

Lösungen zu den Lernkontrollfragen

Copyright © 2021 StudyHelp StudyHelp GmbH, Paderborn www.studyHelp.de

1. Auflage

Autor: Prof. Dr.-Ing. Martin Bonnet

Co-Autor: Yannic Lay

Lernvideos: Welt der Werkstoffe Abbildungen: Clarissa Wegner

Redaktion & Satz: Carlo Oberkönig Kontakt: verlag@studyhelp.de

Das Werk und alle seine Bestandteile sind urheberrechtlich geschützt. Jede vollständige oder teilweise Vervielfältigung, Verbreitung und Veröffentlichung bedarf der ausdrücklichen Genehmigung von StudyHelp. Hinweis zu § 52a UrhG: Weder das Werk noch seine Teile dürfen ohne eine solche Einwilligung gescannt und in ein Netzwerk eingestellt werden. Dies gilt auch für Intranets von Schulen und sonstigen Bildungseinrichtungen.

Auf verschiedenen Seiten dieses Buches befinden sich Verweise (Links) auf Internet-Adressen. Haftungshinweis: Trotz sorgfältiger inhaltlicher Kontrolle wird die Haftung für die Inhalte der externen Seiten ausgeschlossen. Für den Inhalt dieser externen Seiten sind ausschließlich deren Betreiber verantwortlich. Sollten Sie bei dem angegebenen Inhalt des Anbieters dieser Seite auf kostenpflichtige, illegale oder anstößige Inhalte treffen, so bedauern wir dies ausdrücklich und bitten Sie, uns umgehend per E-Mail davon in Kenntnis zu setzen, damit beim Nachdruck der Verweis gelöscht wird.

E-Book

Inhalt

1 Lös		sungen 5
	1.1	zu Einführung in die Welt der Werkstoffe 5
	1.2	zu Nomenklatur von Stählen
	1.3	zu Zweistoffsysteme 8
		zu Das Eisen-Kohlenstoff-Diagramm
	1.5	zu Härte 11
	1.6	zu Wärmebehandlung 12
	1.7	zu Stähle
	1.8	zu Korrosion
	1.9	zu Nichteisenmetalle
	1.10	zu Nichtmetalle 19
	1.11	zu Weiterführende Fragen

1 Lösungen

1.1 zu Einführung in die Welt der Werkstoffe

Lernkontrollfragen

- 1. Protonen & Neutronen im Kern und Elektronen auf äußeren Bahnen
- 2. Vollständige Besetzung der äußersten Schale
- 3. Sauerstoff ist ein Nichtmetall, da es zwei Schalen und sechs Außenelektronen besitzt. Somit möchte es die Edelgaskonfiguration durch Aufnahme von Elektronen erreichen.

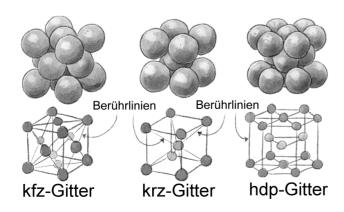
Kalium ist ein Metall, da es vier Schalen und ein Außenelektronen besitzt. Somit möchte es die Edelgaskonfiguration durch Abgabe von Elektronen erreichen.

Blei ist nicht so einfach einzuordnen, zählt jedoch zu den Metallen. Es besitzt sechs Schalen und vier Außenelektronen. Durch die Entfernung der Außenelektronen zum Kern gibt Blei trotz der nicht geringen Anzahl an Außenelektronen lieber Elektronen ab, um die Edelgaskonfiguration zu erreichen.

4. Bindungsarten:

- Elektronenpaarbindung (z. B. CH₄)
- Ionenbindung (z. B. KBr)
- Metallbindung (z. B. Al)

5.



6. Sie ist genau so groß wie bei dem kfz-Gitter, also ca. 74%.

7. Arten von Gitterfehlern:

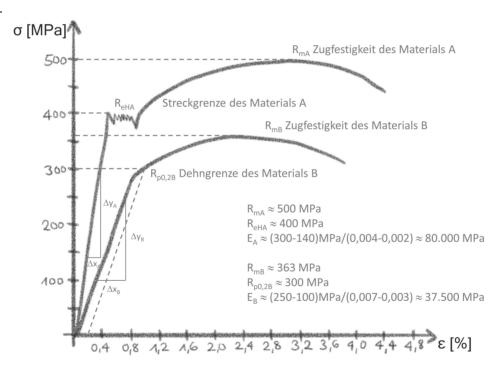
- Punktfehler (z. B. Leerstellen)
- Linienfehler (z. B. Stufenversetzungen)
- Flächenfehler (z. B. Kleinwinkelkorngrenzen)
- Volumenfehler (z. B. Poren)

Anmerkung: Die Bezeichnung "Nulldimensionale, Eindimensionale etc. Gitterfehler" ist natürlich auch richtig.

8. kfz-Gitter (1), krz-Gitter (2) und hdp-Gitter (3)

Das hdp-Gitter verfügt über drei Gleitsysteme und besitzt somit eine schlechtere plastische Verformbarkeit als die kfz- und krz-Gitter, die jeweils über zwölf Gleitsysteme verfügen. Durch die höhere Atomdichte im kfz-Gitter gegenüber dem krz-Gitter ist die plastische Verformbarkeit im kfz-Gitter überlegen.





10. Die Übergangstemperatur T_u gibt den Übergang von Hochlage (zähes Materialverhalten) zur Tieflage (sprödes Materialverhalten) an. Anhand dieses Wertes erkennen wir, ob unser Material bei den gegebenen Temperaturen zäh, spröde oder sogar keine genaue Aussage möglich ist, weil bei dem Übergangsbereich (Steilabfall) die Werte stark streuen.

Materialien mit einem kfz-Gitter sind auch bei tiefen Temperaturen noch zäh, während solche mit einem krz-Gitter dazu neigen bei tiefen Temperaturen zu verspröden. Dementsprechend würden wir ohne eine genaue Angabe von Werten bei der vorliegenden Aufgabenstellung das Material mit dem kfz-Gitter auswählen.

1.2 zu Nomenklatur von Stählen

Lernkontrollfragen

1. Stahl ist ein Werkstoff der hauptsächlich aus Eisen besteht und dem Kohlenstoff hinzulegiert ist. Der maximale Kohlenstoffgehalt beträgt 2%.

Hauptgüteklassen: Grundstähle, Qualitätsstähle und Edelstähle.

- 2. Informationen aus Bezeichnungen ziehen:
 - S235L4C: Stahl für den allgemeinen Stahlbau mit einer Mindeststreckgrenze von 235 MPa und einer Mindestkerbschlagarbeit von 60 J (Prüftemperatur = -40°C), besondere Kaltumformbarkeit.
 - E295KRQ: Stahl für den Maschinenbau mit einer Mindeststreckgrenze von 295 MPa und einer Mindestkerbschlagarbeit von 40 J (Prüftemperatur = +20°C), vergütet.
 - C35D: Unlegierter Stahl mit einem Mangangehalt von < 1%, 0,35% Kohlenstoffgehalt, zum Drahtziehen.
 - 59CrV4: Legierter Stahl, 0,59% Kohlenstoffgehalt, 1% Chromgehalt, < 0,1% Vanadiumgehalt.
 - X3NiCoMoTi18-9-5: Hochlegierter Stahl, 0,03% Kohlenstoffgehalt, 18% Nickelgehalt, 9% Kobaltgehalt, 5% Molybdängehalt, < 1% Titan.
- 3. Bezeichnungen für Stähle:
 - X50CrMoV15 ist ein hochlegierter Stahl
 - 115W8 ist ein legierter Stahl
- 4. Werkstoffnummern:
 - 1.0812: Es handelt sich um einen legierten Qualitätsstahl
 - 3.0517: Wir erkennen den Werkstoff als Leichtmetall, jedoch können wir ihn mit dem Wissen aus Kapitel 2 nicht weiter einteilen. Mit dem Wissen aus Kapitel 9 ist eine Zuordnung als Aluminiumwerkstoff möglich.

1.3 zu Zweistoffsysteme

Lernkontrollfragen

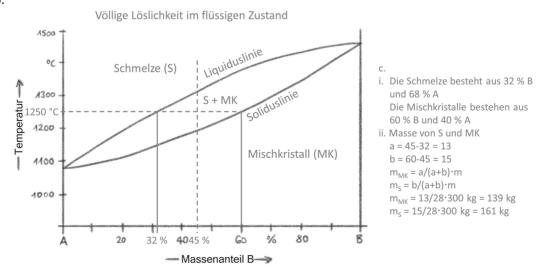
1. Mit zunehmender Zeit steigt die Temperatur zunächst stetig an. Bei Erreichen des Schmelzpunktes bleibt die Temperatur über die Aufschmelzdauer konstant, da die gesamte Wärmeenergie für die Phasenumwandlung verwendet wird. Im Anschluss an die Phasenumwandlung steigt die Temperatur mit fortlaufender Zeit wieder stetig an.

- 2. In der Schmelze sind Kristallkeime vorhanden. Es findet eine Unterkühlung der Schmelze statt.
- 3. Das Zustandsschaubild eines Zweistoffsystems gibt in Abhängigkeit der Temperatur und der Konzentration alle möglichen Legierungszusammensetzungen an. Zudem gibt es Aufschluss darüber, welche Gefüge gebildet werden können und wo Zustandsänderungen auftreten.

Zur Erstellung von Zustandsdiagrammen werden die Reinstoffe und verschiedene Legierungen (bestehend aus den beiden Reinstoffen) jeweils aufgeschmolzen, abgekühlt und die Abkühlkurven analysiert. Setzt man die ermittelten Halte- und Knickpunkte in ein Temperatur-Konzentrations-Diagramm des untersuchten Zweistoffsystems ein und verbindet diese, dann erhalten wir unser Zustandsschaubild.

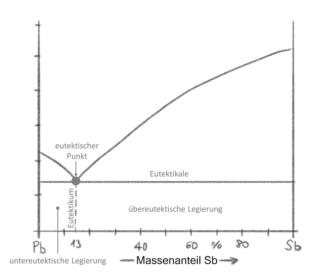
- 4. Ausprägungen von Zweistoffsystemen im festen Zustand:
 - Vollständige Löslichkeit im festen Zustand: Es entstehen gleichartige Mischkristalle aus den zwei Stoffen.
 - Begrenzte Löslichkeit im festen Zustand: Es entsteht ein Kristallgemisch aus zwei verschiedenen Mischkristalltypen. Ein Mischkristalltyp reich an A und arm an B und der andere reich an B und arm an A.
 - Völlige Unlöslichkeit im festen Zustand: Es entsteht ein Kristallgemisch aus den reinen Metallkristallen der zwei Stoffe.
- 5. Entstehung von Mischkristallen:
 - Zwischengitteratome: Es muss eine ausreichende Anzahl und Größe an Gitterlücken für die Einlagerung zur Verfügung stehen.
 - Substitutionsatome: Die Komponenten der Legierung müssen gleiche Gittertypen ausbilden sowie etwa gleichgroße Atomradien und eine chemische Ähnlichkeit besitzen.





- 7. Seigerungen sind inhomogen aufgebaute Mischkristalle.
 - Die höher schmelzende Komponente kristallisiert früher als die niedrigschmelzende Komponente. Somit setzt sich der Mischkristall im Kern zu größeren Teilen aus der höher schmelzenden Komponente zusammen als die Legierungszusammensetzung es vorgibt. Umgekehrt liegt die höherschmelzende Komponente in den Randschichten in geringerem Anteil vor als die Legierungszusammensetzung es angibt.
- 8. Diffusion ist die ungerichtete Zufallsbewegung von Teilchen aufgrund ihrer thermischen Energie.





10. Das Eutektikum liegt bei einer gewissen Stoffkonzentration eines Zweistoffsystems mit vollständiger Unlöslichkeit oder begrenzter Löslichkeit im festen Zustand vor und befindet sich unterhalb des eutektischen Punktes, also dem Punkt wo sich die Soliduslinien und Liquiduslinien treffen. Dementsprechend erstarrt die Legierung an einem festen Haltepunkt, wie reine Metalle.

Das Gefüge im Eutektikum ist ein Kristallgemisch aus den vorliegenden Komponenten, die sich gleichmäßig im Gefüge verteilen.

Der eutektische Punkt stellt typischerweise den Tiefpunkt der Liquiduslinien dar, wodurch für eine eutektische Legierungen geringe Temperaturen zum Aufschmelzen aufgebracht werden müssen. Demzufolge werden eutektische Legierungszusammensetzungen für Gussanwendungen verwendet.

11. In einem Zweistoffsystem mit begrenzter Löslichkeit im festen Zustand besteht das Eutektikum aus α - und β -Mischkristallen (die α -Mischkristalle bestehen primär aus der Komponente A und zu einem geringeren Anteil aus der Komponente B. Die β -Mischkristalle bestehen primär aus der Komponente B und zu einem geringeren Anteil aus der Komponente A).

Das Eutektikum bei einem Zweistoffsystem mit vollständiger Unlöslichkeit im festen Zustand besteht nicht aus α - und β -Mischkristallen. Es ist ein Kristallgemisch aus den Reinkristallen der Komponenten A und B.

12. Sinken die Temperaturen einer erstarrten Legierung mit begrenzter Löslichkeit im festen Zustand, kann es aufgrund einer abnehmenden Löslichkeit des Mischkristalls zu einer Ausscheidung der geringer vertretenden Komponente kommen. Die als Segregat bezeichneten Ausscheidungen bilden Mischkristalle aus der ausgeschiedenen und ausscheidenden Komponente aus, die sich typischerweise an Korngrenzen ablagern.

1.4 zu Das Eisen-Kohlenstoff-Diagramm

Lernkontrollfragen

1. Polymorphie.

• Haltepunkt bei 1536°C: krz-Gitter

- Haltepunkt bei 1401°C: kfz-Gitter
- Haltepunkt bei 911°C: krz-Gitter.

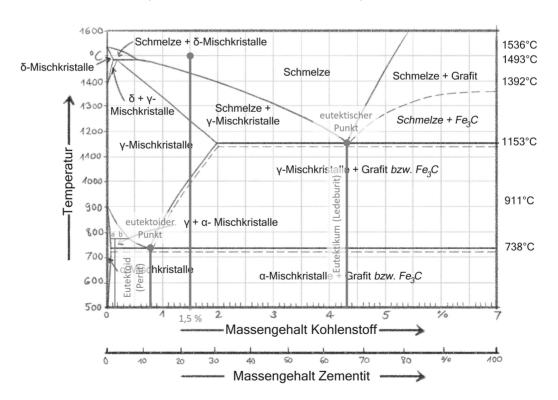
 δ -Eisen, γ -Eisen, α -Eisen

- 2. Es besteht kein Widerspruch: γ -Eisen besitzt zwar weniger, aber dafür größere Gitterlücken als α -Eisen. Somit kommen wir für das γ -Eisen auf eine größere Packungsdichte und eine höhere Kohlenstofflöslichkeit gegenüber dem α -Eisen.
- 3. (Meta-)Stabiles System:
 - (a) Die gestrichelte Linie zeigt das metastabile System an.
 - (b) In der Abbildung bearbeitet
 - (c) Ledeburit = eutektisches Gefüge bestehend aus Austenit und Zementit
 Perlit = eutektoides Gefüge bestehend aus Ferrit und Zementit (in Abb. eingezeichnet)
 - (d) Unter 2,06% Kohlenstoff spricht man von Stahl, darüber von Gusseisen
 - (e) Phasengebiete:

 $Schmelze \longrightarrow Schmelze + Austenit \longrightarrow Austenit \longrightarrow Austenit + Fe_3C \longrightarrow Perlit + Fe_3C$

(f) Massenanteile im Gefüge:

$$\frac{m_{\text{Austenit}}}{m} = \frac{0.13}{0.38} = 0.342 = 34.2\% \qquad \frac{m_{\text{Ferrit}}}{m} = \frac{0.25}{0.38} = 0.658 = 65.8\%$$



1.5 zu Härte 11

- 4. Materialien für Anwendung:
 - Umformung: Stahl mit einem Kohlenstoffgehalt von 0,15% (< 0,8%)
 - Schweißen: Stahl mit einem Kohlenstoffgehalt von 0,15% (< 0,25%)
 - Gießen: Gusseisen mit einem Kohlenstoffgehalt von 4% (knapp unter dem Eutektikum)

1.5 zu Härte

Lernkontrollfragen

- Mit steigender Abkühlungsgeschwindigkeit reduzieren sich die Umwandlungstemperaturen von Austenit zu Ferrit bzw. Perlit. Bei sehr hohen Abkühlgeschwindigkeiten kann sich das Zwischengefüge Bainit bilden. Mit Überschreitung einer für das Material spezifischen kritischen Abkühlgeschwindigkeit bildet sich das Martensitgefüge.
- 2. Es handelt sich um eine stark verspannte raumzentrierte Gitterstruktur, in der der Kohlenstoff zwangsgelöst ist. Martensit ist sehr hart und spröde.
- 3. Wasser, Öl, Luft
- 4. ZTU-Schaubild:
 - (a) Bei der Abkühlkurve Y besteht das Gefüge nach der Abkühlung aus 70% Ferrit, 2% Perlit, 25% Bainit und 3% Martensit. Die Härte beträgt 208 HV und der Abkühlvorgang ist nach ca. 3 104 s beendet. Bei der Abkühlkurve X besteht das Gefüge nach der Abkühlung aus 3% Bainit und 97% Martensit. Die Härte beträgt 431 HV und der Abkühlvorgang ist nach ca. 2 · 10¹ s beendet.
 - (b) Da es sich bei der Abkühlkurve Y um eine sehr langsame Abkühlung handelt, ist höchstwahrscheinlich Luft als Abkühlmedium verwendet worden. Bei der Abkühlkurve X wird deutlich schneller abgekühlt, sodass man von einer Abkühlung mit Wasser ausgehen kann.
- 5. Das isotherme ZTU-Schaubild. Die Stähle werden bis knapp über der Martensitstarttemperatur abgekühlt und dann bei dieser Temperatur gehalten. Die Abkühlung wird fortgesetzt, sobald die Umwandlungsvorgänge im Bainitgebiet abgeschlossen sind.
- 6. Nein, die Oberfläche und Randschicht kühlen schneller ab als der Kern des Werkstücks.
- 7. Härte ist der Widerstand den ein Werkstoff dem Eindringen eines anderen härteren Werkstoffs entgegensetzt.
- 8. Härteprüfung nach Brinell, Vickers und Rockwell C. Bei der Brinell- und Vickersprüfung wird der Prüfkörper mit einer definierten Prüfkraft beaufschlagt, wodurch dieser in die plan geschliffene Oberfläche des Werkstücks eindringt. Bei der Brinellprüfung ist der Prüfkörper eine Hartmetallkugel mit einem Durchmesser von 1 bis 10 mm und bei der Vickersprüfung eine Diamantpyramide mit einem Spitzenwinkel von 136°. Danach wird der Eindruckdurchmesser bzw. die Diagonale des Eindruckquadrates gemessen und der Mittelwert gebildet. Die Härte berechnet sich jeweils aus Prüfkraft dividiert durch Eindruckoberfläche.

Bei der Härteprüfung nach Rockwell C wird ein Diamantkegel mit einer Prüfvorkraft beaufschlagt wodurch dieser leicht in die Oberfläche des Werkstücks eindringt. Danach wird der Diamantkegel mit der Prüfkraft belastet. Nach einem Zeitintervall wird die Prüfkraft wieder aufgehoben, wodurch es zu einer elastischen Rückverformung kommt. Mittels der verbleibenden Eindrucktiefe wird über eine Formel die Härte in Rockwell berechnet.

9. Stirnabschreckversuch

Die Härtbarkeit eines Werkstücks hängt von dem Kohlenstoff- und Martensitgehalt des Werkstoffs ab.

10. Durch Legierungselemente kann die Einhärtbarkeit von Stählen verbessert werden. Vor allem Chrom, Nickel und Molybdän kommen dabei häufig zum Einsatz.

1.6 zu Wärmebehandlung

Lernkontrollfragen

1. Ablauf Wärmebehandlung

- Erwärmen: Das Werkstück wird erhitzt bis es die gewünschte Temperatur erreicht hat und dann bei dieser Temperatur gehalten, damit sich auch der Kern auf dem anvisierten Temperaturniveau befinden.
- Halten: Um eine Homogenisierung des Gefüges zu erzeugen wird die Temperatur weiter gehalten.
- Abkühlen: Im Anschluss an das Halten wird die Probe abgekühlt. Dabei unterscheidet sich dieser Vorgang in Art und Umsetzung je nach Wärmebehandlungsverfahren.

2. Einsatz von Glühverfahren

- Diffusionsglühen: Es wird ein homogeneres Gefüge erzeugt und Seigerungen entfernt. Die Festigkeit kann leicht und die Zähigkeit deutlich erhöht werden. Dafür wird das Werkstück auf Temperauren von 1100 bis 1300°C erhitzt.
- Normalglühen: Es wird ein feinkörniges und gleichmäßiges Gefüge erzeugt. Dabei werden die Festigkeit und Zähigkeit erhöht. Das Werkstück wird während des Normalglühens knapp über die Linie G-S-K erhitzt (750 950°C).
- Weichglühen: Ziel des Weichglühens ist es die Zementitlamellen im Perlit zu kleinen Zementitkörnern umzuwandeln, um eine werkzeugschonendere spanende Bearbeitung zu ermöglichen. Das Werkstück wird knapp unterhalb der Linie P-S bzw. um die Linie S-K pendelnd erhitzt, also typischerweise zwischen 650 und 750°C.
- Spannungsarmglühen: Durch thermische und mechanische Bearbeitungen entstandene innere Spannungen können durch das Spannungsarmglühen reduziert werden. Dabei wird die Streck-/Dehngrenze gesenkt, wodurch es zu geringen plastischen Verformungen kommt und die Spannungen abgebaut werden. Das typische Temperaturintervall ist 550 bis 650°C.

Rekristallisationsglühen: Durch Kaltverformungen kommt es typischerweise zu der Erhöhung der Versetzungsdichte und Versprödung des Werkstücks, die durch das Rekristallisationsglühen rückgängig gemacht werden kann. Dadurch werden weitere Kaltverformungen ermöglicht, ohne dass es zu einem Versagen des Werkstücks kommt. Typischerweise werden Temperaturen von 600 bis 700°C aufgebracht.

3. Nachteile von Glühverfahren

- Diffusionsglühen
 - Es kann zu einer Vergröberung des Korns kommen.
 - Die Oberfläche des Stahls kann Oxidieren (Verzunderung) oder der Kohlenstoff im Stahl mit der Luft reagieren (Entkohlung).
 - Für die Erhitzung des Materials wird viel Energie benötigt, woraus hohe Kosten resultieren.
- Normalglühen:
 - Bei rein ferritischen und rein austenitischen Stählen findet keine γ - α -Umwandlung statt, wodurch das Wärmebehandlungsverfahren dort nicht verwendet werden kann.
- Weichglühen:
 - Die Härte und Festigkeit werden reduziert.
 - Nur Stähle mit Kohlenstoffgehalten von > 0,4% können weichgeglüht werden, da es bei spanenden Verfahren wie dem Bohren von Stählen mit geringerem Kohlenstoffgehalt zum Schmieren (statt Spanen) des Stahls kommen kann.
- Spannungsarmglühen:
 - Rostfreie Stähle mit Niob und Tantal als Legierungselemente dürfen nicht spannungsarmgeglüht werden.
- Rekristallisationsglühen:
 - Präzise Einstellung und Abstimmung des Verformungsgrades, der Glühzeiten und der Glühtemperaturen notwendig. Ist dies nicht der Fall kann es zu der Bildung eines grobkörnigem Gefüges kommen.
 - Bei kritisch verformten niedriggekohlten Stählen (Verformungsgrad von 5 15%) kann es ebenfalls zu einer Grobkornbildung kommen. Daher sollte dann das Normalglühen bevorzugt werden.
- 4. Anlassen: Das Werkstück wird nach dem Abkühlen nochmal erwärmt, um die Zähigkeit des spröden Gefüges wieder zu erhöhen, dabei reduziert sich die Härte. Beim Härten wird nur mit niedrigen Temperaturen angelassen, dabei reduziert sich die Härte vernachlässigbar während sich die Zähigkeit leicht verbessert. Demgegenüber werden beim Vergüten hohe Anlasstemperaturen verwendet, wodurch die Härte stärker absinkt aber auch die Zähigkeit deutlich steigt.
- 5. Kohlenstoff und Mangan reduzieren die kritische Abkühlgeschwindigkeit. Somit kann leichter das gewünschte harte Gefüge erreicht bzw. eine vollständige Härtung des Werkstücks bis in die tieferen Schichten realisiert werden.
- 6. Restaustenit ist ein bei Raumtemperatur im Gefüge verbliebener Anteil Austenit, der aufgrund seiner Weichheit bei gehärteten Werkstoffen unerwünscht ist. Bei höheren Kohlenstoffanteilen und ausreichenden Anteilen weiterer Legierungsbestandteile kann der Restaustenit nicht vollständig verhindert werden. Die Bildung von zu großen Restaustenitanteilen kann durch die Erwärmung knapp über die Linie P-S-K statt P-S-E verhindert werden.

7. Definition

 Aufhärtung ist die höchste erreichbare Härte des Werkstoffs, die sich in den Randschichten einstellt.

- Durchhärtung ist die vollständige Härtung des Werkstücks bis in den Kern.
- Einhärtung ist der Härteverlauf vom Randbereich in das Werkstückinnere hinein.

8. Randschichthärten

- Verfahren: Flammhärten und Induktionshärten.
- Thermochemisches Verfahren: Aufkohlen und Nitrieren.
- 9. Vom Vergüten spricht man im Temperaturintervall von 400 bis 650°C.

Mit steigender Temperatur sinkt die Härte/Festigkeit und steigt die Zähigkeit des Werkstoffs, somit können gezielt die gewünschten mechanischen Eigenschaften eingestellt werden.

1.7 zu Stähle

Lernkontrollfragen

1. Kohlenstoff Interaktion

- Der Kohlenstoff kann in dem Metallgitter als Zwischengitteratom eingelagert sein und Mischkristalle ausbilden. Da nur eine begrenzte Löslichkeit besteht muss die Temperatur und die Kohlenstoffkonzentration beachtet werden.
- Der Kohlenstoff der nicht im Eisen gelöst werden kann, bildet mit dem Eisen sogenanntes Eisenkarbid aus, das als Zementit bezeichnet wird. Sind weitere Elemente wie z. B. Chrom hinzulegiert, können sie auch mit dem Kohlenstoff Karbide bilden. Die Bildung von anderen Karbiden hängt von der chemischen Affinität der zusätzlichen Legierungselemente ab.
- 2. Ferrit- bzw. Austenitbildner sind Legierungsbestandteile die die Phasengebiete eines Stahls so verschieben, dass bei Raumtemperatur das Gefüge als Ferrit bzw. Austenit vorliegt.
 - Ferritbildner: Chrom, Aluminium, Titan, Silizium, Vanadium, Molybdän und Phosphor
 - Austenitbildner: Nickel, Cobalt und Mangan

3. Bauteile

- Rillenkugellager: Es handelt sich um ein Wälzlager, wodurch Wälzlagerstähle die beste Wahl wären.
- Absperrschieber für Tieftemperatur-Flüssigkeiten: Beim Werkstoff sollte eine Versprödung durch tiefe Temperaturen verhindert werden. Dies könnte ein kaltzäher Stahl gewährleisten.
- Geschweißtes Verbindungsstück eines Gittermastkrans: Für Kranfahrzeuge wird typischerweise auf Baustähle mit höherer Festigkeit zurückgegriffen. Dementsprechend wäre für das Verbindungsstück ein vergüteter schweißgeeigneter Feinkornbaustahl eine gute Wahl.

1.7 zu Stähle 15

 Drehmeißel: Für Drehmeißel greift man üblicherweise auf Schnellarbeitsstähle zurück, da diese bei den sehr hohen thermischen und mechanischen Belastungen, die auf das Werkzeug wirken, nicht versagen.

4. Es handelt sich um einen Stahl dem Chrom, Nickel oder Molybdän hinzulegiert ist und der Sonderzusätze wie Kupfer, Niob oder andere enthalten kann. Es wird bei hochlegierten nichtrostenden Stählen typischerweise die Werkzeugnummer statt der Kurzbezeichnung verwendet, da diese häufig sehr verwirrend sein können, ohne das Mehr an Informationen zu rechtfertigen.

5. Hochlegierte Stähle

Ferritisch: Chrom ⇒ X6Cr17

Martensitisch: Chrom und Kohlenstoff oder Nickel ⇒ X46Cr13

Austenitisch: Chrom, Nickel und Molybdän ⇒ X5CrNi18-10

 Austenitisch-ferritisch: Chrom, Nickel und Molybdän (gegenüber austenitischen Stählen mehr Chromanteile und weniger Nickelanteile) ⇒ X2CrNiMoN22-5-3

6. Schäffler-Diagramm

Für die Achsenbeschriftung wird das Nickel-Äquivalent über dem Chrom-Äquivalent aufgetragen. Diese berechnen sich aus den ferrit- und austenitbildenden Elementen, die mit verschiedenen Faktoren gewichtet addiert werden.

7. Nichtrostende Stahltypen

- Festigkeit: martensitisch > austenitisch-ferritisch > austenitisch > ferritisch
- Zähigkeit: austenitisch > austenitisch-ferritisch > ferritisch > martensitisch
- 8. Hochlegierte nichtrostende martensitische Stähle besitzen ein metastabiles Gefüge, das sich bei ausreichender Wärmeenergie zu einem anderen Gefüge umwandelt. Bei solch hohen Temperaturen wäre dies der Fall, wodurch das Material nicht mehr die mechanischen Eigenschaften aufweisen würde wegen denen es ausgewählt wurde.

Stattdessen könnten hitzebeständige ferritische oder austenitische Stähle verwendet werden. Da die hitzebeständigen ferritischen Stähle zur Versprödung neigen, würden ein hitzebeständiger austenitischer Stahl ausgewählt werden.

9. Da keine genauen Angaben für die Dichte vorliegen, muss mit dem Maximalwert für Stähle gerechnet werden. Dieser beträgt 8,1 g/cm³.

$$V = 1.000 \text{ mm} \cdot 600 \text{ mm} \cdot 5 \text{ mm} = 3.000.000 \text{ mm}^3 = 3.000 \text{ cm}^3$$

 $m = V \cdot \rho = 3.000 \text{ cm}^3 \cdot 8, 1 \frac{g}{\text{cm}^3} = 24.300 \text{ g} = 24,3 \text{ kg}$

Das errechnete Gewicht ist der Maximalwert den ein Stahl mit diesen Abmaßen haben kann. Da der Wert die geforderten 25 kg unterschreitet kann das Blech guten Gewissens eingesetzt werden.

1.8 zu Korrosion

Lernkontrollfragen

 Korrosion ist eine Reaktion zwischen einem Werkstoff und seiner Umgebung. Dabei wird der Werkstoff messbar verändert, sodass es zu einer Beeinträchtigung des Bauteils oder Systems kommen kann.

2. Das Korrosionssystem besteht aus dem Werkstoff, dem Medium, dem dieser ausgesetzt ist und der Reaktion(en) die zwischen beiden abläuft. Nur wenn man diese drei Aspekte betrachtet, kann man die Korrosionsbeanspruchung verstehen und Korrosionsschäden verhindern. Die Betrachtung von nur einem Aspekt, wie z. B. nur dem Werkstoff, ist nicht hinreichend und kann zu unerwarteten Schäden führen.

3. Wirkmechanismen

- Chemische Korrosion: Bei der chemischen Korrosion kommt es zu einer Reaktion zwischen Sauerstoff und Metallen. Üblicherweise tritt diese Korrosionsart bei Temperaturen oberhalb von 570°C auf.
- Elektrochemische Korrosion: Für die Elektrochemische Reaktion wird ein Elektrolyt benötigt. Ist der Elektrolyt sauerstoffhaltiges Wasser spricht man von Sauerstoffkorrosion. Sind im Wasser vorhandene H⁺-Ionen der Elektrolyt spricht man von der Säurekorrosion. Bei beiden Reaktionsarten löst sich das Eisen im Elektrolyten.
- Metallphysikalische Korrosion: Bei der metallphysikalischen Korrosion wird die Korrosion nur durch physikalische Phänomene ausgelöst. Häufig ist die Diffusion von Atomen für die Korrosion verantwortlich.
- 4. Flächenkorrosion tritt in sauren Medien auf. Durch den gleichmäßigen Abtrag besteht bei der Flächenkorrosion die Gefahr das der Abtrag nicht bemerkt wird.
- 5. In Chlorid haltigen Medien kann die Passivschicht in Bereichen angegriffen werden, wodurch sich die Korrosion dort in tieferen Ebenen ausprägt. Die Gefahr bei der Lochkorrosion besteht zum einen darin, dass die Löcher nur schwer erkennbar sind und zum anderen die Ausprägung in Umfang und Tiefe nicht ermittelt werden kann. Darüber hinaus kann das Fortschreiten der Korrosion mit konventionellen Methoden (z. B. ausspülen) nicht verhindert werden.
- 6. Wie ein galvanisches Element: Sind ein edleres und ein unedleres Metall sowie ein Elektrolyt miteinander in Kontakt, kommt es zu einem Elektronentransport vom unedleren zum edleren Metall. Dabei löst sich das unedlere Metall auf. Ja, auch zwischen den beiden Edelmetalle Gold und Silber kann es in Kombination mit einem Elektrolyten zu Kontaktkorrosion kommen. Dabei agiert das unedlere Silber als Anode und das edlere Gold als Kathode.
- 7. Durch die Bildung von Chromkarbiden aus Chrom und Kohlenstoff wird der Chrom an vereinzelten Stellen aus dem Umfeld gezogen. Dadurch sinkt der Chromgehalt in diesen Bereichen unter 10,5%, wodurch die Passivschicht nicht mehr aufrecht gehalten werden kann. An diesen Stellen (Korngrenzen) kommt es zur Korrosion.
- 8. Beim X6Cr17 wird durch den hohen Chromanteil eine ausreichende Passivschicht gegen Korrosion gebildet, diese schützt jedoch nicht vor der chlorhaltigen Meeresluft. Bei den beiden anderen Stählen sind Nickel und Molybdän hinzulegiert, um die mechanischen Eigenschaften zu verbessern, den Schutz gegen chlorhaltige Medien zu erhöhen und die Passivschicht weiter

1.9 zu Nichteisenmetalle 17

zu verstärken. Durch den hohen Nickelanteil im X2CrNiMo18-15-4 ist dieser Stahl auszuschließen, da bei diesem Nickelgehalt eine sehr hohe Gefahr der Spannungsrisskorrosion vorliegt. Dementsprechend wäre der X2CrNiMoN22-5-3 auszuwählen.

9. Die Wöhlerkurve verknüpft die ertragbare Spannung bis zum Versagen eines Werkstoffs mit der Anzahl an Lastwechseln die auf den Werkstoff wirken. So können entweder die Lastwechsel abgelesen werden bei denen ein Werkstoff, der mit einer gewissen Spannung beaufschlagt ist, versagt oder eine Spannung abgelesen werden bei der eine gewünschte Anzahl an Lastwechseln ablaufen können. Die Spannung, bei der die Wöhlerkurve parallel zur x-Achse verläuft, nennt man Dauerfestigkeit. Ab dieser Spannung kommt es zu keinem Versagen durch Lastwechsel

Die Wöhlerkurve eines Werkstoffs wird bei der Schwingungsrisskorrosion zu Rate gezogen. Bei der Schwingungsrisskorrosion kommt es zu der Ausbildung von transkristallinen Rissen.

10. Strömungsgeschwindigkeit

Bei der Erosionskorrosion wird die Passivschicht und das Material durch einen strömungsinduzierten kontinuierlichen mechanischen Abrieb langsam entfernt.

1.9 zu Nichteisenmetalle

Lernkontrollfragen

1. Nichteisenmetalle werden nach der Dichte eingeteilt in

Leichtmetalle (< 5 g/cm³) und Schwermetalle (> 5 g/cm³).

- 2. Aluminium ist ein Leichtmetall, das eine sehr geringe Festigkeit besitzt, die einem Bruchteil der Festigkeit einfacher Baustähle entspricht. Die Korrosionsbeständigkeit gegenüber Säuren ist sehr gut, obwohl es sich um ein unedles Metall handelt. Die aus der Reaktion mit Sauerstoff entstandene Passivschicht ist gegenüber Basen unbeständig, da sie mit diesen reagiert.
- Man unterscheidet zwischen Aluminium-Knetlegierungen, die eine gute Umformbarkeit besitzen, und Aluminium-Gusslegierungen, die besonders vorteilhafte Gusseigenschaften vorweisen. Beide k\u00f6nnen jeweils noch in aush\u00e4rtbare und nicht aush\u00e4rtbare Legierungen unterteilt werden.
- 4. In der Serie 1000 gibt die dritte und vierte Stelle der Zahl die Nachkommastelle des Legierungsgehalts an. Somit besitzt der Werkstoff mit der Seriennummer 1055 einen Aluminiumgehalt von 99,55%. Über den Aluminiumgehalt von dem Werkstoff mit der Seriennummer 5454 können wir keine direkte Aussage machen. Jedoch sind Legierungselemente enthalten, vorrangig Magnesium (Serie 5000), somit ist der Aluminiumgehalt geringer als bei dem Werkstoff mit der Seriennummer 1055.
- 5. Als Voraussetzung wird ein System mit beschränkter abnehmender Löslichkeit im festen Zustand benötigt. Durch das Lösungsglühen werden die Legierungselemente in der Hauptkomponente gelöst. Anschließend wird das Material abgeschreckt, wodurch die Legierungselemente in der Hauptkomponente zwangsgelöst bleiben. Ein nachträgliches Auslagern sorgt für eine homogene Verteilung der Ausscheidungen. Hierdurch werden Versetzungsbewegungen eingeschränkt, wodurch es zu einem deutlichen Festigkeitsanstieg kommt.

6. Magnesiumwerkstoffe zeichnen sich durch ihre sehr geringe Dichte von 1,74 g/cm³ aus. Demgegenüber sind sie sehr korrosionsempfindlich, sodass sie schon durch Luftverschmutzungen (z. B. durch SO₂) korrodieren können.

- 7. Durch Titanwerkstoffe können bei gleichen mechanischen Eigenschaften große Teile des Gewichts gegenüber einigen Stählen eingespart werden. Dabei muss man deutlich höhere Kosten in Kauf nehmen.
- 8. Nickel wird zumeist als Legierungselement in Stählen eingesetzt
- Der Einsatz in der chemischen/petrochemischen Industrie ist auf die sehr gute Korrosionsbeständigkeit und thermische Widerstandsfähigkeit einiger Nickellegierungen zurückzuführen, speziell solche denen größeren Mengen Chrom und Molybdän hinzulegiert wurden.

Im Triebwerkbau werden Superlegierungen mit der Hauptkomponente Nickel eingesetzt. Diese halten ihre Festigkeitswerte auch bei sehr hohen Temperaturen.

10. Kupfer besitzt nach Silber die beste elektrische Leitfähigkeit.

11. $Cu_2O + H_2 \longrightarrow Cu_2 + H_2O$

In einigen Kupferwerkstoffen ist Sauerstoff enthalten der sich als Kupferoxydul bevorzugt an den Korngrenzen ablagert. Beispielsweise durch Schweißvorgänge kann dieses mit diffundierten Wasserstoffatomen reagieren. Das gasförmig vorliegende Wasser führt dabei zu hohen inneren Spannungen, die durch die geringe Festigkeit des Kupferwerkstoffs in Rissen und dem Bauteilversagen resultieren können.

Es werden Desoxidationsmittel hinzulegiert, vorrangig Phosphor, da es die Leitfähigkeit minimal beeinflusst.

- 12. Bronze und Messing sind beides Kupferlegierungen. Messing ist eine Legierung aus Kupfer und Zink, Bronze typischerweise aus Kupfer und Zinn. Man spricht dann von Zinnbronze. Alle Nicht-Messing-Legierungen mit min. 60% Kupfer werden als Bronze bezeichnet.
- 13. Zink ist ein sehr sprödes Material, das entweder im Druckgussverfahren oder mittels Wärmeeintrag umgeformt wird.

Neben dem Einsatz als Konstruktionswerkstoffs wird Zink als Oberflächenüberzug von anderen Werkstoffen, wie z. B. Stahl verwendet.

14. Verzinkung

- Stückverzinkung: Diskontinuierliches Verfahren bei dem in beschränkter Geschwindigkeit hohe Schichtdicken (40 100 μ m) erreicht werden. Das Werkstück wird in ein Zinkbad getaucht.
- Bandverzinken: Kontinuierliches Verfahren bei dem in hoher Geschwindigkeit geringe Schichtdicken (10 20 μ m) realisiert werden.

Eine Gefahr der Verzinkung besteht in dem "Hineinwachsen" des Zinks durch die Reaktion mit dem Grundwerkstoff (typischerweise Stahl). Die dabei entstehenden Phasen sind sehr spröde und können bereits bei geringen Erschütterungen abplatzen.

1.10 zu Nichtmetalle 19

1.10 zu Nichtmetalle

Lernkontrollfragen

1. Kettenkonfiguration

Die Kettenkonfiguration gibt den chemischen Aufbau des Makromoleküls entlang der Kette eines Polymers an. Man unterteilt sie in Konstitution, Taktizität, Verknüpfung, Verzweigung, Vernetzung und Copolymere

- Konstitution: Chemische Zusammensetzung der Monomere die sich zu den Makromolekülen aneinanderreihen.
- Taktizität: Ausrichtung der Seitengruppen. Man unterscheidet zwischen gleichseitiger (isotaktisch), regelloser (ataktisch) und alternierender (syndiotaktisch) Ausrichtung.
- Verknüpfung: Monomere besitzen eine Kopf-Seite und eine Schwanz-Seite, mit denen sie sich verbinden können. Die Verknüpfung beschreibt die möglichen Anordnungen, die sich daraus ergeben: Kopf-Kopf- und Kopf-Schwanz-Verbindung.
- Verzweigung: Die Monomere k\u00f6nnen nicht nur entlang der Hauptkette aneinandergereiht werden, sondern auch Nebenketten ausbilden. Diese Verzweigungen k\u00f6nnen mit dem gleichen aneinandergereihten Monomer abgewandelte Polymere ergeben.
- Vernetzung: Bilden sich Verbindungen zwischen den Hauptketten aus, spricht man von Vernetzungen. Anhand des Vernetzungsgrades werden Thermoplaste (keine Vernetzung), Elastomere (niedriger Vernetzungsgrad) und Duromere (hoher Vernetzungsgrad) unterschieden.
- Copolymere: Trotz mangelnder Mischbarkeit von Kunststoffen k\u00f6nnen unterschiedliche Monomere aneinandergereiht werden: In Bl\u00f6cken (Block-Copolymer), in zuf\u00e4lliger Anordnung (statistische Copolymere) und als unterschiedliche Haupt- und Nebenketten (Pfropf-Copolymere).
- 2. Die Glasübergangstemperatur (T_g) gibt den Übergang von einem glasartig spröden ($T < T_g$) zu einem gummiartig weichen ($T > T_g$) Materialverhalten an.
 - Die Größe der Seitengruppe hat einen starken Einfluss auf die Glasübergangstemperatur. Durch den großen Benzolring besitzt das Polystyrol eine höhere Glasübergangstemperatur als Polypropylen mit der kleineren Methylgruppe. Die Steifigkeit der Hauptkette und Polarität haben typischerweise ebenfalls einen Einfluss auf die Glasübergangstemperatur, sind aber bei diesem Beispiel zu vernachlässigen.
- 3. Die Kettenkonformation gibt die räumliche Anordnung der Makromoleküle an. Dabei können sich diese geordnet als Zick-Zack-Struktur und Helix oder ungeordnet als Knäul ausprägen.

4. Kunststofftechnik

- (a) Es handelt sich um die graphische Auswertung einer Dynamisch Mechanischen Analyse (DMA). Die x-Achse stellt den Temperaturverlauf dar, während die y-Achse den Speichermodul angibt (Realanteil des komplexen E-Moduls. Somit ist der Speichermodul ein Maß für die Steifigkeit).
- (b) Wir sehen zwei Kurvenverläufe. Bei der oberen Kurve erkennen wir einen leichten Abfall bei ca. -75°C, dann einen weitgehend konstanten Verlauf, bis bei ca. 170°C ein starker Abfall der Steifigkeit erkennbar ist. Demgegenüber verläuft die untere Kurve weitgehend

kontinuierlich bis es bei ca. 95° C ein deutlicher Abfall zu beobachten ist. Die zwei Abfälle bei der oberen Kurve lassen auf einen teilkristallinen Kunststoff schließen, wobei der erste Abfall die Glasübergangstemperatur ($T_g = -75^{\circ}$ C) und der zweite Abfall die Schmelztemperatur ($T_m = 170^{\circ}$ C) angibt. Bei der Glasübergangstemperatur werden die amorphen Anteile des Polymers weich und beweglich, wodurch die Steifigkeit abnimmt. Durch die kristallinen Strukturen bleibt jedoch ein Großteil der Steifigkeit erhalten. Erst beim Überschreiten der Schmelztemperatur fällt die Steifigkeit ab, da das Polymer schmelzfähig wird. Der Abfall der unteren Kurve bei 95° C stellt die Glasübergangstemperatur dar. Es muss sich um einen amorphen Kunststoff handeln, da das Erweichen der amorphen Anteile zu einem vollständigen Steifigkeitsverlust des Polymers führt.

5. Bei teilkristallinen Thermoplasten kommt es unter Belastung zu einem Abspulen der Kristalle in der Deformationszone. In der Deformationszone orientieren sich die Makromoleküle in Verstreckrichtung.

6. Thermoplaste

• Standard-Kunststoffe: z. B. PS, PP, PVC.

• Technische Kunststoffe: z. B. PA 6, PET, PBT

• Hochtemperatur-Kunststoffe: z. B. PEEK, PTFE, PES

- 7. Wird ein polymerer Verbundwerkstoff durch eine Kraft belastet, dann wirkt die Kraft typischerweise zunächst auf die Matrix des Werkstoffs. Über die Grenzfläche wird die Kraft auf das Additiv weitergegeben, sodass diese durch die überlegenen mechanischen Eigenschaften des Additivs aufgenommen werden kann.
- 8. Es kommen Duromere und Thermoplaste als Matrixmaterial zum Einsatz.
 - Duromere haben überlegene mechanische Eigenschaften gegenüber Thermoplasten. Obwohl das Additiv die auf das Werkstück wirkenden Belastungen aufnehmen soll, werden optimale mechanische Eigenschaften mit einer möglichst festen und steifen Matrix erreicht. Dementsprechend kommen Duromere zum Einsatz, wenn die bestmöglichen mechanischen Eigenschaften bei polymeren Verbundwerkstoffen gefordert sind.
 - Thermoplaste zeichnen sich durch günstigere Preise und eine sehr gute Verarbeitbarkeit aus. So können polymere Verbundwerkstoffe mit thermoplastischer Matrix in hoher Stückzahl im Extrusions- oder Spritzgussverfahren verarbeitet werden, dann jedoch nicht mit Endlosfasern sondern mit Kurzfasern.
- 9. Das Verhältnis aus Oberfläche und Volumen muss bei polymeren Verbundwerkstoffen maximiert werden, weil über die Grenzfläche die Belastung von der Matrix auf das Additiv übertragen wird. Das O/V-Verhältnis wird maximal, wenn das Aspektverhältnis extrem wird. Somit erreichen Platten und dünne Zylinder (Fasern) die besten Oberflächen-Volumen-Verhältnisse.

10. Fasertypen

- Glasfaser (E-Glas/S-Glas)
- Kohlefaser (hochfest/hochsteif)
- Polymerfaser (Aramid)

Spezifische Festigkeit gibt die Festigkeit geteilt durch die Dichte an. Da polymere Verbundwerkstoffe eine geringe Dichte besitzen und gute Festigkeitswerte, sind die spezifischen Festigkeiten

höher als bei allen anderen Werkstoffen. Somit können gewünschte Festigkeitswerte unter Einsparung von Gewicht realisiert oder die Fliehkräfte bei rotatorischen Anwendungen reduziert werden.

- 11. Es stehen das thermische- und chemische Tempern zur Verfügung. Das thermische Tempern ist einfacher durchzuführen und schneller als das chemische Tempern. Demgegenüber werden beim chemischen Tempern höhere Spannungen erreicht, es können dünnere Bauteile als beim thermischen Tempern behandelt werden und die Energiekosten sowie der Verzug vom Bauteil sind geringer.
- 12. Zunächst werden die Pulver, aus denen der Keramikwerkstoff hergestellt werden soll, vermischt. Der nächste Schritt ist die Vorverdichtung, bei der unter hohem Duck der sogenannte Grünling hergestellt wird. Im weiteren Herstellungsprozess wird der Grünling bei sehr hohen Temperaturen gesintert, wodurch sich finale Geometrie des Werkstücks ausprägt.

13. Anwendung

• Hohe Härte: Keramikwerkstoff

• Sehr gute Korrosionsbeständigkeit: Keramikwerkstoff

Hohe Duktilität: S275

1.11 zu Weiterführende Fragen

1. Wir erkennen eine Martensitstarttemperatur von 400°C die geringer ist als bei einem C15 und C35, aber höher als bei einem 34CrMo4. Dies spricht für Legierungsbestandteile C, Mn, Cr, Ni, Mo oder V. Die Härtewerte sind höher als bei einem C15 aber geringer als bei C35. Dies spricht für einen Kohlenstoffgehalt zwischen 0,15 und 0,35%. Das Ferrit- und Perlit-Gebiet sind nach rechts verschoben. Dafür sind typischerweise die Legierungsbestandteile Mn, Ni, Mo oder Cr verantwortlich. Das Perlit-Gebiet ist im Vergleich zu den legierten Stählen 34CrMo4 und 50Cr-Mo4 sogar um ein Vielfaches weiter nach rechts verschoben, was auf einen deutlich höheren Legierungsgehalt schließen lässt.

Es handelt sich um einen legierten Stahl mit niedrigem Kohlenstoffgehalt (0,15% < x < 0,35%) und größeren Anteilen von Mn, Ni, Mo oder Cr. Das genaue Material kann nicht abgelesen werden. Wen es dennoch interessiert: 18CrNiMo7-6.

2. Da wir nicht wissen welche Kunststoffe mit der DMA verglichen wurden, ist es schwierig eine Aussage über die Konstitution zu treffen und wenn, ist dies nur abstrakt mit Tabelle 30 möglich. Die Glasübergangstemperatur des teilkristallinen Kunststoffs beträgt –75°C. Schon PP mit der Methylgruppe weist eine Glasübergangstemperatur von 0°C auf. In Kombination mit der Schmelztemperatur von 170°C, die mit der von PP identisch ist, wissen wir, dass der teilkristalline Kunststoff aus der Aufgabe keine erwähnenswerten Seitengruppen und eine versteifte Hauptkette z. B. durch ein Sauerstoffatom besitzt. Der amorphe Kunststoff verfügt über eine höhere Glasübergangstemperatur als PS, somit muss dieser über eine umfangreiche Seitengruppe bzw. mehrere Seitengruppen verfügen. Denkbar wären ein Benzolring und eine weitere Seitengruppe oder eine Seitengruppe mit mehreren unterschiedlichen großen Atomen.

$$\begin{bmatrix} H \\ C - O \end{bmatrix}_n$$

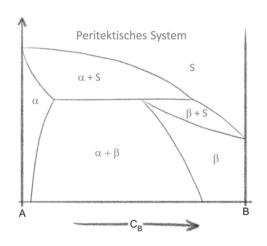
Die in der DMA untersuchten Kunststoffe sind POM (obere Kurve, Abbildung links) und PMMA (untere Kurve, Abbildung rechts)

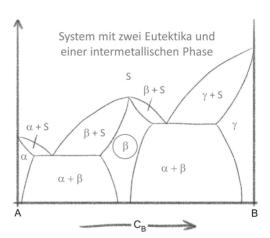
3. Da ein krz-Gitter nur sehr kleine Gitterlücken besitzt, rechnen wir im Weiteren mit einem kfz-Gitter. Hierbei spricht man von einer Oktaederlücke. Die Größe der Oktaederlücke kann angegeben werden durch den Radius r des größten Atoms, das in die Lücke hineinpasst. Mit dem Radius R_{Fe} des Eisen in den Ecken des Oktaeders erhält man für die Oktaederlücken des kubisch-flächenzentrierten Gitters mit dem Umkugelradius r_u) = $\frac{\sqrt{2}}{2}a$ des Oktaeders und seiner Seitenlänge a = 2R:

$$r = r_u - R = (\sqrt{2} - 1)R \approx 0.414R$$

Die Atome des Elements A können im Eisen nicht spannungsfrei eingelagert werden.

4.





5. Zustandsdiagramm

- (a) Es handelt sich um einen Ausschnitt des Eisen-Kohlenstoff-Diagramms, im Bereich des Eutektoids.
- (b) a = 3.1 und b = 3.1

$$\frac{m_{\alpha}}{m} = \frac{3.1}{6.2} \cdot 100\% = 50\%$$
 $\frac{m_{\gamma}}{m} = \frac{3.1}{6.2} \cdot 100\% = 50\%$

An dem markierten Punkt besteht die Legierung zu 50% aus Ferrit und zu 50% aus Austenit.

(c) Wir wissen das die Stähle über ihren Kohlenstoffanteil beschrieben werden können und der eutektische Punkt bei 0,8% Kohlenstoff (bzw. 12% Fe₃C) vorliegt. Dementsprechend besteht unsere Legierung aus 0,4% (bzw. 6% Fe₃C) Kohlenstoff. Es handelt sich um einen C40.

(d) Durch den hohen Ferrit-Anteil ist der vorliegende Stahl z\u00e4h, verf\u00fcgt jedoch \u00fcber eine m\u00e4-\u00df\u00e4 Festigkeit. Um diese zu erh\u00f6hen k\u00f6nnte ein H\u00e4rteverfahren durchgef\u00fchhrt werden. Da hierbei jedoch die Z\u00e4higkeit verschlechtert werden w\u00fcrde, sollte der Stahl verg\u00fctet werden, um die Anforderungen zu erf\u00fcllen.

6. Pharmaindustrie

- (a) Um aus dem Schaeffler-Diagramm etwas ablesen zu können, müssen wir zunächst das Chrom- und Nickel-Äquivalent berechnen. Das Chrom-Äquivalent beträgt 13. Das Nickel-Äquivalent berechnet sich aus dem Produkt des Faktors 30 und des Kohlenstoffanteils, also 30 ⋅ 0,2 = 6. Aus dem Schaeffler-Diagramm kann für die ermittelten Werte des hochlegierten nichtrostenden Stahls X20Cr13 ein vorwiegend martensitisches Gefüge abgelesen werden.
- (b) Zum einen kommt es durch die hohen Drehzahlen zu einer hohen Wärmeentwicklung. Da X20Cr13 ein metastabiles Gefüge besitzt, bewirkt die hohe Temperatur eine Gefügeumwandlung, wodurch sich die mechanischen Eigenschaften verschlechtern. Zum anderen wird die Führungsrolle in der Pharmaindustrie eingesetzt, wo es zu einem Kontakt von Bauteilen mit aggressiven Gasen kommen kann. Daraus resultierende Korrosion kann nicht ausgeschlossen werden. Die bei hohen Temperaturen auftretende Interkristalline Korrosion und die durch chlorhaltige Medien ausgelöste Lochkorrosion wären hier zu nennen.
- (c) Da das Material den thermischen Anforderungen nicht genügt und über eine unzureichende Korrosionsbeständigkeit verfügt, müssen die Führungsrollen aus einem anderen Material realisiert werden. Die Problemstellung beschreibt sehr hohe mechanische Anforderungen und die ursprüngliche Verwendung eines martensitischen Stahls. Da martensitische Stähle die höchste Festigkeit von allen nicht rostenden hochlegierten Stählen besitzen, wären mit ferritischen, austenitischen und ferritisch-austenitischen Stählen keine Lösung gegeben. Demgegenüber würde ein keramischer Werkstoff den hohen mechanischen und thermischen Anforderungen genügen und wäre gleichzeitig nicht anfällig für Korrosion.

7. Fachwerkkonstruktion

- (a) Da die Konstruktion in Meeresnähe entstehen soll, muss ein Werkstoff mit ausreichender Korrosionsbeständigkeit ausgewählt werden. Hierfür ist ein Chromgehalt von > 13% für die generelle Korrosionsbeständigkeit und Molybdän für die Beständigkeit gegen Lochkorrosion wegen der Meerwasseratmosphäre notwendig. Zudem muss das ausgewählte Material schweißbar sein. Da es bei einer Konstruktion typischerweise nicht zu einer plastischen Verformung kommen soll, geben die 400 MPa die Mindeststreckgrenze und nicht die Zugfestigkeit an. Abschließend ist noch darauf zu achten, dass der Werkstoff auch aus Kostengesichtspunkten vertretbar ist.
- (b) Durch einen hochlegierten nichtrostenden Stahl können Korrosionsschäden verhindert werden. Nichtrostende austenitisch-ferritische und martensitische Stähle besitzen Streck-/Dehngrenzen oberhalb von 400 MPa. Während austenitisch-ferritische Stähle durch den Zusatz von Stickstoff schweißgeeignet sind, lassen sich martensitische Stähle bei hohem Kohlenstoffgehalt nicht schweißen. Zudem besteht im Rahmen einer Schweißbearbeitung eines martensitischen Stahls die Gefahr der Gefügeumwandlung des metastabilen Gefüges. Dementsprechend wäre der austenitisch-ferritische Stahl zu bevorzugen. Bei diesem wäre darauf zu achten, dass dieser Werkstoff einen niedrigen Nickelanteil besitzt, damit die Spannungsrisskorrosion verhindert werden kann.

(c) Der einzige metallische Werkstoff mit einer geringeren Dichte als 2,0 g/cm³, den wir im Rahmen dieses Lernheftes kennengelernt haben, ist Magnesium (1,7 g/cm³). Da die maximale Zugfestigkeit bei Magnesiumwerkstoffen 200 MPa beträgt, sind sie für die vorliegende Problemstellung nicht geeignet. Bei den nichtmetallischen Werkstoffen werden wir auf der Suche nach einem leichten Material mit hoher Festigkeit (spezifische Festigkeit) fündig. Polymere Faserverbundkunststoffe besitzen eine sehr hohe spezifische Festigkeit. Für die Werkstoffauswahl muss ein Matrix- und Fasermaterial bestimmt werden. In Tabelle 31 erkennen wir, dass Glasfasern die maximal zulässige Dichte überschreiten. Somit kommen als Fasermaterial Kohle- und Aramidfasern in Frage. Aufgrund der höchsten spezifischen Festigkeit aller Werkstoffe wird hochfeste Kohlefaser verwendet. Als Matrixmaterial sollte aufgrund der hohen mechanischen Anforderungen und der daraus ergebenen Notwendigkeit lange Fasern zu verarbeiten, ein Duromer ausgewählt werden. Für die vorliegende Problemstellung wird ein Epoxidharz verwendet, da es eine besonders hohe Qualität vorweist, die bei Sicherheitsrelevanten Bauteilen angemessen ist.

Matrixmaterial: Epoxidharz, Fasermaterial: hochfeste Kohlefasern.