.3.2.1 Scherblätter

Die für Scherblätter von Blowout-Preventern (BOP) verwendeten hochfesten Stähle können anfällig für SSC sein. Die Tauglichkeit von Scherblättern, die diesem Anhang nicht entsprechen, liegt in der Verantwortung des Nutzers der Ausrüstung.

A.2.3.2.2 Schieber

Schieber, die aus niedriglegierten Cr-Mo-Vergütungsstählen hergestellt sind (UNS G41XX0, früher AISI 41XX und Modifizierungen) sind annehmbar, wenn die Härte nicht mehr als 26 HRC beträgt. Beträgt die Härte dieser Legierungen mehr als 22 HRC, muss äußerst genau auf die chemische Zusammensetzung und die Wärmebehandlung geachtet werden, damit sichergestellt ist, dass sie gegen SSC beständig sind. Durch eine mit dem Nutzer der Ausrüstung vereinbarte SSC-Prüfung ist nachzuweisen, dass die Beständigkeit der Legierung der Beständigkeit des im Feld bewährten Werkstoffes entspricht oder darüber hinausgeht.

A.2.3.2.3 Bohrausrüstungen, Bohrlochaufbauten und Bohrloch-Serviceausrüstungen, die nur Bohrflüssigkeiten mit kontrollierter Zusammensetzung ausgesetzt sind

Angesichts der oftmals benötigten hohen Festigkeit könnte es sein, dass Bohrausrüstungen nicht ISO 15156 (alle Teile) entsprechen. In solchen Fällen ist das Hauptmittel zur Vermeidung von SSC die Kontrolle der Umgebung der Bohr- und Bohrloch-Serviceausrüstungen. Da sich Gebrauchsspannungen und die Werkstoffhärte erhöhen, wird die Kontrolle der Bohrflüssigkeiten zunehmend wichtiger. Es ist auf die Kontrolle der Bohrumgebung zu achten, indem das hydrostatische Gefälle der Bohrflüssigkeit und die Flüssigkeitsdichte beibehalten werden, um das Zuströmen von Formationsflüssigkeit auf ein Mindestmaß zu verringern, und indem ein oder mehrere der folgenden Punkte angewendet werden: