

GWE Übungen Teil 2

5. Februar 2006

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Einteilung und Normung der Eisenwerkstoffe | 2 |
| 2 | Allgemeine Baustähle | 2 |
| 3 | Legierte Stähle | 2 |
| 4 | Gußeisen | 7 |
| 5 | Nichteisenmetalle | 9 |
| 6 | Sintermetalle, keramische Werkstoffe und Verbundwerkstoffe | 11 |
| 7 | Kunststoffe | 13 |
| 8 | Werkstoffprüfung | 16 |
| 8.1 | Zugversuch & Druckversuch | 16 |
| 8.2 | Härteprüfung | 19 |
| 8.3 | Kerbschlagbiegeversuch | 22 |
| 8.4 | Dauerschwingversuch | 23 |
| 8.5 | Zerstörungsfreie Prüfung | 25 |

1 Einteilung und Normung der Eisenwerkstoffe

Geben Sie in Wörtern die Bedeutung der nachfolgenden Eisenwerkstoffe an.

| | | | | |
|-----------|---------------|------------|----------------|----------------|
| Ck 35 | RR St 14 04 m | S 235 J R | X 5 Cr Ni 18 8 | GGG 40 |
| St 37-3 N | U St 13 05 g | 37 Mn Si 5 | GG 20 | GS 50 Cr Mn 44 |

| Werkstoff | Beschreibung |
|-----------------|--|
| Ck 35 | unlegierter Vergütungsstahl mit 0,35 % C und besonders niedrigem Gehalt an P und S |
| St 37-3 N | unlegierter Baustahl mit einer Festigkeit von 370 N/mm ² , doppelt beruhigt, normalisiert; Bezeichnung nach der alten Norm DIN 17100; Bezeichnung nach der neuen Norm DIN EN 10025: S 235 J2 G3 |
| RR St 1404 m | Feinblech aus besonders beruhigt vergossenem, unlegiertem Stahl in Sonder-tiefziehgüte und verbesserter, matter Oberfläche |
| U St 13 05 g | Feinblech aus unberuhigt vergossenem, unlegiertem Stahl in Tiefziehgüte mit bester, glatter Oberfläche |
| S 235 JR | unlegierter Baustahl nach DIN EN 10025; entspricht St 37-2 nach DIN 17100; Streckgrenze 235 N/mm ² , mit gewährleisteter Kerbschlagarbeit bei Raumtemperatur |
| 37 Mn Si 5 | legierter Vergütungsstahl mit 0,37 % C, 1,25 % Mn ($5/4 = 1,25$) und einem kleinerem, in den Normen festgelegten Si-Gehalt |
| X 5 Cr Ni 18 8 | hochlegierter Stahl mit 0,05 % C, 18 % Cr und 8 % Ni (Austenitischer Stahl) |
| GG 20 | Gußeisen mit Lamellengraphit, Zugfestigkeit 200 N/mm ² |
| GGG 40 | Gußeisen mit Kugelgraphit, Zugfestigkeit 400 N/mm ² |
| GS 13 Mn Ni 6 4 | legierter Stahlguß, Zugfestigkeit ca. 550 N/mm ² , 1,5 % Mn, 1 % Ni |

2 Allgemeine Baustähle

Warum läßt sich der Baustahl S 355 J2 G3 (St 52 - 3N) einwandfrei schweißen, der Baustahl E 295 (St 50 - 2) dagegen nicht?

S 355 J2G3 (St 52-3 N): Schweißbeignung ist gut, da der C-Gehalt auf maximal 0,22 % beschränkt ist.

E 295 (St 50-2): Schweißbeignung ist ungewiß, da kein Maximalwert für C festgelegt ist.

3 Legierte Stähle

3.1 Fast alle Legierungselemente können sich in kleinen Prozentsätzen im Ferrit lösen. Welchen Einfluß hat dies

- (a) auf den Ferrit und seine Festigkeit?
- (b) auf die Stahlecke des EKD?

- (a) Die gelösten LE erhöhen die geringe Festigkeit des Ferrits durch Verzerrung der Gleitebenen. Dies führt zur Mischkristallverfestigung. Die Verformbarkeit wird dabei nur geringfügig schlechter.
- (b) Der Punkt S des EKD (eutektoider Punkt) wandert mit steigenden Anteilen der LE nach links, d.h. es sind bereits bei C-Gehalten unter 0,8 % rein perlitische Gefüge möglich.

- 3.2 (a) Welche Legierungselemente haben eine starke Affinität zum Kohlenstoff? Nennen Sie vier.
- (b) Welche Folgen hat die Affinität, wie heißen die entstehenden Stoffe?
- (c) Welche Gitterstruktur haben die Stoffe, welche Eigenschaftskombination läßt sich daraus folgern?

(a) Mo, V, W, Cr, Ti, Ta, Nb

(b) Es bilden sich intermetallische Phasen aus Metall- Kohlenstoff; sie heißen Carbide. Mischcarbide setzen sich aus zwei oder mehr Metallen mit C zusammen.

(c) Es sind Gitter mit komplizierten Elementarzellen, ohne Gleitmöglichkeiten: sie sind hart und spröde.

- 3.3 In welcher Gruppe von Stählen sind die Carbide von großer Bedeutung (Begründung)?

Für Werkzeugstähle; als harte Gefügebestandteile ergeben sie höhere Verschleißfestigkeit; dies führt zu längeren Standzeiten.

- 3.4 Welche Forderung ergibt sich aus der Affinität der carbidbildenden Elemente zum Kohlenstoff für den Gehalt an Legierungselementen?

Bei hohem C-Gehalt muß auch der Gehalt an diesen LE hoch sein, damit ein Teil der LE noch für die Verfestigung des Ferrits übrig bleibt; z.B. Kaltarbeitsstahl X 210 Cr 12 mit 2,2 % C und 12 % Cr.

- 3.5 Legierungselemente können das Austenitgebiet im EKD verändern:

(a) Welche Legierungselemente erweitern das Austenitgebiet?

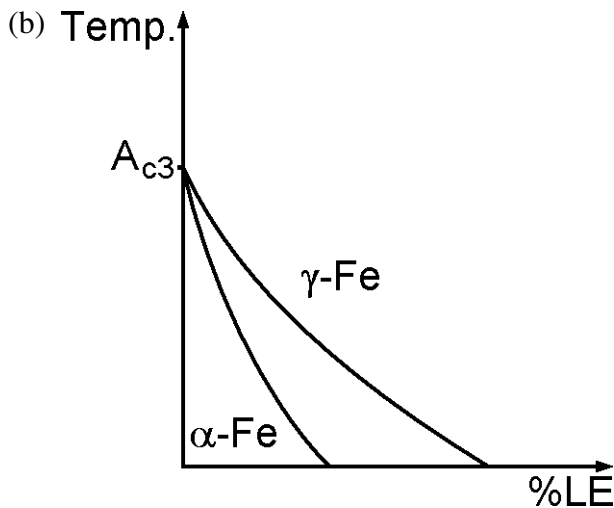
(b) Skizzieren Sie schematisch den Einfluß dieser Legierungselemente auf die Lage des Punkts A_{r3} des reinen Eisens (Teil eines Zustandsschaubildes Fe-Legierungselemente).

(c) Welche Folgen haben größere Gehalte dieser Legierungselemente auf das Gefüge der Stähle? Nennen Sie maximal fünf wesentliche Eigenschaftsunterschiede zu unlegierten Stählen.

(d) Stähle mit austenitischem Gefüge bei Raumtemperatur lassen sich außer durch hohe Anteile an bestimmten Legierungselementen auch noch auf eine andere Art erzeugen. Beschreiben Sie diese Maßnahme.

(e) Austenitische Stähle (Manganhartstahl, V2A- Stahl u.a.) zeigen eine starke Kaltverfestigung. Begründen Sie diese Erscheinung.

(a) Mn, Ni, Co, N, Zn



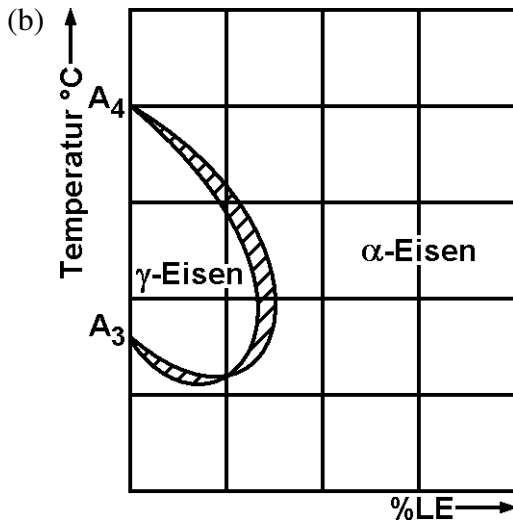
- (c) Es ergeben sich Stähle, die bei RT noch das kfz- Gitter besitzen und deshalb anstenitische Stähle genannt werden. Eigenschaften: sehr gute Verformbarkeit, niedrige Streckgrenze, stark kaltverfestigend, unmagnetisch, korrosionsbeständig, kaltzäh.
- (d) Durch Abschrecken der Stähle aus Temperaturen, bei denen sie rein austenitisch sind (Austenitgebiet der jeweiligen Zustandsschaubilder). Es entsteht ein unterkühlter, damit metastabiler Austenit, der beim Wiedererwärmen dem stabilen Gefügestand zustrebt.
- (e) Die austenitischen Stähle haben ihren Gefügestand durch Abschrecken aus dem Austenitgebiet erhalten. Sie müßten sonst viel höher legiert sein, was aus Kostengründen unmöglich ist. Sie sind daher metastabil. Bei Kaltumformung (Wandern von Versetzungen) bildet sich teilweise Martensit durch γ - α -Umwandlung ohne Diffusion der C- Atome. Dies führt zur starken Blockierung der Gleitvorgänge.

3.6 (a) Welche Legierungselemente verkleinern das Austenitgebiet?

- (b) Skizzieren Sie schematisch den linken Teil vom Zustandsschaubild Fe-Legierungselemente.
- (c) Welche Folgen haben größere Gehalte dieser Legierungselemente auf das Gefüge der Stähle? Nennen Sie vier wesentliche Eigenschaftsunterschiede zu unlegierten Stählen.
- (d) Wenn zu Fe-Cr noch Kohlenstoff legiert wird, entstehen je nach Kohlenstoffgehalt unterschiedliche Gefüge. Tragen Sie die Gefüge ein und geben Sie Eigenschaften und Verwendungen durch Ankreuzen an (wie in Zeile1).

| Gefüge | C % | Cr % | korr.-bestän. | | härtbar | | Werkzeug- stahl | Baustahl |
|------------|---------|--------|---------------|------|---------|------|--------------------|----------|
| | | | ja | nein | ja | nein | | |
| ferritisch | < 0,1 | hoch | × | | | × | | × |
| | ≈ 2 | hoch | | | | | | |
| | 0,2 – 1 | hoch | | | | | | |
| | < 0,5 | niedr. | | | | | | |
| | < 1,5 | niedr. | | | | | | |

(a) Cr, Si, Mo, V, Ti, W, ,Al.



(c) Es ergeben sich Stähle, die bei der Erstarrung kubischraumzentriert kristallisieren (ferritisch) und dieses Gefüge ohne Umwandlung bis Raumtemperatur behalten und deshalb ferritische Stähle genannt werden; geringer verformbar; warmfest, z.T. auch hitzebeständig (zunderfest); korrosionsbeständig; magnetisch, teilweise mit besonderen magnetischen Eigenschaften; kaltspröde.

(d)

| Gefüge | C % | Cr % | korrosionsbeständig | | härtbar | | Werkzeugstahl | Baustahl |
|---------------------------|---------|---------|---------------------|------|---------|------|---------------|----------|
| | | | ja | nein | ja | nein | | |
| ferritisch | | | × | | | × | | × |
| ledeburitisch | | | | × | × | | × | |
| unter- bis überperlitisch | ≈ 2 | | × | | × | | × | × |
| unterperlitisch | 0,2 – 1 | | | × | × | | | × |
| überperlitisch | < 1,5 | niedrig | | × | × | | | × |

3.7 Folgende Werkstoffe und daraus hergestellte Teile sind mit Begründung einander zuzuordnen.

| Verwendung | Werkstoff |
|---------------------------------------|---------------------|
| Transformatorblech | 165 CrMoV 4 6 |
| Nichtrostende Rasierklinge | 120 Mn 50 |
| Metallsäge | 15 Cr 3 |
| Kolbenbolzen, Ø 80 | 7 Si 17 |
| Elektromotorwelle | 18 CrNi 8 |
| Auskleidung für Kugelmühle | X 110 Cr 17 |
| Milcherhitzer | 42 CrMo 4 |
| Schweres Zahnrad, einsatzgehärtet | X 45 CrNiMo 25 5 3 |
| Auslaßventil für Hochleistungsmotoren | X 12 CrNi 18 8 |
| Dauermagnet | 45 CrVMoW 5 8 |
| Druckgußform | X 210 Cr 12 |
| Schnittwerkzeug | X 110 CoCrMo 30 8 2 |

Beim Beantworten dieser Frage kommt es nicht darauf an festzustellen, warum gerade dieser und kein anderer Stahl für ein Teil benutzt werden kann, denn die verschiedenen Hersteller sind sich in der Wahl eines Stahls für das gleiche Teil durchaus nicht einig. Es gibt eben viele Möglichkeiten.

Hier kommt es darauf an, herauszufinden, welche besondere Eigenschaft einen Stahl für ein bestimmtes Teil besonders geeignet erscheinen läßt.

Trafohle: 7 Si 17 ist eine magnetisch weiche Legierung mit 0,07% C und 4,25% Si. Si erhöht den elektrischen Widerstand, verringert also die Wirbelstromstärke und damit die Wattverluste.

Nichtrostende Rasierklinge: X 1 10 Cr 17 mit 1,1 % C zur Erlangung hoher Schneidhärte. Da ein Teil des Cr mit C Cr-Karbide bildet, muß der Cr-Gehalt entsprechend höher gewählt werden.

Metallsäge: 165 Cr Mo V 4 6 ist ein niedriglegierter Stahl mit 1,65% C, um große Härte zu erzielen, und 0,6% Mo, welches in Verbindung mit W und V Sonderkarbide bildet und dadurch die Schneidfähigkeit erhöht.

Kolbenbolzen, 80Ø: 15 Cr 3 ist ein niedriglegierter Einsatzstahl (0,15% C), um große Oberflächenhärte mit hoher Festigkeit zu vereinigen. Der Kern bleibt zäh.

E-Motorwelle: 42 Cr Mo 4 ist ein Vergütungsstahl mit 0,42% C und 1 % Cr. Der Mo-Zusatz ermöglicht es, nach dem Anlassen langsam abzukühlen und dadurch Wärmeeigenstressungen zu vermeiden, die beim Bearbeiten zum Verziehen führen würden. Mo setzt die Gefahr der Anlaßversprödung herab.

Auskleidung für Kugelmühle: 120 Mn 50 ist ein austenitischer Mangan-Hartstahl mit 12,5% Mn und 1,2% C, also etwa im Verhältnis 10:1. Er verfestigt sich stark beim Aufprallen der Kugeln.

Milcherhitzer: X 12 Cr Ni 18 8 ist ein hochlegierter, austenitischer und korrosionsbeständiger Stahl. Korrosionsbeständigkeit ist erforderlich, weil Milchsäure sehr aggressiv ist.

Schweres Zahnrad, einsatzgehärtet: 18 Cr Ni 8 ist ein niedriglegierter Einsatzstahl mit 2% Cr zur Erhöhung der Festigkeit und Zähigkeit.

Auslaßventil für Hochleistungsmotor: X 45 Cr Ni Mo 25 5 3 ist ein hochlegierter Stahl. Hoher C-Gehalt wegen der mechanischen und thermischen Beanspruchung. Cr ist das wichtigste Legierungselement für zunderbeständige Stähle.

Dauermagnet: X 110 Co Cr Mo 30 82 ist ein magnetisch harter Werkstoff mit hohem C-Gehalt. Co erhöht wie kein anderes Element die Sättigung von Dauermagneten.

Druckgußform: 45 Cr V Mo 30 82 ist ein warmfester Werkstoff, weil Mo in Verbindung mit Cr, V und W Sonderkarbide bildet und erhöht dadurch die Warmfestigkeit.

Schnittwerkzeug: X 210 Cr 12 ist ein sehr verschleißfester, ledeburitischer Stahl. Der "Ledeburit" enthält statt des Fe-Karbids Cr-Karbide und hat daher einen so hohen Schmelzpunkt, daß er ohne Bruch geschmiedet werden kann.

4 Gußeisen

- 4.1 Vergleichen Sie Stahlguß und Grauguß miteinander:

| | | |
|----------|-----------------|------------------------------------|
| | Erstarrungsform | C liegt vor als |
| Stahlguß | metastabil | Zementit (Fe_3C) |
| Grauguß | stabil | Graphit |

- 4.2 Wie beeinflussen Form und Größe der Graphitkristalle die Eigenschaften der Fe-C-Gußlegierungen?

| | |
|----------------|-------------|
| Eigenschaft | Tendenz |
| Graphitbildung | wird feiner |
| Zähigkeit | steigt |
| Festigkeit | steigt |
| Verformbarkeit | steigt |

- 4.3 Begründen Sie die Aussage, daß Stahlguß immer beruhigt vergossen werden muß.

Gußteile müssen gasblasenfrei vergossen werden, da sie nicht durch Schmieden oder Walzen weiterverformt werden. Nur dabei würden Gasblasen verschweißen.

- 4.4 Warum ist bei Stahlguß eine Wärmebehandlung so wichtig?

Stahlguß hat im Gußzustand ein grobes Gefüge (Widmannstättensche Gefüge) mit niedriger Bruchdehnung und Kerbschlagarbeit. Stahlguß wird daher nach dem Gießen stets vergütet oder normalgeglüht.

- 4.5 Von den Gußwerkstoffen hat Stahlguß die ungünstigsten Gießeigenschaften. Nennen Sie die Gründe, die für die Fertigung eines Bauteils aus Stahlguß sprechen.

Wenn hohe Festigkeit und Zähigkeit erforderlich sind (z.B. Stoßbelastung) und die Teile bei höheren Betriebstemperaturen (über 300°C) eingesetzt werden.

- 4.6 Warum hat GG eine geringe Kerbempfindlichkeit?

Die geringe Kerbempfindlichkeit von GG ist durch die in die ferritische oder perlitische Grundmasse eingelagerten Graphitblättchen bedingt. Gegenüber diesen "natürlichen" Kerben können konstruktive Kerben nicht mehr viel verschlechtern. Im Gegensatz zu Stahl, einem zähen Werkstoff, stellen konstruktive Kerben die "ersten" Kerben dar.

- 4.7 Beurteilen Sie die Eigenschaften von GG (ankreuzen und begründen).

| Eigenschaft | gut | schlecht | Begründung |
|-------------------------|-----|----------|--|
| Gießbarkeit | × | | naheutektische Legierung mit niedriger Gießtemperatur und kleinem Schwindmaß (1 %) |
| Zerspanbarkeit | × | | Graphitlamellen sind Schmierstoff und Spanbrecher |
| Verformbarkeit | | × | Kerbwirkung der Lamellen |
| Druckfestigkeit | × | | etwa das 3-fache der Zugfestigkeit |
| Dämpfung | × | | Lamellen dämpfen Körperschall (sinkt mit steigendem Perlitanteil) |
| Korrosionsbeständigkeit | × | | Gußhaut nimmt Si aus Formsand auf; legierte Werkstoffschicht |
| Notlaufeigenschaften | × | | Graphitlamellen wirken als Schmierstoff; Perlitanteil übernimmt die Tragfunktion |

- 4.8 (a) Wie lautet die normgerechte Bezeichnung für eine der Sorten "Gußeisen mit Kugelgraphit"?
- (b) Welchen Bereich überdecken die genormten Sorten?

- (c) Durch welche Gefügeigenschaften wird bei den Sorten die zunehmende Festigkeit erreicht?
- (a) GGG-40, DIN 1693
- (b) Zugfestigkeit von 350 bis 800 N/mm²; 7 Sorten. Davon sind zwei mit gewährleisteter Kerbschlagzähigkeit (GGG-35.3 und GGG-40.3).
- (c) Zugfestigkeit R_m: der Bereich der GGG-Sorten beginnt, wo die GG-Sorten enden.
Bruchdehnung: Zähigkeit liegt wesentlich höher.

4.9 Gußeisen mit Kugelgraphit unterscheidet sich von Gußeisen mit Lamellengraphit in drei mechanischen Eigenschaften besonders stark. Nennen Sie Eigenschaften und Unterschiede.

Zugfestigkeit R_m: liegt wesentlich höher als bei GG.

Bruchdehnung: Zähigkeit liegt wesentlich höher; bei zwei Sorten wird die Kerbschlagzähigkeit gewährleistet.

Dämpfung: die Dämpfungseigenschaften sind schlechter als bei GG, jedoch besser als bei GS.

- 4.10 (a) Welches Gefüge liegt beim Temperrohuß vor?
- (b) Durch welche metallurgische Maßnahme wird es erreicht?
- (c) Warum sind bei Temperguß die Wanddicke und die Werkstückmasse nach oben begrenzt?
- (a) Ein untereutektisches Gefüge (Ledeburit mit Perlit).
- (b) Der Si + C-Gehalt der Schmelze liegt etwa bei 4 %. Damit ergibt sich auch bei Wanddicken unter 6 mm ein ledeburitisches Gefüge.
- (c) Bei größeren Wanddicken und Massen findet eine langsamere Abkühlung statt. Es besteht dadurch die Gefahr von Graphitausscheidungen, deren lamellare Form auch beim Tempern bestehen bleibt. Dies würde eine Einbuße in den Festigkeits- und Dehnwerten bringen.
- 4.11 (a) Wie lautet die normgerechte Bezeichnung für die Sorten Temperguß?
- (b) Welchen Bereich überdecken die genormten Sorten?
- (c) Für welche besondere Anwendung ist die Sorte GTW-S 38 genormt?
- (a) Beispiel: GTS-35-10, DIN 1692 für nicht entkohlend geglühten (schwarzen) Temperguß; GTW-35-04 für entkohlend geglühten (weißen) Temperguß.
- (b) Zugfestigkeit von 350 bis 700 N/mm².
- (c) Für Verbundkonstruktionen mit Walzstahl; dazu muß diese Sorte schweißbar sein. Dieser Temperguß läßt sich tief entkohlen, so daß die Schweißzone nicht aufhärtet und nicht wärmebehandelt werden muß.

4.12 In welchem Produktionszweig des Maschinenbaues wird der größte Teil der Tempergußerzeugnisse verbraucht? Nennen Sie Beispiele für solche Teile aus Temperguß.

- Kurbelwellen
- Bremstrommeln
- Schaltgabeln
- Kardangabelstücke
- Ausgleichsgetriebegehäuse für LKW
- Federböcke
- Gelenkflansche für Vorderradaufhängung
- Lenkgehäuse

5 Nichteisenmetalle

5.1 Wie werden reine NE-Metalle mit Kurzzeichen benannt? Geben Sie dazu Beispiele an.

Durch chemisches Symbol mit angehängter Zahl, welche den Metallgehalt in Prozenten angibt. Die Differenz zu 100 % ist der Anteil an Verunreinigungen; näheres gibt die DIN an, z.B. ist Al 99,9 Reinaluminium mit 99,9 % Metallgehalt und 0,1 % Fremdstoffen.

5.2 Wie werden Legierungen der NE-Metalle mit Kurzzeichen benannt? Geben Sie dazu Beispiele an.

Durch Angabe von chemischen Symbolen des Basismetalls und der Hauptlegierungselementen nach fallenden Anteilen. Nach jedem LE-Symbol folgt dessen Gehalt in Prozenten. der Gehalt des Basismetalls wird nicht angegeben. Wenn keine Verwechslung möglich ist, kann die Prozentangabe der LE wegfallen. Genaue Analyse und Gehalts-Toleranzen enthält die jeweilige DIN.

Beispiele:

- Cu Al 10 Ni: Kupfer-Aluminiumlegierung (Aluminiumbronze) mit 10% Al und geringen Anteilen an Ni.
- Cu Ni 25 Zn 15: Kupfer-Nickel-Zinklegierung (Neusilber) mit 25 % Ni und 15 % Zn.

5.3 Welche Bedeutung hat das nachgestellte "F" mit einer Zahl hinter dem Kurzzeichen eines NE-Metalles?

Sie gibt die im Halbzeug durch Kaltverfestigung erreichte Zugfestigkeit an, d.h. die Zahl muß mit 10 (9,81) multipliziert werden, um die Zugfestigkeit in N/mm² zu erhalten.

5.4 NE-Metalle werden je nach der Art der Weiterverarbeitung zum Werkstück in zwei Gruppen eingeteilt. Nennen Sie die Namen dieser Werkstoffgruppen mit je zwei typischen Eigenschaften (auch Gefügemerkmale).

Knetlegierungen: meist homogenes Gefüge, gute Kalt- und / oder Warmformbarkeit, schlecht zerspanbar, daher spezielle Automatenlegierungen mit Pb-Zusätzen

Gußlegierungen: meist heterogenes Gefüge, gute Zerspanbarkeit, gute Gießbarkeit durch eutektische oder naheutektische Zusammensetzung

5.5 (a) Woran lassen sich die verschiedenen Gießarten im Kurzzeichen erkennen?

(b) Welchen Einfluß haben die Gießarten auf den Abkühlungsverlauf und damit auf das Gefüge und dessen Festigkeit und Dehnung?

(a) G-Sandguß, GK-Kokillenguß, GD-Druckguß, GZSchleuderguß, GC-Strangguß

(b) Mit steigender Abkühlungsgeschwindigkeit ergibt sich eine schnellere Erstarrung mit feinkörnigem Gefüge; dadurch steigen die Festigkeit und Bruchdehnung. Eine Ausnahme bildet Druckguß; hierbei werden beim Einspritzen des Metalls in die Form insbesondere Gasbläschen im Gefüge eingeschlossen, welche eine geringere Bruchdehnung verursachen.

5.6 Ziel des Legierens ist es, Eigenschaften des Reinaluminiums zu verändern:

(a) Welche zwei Eigenschaften sollen verbessert werden?

(b) Welche sollen möglichst erhalten bleiben?

(c) Nennen Sie mindestens drei von fünf wichtigen Legierungselementen.

- (a) Erhöhung der Streckgrenze und Zugfestigkeit
- (b) Bruchdehnung (Kaltformbarkeit) und Korrosionsbeständigkeit
- (c) Mn, Mg, Si, Cu, Zn

5.7 Knetlegierungen DIN 1725 B1.1 lassen sich in drei Gruppen gliedern, innerhalb derer bestimmte Legierungstypen zusammengefaßt sind. Tragen Sie diese in die Tafel ein:

| | Gruppe | LE bzw. LE-Kombination |
|---|--|--------------------------|
| 1 | Glänlegierungen | Mg (Cr-arm) |
| 2 | Konstruktionslegierungen, nicht aushärtbar | Mn, Mg, MgMn |
| 3 | Konstruktionslegierungen, aushärtbar | MgSi, CuMg, ZnMg, ZnMgCu |

5.8 Welche der aushärtbaren Typen ist:

- (a) sehr gut korrosionsbeständig?
- (b) wenig korrosionsbeständig?
- (a) Al Mg Si
- (b) Al Cu Mg, Al Zn Mg Cu
- (c) von höchster Festigkeit?
- (d) selbstaushärtend?
- (c) Al Zn Mg Cu
- (d) Al Zn Mg 1

5.9 Gußlegierungen DIN 1725 B1.2 sind nach Verwendungszweck und Eigenschaften in drei Gruppen eingeteilt. Nennen Sie diese.

- Sorten für allgemeine Verwendung
- für besondere Verwendung, wenn Korrosionsbeständigkeit oder Oberflächenbehandlung gefordert wird
- Sorten mit hohen Festigkeitseigenschaften

5.10 Welche Sorten der Gußlegierungen haben:

- (a) beste Gießbarkeit?
- (b) keine Seewasserbeständigkeit?
- (c) Seewasserbeständigkeit?
- (d) beste anodische Oxydierbarkeit?
- (e) höchste Korrosionsbeständigkeit und gute Gieß- und Schweißbarkeit?
- (f) hohe Festigkeit und Seewasserbeständigkeit?
- (g) hohe Festigkeit und beste Polierbarkeit?
- (a) G-Al Si 12 , G-Al Si 10 Mg , G-Al Si 9 Mg
- (b) alle Cu-haltigen Sorten
- (c) alle G-Al Mg- und G-Al Mg Si-Sorten
- (d) G-Al Mg 5
- (e) G-Al Mg 5 Si
- (f) G-Al Si 9 Mg, G-Al Si 7 Mg
- (g) G-Al Cu 4 Ti, G-Al Cu 4 Ti Mg

5.11 Welche drei Arbeitsgänge gehören zur Wärmebehandlung "Aushärten"? Beschreiben Sie die inneren Vorgänge, die dabei ablaufen. Wie können die inneren Vorgänge beim letzten Arbeitsgang verzögert oder sogar verhindert werden?

- Lösungsglühen: Löslichkeit von Al für LE steigt mit der Temperatur; dabei gehen Sekundärausscheidungen wieder in Lösung; es entsteht bei der Glüh Temperatur ein homogenes Mischkristallgefüge.
- Abschrecken: Das Gefüge bleibt noch homogen, Mischkristalle sind jedoch übersättigt; Festigkeit kaum erhöht, Verformbarkeit noch unverändert.
- Auslagern: Die örtliche Anreicherung der LE im Mischkristall als Gleitblockierung; Der Vorgang ist zeit- und temperaturabhängig; Die Festigkeit steigt, Bruchdehnung fällt weniger ab, als bei der Kaltverformung;
Warmauslagern: Bildung submikroskopischer Kristalle (intermetallische Verbindungen); deshalb ist die Korrosionsbeständigkeit geringer als bei kaltausgehärteten Legierungen.

5.12 Muß für das Warmauslagern einer Aluminium-Legierung eine bestimmte Temperatur und Zeit eingehalten werden, oder sind diese oberhalb einer bestimmten Temperaturschwelle beliebig (Begründung)?

Für die Diffusionsvorgänge sind Zeit und Temperatur maßgebend:

- Temperatur zu niedrig: lange Auslagerungszeit erforderlich, bis die max. Festigkeit erreicht ist.
- Temperatur zu hoch: kurze Auslagerungszeit erforderlich; Festigkeit erreicht nicht den Höchstwert, geringe Überzeitung läßt die Festigkeit schnell abfallen.

6 Sintermetalle, keramische Werkstoffe und Verbundwerkstoffe

6.1 Nennen Sie die vier Hauptarbeitsgänge bei der Herstellung von Sintermetallen.

Pulverherstellung, Pressen, Sintern, Kalibrieren

6.2 Die angewandten Preßdrücke bei Sintermetallen betragen 4 bis 6 kbar. Welche Kraft wäre erforderlich, um ein Teil mit einer Preßfläche von 4cm^2 bei 6 kbar zu pressen?

$$F = p \cdot A = 6 \cdot 10^4 \text{N/cm}^2 \cdot 4\text{cm}^2 = 24 \cdot 10^4 \text{N} = 240\text{kN}$$

6.3 Worauf ist die Festigkeit des Preßlings zurückzuführen?

Die Teilchen verklammern sich mechanisch beim Preßvorgang. Das geschieht bei unregelmäßig geformten Teilchen besser als bei kugeligen.

6.4 Was verstehen Sie unter Sintern?

Sintern ist ein Glühen von feinpulverigen, zusammengepreßten Stoffen, bei dem durch Platzwechsel der Atome (Diffusion) die Teilchen über ihre Berührungsflächen hinweg zusammenkristallisieren (verschweißen).

6.5 Welchen Einfluß hat der Sintervorgang auf Dichte und Maße des Preßlings?

Die Dichte steigt von der Preßdichte auf die Sinterdichte; dabei tritt eine Schrumpfung ein. Cu-legierte Fe-Pulver zeigen kleinere Schrumpfung, bei höheren Cu-Gehalten tritt ein Wachstum ein.

6.6 Welcher Arbeitsgang schließt sich in den meisten Fällen an das Sintern an?

Kalibrieren; es ist ein Nachpressen in einem weiteren Werkzeug. Es ist erforderlich, weil die Volumenänderung beim Sintern von verschiedenen Faktoren abhängt (Preßdruck, Pulverart, Sintertemperatur); damit läßt sich nicht genau die Form- und Maßhaltigkeit vorherplanen; durch das Kalibrieren wird die Ausschußrate stark reduziert.

6.7 Nach welchem Gesichtspunkt erfolgt eine Normung der Sinterwerkstoffe in Klassen?

Eine Grobeinteilung erfolgt nach der Raumfüllung (Gegensatz von Porosität) in Werkstoffklassen Sint-A bis Sint-G und eine Sonderklasse Sint-S. Die Raumfüllung beträgt 73 % bis 95 %. innerhalb jeder Klasse werden die unterschiedlichen Werkstoffe durch zwei Ziffern angegeben.

6.8 Welche chemische Bindungsarten liegen bei der technischen Keramik vor?

Oxidkeramik mit Ionenbindung; Nitride und Carbide mit Atombindung

6.9 Einige Eigenschaften von Keramik sind infolge der Bindungsart und des Kristallgitters schlechter als die der Metalle. Nennen und begründen Sie davon drei Eigenschaften.

| Eigenschaft | Begründung, Ursache |
|---|---|
| Urformen durch Gießen nicht möglich | hohe Schmelzpunkte bei 2000°C und höher, keine Formstoffe bekannt |
| keine Zähigkeit und plastische Verformbarkeit | keine Gleitmöglichkeiten; eventuelle innere Mikrorisse durch Sintern würden zur Schädigung führen |
| Zerspanen nur durch Schleifen möglich | hohe Härte wegen kleiner Atome mit starker chemischer Bindung |
| geringe Wärmeleitfähigkeit (teilweise) | Ionen- und Atombindung haben keine freien Elektronen |

6.10 Einige Eigenschaften von Keramik sind deutlich besser als die der Metalle. Nennen und begründen Sie davon drei Eigenschaften.

| Eigenschaft | Begründung, Ursache |
|-------------------------------------|---|
| Härte und Warmfestigkeit sehr hoch | keine Gleitmöglichkeiten im Gitter, starke Kräfte zwischen kleinen Atomen |
| Korrosionsbeständigkeit sehr hoch | Keramik besteht aus chemischen Verbindungen, in denen Atome eine abgeschlossene Elektronenhülle erreichen |
| Verschleißwiderstand allgemein hoch | hohe Härte gegen Abrasion; Nichtmetallcharakter gegen Adhäsion |

6.11 Welches Fertigungsverfahren wird hauptsächlich für Bauteile aus keramischen Stoffen eingesetzt? Begründen Sie es.

Pulvermetallurgische Herstellung durch Pressen von Pulvern und anschließendes Sintern. Die Dichte kann durch Variation, wie z.B. Heißpressen, kaltisostatisches Pressen (KIP) oder heißisostatisches Pressen (HIP) erhöht werden.

6.12 Wie wird der Begriff "Verbundwerkstoff" definiert? Geben Sie zwei Beispiele an.

- Metall mit Keramik: Al Al-Oxid verstärkt
- Polymer mit Keramik: Kunststoffe mit Glasfasern oder -kugeln verstärkt
- Metall mit Polymer: Sintermetalle mit PTFE-Einlage

6.13 Welche Verbundstruktur wird zur Erhöhung der Festigkeit und Steifigkeit bei Bauteilen verwendet? Begründen Sie es.

Faserverbundwerkstoffe sind wegen der hohen Festigkeit der Fasern und ihrer geringen Dichte die größte Gruppe. In Verbindung mit einer Matrix geringer Dichte (Polymere, Leichtmetalle) ergeben sie Leichtbaustoffe mit hoher Reißlänge und hoher Steifigkeit. Fasern können auch als sogenannte Fasergelege örtlich begrenzt zur Eigenschaftverbesserung in ein Bauteil eingebracht werden.

6.14 Nennen Sie zwei Anwendungsbeispiele für den Schichtverbund.

Einsatz walzplattierter Bleche im Apparatebau:

1. Der Trägerwerkstoff liefert die Festigkeit:

- Der durch Walzplattierung aufgebrauchte Werkstoff, meist ein Austenit, liefert die Korrosionsbeständigkeit.

2. Stahlblech ein- oder zweiseitig mit Kunststoff beschichtet (kaschiert) :

- Stahlblech ist formsteif.
- Kunststoff Beschichtung kann wirken als Isolation, Dekoration, Korrosionsschutz u. a.

7 Kunststoffe

7.1 Vergleichen Sie Kunststoffe mit Metallen. Beschreiben Sie dabei fünf Eigenschaften von Kunststoffen, die für ihr Verhalten bestimmend sind.

- Kunststoffe sind meist amorph und bestehen aus Makromolekülen. Einige Kunststoffe sind teilkristallin und bilden Molekülgitter. Metalle dagegen sind nur kristallin.
- Kunststoffe sind Nichtleiter, da die Valenzelektronen in Elektronenpaaren gebunden sind. Kunststoffe sind gute Isolationswerkstoffe. Metalle sind gute Leiter.
- Kunststoffe lassen sich leicht mit Füll-, Farb- und Verstärkungsstoffen verarbeiten, bei Metallen ist es kaum möglich.
- Kunststoffe sind leichter als die leichtesten NE-Metalle:

| Werkstoff | Dichte ρ |
|-------------|--------------------------------------|
| Kunststoffe | $< 1,7 \text{ kg/dm}^3$ |
| Mg, Al, Ti | $1,7 \text{ bis } 5 \text{ kg/dm}^3$ |
| Fe, Cu, Zn | $5 \text{ bis } 10 \text{ kg/dm}^3$ |

- Kunststoffe sind wesentlich biegeweicher als Metalle, d.h. sie haben einen kleineren E-Modul.
Ursache: schwache Bindungskräfte zwischen den Molekülen und Fehlen einer dichten Packung.

7.2 Die Moleküle von chemischen Verbindungen (z.B.: Methan CH_4) haben eine gleiche Zusammensetzung und konstante Größe. Wie steht es damit bei den Kunststoffen?

Kunststoffe bestehen aus ketten- oder netzartigen Makromolekülen von unterschiedlicher Größe (Länge); es kann immer nur eine mittlere relative Molekülmasse angegeben werden.

7.3 Das Verhalten der C-Atome bei der Bindung mit H-Atomen ist die Grundlage der Kunststoffchemie. Welche zwei besonderen Eigenschaften der C-Atome sind es?

C-Atome können untereinander Bindungen zu ketten- und ringförmigen Molekülen eingehen. Mit steigender Kettenlänge steigen Dichte und Schmelzpunkt der Stoffe. C-Atome können Doppel- oder Dreifachbindungen eingehen, solche Moleküle sind reaktionsfähig.

7.4 Kunststoffe werden nach ihrer Entstehungsreaktion in drei große Gruppen eingeteilt. Wie heißen diese Gruppen? Nennen Sie jeweils zwei Polymere mit Kurzzeichen.

- Polymerisation: Polyvinylchlorid PVC, Polyethylen PE
- Polykondensation: Phenolformaldehyd PF, Polycarbonat PC
- Polyaddition: Polyurethan PU, Epoxidharze EP

7.5 Für alle drei Entstehungsreaktionen können jeweils zwei Arten von räumlich unterschiedlich gebauten Makromolekülen entstehen. Welche gegensätzliche mechanisch-technologischen Eigenschaften haben diese Makromoleküle?

| | Molekülstruktur | Kunststofftyp | mechanisch-technologische Eigenschaften |
|---|------------------|---------------|--|
| 1 | Fadenmoleküle | Thermoplast | weich, zäh, warmverformbar, schweißbar |
| 2 | Raumnetzmoleküle | Duroplast | hart, spröde, nicht verformbar, nicht schweißbar |

7.6 Im Polymer treten zwei verschieden starke Bindungskräfte auf. Nennen Sie diese mit Angabe der Stärke, der Partner, zwischen denen sie wirken und der eventuellen Einflußgrößen.

Primärbindungen: sind starke Elektronenpaarbindungen zwischen den Kettengliedern, sie sind von der Art des "Bausteins" abhängig.

Sekundärbindungen: sind schwache abstandsabhängige Kräfte zwischen den Ketten, abhängig von der Molekülgestalt, -länge, innerer Ordnung und Temperatur.

7.7 Woraus bestehen Formmassen (allgemein)? Nennen Sie drei Harztypen, die als Grundlage für Formmassen eingesetzt werden. Welche Zusätze werden in den Formmassen verwendet, wenn

- hohe gute elektrische bzw. thermische Isoliereigenschaften
- hohe Zähigkeit
- niedriger Preis

verlangt werden?

Formmassen sind Mischungen von Kunstharzen im schmelzbaren Zustand mit Zusätzen; die Formmassen haben konstante Verarbeitungseigenschaften (Temperatur, Druck, Zeit), sowie genormte Mindestwerte an mechanischen Eigenschaften, die an Probestäben nachgeprüft werden.

Harztypen:

- Phenol-Kresolharz PF
- Melaminharze MF
- Epoxidharze EP
- Harnstoffharze UF
- Polyesterharze UP

Eigenschaften:

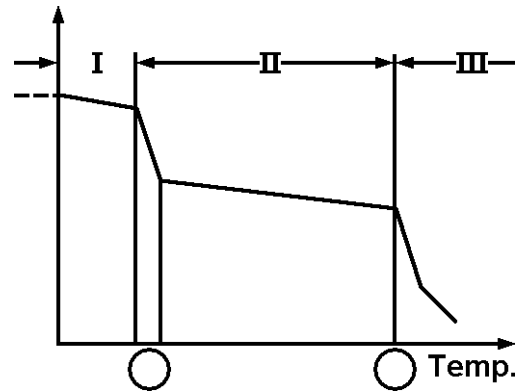
- gute elektrische Isoliereigenschaften: Glasfasern
- erhöhte thermische Eigenschaften: Gesteinsmehl
- hohe Zähigkeitseigenschaften: Fasern, Schnitzel, Papier, Textilien, Holz, Glas

- preiswert: Holzmehl

7.8 Die Kennlinie zeigt schematisch das grundsätzliche Temperaturverhalten eines teilkristallinen Thermoplastes:

- (a) Welche Größe ist auf der Ordinate aufgetragen?
 (b) Welche beiden Temperaturen grenzen die drei Bereiche I, II, und III ab?

- (c) In jedem der drei Bereiche zeigt das Polymer äußerlich ein bestimmtes mechanisches Verhalten, das auf ein Verhalten der Kettenmoleküle zurückzuführen ist. Geben Sie das Verhalten für die drei Bereiche an.



- (d) In welchem Bereich (Bild) wird ein Thermoplast (1) verarbeitet, (2) als Bauteil eingesetzt?
 (e) Welchen wesentlichen Unterschied hat die Kennlinie eines amorphen Thermoplastes zum dargestellten Bild?

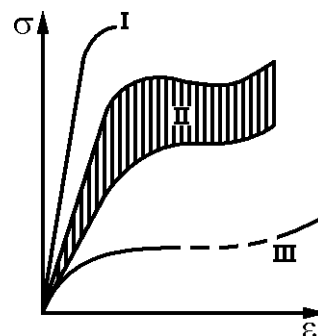
- (a) Der Elastizitätsmodul oder Gleitmodul (Steifigkeit gegen Biegung und Verdrehung);
 (b) Die Glasübergangstemperatur T_g (Einfriertemperatur), linke Seite im Diagramm und die Kristallit-Schmelztemperatur T_m , rechte Seite im Diagramm

| (c) Bereich | mechanischer Zustand | innerer Zustand |
|-------------|---|---|
| I | spröde | völlige Unbeweglichkeit der |
| II | zähhart (thermoelastisch) | amorphe Bereiche der Ketten sind beweglich |
| III | plastisch bis schmelzend (viskoelastisch) | Kristallite sind aufgelöst, Verschlaufungen gelockert |

- (d) (1) im Bereich III
 (e) Die Kurve verschiebt sich stärker nach links (Glasübergangstemperatur) und schwächer nach unten (Steifigkeit). Amorphe Thermoplaste werden im Bereich I eingesetzt.

7.9 Im Kurzzeitversuch zeigen die Thermoplaste die drei skizzierten typischen Kennlinien.

- (a) Geben Sie zu jedem Typ von Kennlinie das mechanische Verhalten und je einen Thermoplasten mit Namen und Kurzzeichen als Beispiel.



- (b) Welchen Typ von Kennlinie haben Thermoplaste, die für Maschinenteile wie z.B.: Zahnräder, isolierende Schrauben, Kupplungsteile, Bohrmaschinengehäuse u.a. verwendet werden?

(a)

| Kennlinie | mechanische Eigenschaft | Beispiel |
|-----------|---------------------------|----------------------|
| I | hart, spröde, formsteif | PMMA, PS |
| II | zäh-elastisch, schlagfest | PA, PC |
| III | weich, hohe Reißdehnung | PE weich, Elastomere |

7.10 Welche Auswirkungen haben Glasfaserverstärkungen auf

- (a) mechanische Eigenschaften,
 (b) thermische Eigenschaften,
 (c) Verarbeitungseigenschaften?
- (a) E-Modul und Zugfestigkeit steigen 2 bis 3-fach. Die Dehnung und Zähigkeit sinken, ebenso die Kriechneigung.
 (b) Wärmedehnung sinkt auf 1/3, Dauerwärmebeständigkeit wird um 10 bis 30°C erhöht.
 (c) Fließfähigkeit in der Form sinkt, die Glasgehalte sind deshalb nach oben begrenzt (maximal 30 %).

8 Werkstoffprüfung

Die nachfolgenden Übungsaufgaben basieren im wesentlichen auf dem Stoff, der im Werkstoffkunde-Praktikum vermittelt wird (s. gesonderte Unterlagen). Bei der Bearbeitung und zum Verständnis sind die Vorlesung "Werkstoffkunde" und die in der Einführung genannten Literaturstellen hilfreich.

8.1 Zugversuch & Druckversuch

8.1.1 Welche Werkstoffkennwerte werden durch den Zugversuch ermittelt bzw. nachgeprüft (Name, Formelzeichen)?

Zugfestigkeit R_m , Streckgrenze R_e , 0,2-Dehngrenze $R_{p0,2}$, Elastizitätsmodul E , Bruchdehnung A , Brucheinschnürung Z .

8.1.2 Was versteht man unter Proportionalstäben?

Zugprobe, bei der die Meßlänge L_0 (Abstand der Meßmarken) das 5-fache des Probendurchmessers d beträgt.

8.1.3 Welche beiden physikalischen Größen sind im Maschinendiagramm verknüpft? Auf welche Weise wird aus dem probenabhängigen Maschinendiagramm das probenunabhängige, den Werkstoff kennzeichnende Diagramm und wie heißt es?

- Kunststoffe sind meist amorph und bestehen aus Makromolekülen. Einige Kunststoffe sind teilkristallin und bilden Molekülgitter. Metalle dagegen sind nur kristallin.
 - Kunststoffe sind Nichtleiter, da die Valenzelektronen in Elektronenpaaren gebunden sind. Kunststoffe sind gute Isolationswerkstoffe. Metalle sind gute Leiter.
 - Kunststoffe lassen sich leicht mit Füll-, Farb- und Verstärkungsstoffen verarbeiten, bei Metallen ist es kaum möglich.

- Kunststoffe sind leichter als die leichtesten NE-Metalle:

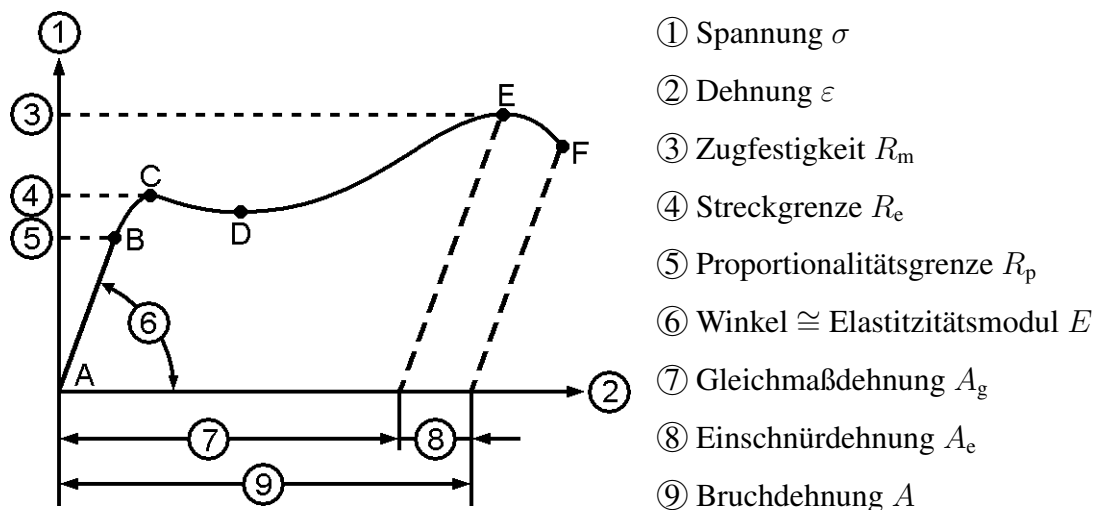
| Werkstoff | Dichte ρ |
|-------------|--------------------------------------|
| Kunststoffe | $< 1,7 \text{ kg/dm}^3$ |
| Mg, Al, Ti | $1,7 \text{ bis } 5 \text{ kg/dm}^3$ |
| Fe, Cu, Zn | $5 \text{ bis } 10 \text{ kg/dm}^3$ |

- Kunststoffe sind wesentlich biegeweicher als Metalle, d.h. sie haben einen kleineren E-Modul.

Ursache: schwache Bindungskräfte zwischen den Molekülen und Fehlen einer dichten Packung.

Die Zugkraft an der Probe ist über die Verlängerung der Probe aufgetragen. Die Zugkraft wird durch den ursprünglichen Probenquerschnitt geteilt, damit ergibt sich die rechnerische Nennspannung σ , die auf der Ordinate aufgetragen wird. Auf der Abszisse wird die Dehnung ε aufgetragen, diese ergibt sich aus der Division der Probenverlängerung durch die Meßlänge L_0 , damit erhält man das Spannungs-Dehnungs-Diagramm.

- 8.1.4 Vervollständigen Sie das skizzierte schematische Werkstoff-Diagramm eines weichen Stahles (St 37) durch Eintragen der markanten Werkstoffkennwerte und der Achsenbezeichnungen (Name und Formelzeichen) 1 bis 9. Für die Phasen des Versuches sind anzugeben: besondere Bezeichnung, evt. Namen markanter Punkte, sowie die inneren Vorgänge in der Probe. Im Einzelnen für die Abschnitte AB, BC, CD, DE und EF.



AB: Hookesche Gerade mit der Proportionalitätsgrenze R_p beim Punkt B. Die Probe ist elastisch verformt, d.h. Spannung und Dehnung sind proportional.

BC: Die Probe wird gering plastisch verformt. Bei Punkt C ist die Streckgrenze R_e erreicht.

CD: Fließvorgang, daran anschließend ruckweises Abgleiten (Stau und Wandern von Versetzungen)

DE: Kaltverfestigung, deshalb Ansteigen der zum weiteren Dehnen erforderlichen Spannung. Die Probe dehnt sich gleichmäßig bis Punkt E. Hier liegt die Zugfestigkeit R_m .

EF: Ab Punkt E erfolgt die Einschnürung, Dehnung erfolgt nur noch im Einschnürbereich, bis der Restquerschnitt reißt. Bei F wirkt im Bruchquerschnitt die maximale wahre Spannung.

- 8.1.5 Für welche Art von Werkstoffen muß die 0,2-Dehngrenze ermittelt werden, welche Bedeutung hat sie?

Bei Werkstoffen, deren Spannungs-Dehnungs-Diagramm von der Hookeschen Geraden an ohne erkennbares Zwischenmaximum oder "Nase" ansteigt, d.h. die Streckgrenze ist nicht oder

nur schwach erkennbar. Die 0,2-Dehngrenze ist eine der Streckgrenze gleichwertige Festigkeitsangabe; es ist die Spannung, welche im Probestab eine festgelegte, minimale, plastische Verlängerung hervorruft (0,2 % von L_0).

8.1.6 Bei einem Zugversuch mit einem Proportionalstab von 8 mm Durchmesser werden gemessen:

- Länge nach dem Bruch 48 mm
- kleinster Querschnitt nach dem Bruch 35 mm^2
- Kraft an der Streckgrenze 22 kN
- größte Kräfte 30 kN

Wie groß sind Zugfestigkeit, Streckgrenze, Bruchdehnung und Brucheinschnürung?

$$R_m = 596,8 \text{ N/mm}^2, R_e = 437,7 \text{ N/mm}^2, A_5 = 20\%, Z = 30,4\%.$$

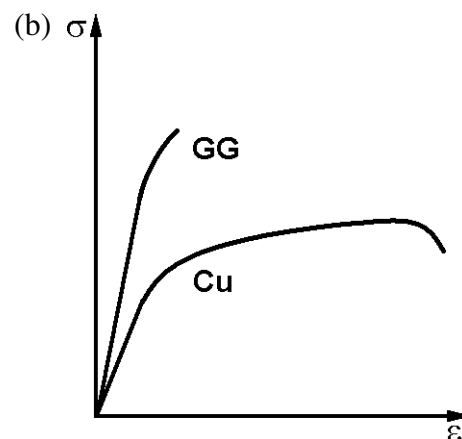
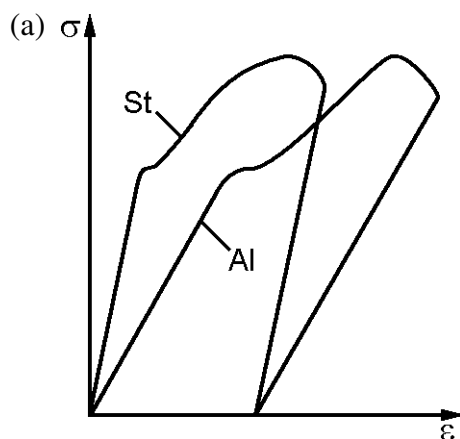
8.1.7 Ein vergüteter Stahl mit einer 0,2-Dehngrenze von 1000 N/mm^2 soll nachgeprüft werden. Es steht als Zugprobe ein Proportionalstab von 6 mm Durchmesser zur Verfügung.

- (a) Welche Kraft muß mit der Prüfmaschine aufgebracht werden?
- (b) Welche bleibende Längenänderung muß sich ergeben?

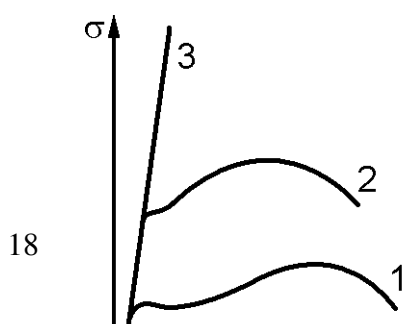
- (a) $F = 28,3 \text{ kN}$
- (b) $\Delta L = 0,06 \text{ mm}$ mit $L_0 = 30 \text{ mm}$

8.1.8 Skizzieren Sie schematisch in jeweils ein Achsenkreuz die σ - ϵ -Diagramme von:

- (a) einer Al-Legierung und einem Stahl unter der Annahme, daß sie gleiche Festigkeiten und Bruchdehnung besitzen (beachten Sie die unterschiedlichen E-Module),
- (b) einem weichen Metall mit hoher plastischer Verformbarkeit (z.B. Cu) und ein hartes Metall mit sprödem Verhalten (z.B. GG).



8.1.9 Ordnen Sie den drei σ - ϵ -Diagrammen die Gefügestände: gehärtet, vergütet und normalisiert zu, und geben Sie eine kurze Begründung.



| Kurve | Zustand, Begründung |
|-------|---|
| 1 | normalisiert, niedrige Festigkeit, hohe Bruchdehnung |
| 2 | vergütet, mit erhöhter Streckgrenze und Zugfestigkeit bei noch guter Bruchdehnung (Zähigkeit) |
| 3 | gehärtet, mit sehr hoher Festigkeit (und Härte), keine merkliche Bruchdehnung (sehr spröde) |

8.1.10 Erklären Sie, warum Grauguß eine etwa 3-fach höhere Druck- als Zugfestigkeit aufweist.

Die Graphitblättchen im Grauguß haben nur eine Zugfestigkeit von 20 N/mm^2 , sie können sich also am Übertragen einer Zugkraft kaum beteiligen. Die Zugkraft wird daher nur von der Grundmasse (Ferrit und Perlit) übertragen, in der die Graphitblättchen wie Kerben wirken. Dies ergibt eine geringe Zugfestigkeit, dagegen tritt beim Übertragen einer Druckkraft keine Kerbwirkung auf, zumal die allseitig eingeschlossenen Graphitblättchen sich an der Übertragung der Druckkraft beteiligen.

8.1.11 Wie läßt es sich erklären, daß die Streckgrenze und die Quetschgrenze eines weichen Stahls etwa gleich große Beträge haben?

Für das Fließen unter Zug und Druck gelten grundsätzlich die gleichen Bedingungen: Sobald die Schubspannung unter 45° zur Krafrichtung einen Grenzwert überschreitet, beginnt das Gleiten. Erst dann beginnt der Querschnitt, merklich kleiner (Zugversuch) bzw. größer (Druckversuch) zu werden mit der daraus folgenden großen Abweichung der Nennspannungen im Zug- bzw. Druckbereich des σ - ε -Diagramms. Der - immerhin vorhandene - geringe Unterschied zwischen Streckgrenze und Quetschgrenze läßt sich damit erklären, daß die trennende (Zugversuch) bzw. zusammendrückende (Druckversuch) Normalspannung in der Gleitebene eine zusätzliche, das Gleiten erschwerende bzw. fördernde Wirkung hat.

8.2 Härteprüfung

8.2.1 (a) Wie wird die Härte metallischer Werkstoffe definiert?

(b) Nennen Sie zwei wichtige Gründe für die häufige Anwendung der Härteprüfungen bei der Fertigung von Werkstücken.

(c) Bei den drei wichtigen Härteprüfverfahren wird ein Eindruck in der Randschicht erzeugt und vermessen. Welche Forderung ergibt sich daraus für die Beschaffenheit der Oberfläche?

(a) Härte ist der Widerstand des Gefüges gegen das Eindringen eines härteren Prüfkörpers.

(b) • Die Härte eines Gefüges hängt von seinem Zustand (Wärmebehandlung) ab, umgekehrt läßt sich aus der Härte auf den (evtl. falschen) Gefügestand schließen.

• Es ist keine besondere Probe nötig, am Werkstück entstehen nur unwesentliche Eindrücke.

(c) Je kleiner der Eindruck, umso höher muß die Oberflächengüte sein (kleinere Rauhtiefe).

8.2.2 Beschreiben Sie Eindringkörper und Meßwert und machen Sie qualitative Angaben über Prüfkraft und Ermittlung der Härtewerte für das:

- (a) Brinellverfahren (b) Vickersverfahren (c) Rockwellverfahren

- (a) gehärtete Stahlkugeln (oder aus Sinterhartstoff) von 1; 2,5; 5 und 10 mm Durchmesser; Kräfte von Kugeldurchmesser und Werkstoff abhängig, in Stufen genormte Werte; Durchmesser des Kugeleindrucks; Brinellhärte ist der Quotient aus Prüfkraft durch Eindruck (Kalotten-) oberfläche.
- (b) vierseitige Diamantpyramide mit 136° Spitzwinkel; Prüfkraft beliebig, jedoch feste Werte nach Norm; Diagonale des Pyramideneindrucks; Vickershärte ist der Quotient aus Prüfkraft durch Eindruck- (Pyramiden-) oberfläche.
- (c) Diamantkegel mit 120° Spitzenwinkel; Prüfkraft konstant, als Prüfvor- und Prüfkraft in zwei Teilen aufgebracht; Härtewert ist der bleibenden Eindringtiefe (unter der Prüfkraft gemessen) umgekehrt proportional.

8.2.3 Eine Härtemessung bei Stahl ergibt mit $D = 5$ mm einen Eindruckdurchmesser $d = 1,8$ mm. Bestimmen Sie Prüfkraft und Härtewert (Kurzangaben nach Norm).

$$F = 7355 \text{ N } 285 \text{ HB } 5 / 750$$

8.2.4 (a) Für welchen Bereich der Härtemessung (Werkstoff, Abmessung) ist das Brinellverfahren nicht geeignet (Begründungen)?

(b) Für welche Art von Werkstoffen ist das Brinellverfahren das einzige, welches reproduzierbare Werte liefert?

(c) Welche wichtige Anwendung hat das Brinellverfahren neben der Messung der Härte?

(a) Für Stoffe mit einer Härte über 450 HB. Hierbei wird infolge der Abplattung der Kugel (elastische Verformung) ein größerer Eindruck erzeugt, damit ein weicherer Werkstoff vorgetäuscht. Zusätzlich ist das Ausmessen der flachen, kleinen Kalotte mit größeren Meßfehlern behaftet. Für dünne Randschichten, weil der relativ große Kugeleindruck die tieferliegenden Schichten kaltverfestigt.

(b) Für Werkstoffe mit heterogenem Gefüge mit Kristallarten von stark unterschiedlicher Größe und Härte (Grauguß, Lagermetalle). Die 10 mm-Kugel trifft mit Wahrscheinlichkeit alle Phasen, es wird ein Mittelwert gemessen.

(c) Zur Kontrolle der Zugfestigkeit von Stählen bis zu $\max. 1500 \text{ N/mm}^2 = 430 \text{ HB}$ nach $R_m = 3,5 \text{ HB}$.

8.2.5 (a) Ein Werkstoff hat eine Härte 850 HV 30. Welche Größe hat der Meßwert des Eindrucks?

(b) Neben der "normalen" Vickersprüfung gibt es zwei wichtige Abarten. Geben Sie deren Namen, Kräfte und Anwendungen an.

(c) Welche Vorteile besitzt das Vickers-Härteprüfverfahren gegenüber den beiden anderen (Brinell- und Rockwellverfahren)?

(a) Diagonale $d = 0,2557$ mm

(b) i. Kleinlastbereich mit Kräften von 1,96 bis 49 N für Messung dünner Randschichten, runde Teile mit kleinen Radien, dünner Bänder und Folien.

ii. Mikrohärtmessung mit Kräften unter 1 N für einzelne Gefügebestandteile, für sehr spröde, harte Stoffe, die bei größeren Eindrücken zerspringen würden, galvanische Schichten.

(c) Es ist das Verfahren der höchsten Genauigkeit, kombiniert mit dem breitesten Meßbereich.

- 8.2.6 (a) Das Rockwell-Verfahren läuft in drei Schritten ab. Beschreiben Sie diese unter Angabe der Kräfte, sowie dem Verhalten von Eindringkörper und Meßgerät.
- (b) Für welchen Bereich der Härtemessung (Werkstoff, Abmessung) ist das Verfahren nicht geeignet (Begründung)?
- (c) Ein nach dem HRC-Verfahren geprüfetes Werkstück zeigt am Meßgerät einen Meßwert $t_b = 0,09$ mm an. Wie groß ist die Rockwellhärte (Angabe nach Norm)?
- (d) Welche Vorteile besitzt das Rockwell-Prüfverfahren gegenüber den beiden anderen (Brinell- und Vickers-Verfahren)?
- (a) Prüfvorkraft $F_0 = 98$ N wird aufgebracht. Diamant dringt sehr wenig in das Werkstück ein. Meßgerät muß danach Null anzeigen.
Prüfkraft $F_1 = 1373$ N wird aufgebracht. Diamant dringt unter der Prüfgesamtkraft $F = 1471$ N weiter ein. Meßgerät zeigt plastische und elastische Eindringtiefe an.
Wegnahme der Prüfkraft F_1 . Diamant drückt mit F_0 auf die Probe. Meßgerät zeigt jetzt weniger, d.h. nur die bleibende Eindringtiefe t_b an. Rockwellhärte kann direkt abgelesen werden.
- (b) Werkstoffe unter 20 HRC und über 70 HRC aus Gründen der Genauigkeit, Werkstücke und Schichten unter 0,7 mm Dicke wegen der Wirkung der Auflagefläche.
- (c) $HRC = 100 - 500 \cdot 0,9 = 100 - 45 = 55$, Härte beträgt 55 HRC.
- (d) Schnelle Messung mit direkter Ablesung des Härtewertes.

8.2.7 Geben Sie für nachstehende Anwendungsfälle das am besten geeignete Härteprüfverfahren an, (HB, HV, HRC) :

- (a) Zylinderkopf aus GG - 25
 (b) Schnittplatte aus gehärtetem Stahl
 (c) Zahnrad aus 41 Cr 4 vergütet
 (d) einsatzgehärtete Randschicht 1 mm dick
 (e) nitriergehärtete Randschicht 0,1 mm dick
 (f) einzelne Gefügebestandteile z.B. harte Tragkristalle eines Lagermetalles
 (g) Lagermetalle
 (h) Armatur aus G-Cu Zn 33 Pb (G-Ms 65)
 (i) große Anreißplatte auf Stützen, bearbeitet
- | | | |
|------------|------------|------------|
| (a) HB | (d) HRC/HV | (g) HB 2,5 |
| (b) HRC | (e) HV | (h) HB 10 |
| (c) HB/HRC | (f) HV | (i) Shore |

8.2.8 Welches Verfahren

- (a) liefert Härtewerte, die von der Prüffkraft unabhängig sind?
 (b) läßt sich aufgrund des Meßgerätes automatisieren?
 (c) wird zur zerstörungsfreien Kontrolle der Zugfestigkeit eingesetzt?
- (a) Vickers-Verfahren bei Kräften zwischen 98 N bis 980 N
 (b) Rockwell-Verfahren
 (c) Brinell-Verfahren

8.3 Kerbschlagbiegeversuch

- 8.3.1 (a) Mit welcher physikalischen Größe wird Zähigkeit in Verbindung gebracht?
(b) Was verstehen Sie unter der Eigenschaft "zäh"?

- (a) mit der Arbeit, die zum Zerschlagen einer Probe aufgebracht werden muß
(b) Zäh ist ein Werkstoff, der unter ungünstigen Bedingungen erst nach starker Verformung bricht.

- 8.3.2 Welche drei Einflußgrößen wirken sich auf das Bruchverhalten und damit auf die Zähigkeit aus (Aufzählung mit Beispielen nach fallender Zähigkeit geordnet)?

Raumgittertyp: kfz, krz, hexagonal

Gefügebau: homogen / heterogen

Spannungszustand: einachsig / mehrachsig

- 8.3.3 Nennen Sie je ein Konstruktionsteil, in dem

- (a) einachsiger (b) zweiachsiger (c) dreiachsiger

Spannungszustand auftritt.

- (a) Zugproben im Zugversuch bis zur Einschnürung, Zugstäbe
(b) Bleche von Druckbehältern
(c) Achsen und Wellen mit Nuten und Absätzen

- 8.3.4 Ein unlegierter Stahl kann beim Vergleich von Zugversuch und Kerbschlagbiegeversuch ein unterschiedliches Bruchverhalten zeigen. Geben Sie dafür eine Begründung, und nennen Sie die Auswirkung auf die jeweils ermittelten Werkstoffkennwerte.

Zugversuch: einachsige Beanspruchung bis zum Beginn der Einschnürung, quer dazu keine Verformungsbehinderung, Werkstoff bricht zäh. Bruchdehnung und Brucheinschnürung entsprechen den Normen.

Kerbschlagbiegeversuch: dreiachsige Beanspruchung, starke Verformungsbehinderung, Werkstoff bricht spröde, Kerbschlagarbeit (Kerbschlagzähigkeit) gering

- 8.3.5 Welche Auswirkung hat die schlagartige Belastung auf den Bruchvorgang beim Kerbschlagbiegeversuch?

Bei längerer Verformungszeit können mehr Abgleitvorgänge (Wanderung von Versetzungen) ablaufen, die Verformungsarbeit vor dem Bruch ist größer.

Bei kurzer Verformungszeit (Schlag) kommt es zu einem Stau der Abgleitvorgänge (Erhöhung des Gleitwiderstandes), d.h. schlagartige Belastung fördert ein sprödes Bruchverhalten.

- 8.3.6 Worin liegt der Unterschied bei den unlegierten Baustählen DIN EN 10 025 der verschiedenen Güteklassen z.B. S 275 JR und S 275 J2G3 (bzw. St 44-2 und St 44-3 N, bisherige Bezeichnung), die keine Unterschiede in den mechanischen Eigenschaftswerten zeigen?

Stähle mit der Bezeichnung JR müssen die Kerbschlagarbeit $A_V = 27 \text{ J}$ bei $+20^\circ\text{C}$, die mit der Bezeichnung J2 bei -20°C besitzen.

- 8.3.7 Die Zähigkeit kann auch am Aussehen der Bruchfläche beurteilt werden. Welche Art von Bruch liegt vor bei:

- (a) ebener Bruchfläche mit glatten Rändern?
- (b) zerklüfteter Bruchfläche mit gestauchten Rändern?

- (a) Trennungsbruch
- (b) Verformungsbruch

8.3.8 Warum wird die Kerbschlagbiegeprobe mit einem Kerb versehen, der allen Regeln der Konstruktion widerspricht?

Durch den Kerb wird sichergestellt, dass die Probe im Versuch tatsächlich bricht, damit erhält man eine gezielte Information über die aufgenommene Arbeit der Probe bei dem gewählten Belastungsfall.

8.4 Dauerschwingversuch

8.4.1 Unter welchen Umständen müßte auch eine schlagartige Beanspruchung als Dauerschwingproblem behandelt werden?

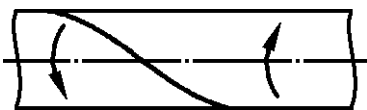
Schlagartige Beanspruchungen müssen immer dann als Dauerschwingproblem behandelt werden, wenn sie nicht nur einmalig, sondern in zahlreicher Folge auftreten; dabei ist es unwesentlich, ob die Schläge rhythmisch, regelmässig und häufig erfolgen oder nicht. Maßgeblich ist, dass die Schläge zwar nur eine Beanspruchung unterhalb der Streckgrenze hervorrufen (also nicht zu einer unzulässigen Verformung, geschweige zum Gewaltbruch führen), dass sie aber durch ihre Anzahl zum Dauerbruch führen können.

8.4.2 Wie läßt es sich erklären, daß auch an zähen Werkstoffen ein Dauerbruch nicht zu makroskopisch wahrnehmbaren Verformungen führt?

Ein Dauerbruch bildet sich bei einer Spannung aus, die unterhalb der Streckgrenze liegt, also nicht zu sichtbaren Verformungen führt. Der Dauerbruch nimmt seinen Ausgang an einer (eventuell kerbartig wirkenden) Schwachstelle (z.B. Keilnut). Er schreitet dann auf Grund seiner eigenen Wirkung als Kerb weiter fort. Nur in submikroskopisch kleinen Bereichen im jeweiligen Kerbgrund spielen sich Gleitvorgänge ab.

8.4.3 Welche Betrachtungen kann man angesichts eines ausgeprägt schraubenförmigen Dauerbruchs an einer Kraftfahrzeug-Torsions-Stabfeder anstellen?

Bei einer Torsionsbeanspruchung liegt die grösste Schubspannung in einer Ebene, die senkrecht auf der Stabachse steht. Dagegen treten die grössten Normalspannungen (Zug - Druck) in zwei Ebenen auf, die aufeinander senkrecht stehen und unter 45° zur Stabachse liegen. Da die Torsionsstabfeder immer in der gleichen Drehrichtung beansprucht wird, bildet sich der Dauerbruch in einer einzigen Ebene aus, und zwar naturgemäß in der Ebene mit der grössten trennenden, also Zug-Normalspannung. Man kann daher an der gebrochenen Feder die Drehrichtung erkennen.



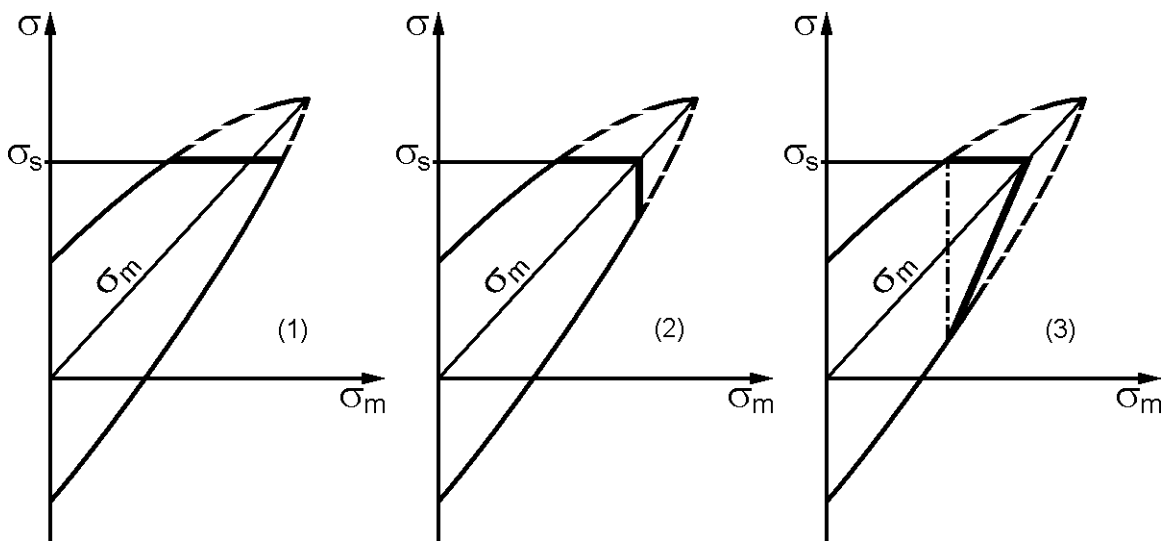
8.4.4 Inwiefern kann die Schadenslinie von Bedeutung sein?

Wenn ein Maschinenteil schwingend beansprucht wird, dann ist bei der Berechnung der Abmaße die Dauerschwingfestigkeit zugrunde zu legen. Treten ab und zu zusätzliche Kräfte auf, so erhebt sich die Frage, ob dadurch das Bauteil so stark geschädigt wird, dass man es danach

nur noch erheblich unter der Dauerschwingfestigkeit beansprucht werden darf. Die Schadenslinie beantwortet diese Frage in günstigem Sinne, denn sie gibt an, wie viele Lastwechsel mit Überlast aufgebracht werden dürfen, ohne dass die Dauerfestigkeit verringert wird.

- 8.4.5 Warum ist es nicht ausreichend, wenn im Dauerfestigkeitsschaubild nach Smith der Bereich unzulässig großer Verformungen durch Abschneiden des Diagramms an der Streckgrenze herausgenommen wird? (Skizze!)

Im Dauerfestigkeitsschaubild nach Smith wird über der Mittelspannung jeweils die zugehörige Ober- und Unterspannung der Dauerfestigkeit aufgetragen. Dabei bilden die Werte der Mittelspannung eine unter 45° durch den Ursprung verlaufende Gerade. Würde man entsprechend Skizze (1) oder (2) das Diagramm nur an der Streckgrenze abschneiden, dann ergäbe sich z.B. der Widerspruch, dass zu einer Mittelspannung zwar eine Unterspannung, nicht aber eine Oberspannung gehört. Nur Skizze (3) ist richtig, denn in ihr hat die Mittelspannung in allen Punkten den gleichen (senkrechten) Abstand von der Ober- und Unterspannung.



- 8.4.6 Ist es ohne weiteres einzusehen, wenn im Druckschwellbereich größere Dauerfestigkeitswerte ermittelt werden als im Zugschwellbereich?

Wenn man von den Gleitvorgängen (allerdings nur in submikroskopisch kleinen Bereichen) ausgeht, die sich bei Beanspruchungen unterhalb der Streckgrenze abspielen, dann wäre es in Anlehnung an den statischen Zug-Druck-Versuch eher einzusehen, wenn die Schwellfestigkeit im Zugbereich grösser wäre als im Druckbereich. Geht man dagegen von der Kerbwirkung im bereits bestehenden Dauer-Anbruch und von der massgeblichen Wirkung der trennenden Zug-Normalspannung aus, und bezieht man auch die trotz feinsten Bearbeitung vorhandene Oberflächenrauigkeit mit in die Betrachtung ein, dann ist allerdings einzusehen, dass die Wirkung „zusammengedrückter“ Kerben wesentlich weniger schädlich ist als die Wirkung gewaltsam geöffneter Kerben.

- 8.4.7 Wie läßt es sich grundsätzlich - ohne Angabe von einzelnen Gründen - erklären, daß 90% der Maschinenbruchschäden auf Dauerbrüchen und nur 10% auf Gewaltbrüchen beruhen?

Gewaltbrüche können nur durch Überbeanspruchung ausgelöst werden, und auch nur dann, wenn der Werkstoff nicht in der Lage ist, die Überbeanspruchung bzw. die entsprechende Arbeit durch nachgebendes Biegen aufzunehmen, wenn er sich also spröde verhält, sei es von Natur aus, durch falsche Konstruktion (dreiachsiger, fliessbehindernder Spannungszustand) oder durch schlagartige Beanspruchung.

Hier liegt die Ursache also nicht in der Maschine selbst, sondern in einer falschen Beanspruchung, die aber eine Ausnahme darstellt und in den allermeisten Fällen zu vermeiden ist. Da-

gegen wird ein echter Dauerbruch durch eine innerhalb der zulässigen Grenzen liegende Beanspruchung ausgelöst. Hier liegt die Ursache nicht in einer zu hohen Nennspannung, sondern in einer an konstruktiv oder stofflich schwachen Stelle auftretenden Spitze der wahren Spannung. Derartige Stellen sind nicht erkennbar, sonst würde man sie beseitigen. Sie entziehen sich in der Regel einer Berechnung, können allerdings auf Unachtsamkeit beim Konstruieren oder auf Mangel an Erfahrung beruhen. Man hat es aber nicht wie beim Gewaltbruch in der Hand, durch Einhalten der Belastungsgrenzen einen Dauerbruch zu vermeiden.

8.4.8 Ist es vorteilhaft oder nachteilig, wenn im Wöhlerversuch bereits die erste Probe vor Erreichen der Grenzlastspielzahl bricht? (Begründung!)

Wenn man aus falscher Vorsicht im Wöhlerversuch die erste Probe so niedrig belastet, dass ohne Bruch die Grenzlastspielzahl erreicht wird, dann hat man noch keinen Punkt für das Wöhlerdiagramm ermittelt, man hat eine Probe verbraucht.

8.4.9 Wie läßt sich die Grenzlastspielzahl erklären, und welche Bedeutung hat sie für den Wöhlerversuch?

Wenn man sich vorstellt, dass in einer Probe eine gewisse (sehr grosse) Anzahl solcher Stellen existiert, in denen sich schon bei einer Beanspruchung unterhalb der Elastizitätsgrenze in submikroskopisch kleinen Bereichen Gleitvorgänge abspielen, dann ist auch einzusehen, dass nach einer gewissen Lastspielzahl entschieden sein muss, ob in diesen Bereichen die Zerrüttung oder die Verfestigung die Oberhand gewinnt.

Im Gegensatz zum Dauerstandversuch bei erhöhten Temperaturen ermöglicht es die Grenzlastspielzahl, nach einer endlichen Anzahl von Lastspielen eine Voraussage für das Verhalten des Werkstoffs bei weiteren (unendlich vielen) Lastspielen zu treffen.

8.5 Zerstörungsfreie Prüfung

8.5.1 Welche Prüfverfahren eignen sich zur Prüfung äußerer Bauteilfehler? Beschreiben Sie ein Prüfverfahren.

Farbeindring- und Magnetstreufussprüfung (Magnetpulver-Prüfung)

Farbeindringprüfung: Flüssigkeit (meist rot, auch fluoreszierend) dringt infolge Kapillarwirkung in Poren, Risse u.a. ein. Die eingedrungene Flüssigkeit neigt dazu im Laufe der Zeit mehr oder weniger auszuschwitze. Dieser Effekt wird durch Verwendung eines saugfähigen Kontrastmittels (Entwickler, meist weiß) verstärkt.

Magnetstreufußprüfung: nur ferromagnetische Werkstoffe lassen sich prüfen (Fe, Co, Ni). Beim Einbringen eines Magnetfeldes in diese Werkstoffe bildet sich eine Kraftliniendichte (magnetische Induktion) aus. Von Materialtrennungen an der Oberfläche oder unmittelbar darunter tritt ein magnetischer Streufuss auf, dieser magnetische Streufuss wird durch die Aufbringung von Magnetpulver, z.B. feines Eisenoxidpulver, auf die zu prüfende Oberfläche sichtbar gemacht. Es gibt auch fluoreszierende Magnetpulver. Magnetisierungsarten:

- Jochmagnetisierung bei Längsrissen
- Stromdurchflutung bei Querrissen
- auch kombinierte Verfahren sind möglich

8.5.2 Welche Prüfverfahren eignen sich zur Prüfung innerer Bauteilfehler? Beschreiben Sie ein Prüfverfahren.

Durchstrahlungsprüfung (Röntgen- oder Gammastrahlung) und Ultraschallprüfung

Röntgenprüfung: Röntgen-Strahlung entsteht in einer Röntgenröhre. Das zu prüfende Werkstück befindet sich im Strahlengang. Die Röntgen-Strahlen durchdringen die Materie und belichten einen auf der Gegenseite befindlichen Film. Die im inneren vorhandenen möglichen Fehler, z.B. Poren, Schlackeneinschlüsse werden auf dem Film sichtbar gemacht.

Ultraschallprüfung: bei der Ultraschall-Prüfung werden Schallimpulse von einem Prüfkopf in das Prüfobjekt eingeleitet. Auf einem Bildschirm werden die Schallimpulse sichtbar gemacht, auch die Schallimpulse, die durch einen Fehler bedingt sind.

8.5.3 Welches Prüfverfahren (FE oder MP) prüft schärfer und warum?

Magnetstreuflußprüfung: der magnetische Streufluss zeigt auch Fehler an, die knapp unterhalb der Oberfläche liegen, es ist also eine schärfere Prüfung.

8.5.4 Was besagen bei der Farbeindringprüfung die Einwirkzeit und die Beurteilungszeit? Wie lang sind ungefähr diese Zeiten?

Die Einwirkzeit ist diejenige Zeit, die man für das Einwirken des Farbeindringmittels wählt. Einwirkzeit: 5 bis 15 Minuten.

Die Beurteilungszeit ist diejenige Zeit, bei der man die Beurteilung der Prüfoberfläche vornimmt. Sie gibt die Zeit zwischen dem Aufbringen des Entwicklers und der Beurteilung an.

8.5.5 Grenzen Sie die Röntgenprüfung gegenüber der Ultraschallprüfung ab. Welche Prüfeigenschaften zeichnen beide Prüfverfahren aus?

Röntgenprüfung: Fehlererkennung bis zu Wandstärken von ca. 60 mm; grössere Wandstärken mit Gammastrahlung (Ir 192 : ca. 80 mm, Co 60 : ca. 150 mm) und Linearbeschleuniger (ca. 500 mm) prüfbar. Man erhält ein auf die Filmebene projiziertes reales Fehlerbild. Die Fehlerdicke ist über Schwärzung schätzbar. Der Film stellt ein eindeutiges Dokument dar. Bei z.B. Rissen hat man keine Prüfsicherheit, da die Erkennung durchstrahlungsabhängig ist. Die Tiefenlage des Fehlers ist nicht genau erkennbar.

Ultraschallprüfung: Innenfehler sind bei großen Wandstärken erfassbar. Senkrecht- und Schrägeinstrahlung. Alle Werkstoffe sind prüfbar. Das Echo erscheint am Bildschirm. Es wird kein Fehlerbild erzeugt. Die Reflexionseigenschaften der Fehler werden mit künstlichen Fehlern (Ersatz-ehlern) verglichen. Probleme: Bei Werkstoffen mit hoher Schwächung (Austenit, Kunststoffe u.a.)

8.5.6 Welches unter 8.5.5 genannte Prüfverfahren würden Sie zur Rundnaht-Prüfung an größeren Rohren mit einer Wandstärke von 8 mm einsetzen? Begründung!

Röntgenprüfung: Die Strahlenquelle wird innen und die Filme aussen, hintereinander, mit eindeutiger Zuordnung zum Bauteil positioniert, belichtet, entwickelt und ausgewertet. Die Ultraschall-Prüfung (US) ist für die Wandstärke von 8 mm ungeeignet.

8.5.7 Die unter 8.5.6 genannten Rohre werden nun in einer weiteren Fertigungsserie mit 30 mm dicken Wandstärken hergestellt. Welches Verfahren zur Prüfung auf innere Fehler würden Sie empfehlen? Begründung!

Ultraschallprüfung: Mit der US-Prüfung werden im Inneren die voluminösen Fehler (Poren, Schlacken) und auch mögliche Risse entdeckt. Die US-Prüfung setzt eine entsprechende Schulung und Know-how voraus. Die Röntgenprüfung muss nicht noch zusätzlich angewandt werden, da kein Sicherheitsgewinn.