

4 WERKSTOFFPRÜFUNG

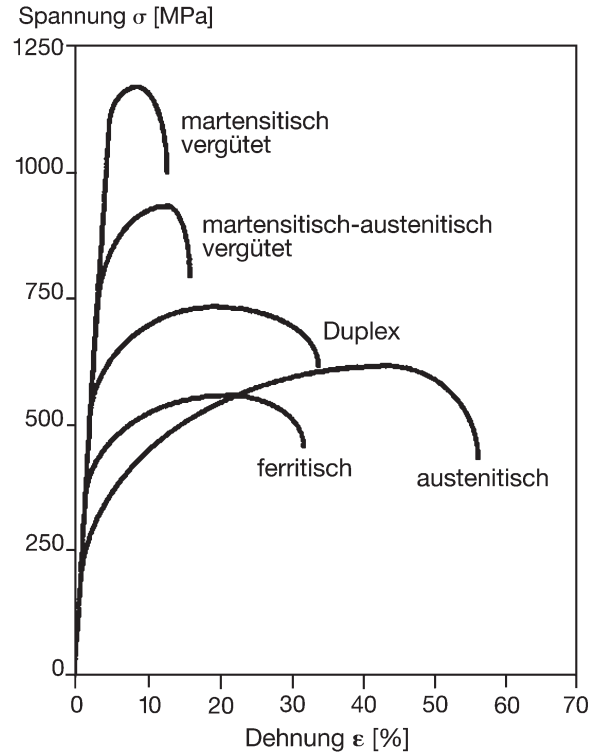
(mechanische Werte und Berechnungshilfen zu den lieferbaren Werkstoffen s. Kapitel 7)

4.1 Mechanische (zerstörende) Prüfungen

Mit diesen Prüfungen werden Materialkennwerte ermittelt, die einerseits für die Konstruktion benötigt werden und andererseits den Vergleich verschiedener Materialien untereinander bzgl. bestimmter Eigenschaften oder ihrer Eignung für eine bestimmte Anwendung ermöglicht. Die mit diesen Prüfungen ermittelten Werte sind in den meisten Fällen von der Temperatur, dem Wärmebehandlungszustand und den Prüfbedingungen abhängig. Für eine korrekte Angabe und die Vergleichbarkeit mit andern Werten ist deshalb die Angabe der Prüftemperatur, des Wärmebehandlungszustandes und der Prüfbedingungen, falls diese von den Standardbedingungen in den Normen abweichen, unerlässlich.

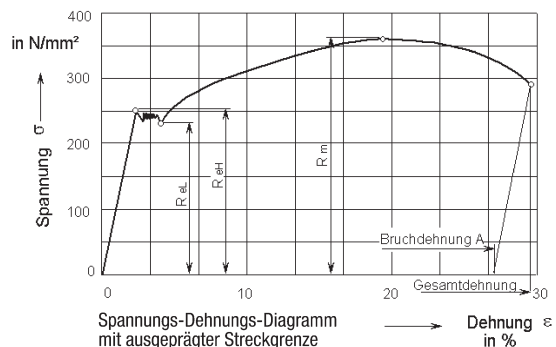
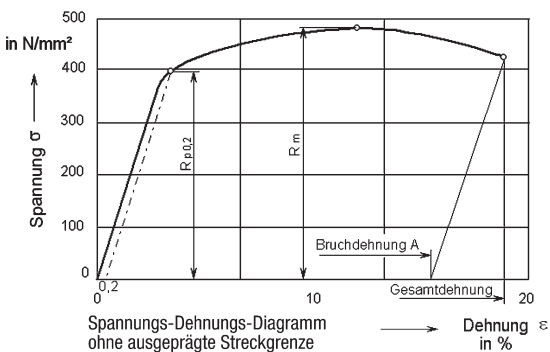
4.1.1 Zugversuch (EN ISO 6892, Teile 1 bis 3)

Der Zugversuch ermittelt das Verhalten des Werkstoffes bei einer einachsigen Zugbeanspruchung. Dabei wird eine genormte Zugprobe auf einer Prüfmaschine langsam bis zum Bruch gedehnt und das Spannungs-Dehnungsdiagramm (auch σ - ϵ -Diagramm genannt) aufgezeichnet. Dieses weist bei praktisch allen Stählen einen linearen Teil (elastische, reversible Verformung) und einen nichtlinearen Teil (plastische, nichtreversible Verformung) auf. Die folgende Grafik zeigt die für die verschiedenen Edeltahlarten typischen Spannungs-Dehnungskurven.



Spannungen [N/mm²]

Im technischen Bereich werden die aus der Zugkraft berechneten Spannungen (= angelegte Kraft dividiert durch Querschnittsfläche) immer auf den Ausgangsquerschnitt der Probe bezogen. Die heute gebräuchlichen Masseneinheiten für Spannungen sind N/mm² oder MPa, (1 N/mm² = 1 MPa). Die wichtigsten mit diesem Versuch bestimmten Materialkennwerte sind:



Streckgrenze R_e / Dehngrenze R_p [N/mm²]

Beide Werte geben die beim Übergang von der elastischen zur plastischen Verformung gemessene Spannung an, d.h. beim Überschreiten dieser Spannung setzt eine bleibende Verformung ein. Diese Spannung wird auch Fließgrenze genannt. Bei Druckspannungen ist auch der Begriff «Quetschspannung» gebräuchlich. Zum bleibenden Verformen eines Metalls (Biegen, Tiefziehen, Stauchen etc.) muss immer seine Fließgrenze überschritten werden. Das Fließen ist immer von einer Kaltverfestigung des Materials begleitet.

Die Streckgrenze R_e wird bei nicht- oder niedriglegierten Stählen an der Stelle im Spannungs-Dehnungsdiagramm bestimmt, an der bei zunehmender Dehnung die Zugspannung zum ersten Mal gleich bleibt oder abfällt (s. S. 102, rechtes Diagramm).

Bei höher legierten Stählen wie den korrosionsbeständigen Stählen ist dieser Übergang nicht so deutlich ausgeprägt. Die Dehngrenze R_p wird deshalb bei einer bestimmten, nichtproportionalen Dehnung festgelegt, die vermerkt werden muss (s. S. 102, linkes Diagramm).

- $R_{p0.2}$ plastische Dehnung 0.2%
übliche Berechnungsgrundlage
- $R_{p0.01}$ plastische Dehnung 0.01%
technische Elastizitätsgrenze
- $R_{p1.0}$ plastische Dehnung 1.0%
wird häufig für austenitische Stähle verwendet

Zugfestigkeit R_m [N/mm²]

Die Zugfestigkeit ist die Spannung, die sich aus der auf den Anfangsquerschnitt bezogenen Höchstzugkraft ergibt.

Bruchdehnung A [%]

Die Bruchdehnung ist ein Mass für die Dehnfähigkeit (Duktilität) eines Werkstoffes. Die Zugprobe wird hierbei bis zum Bruch gezogen. Die Bruchdehnung ist definiert als Quotient aus der bleibenden Verlängerung beim Bruch bezogen auf die Ausgangslänge.

Je nach Produktform und Prüfnorm kommen unterschiedliche Zugproben zum Einsatz. In Europa werden im Regelfall Proportionalproben mit einer Messlänge $L_0 = 5,65 \sqrt{S_0}$ (S_0 = Probenquerschnitt) verwendet. Bei dünnen Blechen (Dicke $t < 3$ mm) sind nichtproportionale Proben mit einer Messlänge von 80 mm ($A_{80\text{ mm}}$) zu verwenden. US-Amerikanische Normen wie ASTM A370 schreiben eine Messlänge von 2 inch (50 mm) vor ($A_{50\text{ mm}}$).

Elastische Konstanten E , G , K , μ

Im elastischen (linearen) Bereich des Spannungs-Dehnungsdiagrammes gilt das Hook'sche Gesetz $\sigma = E \times \epsilon$. Dieses besagt, dass im elastischen Bereich die Dehnung ϵ proportional zur angelegten Spannung σ ist. Die entsprechende Proportionalitätskonstante heisst Elastizitätsmodul E oder kurz E-Modul. Der E-Modul ist ein Mass für den Widerstand, den ein Werkstoff seiner elastischen Verlängerung entgegengesetzt. Bei korrosionsbeständigen austenitischen Stählen liegt der Wert für den E-Modul bei ca. 200 kN/mm².

Das Hook'sche Gesetz gilt auch bei Schub- und Druckbelastung innerhalb des elastischen Bereiches. Die entsprechenden Proportionalitätsfaktoren sind der Schubmodul G und der Kompressionsmodul K . G und K sind ein Mass für den Widerstand, den ein Werkstoff einer elastischen Abgleitung oder einer elastischen hydrostatischen Volumenänderung entgegengesetzt.

Die 3 elastischen Konstanten sind über folgende Beziehungen miteinander verknüpft:

$$E = 2G(1 + \mu)$$

$$E = 3K(1 - 2\mu)$$

μ wird als Querkontraktionszahl oder Poisson-Konstante bezeichnet. Für Edeltähle liegt μ im Bereich von 0.3.

Die im Zugversuch ermittelten Materialkennwerte können direkt zur Berechnung von Konstruktionen verwendet werden, während die im folgenden aufgeführten Kennwerte v.a. für den Vergleich verschiedener Werkstoffe dienen.

Brucheinschnürung Z [%]

Der gebrochene Zugstab zeigt in der Bruchebene eine mehr oder weniger starke Einschnürung (Querschnittsverringering), je nach dem ob die Probe eher zäh oder spröde gebrochen ist. Die Brucheinschnürung Z ist gleich der Differenz aus Anfangs- und Bruchquerschnitt dividiert durch den Anfangsquerschnitt. Sie ist ein Mass für die Formänderungsfähigkeit des Materials.

Bruchzähigkeit K_{Ic} [MNm^{-3/2}]

Die Bruchzähigkeit gibt Aufschluss über den Widerstand eines Werkstoffes gegen die Ausbreitung eines im Werkstoff vorhandenen Risses oder dem Einfluss von sogenannten Ungängen (Kerben, Nuten, Bohrungen, Materialinhomogenitäten) auf das Bruchverhalten. Je niedriger die Bruchzähigkeit, desto leichter kann sich ein vorhandener Riss vergrössern. Die Bruchzähigkeit wird an speziellen, angerissenen Proben in einem speziellen, computergesteuerten Zugversuch ermittelt. Da der Versuch aufwendig ist, sind Bruchzähigkeitswerte nur in beschränktem Umfang erhältlich.

4.1.2 Abschätzung der verschiedenen Festigkeiten

Für die **grobe Abschätzung** der verschiedenen Festigkeitswerte können folgende Gleichungen verwendet werden:

Zugfestigkeit R_m	[N/mm ²]	= 3.4 × Brinellhärte HB
Streckgrenze R_e	[N/mm ²]	= 0.8 × Zugfestigkeit R_m
Ermüdungsfestigkeit	[N/mm ²]	= 0.6 × Zugfestigkeit R_m
Torsionsfestigkeit	[N/mm ²]	= 0.3 × Zugfestigkeit R_m

4.1.3 Härteprüfung

Härte bezeichnet den Widerstand eines Materials gegen das Eindringen eines noch härteren Körpers. Zur Bestimmung der Härte wird ein harter Prüfkörper mit einer definierten Kraft in die Probenoberfläche gedrückt und der resultierende Eindruck ausgemessen. Mit Hilfe entsprechender Tabellen kann aus der Grösse des Eindrucks die Härte der Probe bestimmt werden. Bei modernen Geräten erfolgt diese Umrechnung mittels Computer. Im Stahlbereich sind folgende vier genormten Härtemessverfahren gebräuchlich:

Verfahren	Bezeichnung	Eindringkörper	Norm
Brinell	HB	gehärtete Stahlkugel	EN ISO 6506-1
Vickers	HV	Diamantpyramide	EN ISO 6507-1
Rockwell B	HRB	gehärtete Stahlkugel	EN ISO 6508-1
Rockwell C	HRC	Diamantkegel	EN ISO 6508-1

Bei der Härteangabe ist auf die korrekte Angabe von Belastung und Prüfkörperabmessungen gemäss der entsprechenden Norm zu achten, da die Werte sonst nicht mit anderen vergleichbar sind. Eine Vergleichs- oder Umrechnungstabelle für die verschiedenen Härtewerte findet sich in Kapitel 7.

Brinell-Verfahren

Dieses Verfahren ist wegen der begrenzten Härte der Stahlkugel nur für mittlere Härten bis ca. 500 HB geeignet. Aus der Brinell-Härte kann mit folgender Formel die Zugfestigkeit abgeschätzt werden:

$$\text{Zugfestigkeit } R_m \approx \alpha \times \text{Härte HB}$$

Der Umrechnungsfaktor α ist werkstoffabhängig und beträgt für Kohlenstoffstähle 3.6 und für Edeltähle 3.4.

Vickers-Verfahren

Dieses Verfahren ist wegen der extrem hohen Härte der Diamantpyramide (ca. 10000 HV) für alle Härtebereiche geeignet. Durch Reduzieren der Last eignet sich dieses Verfahren ausgezeichnet zur Härtebestimmung an dünnen Folien, harten Randschichten und Gefügebestandteilen (Kleinlast- resp. Mikrohärt). Für Härten bis ca. 300 HB/HV sind die Messwerte beider Verfahren etwa gleich, d.h. $\text{HB} \approx \text{HV}$.

Rockwell-Verfahren

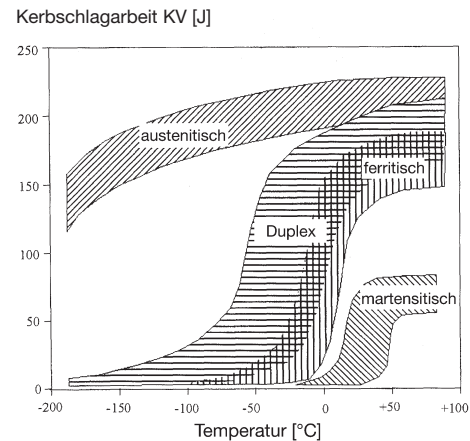
Im Gegensatz zu den anderen beiden Verfahren wird bei den Rockwell-Verfahren die Last in zwei Stufen (Vor- und Hauptlast) aufgebracht, dies zur Kompensation von Oberflächeneffekten und der elastischen Rückfederung des Probenmaterials. Die Härte wird aus der Differenz der Eindringtiefen unter Vor- und Hauptlast bestimmt und kann direkt auf einer Messuhr abgelesen werden. Dadurch entfällt das Ausmessen des Eindrucks, was zu kurzen Messzeiten führt und es ermöglicht, die Härteprüfung zu automatisieren. Da Rockwell-Eindrücke relativ tief sind, können dünne Materialien oder Randschichten nicht geprüft werden.

- Rockwell B (B = ball = Kugel)
empfohlener Messbereich: 35–100 HRB, nur für mittelharte Werkstoffe geeignet
- Rockwell C (C = cone = Kegel)
empfohlener Messbereich: 20–67 HRC, nur für harte Werkstoffe. Für die Prüfung dünner Oberflächenschichten kann das Super-Rockwell C Verfahren angewendet werden, das mit reduzierten Lasten arbeitet und entsprechend weniger tiefe Eindrücke erzeugt.

4.1.4 Kerbschlagbiegeversuch (EN ISO 148-1)

Mit diesem Prüfverfahren wird untersucht, ob ein Werkstoff ein eher duktiler oder spröderes Verhalten zeigt. Ein spröder Werkstoff ist unter Umständen nicht in der Lage, Spannungen durch Verformung zu kompensieren. Beim Überschreiten einer kritischen Belastung kommt es dann ohne Vorwarnung zum gefährlichen, explosionsartigen Sprödbbruch. Um anhand einer Probe zähes resp. spröderes Verhalten zu prüfen, wird die Beanspruchung so gewählt, dass der Werkstoff möglichst mit allen sprödbbruchbegünstigenden Einflüssen, wie schlagartige, mehrachsige Beanspruchung und allenfalls tiefe Temperaturen, konfrontiert wird. Je nach Werkstoff wird mit gekerbten oder ungekerbten Proben gearbeitet. Diese werden auf einem Pendelschlagwerk zerschlagen. Gemessen wird die zum Zerschlagen der Probe verbrauchte Energie. Mit diesem Versuch kann auch der Einfluss verschiedener Versprödungsarten, wie Tieftemperaturversprödung, Anlassversprödung etc., getestet werden. Je nach Legierung kann die Temperatur einen wichtigen Einfluss auf die Kerbschlagzähigkeit haben, wie die folgende Grafik zeigt. Martensitische, ferritische und Duplexstähle zeigen mit fallender Temperatur einen relativ schmalen Temperaturbereich, in dem die Kerbschlag-

zähigkeit steil auf annähernd Null abfällt (Tieftemperaturversprödung). Je nach Legierung erfolgt dieser Abfall schon bei Temperaturen über dem Gefrierpunkt. Austenitische Stähle zeigen keinen so ausgeprägten Zähigkeitsabfall mit sinkender Temperatur, d.h. sie behalten auch bei tiefen Temperaturen den grössten Teil ihrer hohen Zähigkeit (sogenannt kaltzähe Stähle).



Kerbschlagzähigkeit verschiedener Edelstahltypen in Abhängigkeit von der Temperatur

Kerbschlagarbeit [J]

Sie ist die beim Kerbschlagbiegeversuch verbrauchte Energie und wird in Joule angegeben. Tiefe Werte deuten auf ein sprödes, hohe Werte auf ein zähes Verhalten hin. Es muss immer angegeben werden, ob die Werte an einer gekerbten oder ungekerbten Probe gemessen wurden. Bei gekerbten Proben muss die Kerbenform angegeben werden.

Kerbschlagzähigkeit [J/cm²]

Die Kerbschlagzähigkeit ist die Kerbschlagarbeit dividiert durch den Prüfquerschnitt und wird in J/cm² ausgedrückt.

4.1.5 Dauerschwingversuche (DIN 50100)

Die Dauerschwing-, auch Wöhler- oder Ermüdungsversuche genannt, prüfen das Verhalten eines Werkstoffes bei einer dauernden schwingenden Beanspruchung unter einer Belastung, die unterhalb der Dehn-/Streckgrenze liegt. Die Beanspruchung kann dabei im Druck- oder Zugbereich mit oder ohne Vorspannung liegen. Ziel des Versuches ist es, festzustellen, unter welcher Beanspruchung der Werkstoff eine bestimmte Anzahl Lastzyklen, meistens im Bereich von 10⁵ bis 10⁸, aushält, ohne zu brechen. Da eine grosse Zahl von Proben geprüft werden muss, sind solche Versuche sehr aufwendig und entsprechende Daten oft nur schwer oder gar nicht erhältlich. Für sogenannte Betriebsversuche, z.B. zur Simulation von Start- und Landezyklen, werden die Beanspruchungen entsprechend den im realen Betrieb auftretenden Beanspruchungen variiert. Die Resultate solcher Versuchsreihen werden in sogenannten Wöhler-Diagrammen zusammengefasst.

Dauerfestigkeit [N/mm²]

Abkürzung für Dauerschwingfestigkeit. Sie wird auch als Wechselfestigkeit bezeichnet und gibt die grösste Wechselbeanspruchung an, die ein Werkstoff theoretisch unendlich oft ohne unzulässige Verformung und ohne Bruch aushält.

Ermüdung

Sie wird vorwiegend durch eine Wechselbeanspruchung ausgelöst. Dabei wird das Werkstoffgefüge gelockert, was schliesslich zum Bruch führt.

4.1.6 Kriech- oder Zeitstandversuche (EN 10291)

Das Kriechen ist ein thermisch aktivierter Vorgang, der zum Bruch führen kann. Man versteht darunter ein Fließen, d.h. eine plastische Verformung des Materials, bei Spannungen unterhalb der Streck-/Dehngrenze. Die Kriechgeschwindigkeit ist von der äusseren Spannung, der Temperatur und der Zeit abhängig, d.h. die Kriechgeschwindigkeit ist zeitlich nicht konstant.

Der Standzeitversuch dient der Ermittlung des Werkstoffverhaltens bei einer ruhenden Beanspruchung unterhalb der Fließgrenze und bei einer Temperatur, bei der die Beanspruchungsdauer einen wesentlichen Einfluss auf die Festigkeit hat. Das Ziel des Versuchs ist die Ermittlung der Dauerstandfestigkeit.

Da Kriechversuche zeitlich sehr aufwendig sind, werden sie nur in Spezialfällen, z.B. für Hochtemperatur-Werkstoffe für Turbinenschaufeln durchgeführt.

Dauerstandfestigkeit [N/mm²]

Die Dauerstandfestigkeit ist die grösste Spannung bei einer bestimmten Temperatur, unter der ein anfängliches Kriechen zum Stillstand kommt und bei deren Überschreitung die Probe bricht. Da dieser Wert leider nicht festzustellen ist, ermittelt man die Zeitstandfestigkeit.

Zeitstandfestigkeit [N/mm²]

Darunter wird die Spannung verstanden, die bei einer bestimmten Temperatur nach einer bestimmten Belastungszeit (10³ ... 10⁶ h) zum Bruch führt. Dieser Versuch dient hauptsächlich der Ermittlung des Werkstoffverhaltens bei ruhender (statischer) Beanspruchung bei hohen Temperaturen. Die Angaben von Zeit und Temperatur sind unerlässlich.

Zeitbruchdehnung A_u [%]

Sie gibt die bleibende Dehnung nach dem Bruch der Probe an und wird in % ausgedrückt.

Zeitbrucheinschnürung Z_u [%]

Quotient aus der Querschnittsabnahme an der Bruchstelle und dem Anfangsquerschnitt. Die Angabe erfolgt in %.

Zeit(stand)kriechgrenze [N/mm²]

Die Zeitkriechgrenze oder Zeitdehngrenze ist die ruhende Spannung, die bei einer bestimmten Temperatur nach einer bestimmten Belastungszeit zu einem bestimmten Kriechbeitrag führt. Die Angaben von Zeit und Temperatur sind unerlässlich.

4.1.7 spezielle Versuche

Neben diesen generellen mechanischen Prüfverfahren existieren noch eine Menge weiterer mechanischer Prüfmethoden, die oft stark mit der beabsichtigten Verarbeitung des Materials gekoppelt und in den entsprechenden Normen im Detail aufgeführt sind. Als Beispiele seien hier noch folgende Prüfverfahren genannt:

Aufweitversuch

In diesem Test wird das Rohrende mit einem konischen Dorn aufgeweitet und geprüft, wie stark sich das Rohr aufweiten lässt ohne einzureissen.

Aufschweissbiegeversuch

In diesem Verfahren wird die Verformbarkeit (Duktilität) einer Schweißnaht geprüft. Dabei wird ein Blech mit einer aufgetragenen Schweißnaht so weit gebogen, bis die Schweißnaht anzureissen beginnt.

Tiefziehversuch

Bei diesem Versuch wird eine Kugel mit einem Durchmesser von ca. 2 cm in ein Blech gedrückt bis der aufgewölbte Teil des Bleches Fließmarken oder Risse aufweist.

4.1.8 Bearbeitungsversuche

In diesen Versuchen werden die optimalen Bearbeitungsparameter (Schnittgeschwindigkeit, Vorschub, Schnittwinkel etc.) für die verschiedenen Bearbeitungsmethoden (Fräsen, Bohren, Drehen, Schleifen, Erodieren, Schweißen etc.) bestimmt. Detailliertere Informationen für die verschiedenen Werkstoffe sind auf Anfrage oder bei Ihrem Werkzeuglieferanten erhältlich.

4.2 Physikalische Prüfungen

Die physikalischen Eigenschaften (elektrische Leitfähigkeit, Wärmeausdehnung, magnetische Permeabilität etc.) werden mit den entsprechenden physikalischen Verfahren geprüft, auf die hier nicht näher eingegangen wird.

4.3 Chemische Prüfungen

Die chemischen Prüfungen dienen zur Feststellung der chemischen Zusammensetzung eines Stahls und allfälliger Verunreinigungen sowie zur Prüfung der Beständigkeit gegen aggressive Medien.

4.3.1 Spektralanalyse

Die Spektralanalyse ist heute das schnellste und rationellste Verfahren zur Bestimmung der chemischen Zusammensetzung einer Legierung.

Bei diesem Verfahren wird zwischen dem Prüfobjekt und einer Elektrode ein kurzer Lichtbogen gezündet. Die verdampfenden Legierungsbestandteile beeinflussen die Strahlung des Lichtbogens, da jedes Element eine besondere Lichtfarbe erzeugt. Die Intensität ist von deren Gehalt abhängig. Das entstehende Licht wird über einen Lichtleiter auf einen optischen Analysator geleitet und so das Spektrum (Farbverteilung) bestimmt. Aus der Spektralverteilung kann auf die im Prüfobjekt enthaltenen Legierungselemente geschlossen werden. Mit hochmodernen Laborgeräten können bis zu 64 Elemente gleichzeitig bestimmt werden. Durch Vergleich mit den im Kontrollcomputer gespeicherten Normspektren kann auch die Werkstoffbezeichnung bestimmt werden.

4.3.2 chemische Analysen

Chemische Analysen werden heute nur noch in Ausnahmefällen gemacht, da sie jeweils nur ein Element umfassen und aufwendig sind. Am häufigsten werden sie noch angewendet für Elemente, die mit der Spektralanalyse nicht erfasst werden können wie z.B. C, Si, Mn, P, S sowie für die Gase O₂, H₂ und N₂. Moderne Spektralanalysengeräte sind jedoch immer mehr in der Lage, auch diese Elemente zu erfassen. Spezielle chemische Schnelltests dienen häufig dazu, das Vorhanden- oder Nichtvorhandensein eines bestimmten Elementes festzustellen, z.B. Molybdän zur schnellen Unterscheidung von V2A und V4A-Stählen.

4.3.3 Korrosionstests

Zu den Korrosionstests gehören die Kochtests nach Huey oder Strauss, Salzsprüh-, Wassernebel-, Spaltkorrosions- und Spannungsrissskorrosionstests sowie evtl. Prüfung der interkristallinen Korrosion. Diese Labortests dienen dazu, die Korrosionsbeständigkeit eines bestimmten Materials unter

bestimmten Korrosionsbedingungen (Medium, Konzentration, Temperatur, Spannung etc.) zu prüfen.

Seit kurzem sind auch Geräte erhältlich, mit denen die relative Korrosionsbeständigkeit zerstörungsfrei am fertigen Bauteil geprüft werden kann, z.B. zur Schweißnahtprüfung.

4.4 Strukturelle Prüfungen

Mit diesen Verfahren kann die Grob- und Feinstruktur eines Materials untersucht werden.

4.4.1 Grobstruktur (zerstörungsfreie Prüfung ZfP)

Diese Verfahren dienen der Prüfung von Werkstücken auf innere und äussere Fehler, ohne diese zu beschädigen oder zu zerstören.

Oberflächenfehler

Diese Verfahren werden meist bei fertigen oder fast fertigen Werkstücken eingesetzt zur Feststellung von Fehlern, die bis an die Oberfläche reichen wie z.B. Risse. Die dabei zur Anwendung kommenden Verfahren sind:

- Magnetpulverprüfverfahren (eignet sich nur für magnetisierbare Materialien): Dabei wird das Werkstück mit einer fluoreszierenden, magnetisierbaren Flüssigkeit eingespritzt und dann magnetisiert. Fehler im Oberflächenbereich führen zur Störung der magnetischen Feldlinien und zu einer Anreicherung der Flüssigkeit an diesen Stellen. Bei der Betrachtung im UV-Licht werden diese Fehlstellen sichtbar.
- Farbeindringverfahren (eignet sich für alle Materialien): Das Werkstück wird mit einer roten Flüssigkeit eingespritzt, die aufgrund ihrer sehr hohen Penetrationsfähigkeit in die Fehlstellen eindringt. Nach einer Weile wird die Farbe abgewischt und die Oberfläche mit einem weissen «Entwickler» eingespritzt, der die in den Fehlstellen verbliebene Farbe wieder herausaugt und damit die Fehlstellen sichtbar macht.

Innere Fehler

Zur Feststellung von Fehlern, die nicht bis an die Oberfläche reichen (Lunker, grobe Einschlüsse, Schweißfehler, grössere Poren) werden folgende Methoden angewandt:

- Ultraschallverfahren (anwendbar für alle Werkstoffe mit relativ glatter Oberfläche): Dabei wird das Werkstück mit Ultraschall in der Grössenordnung von einigen 100 kHz bis einigen MHz durchstrahlt. An Fehlstellen wird der Schall reflektiert. Das Echo wird auf einem Bildschirm angezeigt. Das Verfahren ist gut geeignet für den mobilen Einsatz, die richtige Interpretation der Anzeige erfordert jedoch einige Erfahrung.
- Durchleuchten mit Röntgen-, Isotopen- oder Gammastrahlen: Da die Anzeige auf Filmen erfolgt, werden diese Verfahren dann angewandt, wenn das Resultat dauerhaft dokumentiert werden muss. Es ist allerdings auf Materialdicken bis ca. 150 mm limitiert. Wegen der notwendigen Strahlenschutzrichtungen sind diese Verfahren aufwendig und benötigen entsprechende Spezialisten. Mobile Anwendungen sind möglich.
- Computertomographie: Dieses aus der Medizin bekannte Verfahren erlaubt die 3-dimensionale Darstellung von Fehlern. Die Nachteile sind ein hoher apparativer Aufwand sowie die Notwendigkeit von entsprechenden Schutzvorrichtungen und Spezialisten.

4.4.2 Fein- und Mikrostruktur

Zur Untersuchung der Fein- und Mikrostruktur werden metallografische in Verbindung mit licht- oder elektronenmikroskopischen Methoden beigezogen. Diese Verfahren werden einerseits in der Grundlagenforschung und Entwicklung eingesetzt, andererseits dienen sie auch der Abklärung von Fehlern (z.B. Wärmebehandlungs- oder Gefügefehler) und Schäden und deren Ursache.

5 BE- UND VERARBEITUNG

5.1 Allgemeine Be- und Verarbeitungsgrundsätze

Korrosionsbeständige Edelmstähle weisen aufgrund ihrer hohen Legierungsanteile von Chrom, Nickel und Molybdän Be- und Verarbeitungseigenschaften auf, die sich von denen der niedriglegierten Stähle deutlich unterscheiden und die es für einen erfolgreichen Einsatz dieser Werkstoffe zu berücksichtigen gilt. Korrosionsbeständige Stähle werden meist im Anlieferungszustand verarbeitet.

Die Verarbeitung von Edelmstahl muss unbedingt von der Verarbeitung von unlegiertem Stahl getrennt werden, sogenannte Schwarz/Weiss-Trennung. Andernfalls besteht ein grosses Risiko, dass die Edelmstahl-Oberfläche mit Eisenpartikeln verunreinigt wird, was unweigerlich zu Fremdrostbefall führt. Diese Trennung gilt nicht nur räumlich sondern auch für die verwendeten Werkzeuge. Auch bei der Lagerung und beim Transport von Edelmstahl sollte ein Kontakt mit unlegiertem Stahl (Stahlbänder zum Fixieren, ungeschützte Eisenträger etc.) vermieden werden.

5.2 Spanlose Verarbeitung – Umformen

5.2.1 Warmumformung

Eine Warmumformung ist bei allen korrosionsbeständigen Stählen möglich. Wegen der schlechten Wärmeleitfähigkeit soll die Erwärmung bis ca. 800–850°C langsam erfolgen, darüber kann sie rasch durchgeführt werden.

Ferritische Stähle werden bei den üblichen Formgebungstemperaturen sehr weich und neigen zur «Faltenbildung» sowie zu rasch einsetzendem Kornwachstum, was nur durch starke Verformung verhindert werden kann. Teile aus ferritischem Stahl werden nach der Warmumformung meist an freier Luft abgekühlt.

Die Warmumformung bei martensitischen Stählen ist im allgemeinen unproblematisch, wenn beim Erwärmen und Abkühlen das Gefügeumwandlungsverhalten berücksichtigt wird. Um die Rissgefahr bei martensitischen Stählen herabzusetzen, ist ein zu rasches Erkalten zu vermeiden.

Austenitische Werkstoffe sollten gleichmässig erwärmt werden. Die Atmosphäre darf weder schwefelhaltig sein noch eine aufkohlende Wirkung haben. Besonders wichtig ist dies bei hochnickelhaltigen Sorten. Werkstücke mit einem Querschnitt über 3 mm werden in Wasser abgeschreckt.

Für optimale Materialeigenschaften sollten warmgeformte Werkstücke einer thermischen Nachbehandlung unterzogen werden. Die entsprechenden Verarbeitungstemperaturen sind aus der Tabelle 7.6 auf Seite 121 ersichtlich.

5.2.2 Kaltumformung

Die gebräuchlichsten Kaltumformungsverfahren sind Drücken, Pressen, Biegen und Tiefziehen. Grundsätzlich eignen sich alle korrosionsbeständigen Stähle zur Kaltumformung. Der jeweils zulässige Verformungsgrad ist jedoch