

Kurzeinführung metallische Werkstoffe

Herstellung von Stahl:

- Im Hochofen wird aus aufbereitetem Eisenerz **Roheisen** gewonnen
- Durch unterschiedliche **Stahlerzeugungsverfahren** wie Thomas-Verfahren, Bessemer-Verfahren, Siemens-Martin-Verfahren, Sauerstoff-Aufblas-Verfahren wird Luft durch die Schmelze des Roheisens geblasen und damit der Kohlenstoffgehalt und der Gehalt an unerwünschten Eisenbegleitern wie Phosphor und Schwefel gesenkt.
- Durch Zugabe verschiedener Legierungselemente und Schrott als Sekundärrohstoff, wird eine Schmelze mit der gewünschten chemischen Zusammensetzung erzeugt.
- In Abhängigkeit vom Kohlenstoffgehalt, den sonstigen Legierungselementen und der Abkühlung aus der Schmelze, entstehen verschiedene Gefügearten wie z. B. Ferrit, Perlit, Martensit und Austenit, die z. B. in kubisch- raumzentrierten „krz“ oder kubisch-flächenzentrierten „kfc“ Kristallgittern erstarren (siehe E-K-D).
- Bei anschließender Wärmebehandlung wird der Werkstoff mit seinen mechanisch, technologischen Eigenschaften hergestellt. Erst jetzt erhält der Werkstoff seine Werkstoffbezeichnung.

Kurzeinführung metallische Werkstoffe

Werkstoffhauptgruppen:

- **Gusseisen** Eisen-Basiswerkstoffe; Werkstoff Nr. **0.xxxx** meist nicht duktil
- **Stahl** Eisen-Basiswerkstoffe; Werkstoff Nr. **1.xxxx**
- **Schwermetalle** z. B. Nickel-Basiswerkstoffe; Werkstoff Nr. **2.xxxx**
- **Leichtmetalle** z. B. Aluminium-Basiswerkstoff; Werkstoff Nr. **3.xxxx**

Kurzeinführung metallische Werkstoffe

Auszug Werkstoffnummer – Systematik – Grund- Qualitäts- und Edelstähle

Unlegierte Stähle

Grundstähle: 1.0000 bis 1.0099

Qualitätsstähle: 1.0100 bis 1.0999

Edelstähle: 1.1000 bis 1.1400

Werkzeugstähle: 1.1500 bis 1.1900

Legierte Edelstähle

legierte Werkzeugstähle: 1.2000 bis 1.2999

Schnellarbeitsstähle: 1.3000 bis 1.3399

Verschleißfeste Stähle: 1.3400 bis 1.3499

Wälzlagerstähle: 1.3500 bis 1.3599

Werkstoffe mit besonderen physikalischen Eigenschaften: 1.3600 bis 1.3999

Nicht rostende Stähle

nicht rostende Stähle: 1.4000 bis 1.4599

hochwarmfeste und nicht rostende Stähle: 1.4600 bis 1.4699

Hitzebeständige und hochwarmfeste Stähle

hitzebeständige Stähle < 2,5% Nickel: 1.4700 bis 1.4799

hitzebeständige Stähle > 2,5% Nickel: 1.4800 bis 4899

hochwarmfeste Stähle: 1.4900 bis 1.4999

Bau- Maschinenbau- und Behälterbaustähle: 1.5000 bis 1.8999

Kurzeinführung metallische Werkstoffe

Europäische Werkstoffbezeichnung von Stahl:

Stähle werden mit unterschiedlichen **Werkstoffbezeichnungen** benannt (siehe hierzu DIN EN 10027-1,-2)

- **Nach der Streckgrenze** z. B. S235JR oder P250GH
- **Nach dem Kohlenstoffgehalt** z. B. C15 oder C45
- **Nach der chemischen Zusammensetzung** z. B. niedrig legiert: 13CrMo4-5; oder hochlegiert: X6CrNiMoTi17-12-2
- Werkstoffe werden auch **mit Werkstoffnummern** benannt z. B. 1.7335, oder 1.4571
- Werkstoffe werden auch **mit Werkstoffkurzbezeichnungen** benannt z. B. KG (25CrMo4), GA (21CrMoV5-7) oder A4-70 (18%Cr/9%Ni/2%Mo)

Kurzeinführung metallische Werkstoffe

Europäische Werkstoffbezeichnung von Stahl und ihre Erzeugnis-Spezifikation:

Wenn man einen Werkstoff benennen will, ob mit der Streckgrenze, dem Kohlenstoffgehalt, der chemischen Zusammensetzung oder mit seiner Werkstoffnummer, dann muss immer auch die entsprechende Erzeugnis-Spezifikation genannt werden.

In den Erzeugnis-Spezifikationen, sind die Art (z. B. Rohr, Guss, Schmiedeteil), die erforderlichen chemischen und mechanischen Eigenschaften sowie die Wärmebehandlung und die Prüfungen bindend festgelegt.

Nur mit Angabe der entsprechenden Erzeugnis-Spezifikation ist ein Werkstoff ausreichend spezifiziert.

Beispiele:

- P235GH-TC1 nach **DIN EN 10216-2** und **AD2000 HP100R**
- GP240GH nach **DIN EN 10213** und **AD2000 W5**
- 2.4360 nach **VdTÜV- Werkstoffblatt 263**
- 1.4571 nach **DIN EN 10222-5** und **AD2000 W2**

Kurzeinführung metallische Werkstoffe

Amerikanische Werkstoffbezeichnung von Stahl:

International gibt es auch noch andere Werkstoffe und Werkstoffbezeichnungen, die auch in anderen Regelwerke spezifiziert sind. Dies sind z. B. die amerikanischen Regelwerke wie:

- ANSI** (American National Standards Institute)
- ASME** (American Society of Mechanical Engineers)
- ASTM** (American Society for Testing and Materials)
- AISI** (American Iron and Steel Institute)
- SAE** (Society of Automotive Engineers)
- UNS** (Unified Numbering System for Metals and Alloys)

Beispiele:

- **WCB** nach **ASTM A 216** (DIN EN Werkstoff 1.0619)
- **Alloy 400** (N04400) nach **ASTM B 165** (DIN EN Werkstoff 2.4360)
- **SAE 30321**, **AISI 321**, **UNS S32100** (DIN EN Werkstoff 1.4541)

Kurzeinführung metallische Werkstoffe

Wärmebehandlung von Stahl:

- Beispiele von Glühverfahren:

- Spannungsarmglühen 400°C – 600°C (Abbau von inneren Spannungen)
- Rekristallisationsglühen 500°C – 700°C (entfernen von Kaltumformungseffekten)
- Normalglühen 800°C – 920°C (für ein gleichmäßiges feinkörniges Gefüge)
- Weichglühen 620°C – 840°C (Verbesserung der Bearbeitbarkeit, geringe Festigkeit)
- Grobkornglühen 900°C – 1000°C (Verbesserung der Bearbeitbarkeit, grobes Korn)
- Diffusionsglühen 1150°C – 1250°C (örtliche Unterschiede in der chem. Zusammensetzung zu verringern)

- **Härten – Anlassen = Vergüten** (für gute Zähigkeit bei gegebener Festigkeit)

Kurzeinführung metallische Werkstoffe

Verarbeitungsbeispiele von Stahl:

- - **Gießen** (verschiedene Verfahren)
Die Korrosionsbeständigkeit und die mechanischen Eigenschaften sind bei Guss meistens schlechter als bei geschmiedeten Bauteilen
- - **Umformen** Kalt- und Warmumformen
Schmieden, Walzen, Ziehen
Durch die dabei erzeugte Textur (Faserverlauf) können anisotrope Eigenschaften entstehen
- - **Schweißen**
Dabei müssen die Vorwärmung, die Schweißparameter, der Schweißzusatz und die Wärmenachbehandlung beachtet werden
- - **Zerspanende Verarbeitung**
Durch Zerspanung kann die Textur (Faserverlauf) von einem Bauteil ungünstig gestört werden

Kurzeinführung metallische Werkstoffe

Werkstoffprüfungen:

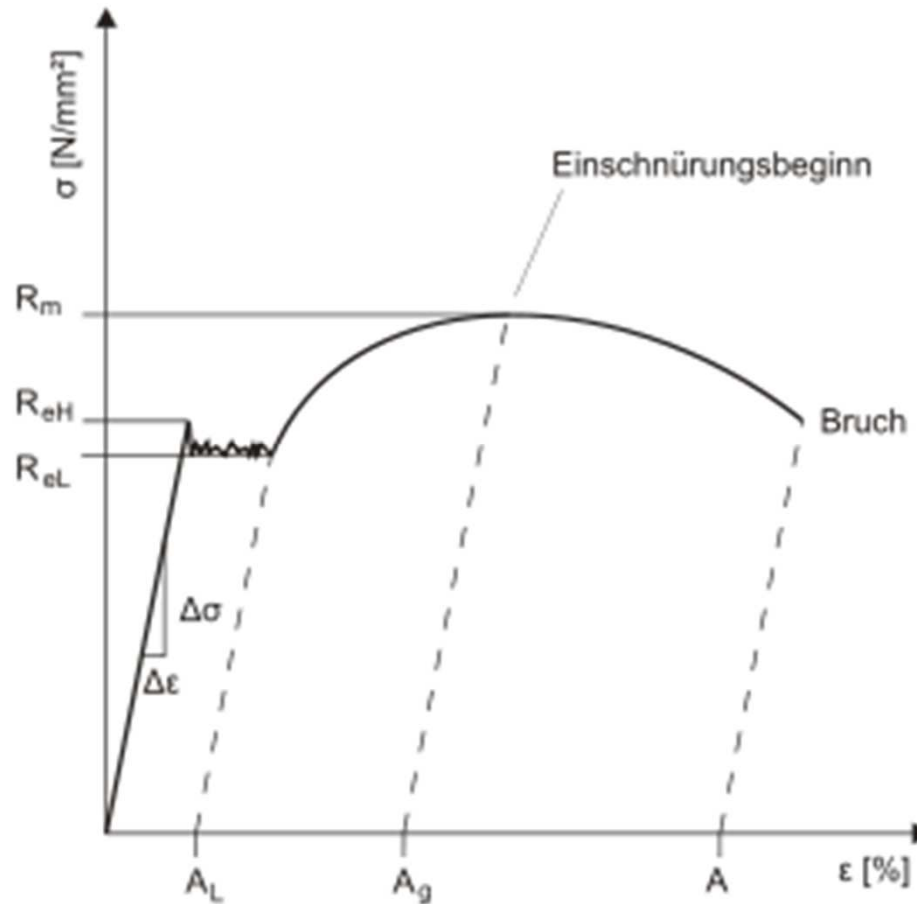
Werkstoffe können mit folgenden Methoden **zerstörend** geprüft werden:

- Zugversuch (bei Raumtemperatur und erhöhter Temperatur)
- Kerbschlagbiegeversuch (bei Raumtemperatur und tiefer Temperatur)
- Faltversuch
- Ringfalt-, Ringaufdorn- und Aufweitversuch (bei Rohren)
- Gefügeabdruck

Kurzeinführung metallische Werkstoffe

Werkstoffprüfungen:

Zugversuch zum Nachweis
der **Festigkeitseigenschaften**

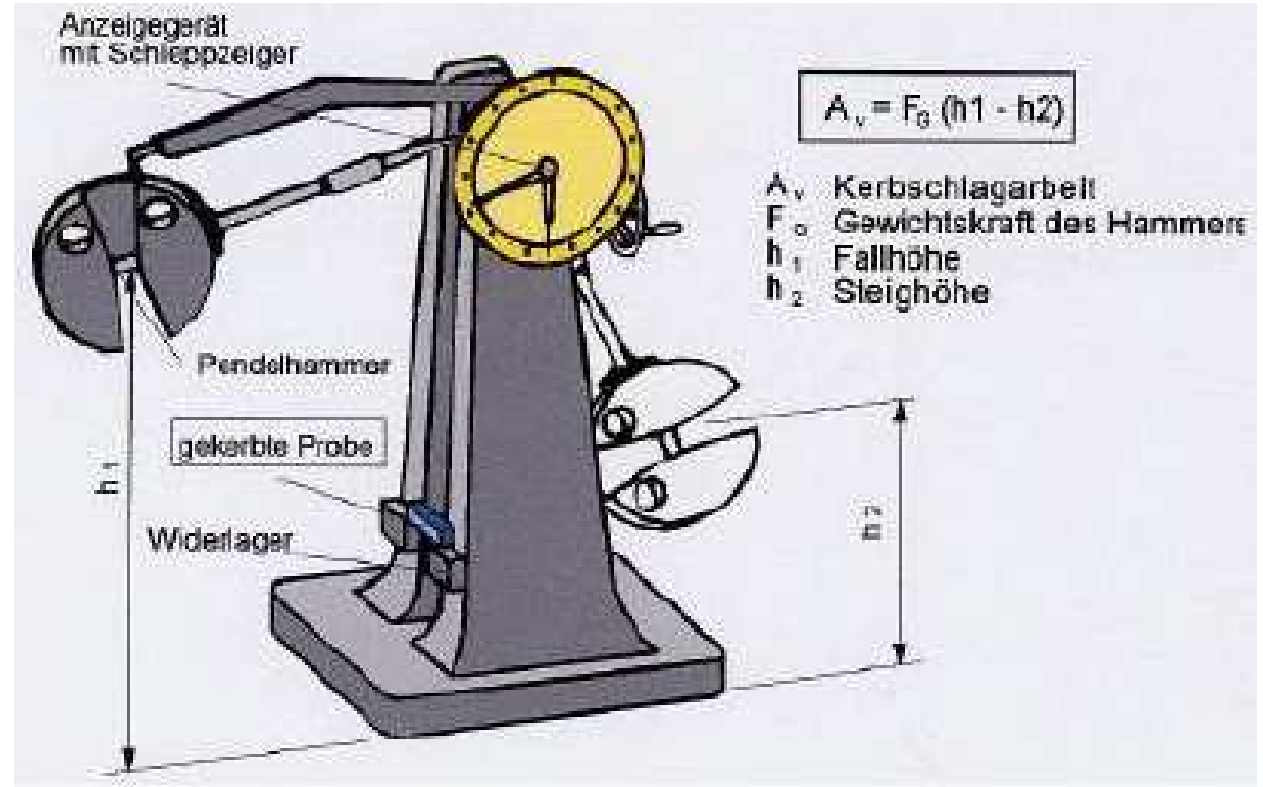
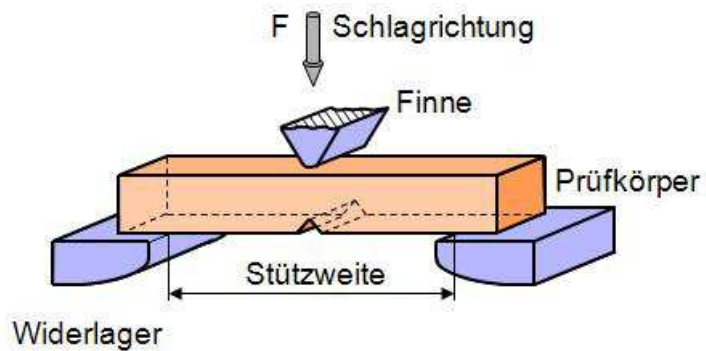


Kurzeinführung metallische Werkstoffe

Werkstoffprüfungen:

Kerbschlagbiegeversuch zum Nachweis der **Zähigkeit**

CHARPY-Anordnung



Kurzeinführung metallische Werkstoffe

Werkstoffprüfungen:

Werkstoffe können mit folgenden Methoden **zerstörungsfrei** geprüft werden:

- RFA (**R**öntgen**f**luoreszenz**a**nalyse)
- optischen Emissionsspektroskopie (Funkenspektroskopie)
- Wirbelstromprüfung
- Härteprüfung
- Magnetpulververfahren
- Farbeindringverfahren
- Röntgenprüfung
- Ultraschallprüfung
- Magnet

Kurzeinführung metallische Werkstoffe

Anwendungsbedingungen metallischer Werkstoff:

- unter korrosiven Bedingungen
- unter abrasiven Bedingungen (Erosion)
- unter Schlagbeanspruchung
- bei erhöhter Temperatur (ca. 550°C)
- bei starker Hitze(ca. 900°C)
- bei tiefer Temperatur (< -10°C)
- sowie auch Kombinationen der zuvor genannten Bedingungen

Kurzeinführung metallische Werkstoffe

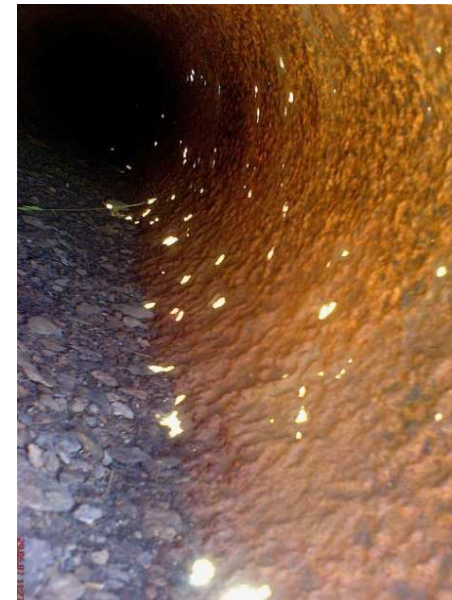
Korrosionsarten Überblick:

- **Oberflächenkorrosion**
- **Kontaktkorrosion**
- **Lochkorrosion** (Lochfraß)
- **Spaltkorrosion**
- **Spannungsrisskorrosion** (SpRK)
- **Interkristalline Korrosion** (IK)

Kurzeinführung metallische Werkstoffe

Oberflächenkorrosion,

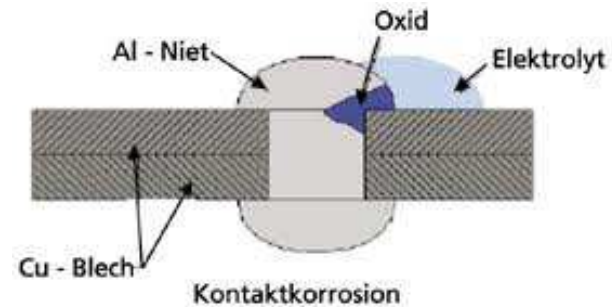
allgemein als Rosten bekannt, dürfte am häufigsten anzutreffen sein. Der Abtrag vollzieht sich nahezu gleichmäßig und kann nach Gewichtsverlust oder Abtrag der Oberfläche in mm/Jahr bestimmt werden.



Kurzeinführung metallische Werkstoffe

Kontaktkorrosion

tritt bei Berühren eines rostbeständigen Stahles mit anderen metallischen Werkstoffen auf. Nach der elektrochemischen Spannungsreihe korrodiert das jeweils unedlere Metall.



Kurzeinführung metallische Werkstoffe

Kontaktkorrosion

Kontaktkorrosion bei Metallpaarungen

Hinsichtlich Kontaktkorrosion betrachteter Werkstoff	Fächen-Verhältnis*	Magnesium-legierung	Zink	Feuerverzinkter Stahl	Aluminium-Legierung	Cadmium-Überzug	Baustahl	Niedriglegierter Stahl	Stahlguß	Chromstahl	Blei	Zinn	Kupfer	nichtrostender Stahl
Magnesium-legierung	klein gross		S M	S M	S M	S M	S S	S S	S S	S S	S S	S S	S S	S S
Zink	klein gross	M G		G G	M G	M G	S G	S G	S G	S G	S G	S G	S G	S G
Feuerverzinkter Stahl	klein gross	M G	G G		M G	M G	S G	S G	S G	S G	S G	S G	S G	S G
Aluminium-Legierung	klein gross	M G	G M	G M		G G	M G	G S	S M	M M	S S	S S	S S	S M
Cadmium-Überzug	klein gross	G M	G G	G M	G G		G G	S G	S G	S G	S G	S G	S G	S G
Baustahl	klein gross	G G	G G	G G	G G	G G		M G	S G	S G	S G	S G	S G	S G
Niedriglegierter Stahl	klein gross	G G	G G	G G	G G	G G	G G		G G	S G	S G	S G	S G	S G
Stahlguß	klein gross	G G	G G	G G	G G	G G	G G	M G		S G	S G	S G	S G	S G
Chromstahl	klein gross	G G	G G	G G	G G	G G	G G	G G			M G	M G	S G	S G
Blei	klein gross	G G	G G	G G	G G	G G	G G	G G	G M	G G		G G	G G	G G
Zinn	klein gross	G G	G G	G G	G G	G G	G G	G G	G G	G M	G G			
Kupfer	klein gross	G G	G G	G G	G G	G G	G G	G G	G G	M M	M G	S M		G G
nichtrostender Stahl	klein gross	G G	G G	G M	G G	G G	G G	G G	G G	M M	G M	G M	G G	

S = starke Korrosion des betrachteten Werkstoffs

M = mäßige Korrosion des betrachteten Werkstoffs (in sehr feuchter Atmosphäre)

G = geringfügige oder keine Korrosion des betrachteten Werkstoffs

*) Verhältnis der Oberfläche des "betrachteten" Werkstoffs zur Oberfläche des "Paarungswerkstoffs" (Quelle: Beratungsstelle "FEUERVERZINKEN")

Quelle: Wegertseder GmbH

Kurzeinführung metallische Werkstoffe

Lochkorrosion „Lochfraß“

Bei Lochkorrosion, auch Lochfraß genannt, handelt es sich um eine örtlich begrenzte Zerstörung der oxidischen Schutzschicht (Passivschicht) von Werkstoffen. Ausgehend von sogenannten Korrosionskeimen entstehen nadel-, krater- oder kavernenartige Löcher. Das relativ schnelle Wachstum in die Tiefe des Materials wird durch Faktoren wie Temperatur, ph-Wert und Halogenkonzentration (Chlor-, Brom- oder Jodionen) stark beeinflusst. Betroffen sind alle nichtrostenden Stähle. Die meisten Schäden werden durch Anwesenheit von chloridhaltigen Angriffsmedien ausgelöst.

Die **Lochfraßbeständigkeit** wird bei Cr/Ni/Mo-Stählen wie folgt definiert:

Die Korrosionswirksumme (**PERN**) $K_s = \%Cr + 3,3 \times \%Mo + 16 \times \%N > 32$
PERN = Pitting Resistance Equivalent Number

Kurzeinführung metallische Werkstoffe

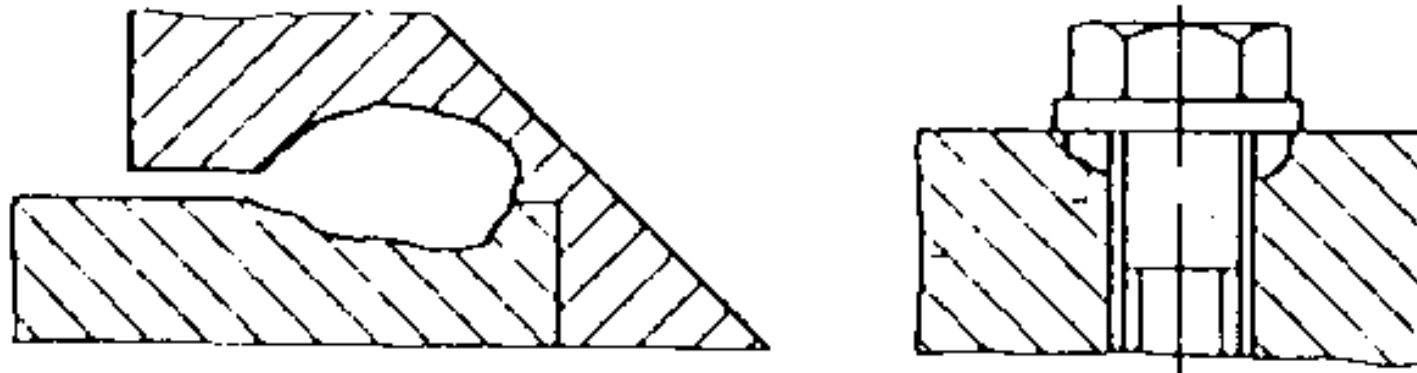
Lochkorrosion „Lochfraß“



Kurzeinführung metallische Werkstoffe

Spaltkorrosion

kann z. B. an Schraubenverbindungen in Spalten, bei enger Bauweise und fehlender Luftzirkulation auftreten, d. h., die Passivität der Oberfläche geht verloren, es entstehen Lokalelemente.



Kurzeinführung metallische Werkstoffe

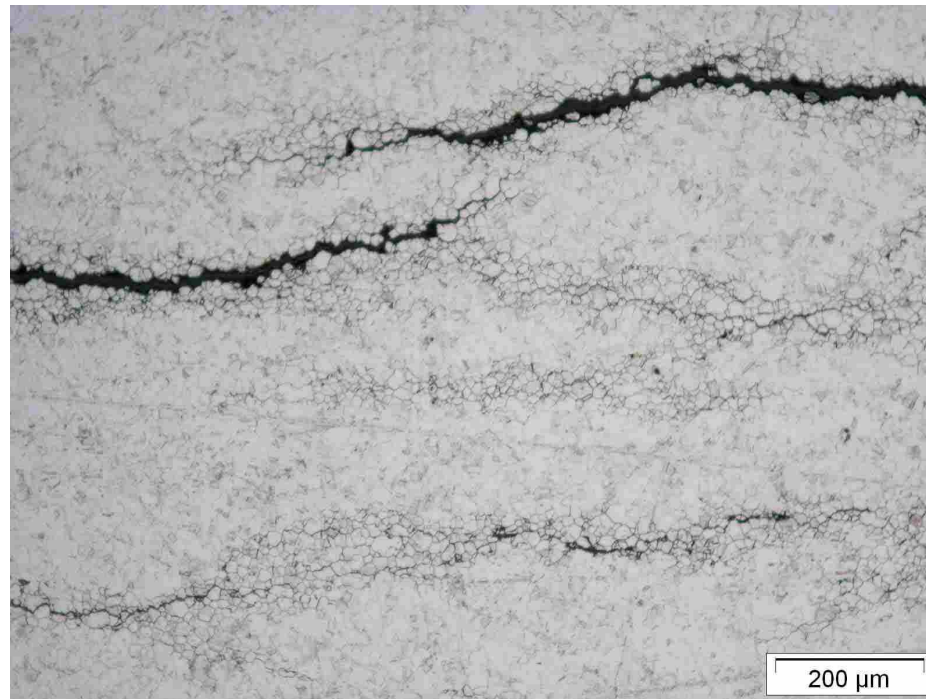
Spannungsrissskorrosion „SpRK“

tritt besonders bei austenitischen rostfreien Stählen in Erscheinung, z. B. nach Warm- oder Kaltverformung. Unter Einfluss innerer und äußerer Spannung oder von außen durch spezifisch wirkende Medien quer zur Spannungsrichtung, entstehen Risse mit starken Verästelungen. Sie tritt meistens transkristallin (durch die Körner), seltener interkristallin (entlang der Korngrenzen) auf.

Z. B. an den Stählen 1.4301 und 1.4306 verursachen geringe Mengen Chloride im Dampf bereits starke Korngrenzenkorrosion. Niob-stabilisierte Stähle korrodieren dagegen nur schwach. Molybdän-Zusätze haben günstige Wirkung auf die Repassivierbarkeit kleiner Löcher oder Keime.

Kurzeinführung metallische Werkstoffe

Spannungsrissskorrosion „SpRK“



Kurzeinführung metallische Werkstoffe

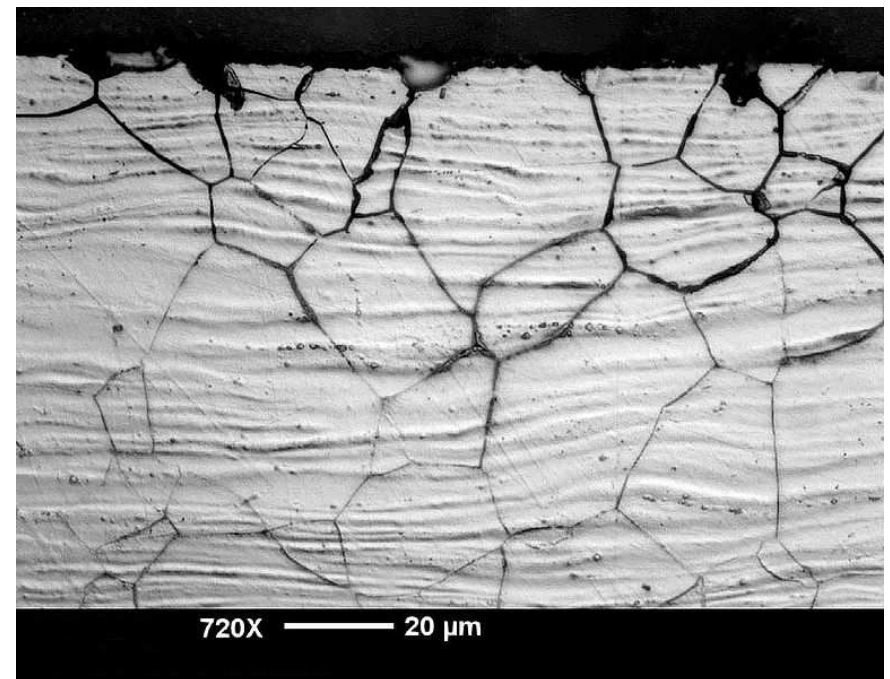
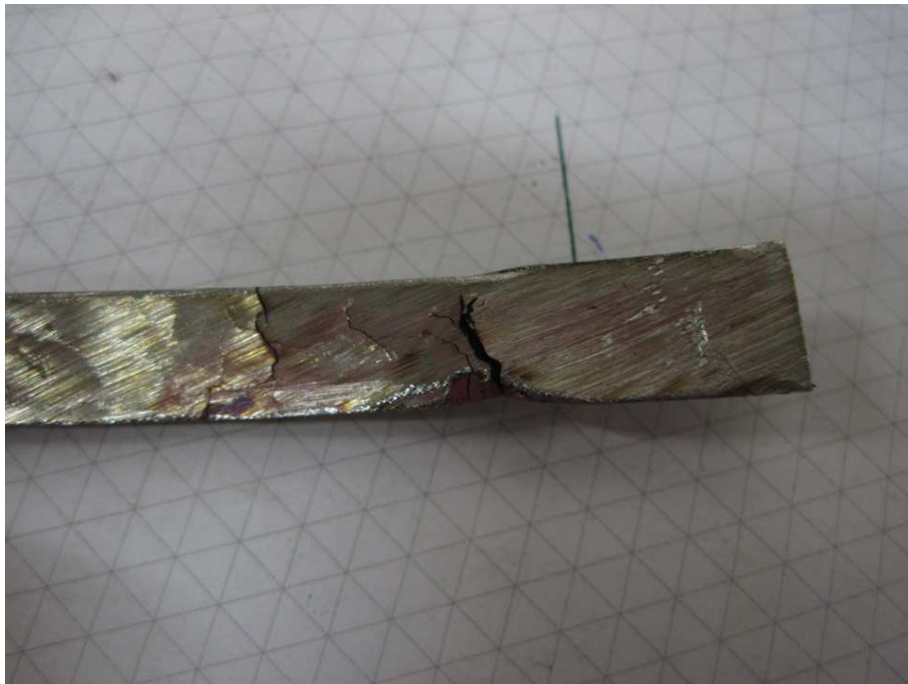
Interkristalline Korrosion „IK“

zeigt sich bei austenitischen Cr/Ni-Stählen und wird durch Erwärmen im kritischen Temperaturbereich von **500° - 850°C** verursacht. Solche Temperaturen treten in einer gewissen Entfernung von der Schweißnaht und auch bei Beanspruchung der Bauteile im Betrieb auf. An den Korngrenzen der Austenit- Kristallite kann man mikroskopisch beginnende Chrom-Karbidausscheidungen feststellen, während die Grundmasse selbst an Chrom verarmt. Hieraus resultiert, dass bei einer chemischen Einwirkung die Korngrenzen angegriffen werden. Außerdem bewirken diese Karbidausscheidungen Spannungen, die ebenfalls den Kornzerfall beschleunigen. Der Stahl wird rissig, brüchig und mürbe. Die Haltezeit in dem kritischen Temperaturbereich beeinflusst Art und Menge der Chrom-Karbidausscheidungen, die zum Kornzerfall führen. Der Beginn der Ausscheidungen erfolgt bei niedrigen Temperaturen erst nach längerer Wirkungsdauer. Durch eine nachträgliche Wärmebehandlung bei über 1000°C können sie wieder beseitigt werden. Um solche Ausscheidungen zu vermeiden, ist die **Herabsetzung des C-Gehaltes** unter eine bestimmte Grenze zu empfehlen. Sie werden mit sinkendem C-Gehalt zu längeren Haltezeiten verschoben. Eine weitere Maßnahme zur Verhinderung der interkristallinen Korrosion stellt das **Abbinden von Kohlenstoff durch Niob oder Titan** in Form schwer löslicher Karbide dar. Durch Abbindung wird bei kritischen Temperaturen die Chrom-Karbidausscheidung ausgeschlossen.

Kurzeinführung metallische Werkstoffe

Interkristalline Korrosion „IK“

Werkstoff 1.4301



Kurzeinführung metallische Werkstoffe

Erosion:

Erosion ist ein Werkstoffabtrag infolge von mechanischem Oberflächenabtrag. Laut Definition wird diese Art von Korrosion durch einen erosiven Angriff auf die Schutzschicht ausgelöst. Bevorzugt unterliegen Rohrleitungen und Anlageteilen, die von Flüssigkeiten oder einem Zweistoffsystem wie Wasser/Dampf mit höherer Geschwindigkeit und/oder abrasiven Teilchen durchströmt werden, dieser besonderen Form der Korrosion. Zusätzlich muss zur Erosion der Schutzschichten, die überwiegend aus Metalloxiden bestehen, ein korrosiver Angriff durch das strömende Medium auf die Metalloberfläche mit ungünstigem pH-Wert und Sauerstoff- und Elektrolytgehalten vorliegen.

Als Folge der Erosionskorrosion treten ein Materialabtrag an der betroffenen Komponente und ein Materialtransport im strömenden Medium, sowohl in Einphasenströmung (Wasser), als auch in Zweiphasenströmung (Wasser/Dampf) auf.

Erosionskorrosion verursacht nach dem Wegspülen der Schutzschichten Abtragungen, die meist von einem Angriffspunkt ausgehen. Der Materialabtrag tritt im Allgemeinen in Form von glatten, teilweise metallisch glänzenden Auswaschungen auf. Die abgetragene Oberfläche zeigt muldenartige, wellige oder schulterartige Strukturen.

Die Abtragung der Schutzschicht erfolgt bevorzugt über Strömungsturbulenzen, so dass Störstellen wie zum Beispiel Kanten, Erhebungen, Vertiefungen oder Umlenkungen besonders gefährdet sind.

Kurzeinführung metallische Werkstoffe

Kavitation:

Die Kavitation ist ein Effekt, bei dem sich in einer Flüssigkeit Gasblasen bilden. Jede Flüssigkeit besitzt eine Siedetemperatur, die vom umgebenden statischen Druck abhängt. Je höher der statische Druck, desto höher ist auch die Siedetemperatur.

Dies gilt genauso für strömende Flüssigkeiten, bei denen sich der statische Druck verringert und der Staudruck erhöht, wenn die Strömungsgeschwindigkeit steigt. Allgemein gesagt ist der Siedepunkt einer strömenden Flüssigkeit schon bei niedrigeren Temperaturen erreicht.

An den Stellen, wo die Flüssigkeit besonders schnell strömt und der statische Druck dem Dampfdruck der Flüssigkeit bei der vorliegenden Temperatur entspricht, verdampft die Flüssigkeit und bildet Gasblasen. Gelangen diese Blasen in eine langsamere Strömung, so kondensieren sie wieder. Da sich dabei ihr Volumen schlagartig auf ein Hundertstel verkleinert, gleicht dieser Vorgang einer **Implosion**.

Das gleiche kann man in einer nahezu ruhenden Flüssigkeit in einem Kochtopf hören, wenn das Wasser am Boden bereits siedet, die Dampfblasen aufsteigen und im kälteren Wasser darüber zusammenfallen. Wenn der gesamte Topfinhalt die Siedetemperatur erreicht hat, verschwindet dieses akustische Phänomen wieder.

Erfolgt dieser Vorgang im Bereich z. B. Gehäusewandungen, wird bei der Implosion der Dampfblasen der Werkstoff mechanisch angegriffen. Der Werkstoff wird zernarbt und zerklüftet und zuweilen sogar schwammartig ausgehöhlt.

Kurzeinführung metallische Werkstoffe

Anforderungen an Werkstoffe nach Druckgeräterichtlinie 97/23/EG:

Die Werkstoffe müssen ausreichend **duktil** (elastisch verformbar) sein. Werkstoffe sind nach DGRL 97/23/EG ausreichend duktil, wenn:

- sie mindestens eine Bruchdehnung von **> 14 %**
- und eine Kerbschlagarbeit von **> 27 Joule** haben

Werkstoffe im Bereich der DGRL 97/23/EG sind z. B. in folgenden Regelwerken spezifiziert:

- AD2000 Merkblätter der Reihe W
- VdTÜV - Werkstoffblätter
- DIN / EN
- SEW

Kurzeinführung metallische Werkstoffe

Besondere Anforderungen an Werkstoffe im Raffineriebereich:

Im Raffineriebereich werden Bauteile nicht nur auf ihre Festigkeit und Zähigkeit, sondern auch im Hinblick auf die **Korrosionsbeständigkeit** ausgewählt.

Die Korrosionsbeständigkeit von Werkstoffen kann u. a. verbessert werden,

- wenn ihre chemische Zusammensetzung auf die Korrosionsmechanismen abgestimmt sind. Das heißt, i.d.R. möglichst Chrom > 12% und Zugabe der Elemente Molybdän, Stickstoff (hat auch negative Eigenschaften) und Nickel sowie möglichst wenig Kohlenstoff.
- wenn die Spannungszustände (Zugspannungen, Härte) in den Bauteile möglichst gering sind. Das heißt, Zugspannungen durch verformen oder Schweißspannungen, sollen vermieden oder z. B. durch Spannungsarmglühen minimiert werden. Auch die Betriebsbelastung (z. B. durch Innendruck) sollten die Bauteile nicht bis an ihre Belastungsgrenzen führen.

Kurzeinführung metallische Werkstoffe

Einfluss der Legierungselemente

Eigenschaft	Legierungselement										
	Cr	Ni	Al	W	V	Co	Mo	Si	Mn	S	P
Zugfestigkeit	↑	↑	—	↑	↑	↑	↑	↑	↑	—	↑
Streckgrenze	↑	↑	—	↑	↑	↑	↑	↑	↑	—	↑
Kerbschlagzähigkeit	↓	—	↓	—	↑	↓	↑	↓	—	↓	↓
Verschleißfestigkeit	↑	↓	—	↑	↑	↑	↑	↓	↓	—	—
Warmumformbarkeit	↓	↑	↓	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↓	—
Kaltumformbarkeit	—	—	—	↓	—	↓	↓	↓	↓	↓	↓
Zerspanbarkeit	—	↓	—	↓	—	—	↓	↓	↓	↑	↑
Warmfestigkeit	↑	↑	—	↑	↑	↑	↑	↑	—	—	—
Korrosionsbeständigkeit	↑	—	—	—	↑	—	—	—	—	↓	—
Härtetemperatur	↑	—	—	↑	↑	—	↑	↑	↓	—	—
Härtbarkeit/ Vergütbarkeit	↑	↑	—	↑	↑	↑	↑	↑	↑	—	—
Nitrierbarkeit	↑	—	↑	↑	↑	—	↑	↓	↑	—	—
Schweißbarkeit	↓	↓	↑	—	↑	—	↓	—	↓	↓	↓