



Werkstoffprüfung und Werkstoffkunde

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	1		
Einteilung der Werkstoffe	2		
Verbundwerkstoffe.....	2		
Hilfsstoffe.....	2		
Nichtmetalle.....	2		
künstliche Werkstoffe.....	2		
Natürliche Werkstoffe.....	2		
Metalle.....	2		
NE-Metalle.....	2		
Leichtmetalle [1 „“] ρ in kg/dm ³	2		
Schwermetalle [1. „NE- ...“].....	2		
Eisenmetalle = Fe + C (+ Leg.).....	2		
Stahl [1 „Stahlnormen“].....	2		
Gusseisen [1 „“].....	2		
Werkstoffeigenschaften (für Kfz)	3		
mechanisch.....	3		
physikalisch.....	3		
chemisch.....	3		
feste Stoffe.....	3		
dichte Stoffe.....	3		
korrosionsbeständige.....	3		
brennbare und giftige.....	3		
harte Stoffe.....	3		
Wärmeleitfähigkeit.....	3		
Legierbarkeit.....	3		
Entflammbarkeit.....	3		
elastische Verformung.....	3		
plastische Verformung.....	3		
Elektrische Leitfähigkeit.....	3		
sonstige.....	3		
Aussehen.....	3		
zähe Körper.....	3		
spröde Körper.....	3		
Schmelzpunkt.....	3		
Siedepunkt.....	3		
Umweltverträglichkeit.....	3		
warmfeste Stoffe.....	3		
Preis.....	3		
Zugversuch	4		
Zweck.....	4		
Vorgehensweise.....	4		
Zugprobe.....	4		
Ablauf.....	4		
Standardisierung.....	4		
Zugkraft F in Zugspannung σ _Z	4		
Länge L in Dehnung ε.....	4		
Spannungs-Dehnungs-Diagramm.....	4		
Vorgänge im Werkstoff.....	5		
elastische Verformung.....	5		
plastische Verformung.....	5		
Kennwerte im elastischen Bereich.....	5		
Streckgrenze Re bzw. Dehngrenze Rp0,2 [N/mm ²].....	5		
Elastizitätsmodul E [kN/mm ²] (E-Modul).....	5		
Kennwerte im plastischen Bereich.....	5		
Zugfestigkeit R _m in [N/mm ²].....	5		
Bruchdehnung A in [%].....	5		
Brucheinschnürung Z ⇒ TabB.....	5		
Streckgrenzenverhältnis.....	5		
Video Zugversuch.....	5		
Eindringhärteprüfung	6		
Eindringkörper.....	6		
Form.....	6		
Werkstoff.....	6		
Ausführung.....	6		
Prüfkraft.....	6		
Messgröße.....	6		
Anwendung.....	6		
Vergleich der Verfahren.....	6		
Brinell (HB, HBW).....	6		
Vickers (HV).....	6		
Rockwell (HRB, HRC u.a.).....	6		
Prüfkörper.....	6		
Messgröße.....	6		
Typische Härtewerte.....	6		
Ermittlung des Härtewertes.....	6		
Kennzeichnung.....	6		
Zusammenhänge.....	6		
Anwendung.....	6		
Prüfbedingungen.....	6		
Sonstiges.....	6		
andere Verfahren.....	6		
Zweistofflegierungen	7		
Abkühlungskurven.....	7		
Zustandsschaubilder	7		
Zweistofflegierung	8		
Zweck.....	8		
Ermittlung der Phasen.....	8		
Erstarrungsvorgang beim Gießen.....	8		
Typen der Zustandsdiagramme.....	8		
andere Eigenschaften.....	8		
Aufbau metallischer Werkstoffe	9		
Bindungsmechanismus bei Metallen.....	9		
typische Merkmale der Metalle.....	9		
Elektronenwolke / Elektronengas.....	9		
⇒ Metallatome streben zur dichtesten Packung.....	9		
mikroskopische Struktur metallischer Werkstoffe.....	9		
Gefüge.....	9		
Gitterfehler.....	9		
Verformung von Metallen unter Spannung.....	9		
Gittertypen	10		
Gittertypen (Elementarzelle).....	10		
Gitterkonstante.....	10		
Eigenschaften der Gittertypen.....	10		
Ferrit (α-Eisen, krz).....	10		
Austenit (γ-Eisen, kfz).....	10		
Fe-Fe3C-Diagramm	11		
Einführung.....	11		
Gefügearten.....	11		
Zementit (6,67%C).....	11		
Graphit.....	11		
übereutektische Legierungen.....	11		
Ledeburit.....	11		
untereutektische Legierungen.....	11		
übereutektische Legierungen.....	11		
Perlit.....	11		
Ferrit.....	11		
Austenit.....	11		
Wärmebehandlung von Stahl	12		
Abschreckhärten, martensitisches Härten.....	12		
Zweck.....	12		
Vorgang.....	12		
Erwärmen auf Härtetemperatur.....	12		
Abschrecken / Martensitbildung.....	12		
Anlassen bei 100 .. 300 °C.....	12		
ZTU-Schaubilder für kontinuierliche Abkühlung.....	12		
Härterisse.....	12		
Abschreckgeschwindigkeit / Eindringtiefe.....	12		
Werkstoffe.....	12		
Vergüten.....	12		
Werkstoffe.....	12		
Oberflächenhärten.....	13		
Abschreckhärten.....	13		
Nitrierhärten.....	13		
Verfahren.....	13		
Einsatzhärten.....	13		
Randschichthärten.....	13		
Werkstoffe / Vorgang.....	13		
Merkmale.....	13		
Nitrocarborieren.....	13		
NE-Metalle	14		
Einteilung.....	14		
Bezeichnung.....	14		
Eigenschaften.....	14		
Sinterwerkstoffe	15		
Verfahren.....	15		
Merkmale.....	15		
Anwendung.....	15		
nicht legierbare Werkstoffe.....	15		
einbaufertige Kleinteile.....	15		
einstellbare Porengröße.....	15		
gleichmäßiges Gefüge.....	15		
Lasersintern.....	15		
Kunststoffe	16		
Einteilung.....	16		
Thermoplaste.....	16		
Elastomere.....	16		
Duroplaste.....	16		
Temperaturverhalten.....	16		
Prüfverfahren.....	16		



Kolbenbolzen aus Nitrier- oder Einsatzstählen zeigt,

Einteilung der Werkstoffe

Verbundwerkstoffe

Nichtmetalle

Metalle

Eisenmetalle = Fe + C (+ Leg.)

NE-Metalle

Stahl [1 „Stahlnormen“]

Leichtmetalle [1 „ ρ in kg/dm³“]

[1]Einsatzstahl [1], Nitrierstahl [1] Mg Magnesium [1] $\rho = 1,8$

spruchte Teile [1]Vergütungsstahl [1]verarbeitbar, Al Aluminium [1] $\rho = 2,7$ mögliche mit geringer Festigkeit und

[1]Ventilstahl, Federstahl usw. [1]r, Flugzeuge; nach [1] einTi Titan [1] $\rho = 4,5$

[2]für nichts besonderesBaustahl [1]

r, Bremstrommel, Kurbelwelle, Gusseisen [1 „NE...“]

z.B. Bremsscheibe, [2]Kugelgraphitguss, Vergasergehäuse [2]Zn Zink $\rho = 7,13$

remssack, Bremstrommel, [2]Temperguss, siangenbeschichtung, [2]Cr Chromp = 7,2B. Innenausbau, früher tragende Karosserieteile

z.B. Kolbenringe, [2]Schleuderguss, sonst kaum noch im KfzSn Zinn $\rho = 7,3$

z. Anhängerkupplung, Bremsscheibe, Stahlguss im KfzCuZn (Messing) $\rho = 7,5..8,8$ Bremsbeläge, Abschirmung des AuspuffsAsbest

stzringeCuSn (Bronze) $\rho = 8,4..8,7$ n, Dichtungen (Haarf-Dichtung fürNaturfasern

ist.z.B. Kühler [2], KabelCu Kupfer $\rho = 8,9$ pf ersetzt; HilfsfedernKautschuk, GummierstoffeSchleif- und Poliermittel

ierungselement, BatterieNi Nickelp = 8,91

z.B. Batterie, LagerPb Bleip = 11,3

ntaktflächen von SteckernAu Goldp = 19,3

z.B. KatalysatorPt Platinp = 21,5

Ventilsitzringe [3 „Hartmetalle“]

Werkstoffe werden2Aufgabe der 5. Gruppen:

: Metall, Eisen. Alles34 Spalten entwickeln, TA

re Zettel mit4gefundene Werkstoffe zuordnen

guss5Eisenmetalle in St. und Guss einteilen

en6Begründung für die Verwendung von St

Treib- und Schmierstoffe

z.B. LackeSchutzmittel

Reinigungsmittel

z.B. AirbagSprengstoff

Warum wird mehr Al als Mg verwendet

Werkzeugstahl; Edel-, Qualitäts- und Grundstähle

künstliche Werkstoffe

aus KautschukKunststoff, Stahl, Gewebe

KeilriemenVerbundglas

glasfaserverstärkte Kunststoffe, zuCFK, GFK

z.B. Zünderkerze, Keramikguss für Bremstrommel oderVerbundguss

Natürliche Werkstoffe

Treib- und Schmierstoffe

z.B. LackeSchutzmittel

Reinigungsmittel

z.B. AirbagSprengstoff

Warum wird mehr Al als Mg verwendet

Werkzeugstahl; Edel-, Qualitäts- und Grundstähle



Technologische Werkstoffeigenschaften (Umformbarkeit, Schweißbarkeit, Zerspanbarkeit, Gießbarkeit) sind nicht im Lehrplan 1BFMK enthalten!

Einleitung

Anordnung der Bauteile um den Brennraum und Kurbeltrieb aus (Kolben,) Kolbenbolzen, Pleuel und KW an Hand des OH-Modells Viertaktmotor ohne Ventile und eines Kolben mit Pleuel zeigen, Zustände im Brennraum schildern (Verbrennungstemperaturen bis 2000 °C, Drücke bis 60 bar ≈ 2 Mercedes = 30kN bei Ø80mm)
 Welche Eigenschaften muss ein Kolbenwerkstoff haben, um dies auszuhalten?

Werkstoffeigenschaften (für Kfz)

mechanisch

Warum Motor nicht aus Kunststoff?
 Bindfaden ziehen, Styropor drücken: ist das hart oder fest?

feste Stoffe

verformen bzw. brechen schwer

Festigkeit ist Widerstand gegen Verformung und Trennung

Zugfestigkeit

z.B. Pleuel beim Ansaugen

Druckfestigkeit

z.B. Kolben

Knickfestigkeit

z.B. Pleuel beim Arbeitstakt (Form)

Biegefestigkeit

Schalthebel, Achse (Cu?)

Torsionsfestigkeit

Kardanwelle (Cu?)

Scherfestigkeit

z.B. Kolbenbolzen (Cu, Al?)

Windschutzscheibe aus Plexiglas?

Mit dem Messer gegen Scheibe, Tisch und Tafel stoßen: ist das hart oder fest?

harte Stoffe

lassen andere Körper schwer eindringen, sind verschleißfest und spröde

z.B. Lack, Zylinderlaufbuchse, Lagerflächen, Nw-Laufbahnen

Federn aus Kunststoff oder Kupfer?

elastische Verformung

federt zurück

plastische Verformung

bleibt bestehen

Kotflügel aus Glas?

zähe Körper

verformen statt zu brechen

spröde Körper

brechen fast ohne

Verformung

Warum laufen Versuchsmotoren aus Keramik, aber nicht aus Kunststoff?

warmfeste Stoffe

behalten ihre Eigenschaften bei hohen Temperaturen

Werkstoffeigenschaften sind nicht zu 100% oder zu 0%, sondern in verschiedenen Ausprägungen vorhanden.

physikalisch

Warum Kolben aus Al statt aus GG, Tank aus Kunststoff statt Blech, Felgen aus Mg statt St?

dichte Stoffe

sind schwer bei geringem Volumen

z.B. Schwermetalle

Kühlrohre aus Kunststoff?

Wärmeleitfähigkeit

Die Ober- und Unterkasten eines Kühlers bestehen inzwischen aus Kunststoff wegen der Gewichtsersparnis.

Kabel (Leiter) aus Kunststoff?

Elektrische Leitfähigkeit

Ag hat höhere Leitfähigkeit, ist aber zu teuer. Al hat etwa 30% weniger Leitfähigkeit und 70% weniger Dichte, wäre pro Leitfähigkeit als leichter und billiger, ist aber weniger verformbar.

Auspuffkrümmer aus Kunststoff?

Schmelzpunkt

Warum steht das Kühlwasser unter einem geringen Überdruck? Vgl Dampfkochtopf.

Siedepunkt

chemisch

Vorteil von Kunststoffkarosserien? Warum keine Alfa Romeo kaufen?

korrosionsbeständige

Stoffe werden von Sauerstoff und Chemikalien weniger angegriffen

Rost am Blech durch Feuchtigkeit, gefördert durch Salz.

Korrosion auch durch Batteriesäure.

Warum wollen manche Leute keinen Tank aus Kunststoff? Warum trägt Schumi einen Rennanzug aus Baumwolle?

Warum soll man sich Öl bald und Hydrauliköl sofort abwaschen, bzw. sogar zum Arzt?

brennbare und giftige

Stoffe sind gefährlich

z.B. Kraftstoff, Öle, Brems- und Kühlfüssigkeit, Bremsbeläge mit Asbest

Legierbarkeit

Entflammbarkeit

sonstige

Warum verchromte Stoßstangen und Metallic-Lack, Uhren aus Titan?

Aussehen

Warum Katalysator?

Umweltverträglichkeit

Und die wichtigste Eigenschaft? Viele Schüler mögen rote Ferrari und fahren rostige Golf.

Preis

Blattaufteilung vorgeben.

Adjektive verkürzen die Formulierungen, Vereinfachungen sollen das Verstehen erleichtern

Festigkeit

Die Festigkeitsarten an 6 Kreidestücken zeigen, (Lasche für die Scherung), Biegung und Knickung mit Schweißdraht verdeutlichen; anschließend drillmäßig wiederholen. Unterscheidung Achse-Welle-Bolzen? Mit einem geknickten Karton Knickfestigkeit und Formfestigkeit zeigen

Dichte

Einem Schüler erst einen Klotz Roheisen, dann einen Klotz Wolfram in die Hand legen, Achtung: keine Unterlage!

Schweißdraht ohne und mit Gewicht, schnell hin- und herbewegen und die Bedeutung geringer Massen bei oszillierenden Teilen zeigen

Härte

Der härtere Stoff bzw. nur der Harte dringt ein.

Wärmeleitfähigkeit

Versuch: Wenn man eine glühende Zigarette gegen ein Stück Stoff drückt, gibt es ein Loch. Wenn man mit der glühenden Zigarette durch den Stoff gegen ein Fünfmark-Stück drückt, wird die Wärme abgeleitet, es gibt nur einen Brandfleck.

Elastizität / Plastizität

Volgummiball vor die Schüler auf den Boden werfen, anschließend dasselbe mit dem Plastilinball.

Beachte die Formulierungen teilweise, kaum, weniger usw.



Zugversuch

Zweck

dient der Ermittlung des Werkstoffverhaltens bei einachsiger Zugbeanspruchung und liefert wichtige Werkstoffkennwerte, die auf viele andere Belastungsarten übertragbar sind.

Vorgehensweise

Zugprobe

wegen ihres Einflusses auf das Ergebnis sind genormt:

- Form (rund oder flach)
- Längenverhältnis $L_0/d_0 = 5$ (kurzer) bzw. 10 (langer Proportionalstab)
- Zylinderköpfe (glatt oder Gewinde)
- Oberfläche

Ablauf

man zieht die Zugprobe langsam und ruckfrei bis zum Bruch und zeichnet die Kraft F und Länge L auf.

Standardisierung

Werkstoffkennwerte werden unabhängig von den Maßen des Bauteiles angegeben.

Zugkraft F in Zugspannung σ_z

$$\sigma_z = \frac{F}{S_0} \text{ in } \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

S_0 = Anfangsquerschnitt

Länge L in Dehnung ϵ

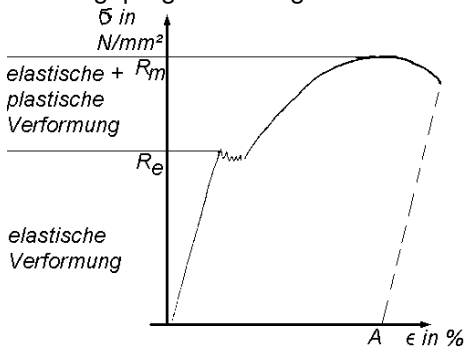
$$\epsilon = \frac{L - L_0}{L_0} \cdot 100 \% \text{ in } [\%]$$

L_0 = Anfangsmesslänge

Die Werte werden aufgezeichnet im

Spannungs-Dehnungs-Diagramm

mit ausgeprägter Streckgrenze



Erklärung der makroskopischen Vorgänge, dann Bezug auf die mikroskopischen Vorgänge
 Einschnürung, tatsächlicher Spannungsverlauf

AB verschiedene gezogene Zugproben

Verhalten bei Entlastung

Ein: Bauarbeiter unter schwebender Last; Bungeespringen

Was gibt dennoch einigermaßen Sicherheit?

Aufbau und Ablauf mündlich entwickeln, anschließend Zugversuch in der Werkstatt durchführen oder Video zeigen.

Einzuarbeiten: Hering u.a., Physik für Ingenieure

Quellen: [1] Hering u.a., Physik für Ingenieure; [2] Hütte, Grundlagen der Ingenieurwissenschaften, 29. Auflage, Springer 1989

Prüfungen sind lange bekannt, z.B. veröffentlichte Petrus van Musschenbroeck 1729 ein Buch über Prüfmaschinen und Spannungsprüfungen bei Drähten (Ferguson, Das innere Auge, S.204, Fußnote 9).

EuroTabM39 S.160 „Zugversuch“

FO verschiedene Zugproben

FO Einfluss des Längenverhältnisses auf die Bruchdehnung

AM Papierstreifen

FO gespannte und umgeformte Gewinde

Abhängig vom Längenverhältnis ist z.B. die Bruchdehnung A, weil die Verformung nach der Einschnürung nicht von der Anfangslänge abhängt.

Langsam und ruckfrei wegen dynamischer Kräfte, vergleiche: Spalten von Holz

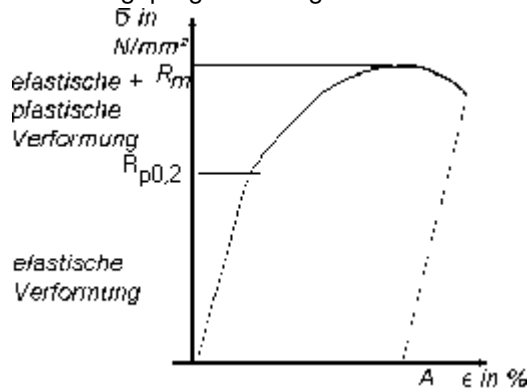
Damit die Ergebnisse unabhängig von der Probengröße werden, werden sie auf Querschnittsfläche und Länge bezogen. Tatsächlich sind die Ergebnisse verschiedener Proben nicht genau vergleichbar, weil die durchaus vorhandenen Einflüsse von Oberfläche und Längenverhältnis dabei vernachlässigt werden. So sind im Tabellenbuch die Streckgrenzen R_e von Stahl abhängig von der Erzeugnisdicke angegeben, und bei der Bruchdehnung gibt man das Längenverhältnis als Index an (z.B. A_5 oder A_{10}), weil es einen Einfluss hat.

Andere Beispiele: zulässige Stromdichte

Man berechnet die Zugspannung mit dem Anfangsquerschnitt, obwohl der Querschnitt unter Zugbelastung geringer wird. Die tatsächlichen Spannungen im engsten Querschnitt sind noch größer als es mit dem Anfangsquerschnitt berechnet wird.

100% = 1, kann in der Formel auch entfallen

ohne ausgeprägte Streckgrenze

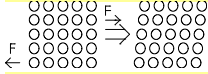


AB SDD kombiniert mit Gitterbildern

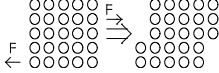


Vorgänge im Werkstoff

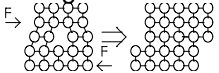
elastische Verformung



plastische Verformung



Die Verschiebung der Gitterebenen endet an den Korngrenzen oder an Gitterfehlern.



Schließen der Gitterfehler führt zur **Kaltverfestigung**
 Nach Überschreiten von R_m kommt es zur Einschnürung der Probe ein. Die Kraft im Diagramm sinkt bis zum Bruch.

Kennwerte im elastischen Bereich

Es gilt das Hooke'sche Gesetz: $\sigma = E \times \epsilon$
Streckgrenze R_e bzw. Dehngrenze $R_{p0,2}$ [N/mm²]
 = Grenze des elastischen Bereiches
 Ermittlung:

Elastizitätsmodul E [kN/mm²] (E-Modul)

– ist ein Maß für die Steifigkeit

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{F \cdot L_0}{S_0 \cdot \Delta L}$$

Kennwerte im plastischen Bereich

Zugfestigkeit R_m in [N/mm²]

– das Überschreiten von R_m führt zum Bruch

Bruchdehnung A in [%]

– Bleibende Verformung nach dem Bruch

Brucheinschnürung $Z \Rightarrow TabB$

Streckgrenzenverhältnis

$$= \frac{R_e}{R_m}$$

Vertiefung

Ordnen Sie Kurven mit verschiedenen Streckgrenzenverhältnissen den folgen Aufgaben zu:

FO Bruchgetrenntes Pleuel

FO Tiefziehen

Seil einer Hängebrücke (plastische Verformung erwünscht, um Überlastung anzuzeigen)

Video Zugversuch

Zeigt Durchführung des Zugversuches und Ermittlung der Kennwerte

elastische Verformung ist vollständig umkehrbar.

Tatsächlich ist die elastische Verformung im oberen Bereich nicht genau linear. Doch die Abweichungen von der Geraden sind schwer zu ermitteln und meist vernachlässigbar, sodass man meist auf der Ermittlung der Proportionalitätsgrenze verzichtet.

Bei monokristallinem Fe wird die $R_m \approx 14000 \text{ N/mm}^2$ errechnet, tatsächlich ist R_m (Fe) $\approx 150 \text{ N/mm}^2$. Die Verschiebung entlang der Gitterebene muss also abgeschwächt sein.
 Umklappen eines nichtorthogonalen Gitters ist ebenfalls möglich.



Ohne Gitterfehler wären Metalle praktisch nicht verformbar bzw. bearbeitbar.

Bruchmechanismen siehe SdW 01/2000

Die Spannung im Diagramm sinkt nach R_m , zwar augenscheinlich, die tatsächliche Spannung im engsten Querschnitt steigt aber weiter an. Es tritt auch noch Kaltverfestigung auf.

EuroTabM39 S.160 „Zugversuch“

Elastizität ist die Eigenschaft, dass Verformung bei Entlastung wieder zurück geht. Die gespeicherte Verformungsenergie muss nicht vollständig zurückgegeben werden (anelastisch [2 D42]).

Man unterscheidet: (1) linear elastisches Verhalten, für das das Hooke'sche Gesetz gilt (gilt für alle Festkörper für kleine Verformungen bis $\epsilon=0,1\%$); (2) nicht-linear-elastisches Verhalten, z.B. Gummi und (3) anelastisches Verhalten (elastische Hysterese): der Werkstoff gibt nicht mehr die ganze Verformungsenergie zurück [2 D42], er dämpft Schwingungen. Weitere Verarbeitung ist für beide Kennwerte gleich!

EuroTabM39 S46 „Elastizitätsmodul“

Tabellenwerte \Rightarrow [2, E66 und D44]

Ist die Steigung der Hooke'schen Geraden und damit die gedachte Spannung für 100% Dehnung. Vergleiche auch Schubmodul G für Schubspannungen und Kompressionsmodul K für hydrostatischen Druck.

E-Modul aus Spannungs-Dehnungs-Diagramm ermitteln (HP96/97-3)

G-Modul: Schubspannungsmodul bei Torsion

zum Vergleich mit anderen Werkstoffen

Bruchdehnung A_5 oder A_{10} gibt das Längenverhältnis der Probe an (starker Einfluss).

FO Zugprobe: Folgen des Längenverhältnisses

Verhältnis kleinster Querschnitt nach Bruch zu Anfangsquerschnitt (vergleiche Festigkeitsbezeichnungen von Schrauben).

Wird für Schadensuntersuchungen genutzt.

Wird benötigt bei:

- Festigkeitsklassen von Schrauben
- Umrechnung von Brinellhärten auf R_m
- Umformverfahren

Gespeicherte Energie im elastischen Bereich , Verformungsenergie im plastischen Bereich (Zähigkeit) und freiwerdende elastische Energie beim Bruch berechnen.

- 0050 Universalprüfmaschine
- 0075 genormter Prüfstab mit Gewindeköpfe
- 0100 genormte Geschwindigkeit, Dehnung, Schleppeizer für F_m
- 0147 Einschnürung
- 0160 $R_m = F_m / S_0$
- 0170 Spannungs-Dehnungs-Diagramm
- 0185 R_{eH} , R_{eL} , R_m
- 0199 Diagrammschreiber, Kraftanzeige
- 0234 ohne ausgeprägte Streckgrenze, $R_{p0,2}$, F_m und ϵ -Anzeige; mehrmaliges Be- und Entlasten mit steigender Kraft zur Ermittlung von $R_{p0,2}$
- 0330 Zeichnerische Ermittlung
- 0340 Bruchdehnung messen
- 0376 Vergleich St-60 und St-37 im Spannungs-Dehnungs-Diagramm mit Kraftanzeige



Eindringhärteprüfung

Härte ist der Widerstand, den ein Körper dem Eindringen eines anderen Körpers entgegen setzt. Härte wird als plastische Verformung messbar und kann mit Härtevergleichszahlen angegeben werden.

Eindringkörper

Form	Kugel	Kegel / Pyramide
Werkstoff	aus HM	aus Diamant
Ausführung	verschiedene Ø	eine Größe
Prüfkraft	abhängig vom KugelØ	beliebig wählbar
Messgröße	Ø (Fläche)	Fläche oder Eindringtiefe
Anwendung	für inhomogene grobe Gefüge geeignet	

Vergleich der Verfahren

Prüfkörper
Eselsbrücke: Vergleiche Prüfkörper und Anfangsbuchstaben!

Messgröße

Typische Härtewerte

EuroTabM39 S165: Vergleich der Härtewerte

Ermittlung des Härtewertes

Herleiten!

In der Praxis aus Tabellen. Für Schüler kg statt kp.

Kennzeichnung

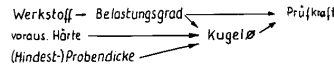
Zusammenhänge

Umrechnungsformel sind nicht bekannt, Anhaltswischer Vergleich nur mit Tabellen

Anwendung

Prüfbedingungen

Prüfbedingungen aus TabB für GG, 1mm dick, ca.200HB



Sonstiges

Vorgehensweise bei Brinell und Vickers: Prüfkraft aufbringen, mindestens 15s einwirken, Durchmesser oder Diagonale optisch ausmessen. Messfehler darf nur 0,5% des Durchmessers betragen, damit der Fehler bei der Härte nur 1% beträgt.

andere Verfahren

Video Härteprüfung

Zeigt die Verfahren nacheinander in den Schritten: Anwendung bei; Prüfkörper, Wahl der Prüfkraft, Durchführung, Messung, Ermittlung des Messwertes in Film und Schema.

Vertiefung

AM Zahnrad, Nockenwelle, Wälzlager o.ä.

Ein: FO Asterix und die Normannen

1) Welche Werkstoffeigenschaft wird bei diesem veralteten Werkstoffprüfverfahren getestet?

siehe EuroTabM39 S163f „Härteprüfung, Brinell, Vickers, Rockwell“

Härte = Eindringwiderstand

Quellen: Greven: 8.Auflage; Domke: 7. Auflage; Weißbach: 9. Auflage

2) Aus der Form des Eindringkörpers kann man auf viele Eigenschaften des Prüfverfahren schließen, deshalb vorab einen Vergleich der Prüfkörper.

Kegel haben größere Kerbwirkung

Kugeln aus Diamant sind nicht sinnvoll / (möglich ?)

Kugeln haben bei geringer Eindringtiefe unscharfe Ränder, bei großer Eindringtiefe kaum differenzierte Messwerte, sodass mehrere Durchmesser erforderlich sind.

Die Kraft soll so klein wie möglich sein, damit das Werkstück nicht beschädigt wird, andererseits sind kleine Eindringtiefen nur schwer zu messen.

Eindringtiefen können schneller gemessen werden, Eindruckflächen genauer. Statt der Fläche wird die Diagonale oder der Durchmesser des Eindruckes gemessen. Der Härtewert wird aus der Kraft und der Fläche bzw. der Eindringtiefe ermittelt.

Brinell (1900), Rockwell (1919), Vickers (1925) [qz 8/2000 S.1014]

Universalhärte siehe qz 8/2000 S.1014f

Vickers (HV)

Diamant

Kegelwinkel 136°

2 x Diagonale optisch

1 .. 10000

$$HB = \frac{0,1891 \cdot F}{\text{Eindruckoberfläche}}$$

Faktor 0,1891 enthält die Umstellung von kp auf Newton und einen Faktor aus der Formel für die Eindruckoberfläche der Pyramide.

210 HV 50/30

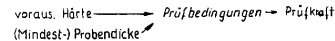
Wert Verfahren Kraft/Einwirkzeit

HB ≈ 0,95xHV (bis 350?)

HRC ≈ 0,1 HV (200..400HV)

genauestes Verfahren
breitester Messbereich,
besonders für kleine Kräfte,
kleine Teile und große
Härten.

für dünne Schichten, einzelne Körner, Sinter. Schichtdicke > 1,5 x Eindruckdiagonale. Kleine Eindrücke verlangen gute Oberflächen. Nicht für inhomogene grobe Gefüge und rauen Betrieb wegen der empfindlichen Prüfkörper



Rockwell (HRB, HRC u.a.)

Stahl
Diamant

HRB (Ball), HRC (Cone) Kegelwinkel 120°, abgerundete Spitze

Eindringtiefe mit Messuhr

30 .. 115

HRC 20 .. 70

nicht einmal untereinander vergleichbar

$$HRC = 100 - \frac{t_b}{0,02 \text{ mm}}$$

Eindringtiefe $t_b = 0 \dots 0,2$ mm ergibt HRC = 100 .. 0. Extremwerte sind beim Messverfahren meist ungenau, deshalb ist der Messbereich noch kleiner. HRB usw. unterschiedlich

56 HRC

Wert Verfahren

Zahlreiche Verfahren

HR allgemein: schnell und einfach durchführbar, Oberfläche muss nicht angeschliffen sein

In der Serie automatisierbar oder durch Hilfskräfte

HRC: für gehärteten Stahl, Mindestdicke beachten

zahlreiche Verfahren mit Prüfvorkraft

Prüfvorkraft aufbringen, Messuhr nullen, Prüfkraft je nach Typ, entlasten auf Prüfvorkraft wegen elastischer Verformung, Messwert ablesen

Mohs: (Diamant Härte 10) Vergleichsverfahren durch Ritzen für Mineralien

Knoop: ähnlich Vickers

Poldi: Stahlkugel zwischen Prüfling und Vergleichsplatte, Prüfkraft mit Hammerschlag

Shore: Rückprallhöhe einer Stahlkugel ist Maß für die Härte, da die verlorene Energie in plastische Umformung umgesetzt wurde.

Universalhärte nimmt auch den Prüfkraftverlauf auf. Einsatzbereich ?

0433 Definition der Härte

0450 Härte nach Brinell

0563 Härte nach Vickers

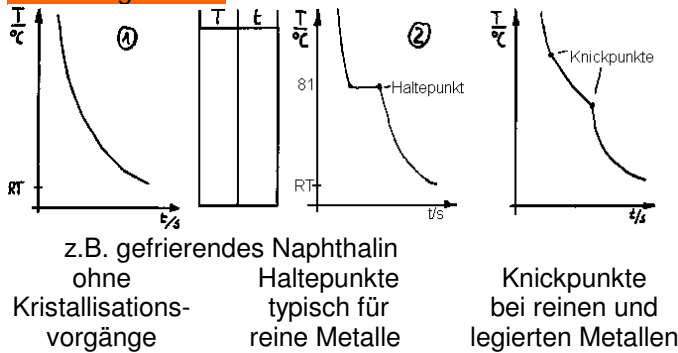
0666 Härte nach Rockwell

Vergleich der Prüfkräfte zwischen HB und HV z.B. bei Stahlblech 1,2mm dick, S185 ergibt sich in beiden Fällen F=294,2N



Zweistofflegierungen

Abkühlungskurven



Abkühlungskurven bilden Kristallisationsvorgänge ab.

Versuch 3 Flaschen Mineralwasser kühlen, anschließend Temperatur prüfen

Endlich ruft die neue Flamme an: er/sie kommt in 30 Minuten, der Schampus soll kalt sein! Schampus ist da, aber warm. Wie bekommt man ihn am schnellsten kalt (Idealtemperatur ca. 10°C)?

- Kühlfach: nur nicht vergessen !
- Fließend kalt Wasser: sehr schnell wirksam, aber nicht sehr kalt.
- Profitrick: In Eis legen und 3 Esslöffel Salz darüber geben !

AM Reagenzglas mit Halter, Brenner, Thermometer, Naphthalin schmelzen

Abkühlungskurve: siehe EuroTabM „Wärmetechnik“

Naphthalin: 2 verbundene Benzolringe, Aromat mit charakteristischem Geruch, früher als Mottenkugeln verwendet, Smp. 81 °C, weiße Schuppen, wird aus Steinkohlenteer gewonnen und zur Herstellung von Farbstoffen genutzt.

1. **Wie sieht die Abkühlungskurve (Temperatur - Zeit) qualitativ aus ?**
 Sie verläuft asymptotisch zur Umgebungstemperatur (Bild 1), weil die Abkühlungsgeschwindigkeit hauptsächlich von ΔT abhängt, alle anderen Faktoren wie Oberfläche usw. sind vernachlässigbar oder konstant.
2. **Abkühlungskurve als Wertepaare aufnehmen und in ein Diagramm zeichnen (Bild 2).**
 Welche Ursache hat die Unstetigkeit (Haltepunkt)? Die Wärmeabgabe wird nicht unterbrochen, sondern zeitweilig von innen her ausgeglichen. Ursache sind Kristallisationsvorgänge im Gefüge, hier das Erstarren. Dabei geben Atome einen Teil ihrer Bewegungsenergie als Kristallisationswärme ab. Andere Beispiele sind Sieden, Schmelzen, Änderung der Gitterstruktur, Änderung magnetischer Eigenschaften usw.

(Temperaturbereich, Zeitbereich, Maßstab)

3. **Anwendung**
 Anhand solcher Abkühlungskurven kann man Umwandlungen im Kristallgefüge erkennen. Bei reinen Metallen reicht die frei werdende Wärme für Haltepunkte aus, bei Legierungen wird die Abkühlung nur verlangsamt, es kommt zu Knickpunkten (Bild 3).

Abkühlungsgeschwindigkeit beeinflusst Kristallisation.

Sie verschieben sich bei schneller Abkühlung in Richtung tiefer Temperaturen, bzw. bei schneller Erwärmung in Richtung hoher Temperaturen (Hysterese). Kristallisationsvorgänge können auch durch die Dilatation (Längenänderung) oder Magnetisierbarkeit ermittelt werden.

FO Beregnungsanlage in Fischingen

Bei Frost, z.B. April 1997, werden die Blüten/Früchte mit Wasser beregnet. Durch Abgabe der Kristallisationsenergie sinkt die Temperatur nicht unter 0 °C. Das Verfahren funktioniert, bis die Äste brechen.

Welche Temperatur hat ein Whisky on the rocks ?

Beispiel: Wasser auf der Haut wirkt bei Wind besonders kalt, weil das Wasser verdunstet und der Umgebung die notwendige Wärme für den Phasenübergang entzieht.
 1g Wasser braucht von Eis zu flüssigem Wasser bei konstanten 0 °C 80Kalorien nur zum Schmelzen, mit derselben Energie könnte man flüssiges Wasser von 0 auf 80 °C erwärmen [Wolke S.220].



Zustandsschaubilder von Zweistofflegierung

Zweck

Zustandsdiagramme von Legierungen stellen in Phasen (abhängig von Zusammensetzung und Temperatur) die Bereiche ähnlicher Eigenschaften fest.

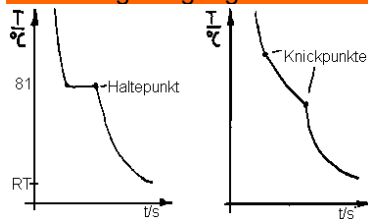
Ermittlung der Phasen

Legierungen kühlen langsam aus der Schmelze ab, dabei werden einfach messbare Eigenschaften ermittelt, z.B.

- Temperaturverlauf (Abkühlungskurve)
- Länge (Dilatometerkurve)
- Magnetisierbarkeit

Sprunghafte Änderungen dieser Eigenschaften deuten auf Vorgänge im Kristallgefüge (Phasengrenzen) hin.

Erstarrungsvorgang beim Gießen



siehe sachlogische Analyse

Typen der Zustandsdiagramme

Kristallgemisch, z.B. Zinn-Blei
 Mischkristall, z.B. Kupfer-Nickel

FO

- 1) *Aufbau metallischer Werkstoffe in einer vorhergehenden Stunde. Wie stellt man die Eigenschaften von Metallen fest?*
 Zugversuch, Härteprüfung und 1000 andere.
- 2) *Welche Möglichkeiten hat man, wenn die Eigenschaften der reinen Metalle nicht ausreichen?*
 z.B. Legieren.
- 3) *Wie stellt man die Eigenschaften von Legierungen fest?*
 Genauso. Da aber jede denkbare Legierung bei vielen Temperaturen geprüft werden müsste, ist es für 2-Stoff-Legierungen aufwendig, für Mehrstofflegierungen unmöglich.
- 4) *Lösung: Zustandsdiagramm*

FO Abkühlungs- und Dilatometerkurve von Fe

AM Hakenschraube

- 1) *Beschreiben Sie den physikalischen Vorgang des Erstarrens*
 Whisky on the rocks hat konstante Temperatur.

FO Berechnungsanlage

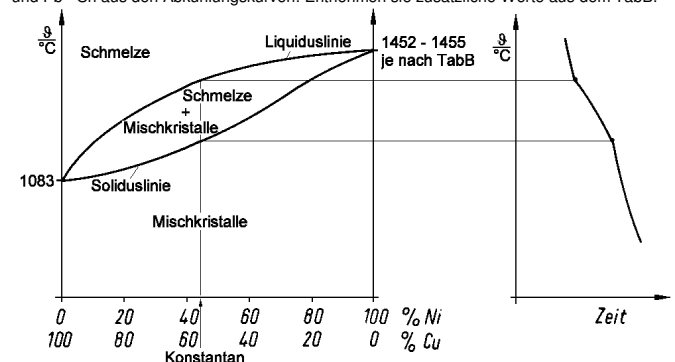
Zitrusbauer berechnen ihre Bäume bei Frost

Sobald Atome die Schmelztemperatur erreicht haben und einen günstigen Platz gefunden haben, binden sie sich in die feste Struktur ein. Dabei geben sie Bewegungsenergie als Kristallisationswärme ab (beim Schmelzen umgekehrt). Durch weiteren Entzug von Wärme findet kein Temperaturabfall statt, sondern weitere Atome erstarren, bis der Phasenübergang vollständig vollzogen ist. Durch das Halten der Temperatur beim Phasenübergang haben Atome Zeit, ihre Gitterplätze zu suchen. Bei reinen Metallen reicht die freiwerdende Wärme für Haltepunkte aus, bei Legierungen wird die Abkühlung nur verlangsamt, es kommt zu Knickpunkten (Bild 3).

AB Zweistofflegierungen

- 1) *Entwicklung anhand des Arbeitsblatt*

Zeichnen sie die (vereinfachten) Zustandsdiagramme der Zweistoff-Legierungen Cu - Ni und Pb - Sn aus den Abkühlungskurven. Entnehmen sie zusätzliche Werte aus dem TabB.



FO Eigenschaften CuNi, CuZn

andere Eigenschaften

MK-Gitter sind bei jedem Legierungssystem anders
 => wechselnde Eigenschaften
 KG-Legierungen tendieren zu einem Übergang der Eigenschaften des einen Reinformes zum andern

Vertiefung

andere typische Kristallgemischlegierungen:

- Streusalz im Wasser senkt den Schmelz-/Gefrierpunkt von Wasser.
- Wenn man Salz auf das Eis im Sektkühler gibt, schmilzt das Wasser. Die notwendige Kristallisationsenergie wird der Umgebung entnommen, sodass die Temperatur des Gemisches sinkt und der Champus schneller kalt wird.

FO Zustandsschaubild Blei - Zinn

FO Verzinnen von Karosserieblechen

- *Warum verendet man zum Glätten ausgebeulter Karosserien als „Schwemmzinn“ Legierung wie L-PbSn25Sb und zum Löten L-PbSn60?*
 Dies hängt mit den Verarbeitungstechniken zusammen: L-PbSn25Sb ist in weitem Temperaturbereich teigig und damit besser zu modellieren, L-PbSn60 schmilzt bei niedriger Temperatur vollständig und fließt dadurch besser.

FO Zustandsschaubild Aluminium - Magnesium

FO Zustandsschaubild Kupfer - Zink

Reale Zustandsdiagramme sind häufig viel komplizierter, weil sich Verbindungen, verschiedene Gitter usw. bilden können.

Mehrstofflegierungen sind noch lange nicht erforscht, da es zu viele Kombinationen von Legierungen, Wärmebehandlungsverfahren usw. gibt. Werkstofftechnik beeinflusst die Umsetzung vieler Konstruktionsideen wesentlich (z.B. Hydrostößel, Al im Motorenbau, Schneidkeramik) und ist wesentlich für die Techniksprung der letzten 20 Jahre verantwortlich (der in der Entwicklung der Computertechnik untergegangen ist.) Werkstofftechnik ist z.Zt. eines der Gebiete, auf dem Deutschland vorne mithalten kann. Vorgänge auf atomarer Ebene gehorchen thermodynamischen Gesetzen und sind berechenbar. Seit etwa 2000 gibt es Programme, die Phasendiagramme von Mehrstofflegierungen berechnen können.

Reales Zustandsschaubild von Blei - Zinn ist etwas komplizierter, da jedes Metall in geringen Mengen ein anderes lösen kann.

z.B. Pb65Sn35 abkühlen:

T2 unter der Liquiduslinie scheiden Primärkristalle aus Blei mit etwas Sn-Gehalt aus. Die Konzentration von Schmelze und Primärkristalle wird mit den abgewandten Hebelarmen ermittelt.

Bei T3 erstarrt die Schmelze zum Eutektikum, dabei sind 64,3% Pb-Mischkristalle mit 20% Sn.

Unter der Soliduslinie nimmt die Löslichkeit des Zinns im Blei wieder ab, das Sn wird aus den Primärkristallen wieder ausgeschieden und lagert sich an den Korngrenzen ab (Sekundärkristalle).

FO Zustandsschaubild Aluminium - Silizium

AlSi12 ist eine typische Gusslegierung und wird z.B. für Kolben usw. verwendet. Si senkt den Schmelzpunkt und macht das Al härter, verschleißfester erhöht die Festigkeit.

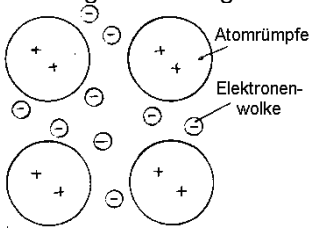
Arbeit mit TabB



Aufbau metallischer Werkstoffe

Bindungsmechanismus bei Metallen

Me⁺ werden durch frei bewegliche e⁻ gebunden. Die Bindung ist richtungsunabhängig (isotrop).



typische Merkmale der Metalle

Elektronenwolke / Elektronengas

- ⇒ hohe elektrische und thermische Leitfähigkeit
elektrochemische Korrosion, Supraleitung
- ⇒ hohe Festigkeit

⇒ richtungsunabhängige Bindung (Isotropie) ⇒

Metallatome streben zur dichtesten Packung

- ⇒ einfache umformbare Gitter (Kristalle)
mit Gitterfehlern

Erst Umformbarkeit macht Metalle technisch nutzbar.

- ⇒ Legierbarkeit

⇒ metallischer Glanz nach dem Bruch

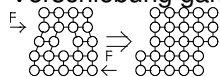
mikroskopische Struktur metallischer Werkstoffe Gefüge

- Körner + Korngrenzen = Gefüge (Schliffbild)
(feines Korn erhöht die Festigkeit)

Skizze des Gefüges

Gitterfehler

- Lücken (⇒Umformbarkeit)
- Fremdatome (⇒erhöhte Festigkeit)
- Verschiebung ganzer Lagen

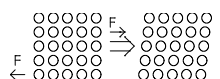


Darstellung der Gitterfehler

- Gitterfehler senken die Festigkeit

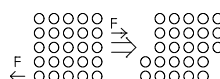
Verformung von Metallen unter Spannung

elastische Verformung erfordert Überbiegen o.ä.

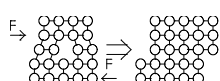


plastische Verformung durch

Versatz von Gitterebenen oder Zwillingsbildung



Kaltverfestigung durch Schließen von Gitterfehlern



AM Al-Blech mit großen Kristallen

- 1) Welche Struktur ist hier zu erkennen ?
- 2) Welcher Bindungsmechanismus verursacht solche Strukturen ? bzw. Wie sind Metallatome miteinander verbunden ?

Metallische Atome geben leicht ihre äußeren Valenzelektronen ab. In metallischen Bindungen bilden diese Valenzelektronen eine Elektronenwolke, die für die meisten metallischen Eigenschaften verantwortlich ist. Vor allem sorgt die Wolke für die richtungsunabhängige Bindung, sodass Metallatome zu dichten und dichtesten Packungen neigen (Magneten haften mit N-S-Polen, obwohl sich die entfernteren Paarungen N-N und S-S abstoßen).

FO Bindungsarten

Die „Wellenfunktion (der Valenzelektronen) erstreckt sich über das ganze Volumen“ [Tipler S.1317]

- 1) Welche Merkmale der Metalle folgen aus dem Bindungsmechanismus ? Der größere Anteil der Wärme wird durch die Elektronenwolke transportiert. [Bargel-Schulze] S.11f; [Physik für Ingenieure] S.684: "In reinen Metallen ist die Wärmeleitfähigkeit durch Elektronen stets ein bis zwei Größenordnungen größer als durch Gitterschwingungen... Bei konstanter Temperatur ist für alle Metalle die Wärmeleitfähigkeit .. proportional zur elektrischen Leitfähigkeit." [Hütte] B156 Salze zerfallen unter elektrischem Strom (Elektrolyse). Ihre thermische Leitfähigkeit beruht auf Gitterschwingungen der engen Kopplung der Ionen und ist vermutlich geringer als bei Metallen.

Elektrischer Widerstand bei Metallen durch Gittergrenzen und -fehler und durch schwingende Atome.

FO Schildkröttaktik

Ohne Kristallfehler wären Metalle technisch nicht verwendbar. Salze haben gerichtete Pole (Ionen), bilden komplizierte Kristalle und höhere Bindungsenergien. Bruchflächen verlaufen entlang der Gitterebenen, sind sehr glatt und glänzen.

Tischtennisbälle ordnen sich in einer Kiste richtungsunabhängig, im Gegensatz zu Nägeln.

- 1) Wie ordnen sich TT-Bälle an ?

Verformung findet in den Gitterebenen statt. In den verschiedenen Gittertypen kann die Umformbarkeit an der Anzahl der Gitterebenen abgelesen werden. Komplizierte Gitter (Zementit, Salz, Diamant, Quarz usw.) sind schwerer verformbar.

FO Gittertypen

Weil die Atomrümpfe rund erscheinen und ähnlich groß sind, sind sie vielen Kombinationen austauschbar. Allerdings stören eingebundene Fremdatome die Gitterebenen und erhöhen so die Festigkeit. Im Gegensatz dazu können Salze Fremdionen nur schlecht aufnehmen, weil die richtungsabhängigen Bindungskräfte zueinander passen müssen.

Verformung und Bruch findet in den Gitterebenen statt, sodass frische Bruchflächen sehr glatt sind und glänzen.

Bezug auf Eingangsbeispiel

Gitter beginnen beim Abkühlen an vielen Kristallkeimen zu wachsen, jedes Gitter bildet ein Korn. An den Korngrenzen lagert sich ab: Schlacke, nicht gelöste Fremdstoffe (Grauguss), Erstarrung in Dendriten, beim Umformen bilden sich die Verzweigungen zurück, dadurch Steigerung der Festigkeit.

Rolle der Korngrenzen

FO Kettenhemd

- 1) Wie bilden sich die Kristalle beim Abkühlen

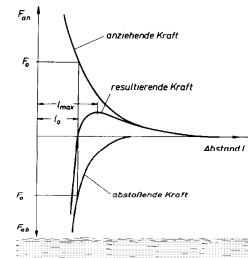
Wie sehr die Form von den äußeren Bedingungen, vor allem Abkühlgeschwindigkeit und Störfaktoren abhängen kann, sieht man bei Eiskristallen an der Fensterscheibe.

- **Verformbarkeit:** Bei der plastische Verformung muss nicht eine ganze Gitterebene verschoben werden, sondern nur bis zur nächsten Lücke
- **Fremdatome** können leicht von Lücke zu Lücke wandern. Dies ist wichtig beim Ändern von Stoffeigenschaften, (z.B. Aufkohlen)
- **Kaltumformung** nutzt die Gitterfehler aus. Der Werkstoff lässt sich bis zu einer bestimmten Grenze kalt umformen, dabei wird er härter und spröder (Kaltverfestigung). Wenn alle nutzbaren Baufehler genutzt sind, kann nicht mehr weiter verformt werden, er reißt.

Die theoretische Festigkeit idealer Kristalle ist 100-fach höher als die reale, sodass sie nicht bearbeitet werden könnten. Ohne Gitterfehler sind Metalle mechanisch nicht nutzbar.

- 1) **Kurve Kräfte zwischen Atomen, Erinnerung an die harte Feder:** Wie verhält sich die Bindung unter Druck
Abstand zwischen 2 Atomen verringert sich, abstoßende Kraft steigt sehr stark an: Metall kann nicht komprimiert werden.
- 2) **Wie verhält sich die Bindung unter leichtem Zug**
Verschiebung der Atomkerne, federn nach Entlastung ohne Veränderung zurück: elastische Verformung
- 3) **Wie verhält sich die Bindung unter großem Zug**
Es verschieben sich komplette Lagen des Gitters und springen in ein neues Gitter: plastische Verformung. Die Besonderheit von Metallen ist, dass der Körper nicht nur nicht bricht, sondern eine hohe Festigkeit behält. Zwillingsbildung: Teile eines Kornes klappen in eine spiegelbildliche Lage (besonders hexagonale Gitter)
Kaltverfestigung entsteht durch Schließen der Gitterfehler.
Für monokristallines Fe wird $R_m \approx 14000 \text{ N/mm}^2$ errechnet, tatsächlich ist $R_m(\text{Fe}) \approx 150 \text{ N/mm}^2$. Die Verschiebung entlang der Gitterebene muss also abgeschwächt sein. Die Verschiebung der Gitterebenen endet an den Korngrenzen oder an Gitterfehlern. Ohne Gitterfehler wären Metalle praktisch nicht verformbar bzw. bearbeitbar.

AM Rogers Connection



Kräfte zwischen den Atomen.

Starke Bindung bei idealem Abstand (vgl. harte Federung), deshalb ordnen sich Metallatome in bestimmten Abständen



Gittertypen

1. Lage
2. Lage
3. Lage

über die 1. Lage = hexagonal (hex) über die Lücken der 1. Lage = kfz

- Zeitbedarf: 2+1h (ohne / mit Dilatometersversuch)
- 1) Wdhg Isotropie, metallisches Streben nach einfachen Gittern
 - 2) Viele Tischtennisbälle in einer großen Kiste, vorsichtig rütteln, Anordnung? kubisch-primitiv (nicht zeichnen), krz
 - 3) günstigere Anordnung? hex
- AM krz-Raumgitter in 4 Ebenen aus Tischtennisbällen (siehe oben)
- 4) Verschiebung der 3. Lage in die andere Lücke = kfz
-
- animierte 3D-darstellung**

„Atome haben eine Art energetische Pufferzone, eine Kugel mit dem sogenannten Van-der-Waals-Radius, sodass es häufig sinnvoll ist, Packungen von Kugeln mit diesen Radien als Modelle von Kristallstrukturen zu betrachten“ Spektrum der Wissenschaft 08/2008 S.70

FO hex und kfz Gitter in dichtester Packung (Böge7 S.114), FO Gittertypen (Böge7 S.114)

hex-Raumgitter bei: Be, Cd, α-Co, Mg, α-Ti, Zn, α-Zr.; kfz-Raumgitter bei: Al, Pb, γ-Fe, Au, β-Co, Cu, Ni, Pt, Ag.; krz-Raumgitter bei: Cr, α-Fe, Mo, Nb, Ta, V, W, β-Ti, β-Zr

Elementarzelle = einfachste Zelle, durch deren Wiederholung das Gitter aufgebaut werden kann.

Gittertypen (Elementarzelle)

kubisch-raumzentriert (krz), z.B. α-Fe B.C.C. (body centre cubic)	kubisch-flächenzentriert (kfz), z.B. γ-Fe F.C.C. (face centre cubic)
--	---

hexagonal (hex) tritt nicht bei Eisen auf

Gitterkonstante bei Fe
Gitterkonstante = Kantenlänge des Würfels

Anzahl der Atome je Elementarzelle

Atomdichte
Hinweis: Berechnen per Dreisatz oder Formel so ansetzen, dass sich die Einheiten richtig ergeben.

Dichte (theoretisch) praktisch 7,87kg/dm³
A. = Atome

Begriffe Austenit und Ferrit (von den Ablesungen bekannt) nicht vorgeben, sondern nach dem Dilatometersversuch zuordnen lassen.

ev. FO Gittertypen

Wir betrachten nur die Gitter, die bei Eisen auftreten, deshalb wird hex nicht weiter verfolgt (waagerechte Linie).

animierte 3D-Darstellungen erstellen
Atomdurchmesser Fe ca. 250 nm

Gitterkonstante

0,286nm	0,356nm
---------	---------

$$8 \cdot \frac{1}{8} + 1 \cdot 1 = 2$$

$$\frac{2}{0,286^3 \text{ nm}^3} = 85,5 \frac{\text{Atome}}{\text{nm}^3}$$

nicht dichtest gepackt

$$\frac{55,847 \text{ g} \cdot 85,5 \text{ Atome}}{6,02204 \cdot 10^{23} \text{ A} \cdot \text{nm}^3} = 7,9 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$$

$$8 \cdot \frac{1}{8} + 6 \cdot \frac{1}{2} = 4$$

$$\frac{4}{0,356^3 \text{ nm}^3} = 88,6 \frac{\text{Atome}}{\text{nm}^3}$$

dichteste Packung

$$\frac{55,847 \text{ g} \cdot 88,6 \text{ Atome}}{6,02204 \cdot 10^{23} \text{ A} \cdot \text{nm}^3} = 8,2 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$$

- 1) Gitterkonstante vorgeben
 - 2) Welches Gitter hat die größere Dichte?
- Die Randatome werden von mehreren Elementarzellen beansprucht. Wie viele Aktienanteile an Atomen hat eine Elementarzelle?
- Wdhg: kfz und hex unterscheiden sich um eine Lücke in der 3. Ebene. Dies beeinflusst die Dichte nicht, hex ist ebenfalls dichtest gepackt (hdp = hexagonal dichtest packt).
- EuroTabM39 S54 „Chemie“, S106 „Dichte“
Atommasse Fe=55,847g/6,02204×10²³ Teilchen
nm=10⁻⁹m=10⁻⁸dm
Fehlerquellen: Gitterfehler, Gitterkonstante ist temperaturabhängig, Rundungsfehler⁹

FO Abkühlungs- und Dilatometerkurve von Eisen

Bezeichnungen α-, β-, γ- und δ-Fe folgen der Abkühlungskurve von unten nach oben. β-Fe ist wie α-Fe, aber unmagnetisch (oberhalb der Curielinie = 768 °C für reines Fe, sonst ca 719 °C). δ-Fe ist ein kleiner Zipfel beim Punkt A im EKD.

Vers: Vereinfachter Dilatationsversuch

Frei hängenden Stahl Draht (Blumenbindendraht ca. 30..50cm) durch Strom bis 900 °C erhitzen (Glühfarben siehe TabB). Nach Abschalten des Stromes zieht sich der Draht zusammen. Beim Übergang von Austenit zu Ferrit sackt er nochmals kurz durch (Verlängerung wegen der geringeren Dichte von Ferrit). U.U. kann man auch ein kurzes Aufglühen sehen, wenn die Kristallisationsenergie frei wird? Dilatation (Ausdehnung) ist ein weiterer Hinweis auf Kristallisationsvorgänge.

- 1) Beobachten und erklären Sie die Vorgänge
- 2) Ordnen Sie kfz und krz dem Austenit und Ferrit zu.

Eintrag im AB Stahllecke

Eigenschaften der Gittertypen

Ferrit (α-Eisen, krz)	Austenit (γ-Eisen, kfz)
max. 0,2%	max. 2,06% (Grenze für Stahl)
4	4
8	12
gut umformbar	sehr gut umformbar
weich, nicht sehr fest, zäh, magnetisch, korrosionsanfällig	weich, sehr zäh, unmagnetisch, korrosionsbeständig (z.B. CrNi-Legierungen)

Lösungsvermögen für C

aus EKD entnehmen, Erklärung an der Elementarzelle. Ca jede 3. kann C aufnehmen.

oben im TA Gittertyp einzeichnen
FO Gleitebenen

Gleitebenen, Gleitmöglichkeiten

Verformbarkeit

Sonstiges

Legierungen mit hohem Cr- oder Ni-Anteil (Nirosta) haben ein austenitisches Gitter und sind unmagnetisch und korrosionsbeständig (z.B. Schiffbau, Lebensmitteltechnik)

Gitterfehler siehe Hering u.a. S.640

Vertiefung: Raumerfüllungsgrad
Wie viele Prozent des Raumes wären ausgefüllt, wenn die Atome Kugeln mit maximal möglicher Größe wären bei kfz / krz?

Unterschied zw. Ingenieur und Mathematiker:-) Es ist mathematisch noch nicht bewiesen, dass hdp und kfz die dichtesten Packungen sind. (Singh: Fermats letzter Satz)

Cementite has an orthorhombic lattice with approximate parameters 0.45165, 0.50837 and 0.67297 nm (<http://www.msm.cam.ac.uk/phase-trans/2003/Lattices/cementite.html>)



Fe-Fe₃C-Diagramm (metastabiles Eisen-Kohlenstoff-Diagramm)

Einführung

Erkläre die Zusammensetzung des Gefüges von C100, (C50) bei 1600, 1400, 1200, 1000, 800, 750, 700 °C.

Gefügearten

Zementit (6,67%C)

Im metastabilen EKD (Fe-Fe₃C-Diagramm) scheidet sich Kohlenstoff als Eisenkarbid Fe₃C, 6,67% C aus:
sehr hart + spröde, nicht umformbar, sehr fest.

FO Zementitkristall

Graphit

(100%C) weich, wenig verformbar, schmierend
übereutektische Legierungen
(4,3 .. 6,67%C)

Kristallgemisch aus Zementit und Ledeburit

Ledeburit

(4,3%C)

Eutektikum des Fe-Fe₃C-Systems; feinkörniges
Kristallgemisch aus Austenit (Perlit) und Zementit
untereutektische Legierungen

(2,06 .. 4,3%C)

aus Ledeburit, Austenit und Sekundärzementit

übereutektoide Legierungen

(0,8 .. 2,06%C)

scheiden Sekundär-, Schalen- oder Korngrenz-
zementit unter der Linie E-S aus dem Austenit aus.

Dieser Vorgang ist durch die gestrichelte Linie bei 2,06%C angedeutet. Die Anteile und
Zusammensetzung von Austenit und C berechnet man aber über die Volllinien E-S und F-K

Perlit

Kristallgemisch aus meist lamellarem Ferrit und
Zementit; Eutektoid des Austenits; mittelhart.

Ferrit

eine Form von Eisen, kann kaum C lösen (max. 0,2%).

Austenit

Mischkristall aus Fe und C, kann bis 2,06%C lösen

quantitative Vorgänge in der Stahlecke, um das Lesen von Zustandsdiagrammen einzuüben,
vorläufig ohne die Begriffe Austenit usw. zu erklären.

anhand EuroTabM39 S128A „Eisen-Kohlenstoff-Diagramm“

AB Stahlecke

qualitative Vorgänge im ganzen Fe-Fe₃C-Diagramm

Vorgänge über 2,06% sind im Lehrplan nicht gefordert !

Vorgehensweise mündlich, Zusammenfassung und Vertiefung im AB Stahlecke
Fe₃C besteht aus 1x12 : 3x56 = 12:168 Atommassen. 12/(168+12)=6,67%C (Masse%)

**Wdh.: Umformbarkeit ist wesentlich für den Nutzen von
Metallen, reines Zementit ist praktisch nicht nutzbar.**

Da Wärmebehandlung das Fe₃C in Fe und C trennen kann, aber nicht umgekehrt, ist das EKD
das stabilere System, das Fe-Fe₃C-System heißt metastabiles EKD (grch. meta: zwischen..,
mit.., um.., nach..)

Da die wenigen C-Atome Zeit benötigen, Keime zu bilden und zu vergrößern, scheidet sich
Graphit nur bei sehr langsamer Abkühlung aus (wird durch Si gefördert).

Schüler entwickeln lassen: Zwischen 4,3 und 6,67% C verhält sich die Legierung wie ein
Kristallgemisch. Eisenkarbid-Kristalle scheiden aus, die Schmelze strebt zum Eutektikum

Das Ledeburit ist durch eine gestrichelte Linie markiert. Die gestrichelte Linie bedeutet, dass
Ledeburit keine eigene Phase ist, sondern nur eine Erscheinungsform anderer Phasen. Beim
Abkühlen besteht es zunächst aus Zementit und Austenit. Austenit vergrößert beim weiteren
Abkühlen die vorhandenen Zementitbereiche und kippt dann in Perlit um.
nach Prof. Ledebur, Freiberg 1837 bis 1906.

Zementit steckt schon im Ledeburit, das Sekundärzementit scheidet sich aus dem Austenit
aus, da Austenit mit sinkender Temperatur immer weniger C lösen kann.

Auf der Linie E - C zwischen 2,06 und 4,3% C besteht das Gefüge aus Austenit und
Ledeburit. Bei weiterem Abkühlen scheidet sich aus dem Austenit C aus und bildet Zementit.
Da die Ausscheidung dieses Zementits erst beginnt, nachdem sich bereits Zementit aus der
Schmelze gebildet hat, nennt man ihn auch Sekundärzementit. Da er sich um die
Austenitkristalle an den Korngrenzen ablagert, heißt er auch Schalen- oder
Korngrenzementit.

Eutektoid entspricht dem Eutektikum, geht aber nicht aus einer Schmelze, sondern aus einer
festen Lösung hervor. Hier ist C im Austenit gelöst.
Perlitbildung = Austenitfall. Lamellen werden durch Wärmebehandlung zu Körnern.
Der Name Perlit kommt vom perlmuttartigen Glanz, den geschliffenes und geätztes Perlit hat.

Löslichkeit für C aus dem EKD lesen
Andere übliche Bezeichnung ist α -Eisen.

Andere übliche Bezeichnung ist γ -Eisen.

Ültg: Austenit und Ferrit sind zwei verschiedene Kristallformen des Eisens. Bevor wir die
Gittertypen unterscheiden können, müssen wir erst den Bindungsmechanismus von Metallen
kennen.

Sie wollen die Gefügeumwandlung von C55 beim Abkühlen aus der Schmelze mit einer
Laienspielgruppe darstellen. Darsteller sind Ihre Klassenkameraden.
Schreiben Sie das Drehbuch so, dass jeder der Darsteller weiß, was er zu tun tun hat. Die
Darsteller sind mit schwarzen und weißen Hemden markiert.



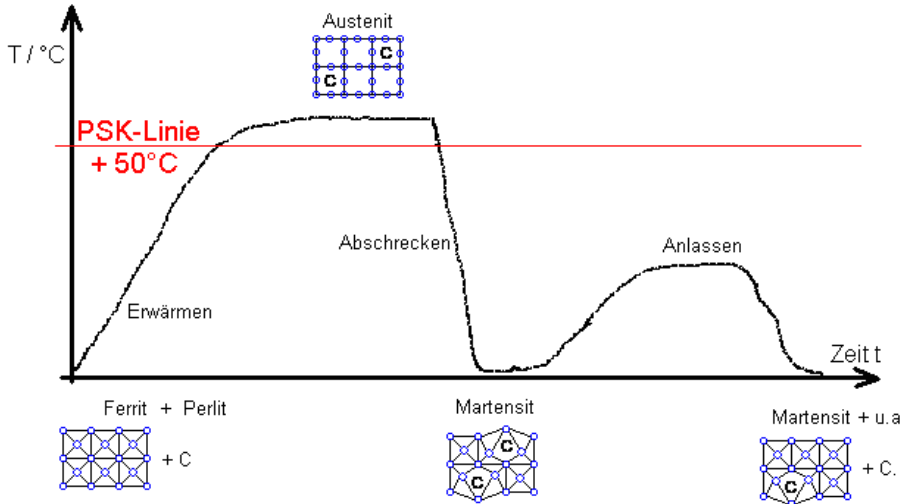
Wärmebehandlung von Stahl

Abschreckhärten, martensitisches Härten

Zweck

Verschleißfestigkeit, Härte

Vorgang



Ein Nockenwelle, Zahnrad, Kurvenscheibe o.ä.

1) Funktion, Belastung ? Reibung, Verschleiß => Härten

Härten macht Stähle durch Wärmebehandlung hart und verschleißfest. Vorher müssen Werkstücke etwa ihre endgültige Form haben, danach können sie nur noch durch Schleifen gespannt werden.

Versuch: Bindedraht biegen: Nix passiert; Draht erhitzen, abschrecken, biegen: Draht bricht. Zum Abschreckhärten benötigt man zwei Elemente: genügend C und Abschreckgeschwindigkeit.

Beim schnellen Abkühlen sinkt die Temperatur, bei der Austenit zu Perlit wird, weil der C nicht schnell genug diffundieren kann. Das Perlit wird feinstreifiger. Bei Unterschreiten der kritischen Abkühlungsgeschwindigkeit bildet sich gar kein Perlit mehr, sondern bei 400..100°C (bei unlegierten Stählen) das durch C-Atome verzerrte krz-Gitter Martensit (glashart und spröde). Überperlitische Stähle behalten Restaustenit, der die Härte senkt. Er kann durch Tieftemperaturbehandlung noch in Martensit umgewandelt werden bzw. durch Anlassen in Perlit oder Zwischenstufengefüge umgewandelt werden.
 FO Dilatometerkurve beim Erwärmen und Abschrecken Domke S121 zeigt starke Verlagerung des Umwandlungspunktes in tiefe Temperaturen beim Abschrecken (Hysterese). Legierungselemente Cr, W, Mn, V fördern den Vorgang.

Erwärmen auf Härtetemperatur
 ca. 50°C über der PSK-Linie

Abschrecken / Martensitbildung
 Austenit abschrecken -> es entsteht Martensit statt Ferrit / Perlit
 Eigenschaft: sehr hart und spröde.

Anlassen bei 100 .. 300°C
 Wandelt etwas Martensit in Zementit
 Zweck: Senkt die Sprödigkeit und mindert die Gefahr der Härterisse.

Das Kristallgemisch aus Ferrit / Zementit und Perlit wird über die GSK-Linie auf Härtetemperatur durchgewärmt und wandelt sich vollständig in Austenit um, der den C löst.

Ein abgeschreckter Handmeißel ist fest, glashart und dementsprechend spröde, Zähigkeit fehlt, sodass das -Werkstück angelassen werden muss.

Zur Minderung der Härterisse soll gehärteter Stahl 45° auf 100..150°C angelassen werden (Domke7 S.126).

Anlassfarben s. EuroTabM bunte Seiten.

Anlassfarben entstehen durch dünne Oxidschichten. Anlassen soll unmittelbar nach dem Abschrecken erfolgen, da Härterisse noch Stunden später erfolgen können

FO ZTU-Schaubild für kontinuierliche Abkühlung Ck45, 41Cr4 aus Weißbach S.180: für innen und außen, erreichbare Härten je nach Temperaturverlauf

Je nach Abschreckmittel und Dicke sind die Vorgänge am Rand und im Innern stark unterschiedlich.

Durchhärten bei größeren Querschnitten (Martensitbildung) ist nur bei legierten Stählen zu erreichen. Ferritbildung ist zu vermeiden (weich, kleines R_n).

Die Diagramme geben an, welche Phasen aus dem Austenit entstehen, wenn eine bestimmte Abkühlung über der Zeit erreicht wird. Verläuft die Kurve erst über Ferrit und Perlit, so bildet sich erst Ferrit aus dem Austenit, dann Perlit aus dem Restaustenit. Bainit oder Zwischenstufe ist ein Gemenge von übersättigtem Ferrit mit eingelagerten Karbiden. Im unteren Bereich der Zwischenstufe werden sie sehr fein und ergeben gute Zähigkeit bei hoher Streckgrenze. Bei legierten Stählen ist die Bainitstufe besonders ausgeprägt.

ZTU-Schaubilder für isotherme Abkühlung gelten für dünne Werkstück, die schroff auf eine bestimmte Temperatur abgekühlt und dann dort gehalten werden.

Ültg: Warum nicht einfach immer mit Wasser abschrecken ?

AM geissene Härteteile

ZTU-Schaubilder für kontinuierliche Abkühlung

FO Wärmebehandlung im ZTU-Diagramm

Ck45 siehe auch Böge7 S.133, allerdings unübersichtlicher beschriftet.

Abschrecken führt zu Vibrationen (Böge7 S.134) ?

Vermindern z.B. durch gebrochenes Härten: Abschrecken in Wasser, bis 200 .. 300°C (Perlitbildung wird schnell durchlaufen) und weiteres Abschrecken in Öl (Zwischenstufe wird langsam durchlaufen).

FO Abkühlungsgeschwindigkeit Böge S.133

Die Lage des Abschreckmaximums hängt mit der Verdampfungstemperatur zusammen. Abschreckmittel werden nach gewünschter Abschreckgeschwindigkeit gewählt.

Legierungselemente behindern die Umwandlung Austenit zu Perlit und fördern dadurch die Martensitbildung. Hochlegierte Stähle werden an Luft abgeschreckt und härten dennoch vollständig durch. Man unterscheidet Wasser-, Öl- und Lufthärter. Beim Eintauchen ins Kühlmedium müssen bestimmte Regeln beachtet werden.

Moderne Härteöfen fahren die Abkühlungskurven NC-gesteuert (z.B. bei ABB bis 300°C/s ?).

EuroTabM39 S.158 „Vergütungsstähle -Wärmebehandlung

Innere Vorgänge beim Anlassen hochlegierter Stähle: Ab ca. 400°C entkommen einige C-Atome, aus Martensit-Nadeln bilden sich Ferrit- und Zementit-Nadeln. Das Ferrit bringt Zähigkeit, ist aber sehr feinkörnig, sodass die Festigkeit höher als bei normalgeglühtem Stahl ist. Ab ca. 550°C zerfällt der Martensit vollständig. Ab ca. 700°C ballen sich Zementit-Nadeln zu Zementitkörnern, dies erhöht die Zähigkeit durch feineres und gleichmäßigeres Gefüge, Härte und Festigkeit nehmen ab. Vergütete Stähle haben bei gleicher Zugfestigkeit eine höhere Zähigkeit als normalgeglühte Stähle.

FO Vergütungsschaubild C45 Böge7 S.135

FO Vergütungsschaubilder verschiedener Stähle EuroM50 S215"

Als Ausgangsgefüge sind u.U. auch Perlitvarianten (Troostit, Sorbit) oder Zwischenstufengefüge geeignet, d.h. das Abschrecken muss nicht so scharf erfolgen.

Vergütungsstähle EuroTabM39 S.158 „Vergütungsstähle"

Härterisse

Entstehen durch Wärmespannungen (unterschiedliche Wärmeausdehnung) oder durch Volumenänderung bei Gefügeänderungen.

Abschreckgeschwindigkeit / Eindringtiefe

ist bestimmt durch das Abschreckmittel: Wasser, kalte / warme Salzlösung, (legiertes) Härteöl oder Luft.

Möglichst milde Abschreckmittel verwenden!

Werkstoffe

C > 0,2%

Vergüten

= Härten + Hochtemperatur-Anlassen bei 500 .. 680°C
 Anlasstemperatur und -zeit bestimmen die Eigenschaften (Zähigkeit <-> Festigkeit).
 Martensit zerfällt zu sehr feinkörnigem Ferrit und Zementit.

Werkstoffe

un-/niedriglegierte Stähle mit 0,25 .. 0,6%C



Ein
 AM Nockenwelle, Zahnrad o.ä.
AM Kurvenscheibe (nur mit FO)
 z.B. für Zahnräder, Nocken und Lagerflächen von Nockenwellen, Kurvenscheiben

Oberflächenhärten

für verschleißfeste Oberfläche und zähen Kern.

Verfahren

Werkstoffe / Vorgang
 Randschicht wird

Merkmale

Abschreckhärten

C-Gehalt und Abschreckgeschwindigkeit sind nur an der Oberfläche groß genug

Einsatzhärten

St mit C<0,2% aufkohlen und dann härten

- verschiedene Gefüge, Verzug und Risse
- Kern wird beim Aufkohlen gegläht.

Randschichthärten

z.B. Flammhärtung, Induktionshärten

St mit 0,3%<C<0,6% erwärmen und abschrecken
 + Kern wird kaum beeinflusst

Nitrierhärten

Bildung sehr harter Nitride in der Randschicht

Stähle mit Cr und Al mit N₂ anreichern

- geringe Erwärmung ohne Verzug
- größte erreichbare Härte bei Stahl (1200HV)
- erhöht Korrosionsbeständigkeit
- geringe Härtetiefe: wenige 0,1 mm
- gehärtete Schicht platzt leicht ab

<p>Aufkohlen durch Diffusion: Pulveraufkohlen (z.B. in Holzkohle einbetten und unter Schutzgas glühen), flüssige Cyan-Salze (Blausäure HCN: sehr giftig), Gasaufkohlen (z.B. Leuchtgas CO + H₂: giftig und explosibel) „Einsatzstähle“ ⇒ EuroTabM39 S.119 Querverweis: Härteprüfverfahren</p>	<p>„Stähle für Flamm- und Induktionshärtung“ ⇒ EuroTabM39 S.120 Flammhärten lässt Einhärtetiefen unter 1mm nicht zu, beim Induktionshärten Randschichten unter 0,1mm möglich. Hohe Anlagekosten, kaum Beeinflussung des Kernes. (Bargel-Schulze) einarbeiten: Härter sind alle umwandlungsfähige FeC-Legierungen, selbst GGL. Meist wird das Bauteil vorher vergütet. z.B. die KW beim BMW m³-Motor (2000)</p>	<p>„Nitrierstähle“ ⇒ EuroTabM39 S.199 Eisenitride sind nicht hart genug, deswegen wird mit ca. 1%Al oder 1..2%Cr legiert. Nitrieren (Aufstücken) findet normalerweise bei 500..550°C über ca. 20h statt. Bei höheren Temperaturen bilden sich grobe Nitride und sprödes, zum Abplatzen neigendes Eisenitrid. Nur wenn es auf Korrosionsbeständigkeit ankommt, nitriert man bei Temperaturen bis 850°C für wenige Stunden. Nitriermittel sind NH₃ oder Ammoniak im gasdichten Ofen oder ein Zyanbad. Unter der katalytischen Wirkung des Eisens spaltet sich N ab und diffundiert atomar in den Stahl.</p>
--	--	---

Nitrocarborieren

kombiniertes Verfahren Einsatz- und Nitrierhärten

Vertiefung

Video Härten

TZ Glühverfahren

Ein	Was nutzt ein möglichst schonend gehärtetes Werkstück, wenn es vorher durch Bearbeitung innere Spannung hatte - Es muss vorher schon spannungsarm gegläht werden
Buch ?	EuroTabM37 S96-1 "Wärmebehandlung" Diagramm Glühtemperaturen, EuroM50 S209 Glühverfahren, Temperaturen, Zweck der Glühverfahren
Erl	Spannungsarmglühen, T=550..650°C, t= 1..2h Wärmebewegung der Atome schwächt inneren Halt des Gitters. Beim Spannungsarmglühen lösen sich innere Spannungen durch plastisches Fließen der Körner.
Erl	Rekristallisationsglühen, T=550..650°C, t= mehrere h Bei großen Spannungen im Werkstück zerfallen die Körner (z.B. nach Kaltverformung). Aus Bruchstücken entstehen neue Körner, damit neues Gefüge (=Rekristallisation)
Erl	Weichglühen, T=680..750°C, t=mehrere h oder Pendelglühen um die 723°C-Linie (P-S-K) Durch Weichglühen wandelt sich der Streifenzementit zu körnigem Zementit = leichter umformbar und spanbar.
Erl	Normalglühen, T knapp über GSK wie Härten, t=kurz Gitter werden kurz in Austenit umgewandelt, dabei Neubildung der Körner: neues, gleichmäßiges, feines Gefüge
Erl	Diffusionsglühen, T=1050..1250°C, t=lange Atome wandern und gleichen Konzentrationsunterschiede (Seigerungen) wieder aus
Vtfg	TA Glühverfahren
Def.	Glühen = Wärmebehandlung mit Erwärmen, Temperatur Halten, langsames Abkühlen



NE-Metalle

Einteilung

Guss- - Knetlegierung
Leicht- - Schwermetalle

Bezeichnung

Quelle: EuroTabE13 S.254ff

- 1)
- 2)

z.B GD - ZnAl4Cu1 F42

Herstellung, Verwendung

GD: Druckguss
E: Elektrotechn. Anwendungen

chem. Zusammensetzung

Zinklegierung mit
4% Al
1% Cu

Eigenschaften, Behandlung

Zugfestigkeit 420 N/mm²

Abk.

Eigenschaften

Anwendung

E-Cu

sehr hohe therm. + el. Leitfähigkeit
weich, verformbar,
korrosionsbeständig gegen Atmosphäre
Lichtbogen ⇒ schlecht leitende Oxidschicht

Leiter

Al

Leitfähigkeit pro Masse ist höher als bei Cu

Kondensatoren, Schalter
z.B. E-AlMgSi + Stahl, E-Al F17

Ni

steigert Widerstand in Cu
mit Cr hochwarmfest

⇒ Freileitungen
CuNiMn: Präzisionswiderstände,
temperaturabh. Widerstände
z.B. NiCr 80 20 (Ni80Cr20), NiCr60 15 (Ni60Cr15Fe20)
hochbelastete Widerstände ⇒ Elektroöfen, Lötkolben

Zn

für Menschen giftig

⇒ ZnC-Batterien

Pb

gute therm. + el. Leitfähigkeit

⇒ Pb-H₂SO₄-Akkus

Sn

Smp. 3380 °C

⇒ L-Sn50Pb: Weichlote

Ag

sehr hart, verschleißfest, geringer Abbrand
leitende Oxidschicht

⇒ Glühfäden
aus langen Monokristallen (= Wiskers)

AgCd

wirkt lichtbogenlöschend

⇒ Unterbrecherkontakte, Zerhacker
Hartsilber AgCu3 ⇒ Kontakte Schütz, Relais, Bimetall
AgCd 5 .. 20 ⇒ Gleichstromkontaktstücke, Lichtschalter,
Thermostate

Au

oxidiert nicht

L-Ag67Cd, L-Ag72 ⇒ Hartlot

Mg

leicht, gut druckgießbar

Kontaktwerkstoff

Hg

Smp -38,9 °C

⇒ dünnwandige Gehäuse

C

Verschweißt nicht, keine Oxidschicht,
selbstschmierend

⇒ Rüttelzünder, Explosionsgeschützte Schalter
vermutlich mit gekapselter Kontaktfläche
⇒ Kohlebürsten, Schleifstücke, Stromabnehmer,
Druckkontakte



Sinterwerkstoffe

ca xx' Zeitbedarf

Verfahren

Werkstoffe werden als Pulver gemischt, gepresst und durch Glühen gesintert (Schmelze oder Diffusion)

Merkmale

- + einbaufertige Werkstücke
- + in großen Serien preisgünstig
- + Metalle mit stark unterschiedlichen Smp. legierbar
- + Eigenschaften durch Pulvermischung einstellbar

Anwendung

nicht legierbare Werkstoffe

mit unterschiedlichen Eigenschaften

- ⇒ HM aus TiC, TaC, WC & Co
sehr harte Karbide + zähes Kobalt
- ⇒ Dauermagnete aus Fe_2O_3 & BaO oder
aus $SmCo_5$ bzw. $SECo_5$
Samarium+Kobalt, bzw. seltene Erden+ Co

einbaufertige Kleinteile

- ⇒ Zahnräder, hebel usw.
- ⇒ Lagerwerkstoffe (speichern Schmierstoff)

einstellbare Porengröße

- ⇒ Filter
- ⇒ Lagerwerkstoffe (speichern Schmierstoff,
Notlaufeigenschaften)

gleichmäßiges Gefüge

ohne Seigerungen etc.

- ⇒ Sinterschmieden einer Einpulvermischung gibt
höhere Festigkeit als Schmieden der Legierung

Lasersintern

- ⇒ Stereolithografie, Rapid Prototyping, CNC-Formen

Quelle: EuroTabE13 S.254ff

1)

2)

legiert ist nicht angebracht, weil auch Nichtmetalle gesintert werden, z.B. Oxide.

- hohe Presskräfte erforderlich
- teure Pressform
- Werkstückgröße begrenzt (hohe Kräfte, schlechte Verdichtung im Innern)
- Formgebung eingeschränkt (keine Hinterschneidung usw.)

Sinterhartmetall wurde 1923 in Deutschland erfunden (Elsners Taschenbuch für den maschinentechnischen Eisenbahndienst 1951, S261)

Die Werkstückgröße ist beschränkt, weil die hohen Pressdrücke (bis 6000 bar) bei großen Werkstücken zu große Kräfte erfordern.



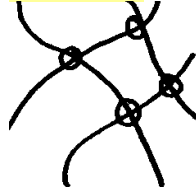
Kunststoffe

Einteilung
Thermoplaste



fadenförmige Makromoleküle,
 Bindung durch Verschlingung und
 Reibung
 warm umformbar, schweißbar

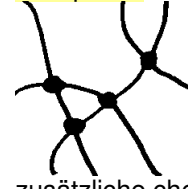
Elastomere



weitmaschig vernetzt

gummielastisch, nicht umformbar,
 nicht schweißbar

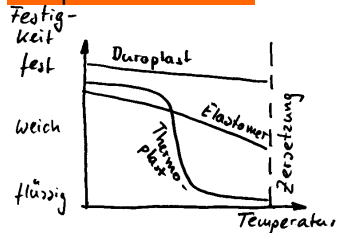
Duroplaste



zusätzliche chem. Verknüpfungen

nicht umformbar, nicht schweißbar

Temperaturverhalten



1) ?
 2) ?

Prüfverfahren

- Verhalten im Heißluftstrom (sehr weich, etwas weich, nicht weich)
- Brennversuch (brennt, verlöscht, tropft)
- Geruch beim Brennen