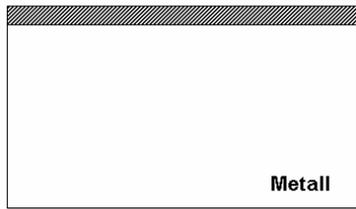
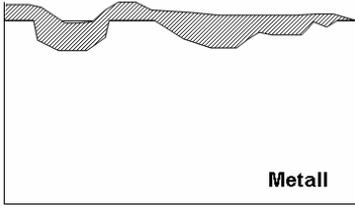


Korrosion Erscheinungsformen (Auswahl)

| Korrosionsarten OHNE mechanischer Beanspruchung | |
|--|---|
| Flächenkorrosion / Muldenkorrosion: | |
| Gleichmäßiger Angriff auf die gesamte Metalloberfläche. „surface corrosion“ | <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Flächenkorrosion:</p>  <p>Metall</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>Muldenkorrosion:</p>  <p>Metall</p> </div> </div> |
| Erscheinungsform Flächenkorrosion: | <ul style="list-style-type: none"> • Gleichmäßiger Flächenabtrag auf gesamter Oberfläche |
| Erscheinungsform Muldenkorrosion: | <ul style="list-style-type: none"> • Örtlich verschiedener Flächenabtrag auf Oberfläche (keine scharfen Grenzen) |
| Mechanismus Flächenkorrosion: | <ul style="list-style-type: none"> • Vorzugsweise beim Angriff starker Säuren, Wasserstoff- oder Sauerstoffkorrosion • Unlegierte und niedriglegierte Stähle: Flächenkorrosion in Wässern bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten • Abtragsraten: 0.1 – 0.2 mm/Jahr |
| Mechanismus Muldenkorrosion: | <ul style="list-style-type: none"> • ungleichmäßiger Angriff aufgrund von werkstoff- und mediumsseitigen örtlich unterschiedlichen Korrosionsbedingungen |
| Einflussgrößen: | <ul style="list-style-type: none"> • Korrosionsmechanismus • Werkstoffzusammensetzung • Belüftung • Temperatur • Strömungsgeschwindigkeit |
| Konstruktive und Fertigungstechnische Maßnahmen: | <ul style="list-style-type: none"> • Erhöhung der Werkstoffdicke (=Erhöhung der Lebensdauer) • Ausreichend beständiger Werkstoff • Korrosionsschutzschichten • Auskleidungen <p>(Achtung bei Schäden in Beschichtungen: Lochfraß, Spaltkorrosion)</p> |
| Häufige Schäden: | Flächenabtrag gleichmäßig bis zum Durchbruch oder bis zum mechanischen Versagen des Restquerschnitts |

| Örtliche Lochfraßkorrosion: | |
|---|--|
| Örtlich begrenzter Angriff. Ursache.: Lokale Passivitätsaufhebung oder Belüftungselement. | <div style="text-align: center;"> <p>Lochkorrosion:</p>  <p>Metall</p> </div> |
| Erscheinungsform | <ul style="list-style-type: none"> • Örtliche Korrosion, nur an kleinen Oberflächenbereichen → Löcher • Entstehung häufig an zerstörten Passivschichten / Beschichtungen |
| Mechanismus | <ul style="list-style-type: none"> • Ausbildung von Korrosionselementen geringer örtlicher Ausdehnung auf der vom Elektrolyten benetzten Oberfläche • unlegierte und niedriglegierte Stähle: Ausbildung von Belüftungselementen (bei schwachen Säuren) • trotz Passivschichten, meist Oxide auf nichtrostenden Cr-Ni-Stählen (Vorbedingung!) • ausgelöst durch Chloride, seltener Bromide • Lochfraß tritt dann auf, wenn das Korrosionspotential (Ruhepotential) positiver ist als das Lochfraßpotential (Lochbildungspotential) |
| Einflussgrößen: | <ul style="list-style-type: none"> • Inhomogene Oberflächenzustände (z.B.: Walzzunder, Verunreinigungen (Reste von Öl, Inhibitoren)) • Beschleunigung durch Verletzung von Schutzschichten |

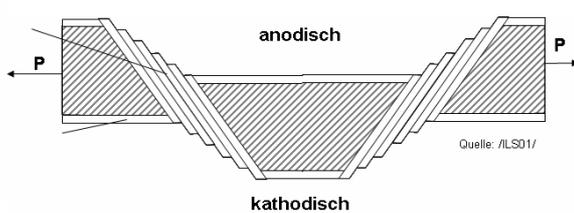
| | |
|---|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> • Temperatur • zunehmende Anionenkonzentration • abnehmender pH-Wert • Lochfraßpotential (je höher, desto beständiger) |
| Konstruktive und Fertigungstechnische Maßnahmen: | <ul style="list-style-type: none"> • Beispiel: Bauteile wie Kessel, Rohrleitungen aus nichtrostenden Stählen: medienberührte Flächen sollten nach dem Schweißen gebeizt werden können • → optimale Lochkorrosionsbeständigkeit • Zunderschichten entfernen (da sie sich mit korrosionskritischen Spezies aus dem Medium anreichern) • hohe Strömungsgeschwindigkeit des Mediums • Nichtrostende Stähle: <ul style="list-style-type: none"> - Anheben der Gehalte an Cr und Mo und auch N (Ni ändert das Lochfraßverhalten nicht wesentlich? - Beschichtung unüblich) • Unlegierte und niedriglegierte Stähle: Sauerstoff entfernen (Belüftungselemente vermeiden) • passiver Korrosionsschutz |
| Häufige Schäden: | <ul style="list-style-type: none"> • Überschreitung des Lochfraßpotentials • Mangelhafte Konstruktion (Toträume mit stagnierenden Bedingungen) • Fertigungsfehler, wie fehlerhafte Schweißungen, mangelhafte Schutzgasführung, • unterlassenes Beizen |

| Spaltkorrosion: | |
|--|--|
| Mögliche Ursache Konzentrationsunterschiede im Elektrolyten. | <p>Das Diagramm zeigt einen Spalt zwischen zwei Metallteilen. Die obere Seite ist als 'Kathode O₂-Gehalt hoch' beschriftet, die untere Seite als 'Anode O₂-Gehalt niedrig'. Elektronen (e⁻) fließen von der Anode zur Kathode. Der Elektrolyt im Spalt ist ebenfalls beschriftet.</p> |
| Erscheinungsform | <ul style="list-style-type: none"> • Örtliche verstärkte Korrosion zwischen 2 Oberflächen/Spalten (Metall oder Nichtmetall) • Korrosion der gesamten Spaltfläche, vorwiegend im Spaltgrund |
| Mechanismus | <ul style="list-style-type: none"> • Konzentrationsgradient zwischen Elektrolyt innerhalb und außerhalb des Spaltes → Spalt: Diffusionsausgleich verhindert • Mechanismen, ähnlich der Lochkorrosion • durch Ausbildung von Belüftungselementen (unlegierte / niedriglegierte Stähle in fast neutralen Medien) • durch Ausbildung von Konzentrationselementen (nichtrostende Stähle) |
| Einflussgrößen: | <ul style="list-style-type: none"> • Spalte zwischen metallischen Oberflächen mit schlechtem Spaltbreite zu -tiefe Verhältnis • bei nichtrostenden Stählen: <ul style="list-style-type: none"> - vorwiegend bei Spalten mit Nichtleitern (z.B. nichtmetallische Dichtungen, organische Isolierstoffe) - Ablagerungen, die Schadstoffe aufnehmen |
| Konstruktive und Fertigungstechnische Maßnahmen: | <ul style="list-style-type: none"> • Vermeiden von Spalten (vorwiegend <0,1 mm) • Vermeiden von Belüftungs- und Konzentrationselementen = Spalte > 1mm • Spaltweite mit Spalttiefe anwachsen lassen • Vermeiden von Ablagerungen (z.B.: ausreichende Strömungsgeschwindigkeit, Reinigungsmaßnahmen) |
| Häufige Schäden: | <ul style="list-style-type: none"> • ungünstig gestaltete Schweißnähte (V-Nähte) • zwischen Dichtungen und Flanschen • konstruktiv bedingte Spalten <ul style="list-style-type: none"> - Niet und Schraubverbindungen - überlappende Bleche, Zierleisten - Dichtspalte - Risse |

| Selektive Korrosion: | |
|--|---|
| Angriff auf eine Phase – bei heterogenen Werkstoffen (Spongiose bei Gusseisen, Messingkorrosion) | |
| Erscheinungsform | <ul style="list-style-type: none"> • bestimmte Gefügebestandteile, korngrenzennahe Bestandteile oder einzelne Legierungselemente werden bevorzugt korrodiert • Beschränkt auf kleine Flächenbereiche → fortschreitender Tiefgang |
| Mechanismus | <ul style="list-style-type: none"> • Korrosion aufgrund von funktioneller Mehrphasigkeit (z.B. Austenit/Ferrit-Gefüge = Duplexstähle) • • Beispiel: Spongiose • Grauguss mit Lamellengraphit: Folge der Ausbildung galvanischer Mikroelemente zwischen dem (edleren) Graphit/Zementit/Phosphid-Eutektikum und der (unedleren) ferritisch-perlitischen Grundmasse in sauerstoffarmen Angriffsmitteln (Böden, Wasser) • selektive Auflösung der ferritisch-perlitischen Grundmasse • → Festigkeitsverlust |

| Interkristalline Korrosion: | |
|---|---|
| Bevorzugter Angriff auf die Korngrenzen. | |
| Einflussgrößen: | • Chromcarbide |
| Konstruktive und Fertigungstechnische Maßnahmen: | Carbidausscheidungen (z.B. Chromcarbide) unbedingt vermeiden: Geeignete Wärmebehandlung |

| Kontaktkorrosion: | |
|---|--|
| Elektrochemisches Element | |
| Erscheinungsform | <ul style="list-style-type: none"> • elektrisch leitender Kontakt zwischen 2 (metallischen) Werkstoffen → galvanisches Element mit unedlerem Werkstoff als Anode • Heterogene Verteilung des Elementstromes → grabenförmige Abtragungen, ebenfalls Lochfraß, selektive Korrosion |
| Mechanismus | • Höhere Auflösungsgeschwindigkeiten aufgrund des Verschiebens des Anodenpotentials |
| Einflussgrößen: | <ul style="list-style-type: none"> • Flächenverhältnis Anode-Kathode • Differenz der Ruhepotentiale • Geometrische Anordnung der Kontaktpartner |
| Konstruktive und Fertigungstechnische Maßnahmen: | <ul style="list-style-type: none"> • Elektrische Isolierung (vollständig) bei Mischbaukonstruktionen • Vermeidung von Spalten • Bei Verschweißungen: große Anode, kleine Kathode |
| Häufige Schäden: | <ul style="list-style-type: none"> • Schadhafte oder unzureichende Isolierung • Spaltenbildung • Ungünstiges Anoden-Kathoden-Verhältnis (A-klein, K-groß) • Mischkonstruktionen im Maschinen- und Anlagenbau: Niet-, Schraub- oder Schweißverbindungen |

| | |
|---|--|
| <p>Korrosionsarten mit mechanischer Beanspruchung</p> | |
| <p>Spannungs- bzw. Schwingungsrisskorrosion:</p> | |
| <p>Überlagerung elektrochemischer Reaktionen mit mechanischen Spannungen → Inter-, transkristalline oder Mischbrüche.</p> | <p>Gleitbänder durchbrechen Passivschicht: Freiliegende hohe Versetzungsdichte</p>  <p>Unbeschädigte Passivschicht</p> |
| <p>Spannungsrisskorrosion</p> | |
| <p>Erscheinungsform</p> | <ul style="list-style-type: none"> gleichzeitige chemische Beanspruchung und Dehnung durch innere oder aufgebraute Zugspannung in oberflächennahen Bereichen von Werkstoffen → Bildung verformungslose Riss (trans- / interkristallin, spröde ohne Bruch-einschnürung) z.B.: Schweißnähte und kaltverformte Werkstoffbereiche Korrosionsprodukte nicht erkennbar, → schnelle Werkstoffzerstörung |
| <p>Mechanismus</p> | <p><u>Anodische SCC:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> abhängig von: Werkstoffzusammensetzung, -gefüge, pH-Wert, T, örtliche Zugspannung Auslöser: Chloridionen im Elektrolyten Vorraussetzung: schützende Deck- oder Passivschichten → - Angriffsmittel kann Korrosion auslösen - Passivschicht zerstört infolge von Dehnungsvorgängen unter Zugspannung <p><u>Kathodische SCC</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Auslöser: atomarer Wasserstoff Rasches Eindiffundieren → unter gleichzeitiger Wirkung von Zugspannungen zur Versprödung und Rissbildung • Austenitische Stähle: unempfindlich gegenüber SCC Ferritische Stähle: Anfälligkeit steigt mit zunehmender Festigkeit, Obergrenze HV 240 (auch in Schweißverbindungen) • |
| <p>Einflussgrößen:</p> | <ul style="list-style-type: none"> Rissauslösende Spannung abhängig vom System Medium/Werkstoff (<50%->100%) Häufig an Schweißverbindungen (nicht abgebaute Eigenspannungen, mit äußeren Spannungen überlagert) <p><u>Kritische Korrosionssysteme:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Nichtrostende austenitische Stähle und chloridhaltige Lösungen ausscheidungsgehärtete Aluminiumlegierungen CuZn-Legierungen und Ammoniak Un- und niedrig legierte Stähle und Alkalilaugen (Laugenrissigkeit) |
| <p>Konstruktive und Fertigungstechnische Maßnahmen:</p> | <p><u>Werkstoffseite:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Zulegieren von Ni (>40%) oder Verwendung von Ni-Legierungen bei chloridinduzierter SCC Austenitisch-Ferritische Stähle (Duplex-Stähle) <p><u>Konstruktionsseite:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Spannungsspitzen vermeiden (z.B. in Kerben und schroffen Querschnittsänderungen) Schweißverbindungen mit moderaten Eigenspannungen Rettungsversuch für vorhandene Bauteile: Oberflächenverfestigung durch Einbringen von Druckeigenspannungen in die Oberfläche (Kugelstrahlen, Rollen) |
| <p>Häufige Schäden:</p> | <p>Ungünstige Konstruktionen in Verbindung mit Schweißverbindungen Ungünstige Schweiß- und Wärmebehandlungsbedingungen</p> <p>Die meisten Schäden entstehen an Standardausteniten 10/18CrNi oder 17/12/2 CrNiMo, da Chloridgehalte in den Umgebungsmedien von <100 ppm zuvor nicht bekannt waren</p> |

