

GWE Übungen Teil 1

5. Februar 2006

Inhaltsverzeichnis

1	Aufbau der festen Körper	2
2	Erwärmen, Schmelzen und Abkühlen	3
3	Gefügeausbildung	4
4	Kaltverformung, Kaltverfestigung und Rekristallisation	6
5	Legierungsbildung und Eigenschaftsänderung durch Legieren	9
6	Zustandsdiagramme	10
7	Eisen und Stahl	16
8	Wärmebehandlung	30

1 Aufbau der festen Körper

1.1 Was verstehen Sie unter dem Begriff "Kristallgitter"?

Ein Kristallgitter ist die bestimmte, regelmäßige Anordnung der Teilchen (Metallionen) im Raum.

1.2 Nennen Sie die vier wichtigsten Kristallgittertypen der Metalle.

Hexagonales, kubischflächenzentriertes, kubischraumzentriertes und tetragonales Kristallgitter.

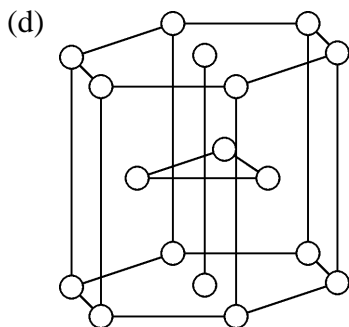
1.3 Welche wichtigen mechanischen Eigenschaften der Metalle hängen vom Kristallgittertyp ab?

Verformbarkeit, Festigkeit und Härte

1.4 Für das hexagonale Kristallgitter sind die folgenden Fragen zu beantworten bzw. zu lösen:

- (a) Woran erkennen Sie, ob in einem Kristallgitter die dichteste Kugelpackung vorliegt?
- (b) Wie viele Nachbarn mit gleichem, kürzesten Abstand besitzt jedes beliebige Atom in einem hexagonalen Kristallgitter (Koordinationszahl)?
- (c) Welche Schichten liegen beim hexagonalen Kristallgitter übereinander?
- (d) Skizzieren Sie eine Elementarzelle des hexagonalen Kristallgitters.
- (e) Nennen Sie zwei Metalle, die hexagonal kristallisieren.

- (a) Eine Kugel ist von sechs anderen umgeben und liegt in der Mulde, die von drei Kugeln gebildet wird.
- (b) 12
- (c) 1-3-5-7 usw.



- (e) Mg, Zn

1.5 Was versteht man unter dem Begriff "Koordinationszahl"?

Die Koordinationszahl KZ ist die Anzahl der nächsten Nachbarn eines Teilchens (hier Ion), welche zu ihm einen gleichen, kleinsten Abstand haben.

1.6 Was verstehen Sie unter dem Begriff "Elementarzelle" eines Kristallgitters?

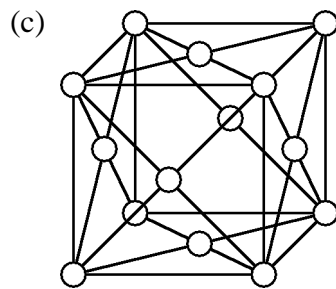
Eine Elementarzelle ist die kleinstmögliche Darstellung der räumlichen Anordnung der Teilchen in einem Kristallgitter.

1.7 Für das kubischflächenzentrierte Kristallgitter sind die folgenden Fragen zu beantworten bzw. Aufgaben zu lösen:

- (a) Was haben das kubischflächenzentrierte und hexagonale Kristallgitter gemeinsam?

- (b) Wodurch unterscheiden sich das kubischflächenzentrierte und das hexagonale Kristallgitter voneinander?
- (c) Skizzieren Sie eine Elementarzelle des kubischflächenzentrierten Kristallgitters.
- (d) Nennen Sie zwei Metalle, die kubischflächenzentriert kristallisieren.

- (a) Bei beiden Kristallgittern liegt die dichteste Kugelpackung vor.
- (b) Beim kubischflächenzentrierten Kristallgitter liegen die erste und vierte Schicht übereinander, beim hexagonalen die erste und dritte.



- (d) γ -Fe, Cu, Al, Pb

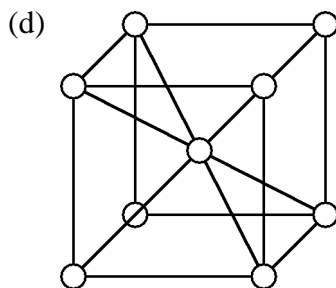
1.8 Für das kubischraumzentrierte Kristallgitter sind die folgenden Fragen zu beantworten bzw. Aufgaben zu lösen:

- (a) Erläutern Sie den Aufbau des kubischraumzentrierten Kristallgitters.
- (b) Welche Koordinationszahl liegt beim kubischraumzentrierten Kristallgitter vor?
- (c) Welche Folgerung kann man aus der Koordinationszahl auf die Dichte der Kugelpackung ziehen?
- (d) Skizzieren Sie eine Elementarzelle des kubisch raumzentrierten Kristallgitters.
- (e) Nennen Sie zwei Metalle, die kubisch raumzentriert kristallisieren.

- (a) Beim kubischraumzentrierten Kristallgitter liegen die erste, dritte, fünfte usw. Schicht übereinander. Eine Kugel liegt in der Mulde, die von vier Kugeln gebildet wird.

- (b) 8

- (c) Das kubischraumzentrierte Kristallgitter ist weniger dicht gepackt als das hexagonale und kubischflächenzentrierte Kristallgitter.



- (e) α -Fe, Cr, Mo, W

2 Erwärmen, Schmelzen und Abkühlen

2.1 Welche beiden physikalischen Größen werden bei der thermischen Analyse gemessen?

Die Temperatur wird in aufeinander folgenden Zeitpunkten gemessen.

- 2.2 Wie heißen die graphischen Darstellungen der Ergebnisse der thermischen Analyse? Fertigen Sie zwei schematische Skizzen an.
Erwärmungs- und Abkühlungskurven
- 2.3 Wie heißen die Unstetigkeiten in den Kurven? Geben Sie Formelzeichen mit Indizes und deren Bedeutung an.
Haltepunkt bei Erwärmung A_C : Schmelzpunkt.
Haltepunkt bei Abkühlung A_T : Erstarrungspunkt.
- 2.4 Welche physikalische Ursache haben die Unstetigkeiten in den Kurven?
 A_C : Die Schmelzwärme muss zugeführt werden, ehe die Temperatur weiter steigt.
 A_T : Die entstehende Kristallisationswärme verzögert die normale Abkühlung. A_C : Die Schmelzwärme muss zugeführt werden, ehe die Temperatur weiter steigt.
- 2.5 Wie muß die thermische Analyse ablaufen, damit Schmelz- und Erstarrungspunkt eines Metalles bei der gleichen Temperatur gemessen werden?
Die Temperaturänderung muß unendlich langsam erfolgen.
- 2.6 Der Schmelzpunkt von Zink wird bei 420°C gemessen, sein Erstarrungspunkt bei 418°C . Wie läßt sich dieser Unterschied erklären? Wie heißt diese Erscheinung?
Beharrungsvermögen oder Trägheit der Metallionen (sie versuchen den jeweiligen Zustand beizubehalten), Hysterese.
- 2.7 Durch welche Maßnahme werden die Temperaturdifferenzen zwischen den Haltepunkten A_C und A_T verändert?
Durch die Abkühlungsgeschwindigkeit. Schnelle Erwärmung: A_C verschiebt sich zur höheren Temperatur. Schnelle Abkühlung: A_T verschiebt sich zur tieferen Temperatur.
- 2.8 Welches technologische Verfahren nutzt die Verschiebung der Haltepunkte bei schneller Abkühlung zur Eigenschaftsänderung von Stahl aus?
Härten und Vergüten. Die Gitterumwandlung des Eisens findet bei sehr viel tieferen Temperaturen statt und führt zu völlig anderen Gefügeart.

3 Gefügeausbildung

- 3.1 Was versteht man unter Gefüge?
Größe, Form und Anordnung der Kristalle mit ihren Korngrenzen sowie Verunreinigungen.
- 3.2 Wie wird das Gefüge von Metallen sichtbar gemacht?
Durch das Schliffbild. Schleifen und Polieren einer Probe, sowie Anätzen der Oberfläche zur Erzeugung des Kontrastes.
- 3.3 Bei welchen Verfahren entstehen Primärgefüge bzw. Sekundärgefüge?
Primärgefüge entstehen beim Gießen, Sekundärgefüge durch nachfolgende Warmumformung, Wärmebehandlung oder Kaltumformung.
- 3.4 Damit eine Schmelze kristallisiert, müssen zwei Bedingungen erfüllt sein; nennen Sie diese.
Abkühlung auf Temperaturen unterhalb des Erstarrungspunktes; Vorhandensein von Kristallkeimen.

3.5 Was verstehen Sie unter

- (a) arteigenen Kristallkeimen?
 - (b) artfremden Kristallkeimen?
-
- (a) zufällig in der Anordnung einer Elementarzelle zusammenkommende Atome oder geschmolzene submikroskopische Kristallreste in der Schmelze
 - (b) natürliche Verunreinigungen, die in jeder technischen Schmelze enthalten sind: Al_2O_3 -Teilchen, im desoxydierten Stahl; Zusätze in die Gießpfanne: MgNi-Legierung für kugelige Graphiterstarrung im Kugelgraphitguss, Na-Zusätze zu AlSi-Gusslegierungen

3.6 Durch welche Maßnahme kann bei der Erstarrung ein feinkörniges Gefüge entstehen?

Schnelle Abkühlung fördert das Entstehen der arteigenen Keime, z.B. bei Kokillen- und Druckguss; Zusatz von Fremdkeimen (Impfstoffen).

3.7 Welche Ursache hat die Kristallisationswärme?

Wenn ein Metallion sich aus der Schmelze an ein Kristallgitter angliedert, so verkleinert sich seine kinetische Energie. Nach dem Energieerhaltungssatz geht dieser Betrag nicht verloren, sondern erscheint als Kristallisationswärme.

3.8 Was bedeutet "Unterkühlung" einer Schmelze?

Unterkühlung ist die Temperaturdifferenz zwischen dem Erstarrungspunkt und der wirklichen Temperatur der Schmelze (z.B. an einer kälteren Formwand). Dieser Ungleichgewichtszustand wird durch Wachstum von Kristallen wieder ins Gleichgewicht gebracht.

3.9 Was verstehen Sie unter Anisotropie? Geben Sie je ein Beispiel für isotropes und anisotropes Verhalten eines beliebigen Werkstoffes.

Anisotrop verhält sich ein Kristall, dessen Eigenschaften von der Richtung zum Raumgitter abhängen, in der sie untersucht werden. Glasfaserkunststoff GFK hat höchste Festigkeit in Faserrichtung, quer dazu wesentlich geringere. Holz verhält sich ebenso. Graphit hat eine elektrische Leitfähigkeit nur längs der Schichten des Gitters, quer dazu nicht, desgleichen die Fähigkeit in dünnsten Schichten abzugleiten: Schmierwirkung als Festschmierstoff. Isotrope Körper wie z.B. Glas, Wachs, reine Kunstharze haben keine richtungsabhängigen Eigenschaften.

3.10 Was verstehen Sie unter Textur, welche Folge hat sie auf die Eigenschaften eines Werkstoffes?

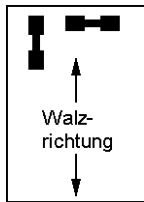
Ausrichtung bzw. Angleichung der Kristallachsen an Vorzugsrichtungen durch Bearbeitungsverfahren wie Gießen, Walzen und Ziehen. Dadurch verhält sich der Werkstoff anisotrop. Normalerweise sind im vielkristallinen Werkstoff die Kristalle regellos ausgerichtet; er verhält sich, als ob er isotrop wäre (quasi isotrop).

3.11 Welcher Unterschied besteht zwischen Faserstruktur und Textur?

Beide Erscheinungen führen zu anisotropem Verhalten haben aber keinen Einfluß aufeinander, d.h. sie können allein aber auch gemeinsam auftreten. Faserstruktur erfordert Verunreinigungen im Gefüge (Schlacken, Seigerungen), Textur kann auch in hochreinem Werkstoff auftreten.

3.12 (a) Wodurch entsteht im Stahl eine Schmiedefaser?

- (b) Welche Auswirkungen hat die Schmiedefaser auf Eigenschaften von Proben, die nach der Skizze aus einem gewalzten Blech entnommen wurden? Beurteilen Sie Zugfestigkeit R_m und Bruchdehnung A (Verformbarkeit beim Ziehen) beider Proben mit höher oder niedriger.



- (a) Nichtmetallische Einschlüsse können bei der Warmumformung fadenförmig gestreckt werden; härtere und sprödere Einschlüsse zerbrechen und ordnen sich zeilenförmig parallel zur Verformungsrichtung.

(b)

Probe	Zugfestigkeit	Dehnung
quer	niedriger	niedriger
längs	höher	höher

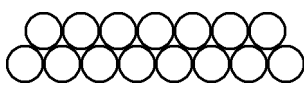
4 Kaltverformung, Kaltverfestigung und Rekristallisation

- 4.1 Jede größere Verformung lässt sich in zwei Anteilen messen. Wie heißen die beiden Anteile, wie lassen sie sich durch Messung unterscheiden?

Bei niedrigen Spannungen entstehen elastische Formänderungen. Bei hohen Spannungen kommen plastische Formänderungen dazu. Eine plastische Verformung hat stattgefunden, wenn das Teil danach (im spannungslosen Zustand gemessen) seine Ausgangsmaße verändert hat.

- 4.2 Was verstehen Sie bei Anwendung auf die skizzierten Kugelschichten unter

- (a) Gleitwiderstand
 (b) Trennwiderstand
 (c) Welches ist der größere Widerstand?



- (a) die erforderliche Kraft, um beide Schichten parallel zur Berührungsebene zu verschieben,
 (b) die erforderliche Kraft, um beide Schichten senkrecht zur Berührungsebene voneinander zu entfernen,
 (c) der Trennwiderstand.

- 4.3 Was bedeutet Translation in einem idealen Kristallgitter?

Translation ist die Verschiebung von Kugelschichten gegeneinander. Sie findet in den Gleitebenen statt, wobei nur bestimmte Gleitrichtungen vorhanden sind.

- 4.4 Was verstehen Sie unter Gleitebenen und Gleitmöglichkeiten?

- (a) allgemein,
 (b) im kubischflächenzentrierten,

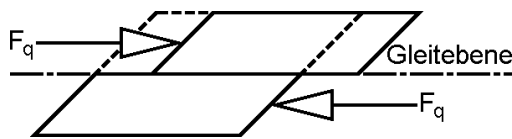
- (c) im kubischraumzentrierten,
 - (d) im hexagonalen Kristallgitter, mit Bezug auf die Elementarzellen?
- (a) Ebenen zwischen Kugelschichten und darinliegende Richtungen, in denen das Abgleiten eine kleinste Kraft erfordert (minimaler Gleitwiderstand). Es sind meist die Ebenen dichtester oder relativ dichtester Packung, sowie die Richtungen, in denen die Atome am dichtesten liegen. Gleitmöglichkeit ist das Produkt aus der Anzahl der Gleitebenen und Gleitrichtungen.
 - (b) Die Flächen des Oktaeders, die in die Elementarzelle des kfz-Gitters eingeschrieben werden können. Sie liegen paarweise parallel, deswegen 4 Ebenen mit je 3 Gleitrichtungen ergibt 12 Gleitmöglichkeiten.
 - (c) 6 Ebenen, welche die Raumdiagonale enthalten, mit je 2 Gleitrichtungen ergibt 12 Gleitmöglichkeiten.
 - (d) Basisebene des Sechseckprismas mit 3 Gleitrichtungen ergibt 3 Gleitmöglichkeiten.

4.5 Beurteilen Sie die Kaltverformbarkeit der Kristallgitter mit sehr gut, gut, gering.

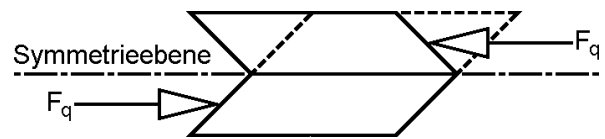
Kristallgitter	krz	kfz	hexagonal
Bewertung	gut	sehr gut	gering

4.6 Welcher Unterschied besteht zwischen Translation und Zwillingsbildung (Skizze)?

Translation:



Zwillingsbildung:



4.7 Wodurch lassen sich Zwillingsbildungen im Schlibbild erkennen?

Innerhalb eines Kristallkorns sind gerade Linien einzeln oder parallel zu bemerken. Dadurch entstehen Flächen verschiedener Helligkeit (Zwillingsstreifen).

4.8 Erläutern Sie den Begriff "Kaltverfestigung" mit Hilfe der Änderung von zwei wichtigen mechanischen Eigenschaften der Metalle.

Kaltverfestigung ist die Zunahme von Härte und Festigkeit beim Kaltverformen. Dabei sinkt die restliche Kaltformbarkeit. Der Werkstoff versprödet.

4.9 (a) Wie ist der Verformungsgrad definiert?

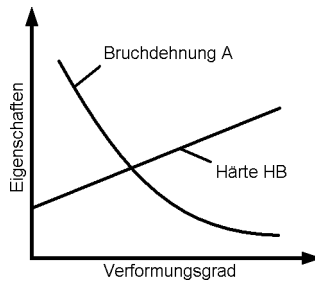
- (b) Ein Blech von 1,5 mm Dicke wird kalt auf 0,3 mm gewalzt. Wie groß ist der Verformungsgrad?
- (c) Ein Blech von 0,2 mm Dicke besitzt einen Verformungsgrad von 60%. Wie groß war die Ausgangsdicke?

(a) Verformungsgrad $\varepsilon = \frac{\text{Querschnittsänderung } \Delta A}{\text{Anfangsquerschnitt } \Delta A_0} \cdot 100\%$

(b) $\varepsilon = \frac{1,5 \text{ mm} - 0,3 \text{ mm}}{1,5 \text{ mm}} \cdot 100\% = \frac{1,2 \text{ mm}}{1,5 \text{ mm}} \cdot 100\% = 80\%$

(c) $\varepsilon = \frac{s_0 - s_1}{s_0} \cdot 100\%$; $s_0 = \frac{100 \cdot s_1}{100 - \varepsilon} = \frac{20 \text{ mm}}{40} = 0,5 \text{ mm}$

- 4.10 Tragen Sie in das Achsenkreuz schematisch den Verlauf der beiden wesentlichen mechanischen Eigenschaften ein, die sich mit steigendem Verformungsgrad ändern (Kurve, Name, Formelzeichen).



- 4.11 Wie erklären Sie sich die Erscheinung, daß kaltverformtes Kupfer eine schlechtere elektrische Leitfähigkeit besitzt als weiches?

Durch die Kaltverformung wird das Raumgitter der Kristalle verzerrt, die Zahl der Störungen erhöht. Damit wird die Beweglichkeit der freien Elektronen geringer (ähnlich wie bei Metallen höherer Temperatur).

- 4.12 Welche Bedeutung hat die F-Zahl in der Bezeichnung von Halbzeug, aus NE-Metallen wie Z.B. bei AlMnF10 oder AlMnF16?

Durch die Kaltformgebung der Halbzeuge wird die Festigkeit erhöht. Die F-Zahl gibt die erreichte Zugfestigkeit in $0,1 \text{ N/mm}^2$ an.

- 4.13 Nennen Sie technische Anwendungen der Kaltverfestigung.

Kaltgeformte Schrauben aus unlegierten Stählen erreichen z.T. die Festigkeit solcher aus niedrig legierten, vergüteten Stählen. Prägepolieren von Bohrungen: Durchstossen einer polierten Kugel mit Übermaß.

Austenitische Stähle zeigen starke Kaltverfestigung. Mangan-Hartstahl für Teile von Hartzerkleinerungsmaschinen; die Randschichthärte entsteht durch die betriebliche Schlagbeanspruchung.

Austenitischer CrNi-Stahl (V2A, Nirosta) läßt sich nur mit scharfen Werkzeugen bearbeiten (bohren), bei stumpfen muss mit höherer Vorschubkraft gearbeitet werden, die Kaltverformung und -verfestigung zur Folge hat: das Werkzeug glüht aus".

Kaltgezogene Stangen für die Automatenbearbeitung haben gegenüber dem weichen Zustand eine verbesserte Zerspanbarkeit.

- 4.14 Was verstehen Sie unter Kristallerholung?

Kristallerholung ist der Abbau von inneren Spannungen bei Temperaturen unterhalb der Rekristallisationsschwelle. Das Verformungsgefüge bleibt erhalten, die Bruchdehnung erhöht sich leicht, die Härte geht geringfügig zurück.

- 4.15 (a) Was bedeutet Rekristallisation?

(b) Unter welchen Voraussetzungen findet eine Rekristallisation statt?

(c) An welchen Stellen des Gefüges beginnt die Kristallisation (Begründung)?

(a) Umkristallisation des Verformungsgefüges in ein neues Gefüge mit anderer Korngröße und Kornform.

(b) Es muss eine Mindestverformung vorausgegangen sein (kritischer Verformungsgrad etwa 5 bis 8 %) und die Temperatur muss oberhalb der Rekristallisationsschwelle gehalten werden.

(c) Die am meisten verformten Bereiche eines Kristalliten besitzen die größte Energie und ordnen sich zuerst zu fehlerarmen Kristallen.

4.16 Wie heißt die graphische Darstellung der Größen, die bei der Rekristallisation eine Rolle spielen, welche Größen sind darin verknüpft?

Rekristallisationsschaubild. Korngröße als Funktion der Glühtemperatur und des Verformungsgrades ergeben ein räumliches Schaubild.

4.17 Die Korngröße eines Rekristallisationsgefüges ist beeinflussbar. Geben Sie Einflussgrößen und Richtung des Einflusses an.

Verformungsgrad und Glühtemperatur.

Verformungsgrad und Glühtemperatur. Feinkorn wird durch starke Verformung (viele Keime) und Temperaturen dicht über der Rekristallisationsschwelle erzielt. Grobkorn entsteht nach schwacher Verformung und zu hohen Glühtemperaturen.

4.18 Wie werden Kalt- und Warmumformung unterschieden, wo liegt die Grenze zwischen beiden?

Kaltumformung führt zu Kaltverfestigung und damit Versprödung, die Verformbarkeit ist begrenzt.

Warmumformung bei ständiger Rekristallisation ist theoretisch unbegrenzt durchführbar. Die Grenze ist die Rekristallisationsschwelle des jeweiligen Werkstoffes.

4.19 Welcher Zusammenhang besteht zwischen der Rekristallisationsgeschwindigkeit und der Verformungsgeschwindigkeit beim Schmieden und Walzen (allgemein bei Warmumformung)?

Wenn die Verformungsgeschwindigkeit größer als die Rekristallisationsgeschwindigkeit ist, erfolgt Kaltverfestigung. Der Energiebedarf ist größer, es besteht die Gefahr von Rissen.

5 Legierungsbildung und Eigenschaftsänderung durch Legieren

5.1 Warum verwendet man in der Technik kaum reine Metalle?

Reine Metalle haben meist zu geringe Festigkeit und Härte.

5.2 Was verstehen Sie unter den Komponenten einer Legierung?

Es sind die Ausgangsstoffe (Elemente), aus denen die Legierung auf gebaut ist.

5.3 Was verstehen Sie unter den Phasen einer Legierung?

Phasen sind einheitliche (homogene) feste oder flüssige Teile eines Systems, die sich durch eine sichtbare Grenzfläche z.B. mikroskopisch von andersartigen Teilen unterscheiden (Schmelze, Kristalle).

5.4 Warum stellen Sintermetalle Legierungen besonderer Art dar?

Weil die Komponenten nicht unbedingt ineinander löslich sein müssen; an den Grenzflächen erfolgt ein Platzwechsel der Atome (Diffusion), wodurch partiell eine Verschweißung erfolgt.

5.5 Welche Bedingungen müssen die Komponenten erfüllen, damit sie das System "Mischkristall" aufbauen?

- gleiches Raumgitter bzw. Gleichdichte packung
- annähernd gleiche Gitterkonstante

- annähernd gleiche Atomradien
- gleiche Wertigkeit
- geringer Abstand in der Elektrochemischen Spannungsreihe

5.6 Welche Arten von Mischkristallen kennen Sie? Welche Unterschiede weisen sie auf?

Substitutions-MK und Einlagerungs-MK

Kriterium	Unterschiede	
	Substitutions-MK	Einlagerungs-MK
LE-Standort	Gitterplätze	Zwischengitterplätze
Atom- \varnothing	fast gleich	stark unterschiedlich
Atomart	Metall/Metall	Metall/Nichtmetall
Löslichkeit	hoch	gering
Einfluss der LE auf:		
Gitterstörung	gering	groß
Härte	kaum	groß (stark erhöht)
Verformbarkeit	kaum	groß (stark erniedrigt)

5.7 Welche Eigenschaften einer Legierung (z.B. Cu-Ni) werden bei unterschiedlicher Zusammensetzung wie beeinflusst?

Insbesondere die Festigkeit und Härte wird abhängig von der Legierungszusammensetzung um ca. 50% erhöht; die elektrische Leitfähigkeit und die Wärmeausdehnung variiert auch sehr stark in Abhängigkeit von der Zusammensetzung.

6 Zustandsdiagramme

6.1 Was verstehen Sie unter "löslich im festen Zustand"?

Die Komponenten bauen ein gemeinsames Raumgitter auf, sie sind so innig wie eine Lösung gemischt, so dass die mikroskopisch nicht zu unterscheiden sind; Mischkristalle.

6.2 Was verstehen Sie unter "unlöslich im festen Zustand"?

Die Komponenten bauen kein gemeinsames Raumgitter auf Sie kristallisieren nach ihren eigenen Raumgittern. Es entstehen reine Kristalle beider Komponenten; Kristallgemisch.

6.3 Skizzieren Sie die Abkühlungskurve einer beliebigen Legierung des Systems "Kristallgemisch".



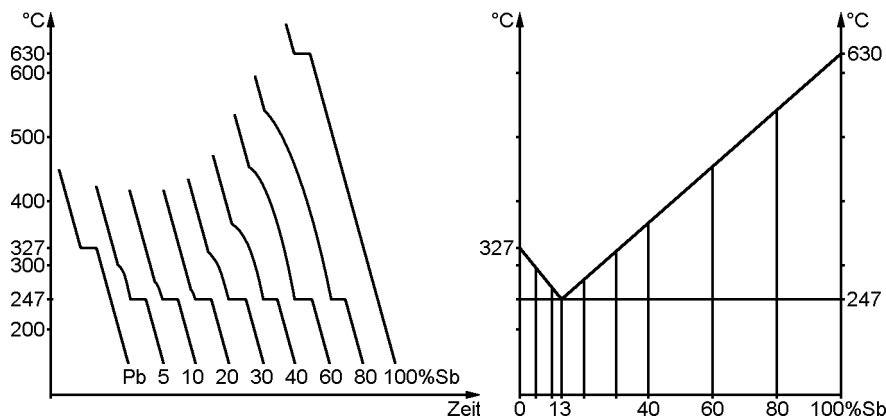
6.4 Welche Stelle der Abkühlungskurve kennzeichnet den Beginn der Erstarrung (Begründung)?

Knickpunkt. Trotz kontinuierlicher Abkühlung sinkt die Temperatur langsamer. Demnach wird Wärme frei, d.h. die Kristallisation beginnt.

6.5 Wie verhalten sich die Legierungen des Systems "Kristallgemisch" bei der Erstarrung?

Sie haben einen Erstarrungsbereich, der mit einem Haltepunkt abschließt. Nur die eutektische Legierung hat einen Erstarrungspunkt.

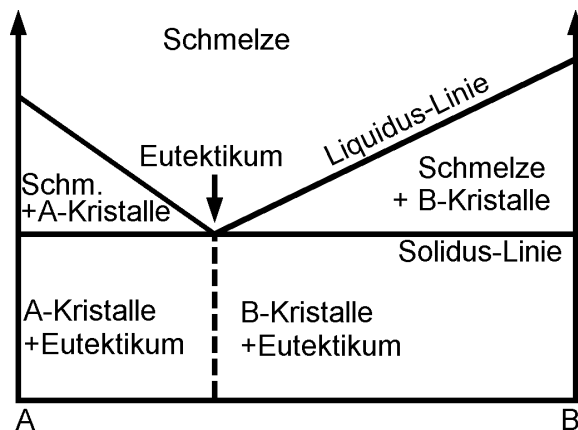
6.6 Ermitteln Sie aus den gegebenen Abkühlungskurven das Zustandsschaubild des Systems Blei-Antimon (Hartblei):



6.7 Warum verschiebt sich beim System Kristallgemisch der Beginn der Erstarrung durch den Einfluß der Legierungselemente (LE) nach tieferen Temperaturen?

Die Keimbildung wird durch die Atome des LE behindert.

6.8 Skizzieren Sie schematisch das Zustandsschaubild eines Systems "Kristallgemisch" mit den Komponenten A und B und benennen Sie die Linienzüge und Phasenfelder.



6.9 Wozu benötigt man ein Zustandsschaubild?

Man kann für jede beliebige Zusammensetzung der beiden Komponenten den Erstarrungsverlauf und damit die Bildung der Kristallite ablesen. Das entstehende Gefüge läßt Schlüsse auf die Eigenschaften zu.

Die folgenden Fragen beziehen sich auf Erstarrungsvorgänge der Legierung L_1 des nachstehend abgebildeten Systems Kristallgemisch.

6.10 Wodurch ist der Erstarrungsbeginn gekennzeichnet?

Schnittpunkt zwischen der senkrechten Legierungskermlinie und der Liquiduslinie

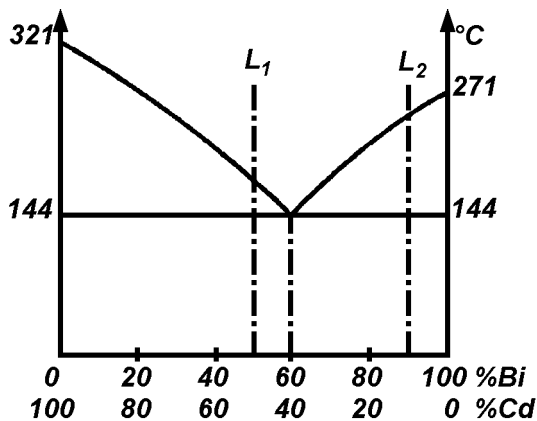
6.11 (a) Welche Phase scheidet mit Beginn der Erstarrung aus?

(b) Wie verändert sich die Zusammensetzung der Schmelze bei sinkender Temperatur (Begründung)?

(a) Cd-Kristalle

(b) Prozentuale Anreicherung der Schmelze mit Wismut durch Ausscheiden der Cd-Kristalle

Mit Wismut angereicherte Zusammensetzungen erstarren bei tieferen Temperaturen. Demnach kann bei sinkender Temperatur nur noch eine Bi-reichere Zusammensetzung als Schmelze bestehen. Deshalb müssen zunächst Cd-Kristalle ausscheiden.

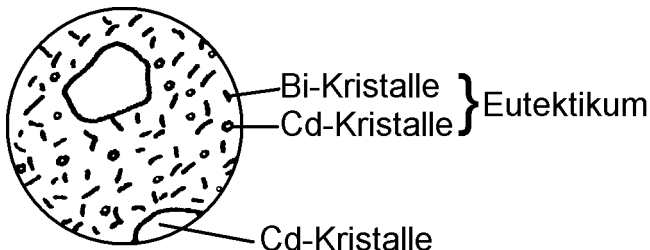


6.12 Die Legierung L_1 hat die Temperatur 144°C erreicht.

- Welche Zusammensetzung hat die Restschmelze (Begründung)?
 - Wie verhalten sich die Komponenten der Restschmelze bei weiterer Abkühlung?
 - Berechnen Sie die Massenanteile der Cd-Kristalle und Eutektikums in Prozenten.
- Die eutektische Zusammensetzung mit 60% Bi und 40% Cd. Nur diese Zusammensetzung kann bei dieser Temperatur noch als Schmelze bestehen.
 - Gleichzeitige Erstarrung von Cd und Bi nach ihren eigenen Raumgittern zu einem feinkörnigen Kristallgemisch: Eutektikum.
 - $$\frac{\text{Cd}}{100\%} = \frac{10}{10+50}; \text{Cd} = \frac{10}{60}100\% = 16,67\%; \text{Eu} = 83,33\%$$
 Zusammensetzung des Eutektikums:

$$\frac{\text{Cd}}{100\%} = \frac{40}{40+60}; \text{Cd} = \frac{40}{100}100\% = 40\%; \text{Bi} = 60\%$$
 L_1 besteht aus 16,67% Cd-Kristallen (grobkörnig, da in der Schmelze gewachsen) und 83,33% Eutektikum, welches aus 40% Cd-Kristallen (feinkörnig) und 60% Bi-Kristallen besteht.

6.13 Skizzieren Sie schematisch das Gefüge der Legierung L_1 bei Raumtemperatur und bezeichnen Sie die Kristallarten.



6.14 Wodurch unterscheiden sich die Legierungen

- links vom Eutektikum
 - rechts vom Eutektikum
- in den Massenanteilen von Cd-Kristallen und Eutektikum
 - in den Massenanteilen von Bi-Kristallen und Eutektikum

- 6.15 Berechnen Sie die Massenanteile der zuerst ausgeschiedenen Kristallart und des Eutektikums einer Legierung L_2 mit 90% Bi und 10% Cd bei Raumtemperatur.

$$\frac{\text{Eu}}{100\%} = \frac{10}{10+30}; \text{Eu} = \frac{10}{40}100\% = 25\%; \text{Bi} = 75\%$$

- 6.16 Die Mechanismen und technologischen Eigenschaften der Legierung des Typs "Kristallgemisch" liegen zwischen denen der reinen Komponenten. Begründen Sie diese Tatsache.

Das Gefüge ist eine Mischung aus zwei verschiedenen Kristallarten mit unterschiedlichen Eigenschaften. Entsprechend den prozentualen Zusammensetzungen ergeben sich mittlere Werte.

- 6.17 Vergleichen Sie die Legierungen im Bereich der eutektischen Zusammensetzung mit den reinen Komponenten im grundsätzlichen Verhalten bei:

- Gießen
- Zerspanen
- Kaltverformung (Begründung)
- Folgern Sie daraus die vorwiegend angewandten Arbeitsgänge in der Fertigung bis zum Werkstück.
Diese Legierungen werden als Gußlegierungen verwendet.

- gute Gießbarkeit der Legierungen durch niedrige Schmelztemperaturen, geringes Schwindmaß durch kleinen Erstarrungsbereich (evtl. -punkt), gutes Formfüllungsvermögen, da keine Primärkristalle an kalten Formwänden den Durchfluß sperren.
- gute Zerspanbarkeit. Durch die sprödere Phase wird der Span gebrochen, es kann kein Fließspan entstehen.
- Die Kaltverformbarkeit der heterogenen Legierung ist schlechter, da die zweite Kristallart mit anderem Raumgitter geringere Gleitmöglichkeiten aufweist, d.h. die Kaltumformung wird überwiegend von einer Kristallart übernommen.
- Eutektische und naheutektische Legierungen werden als Gußlegierungen verwendet.
Rohgußteil → Wärmebehandlung → Zerspannen → Fertigteil

- 6.18 Skizzieren Sie die Abkühlungskurve einer beliebigen Legierung des Systems "Mischkristall".



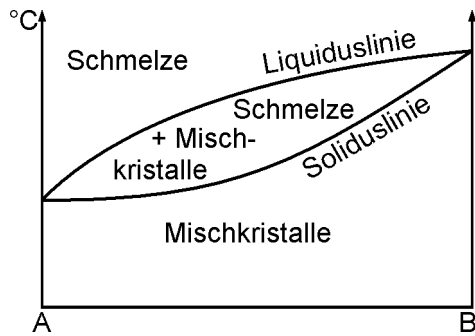
- 6.19 Wie verhalten sich alle Legierungen dieses Typs bei der Erstarrung?

Sie haben einen Erstarrungsbereich.

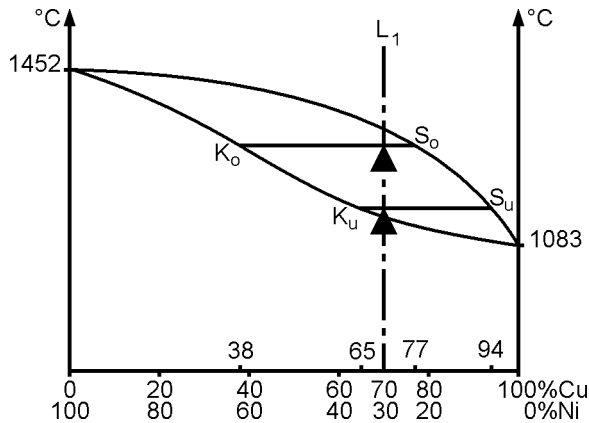
- 6.20 Wodurch unterscheiden sich die verschiedenen Legierungen dieses Systems voneinander?

Durch die Temperaturen von Beginn und Ende der Erstarrung und deren Differenz.

- 6.21 Skizzieren Sie schematisch das Zustandsschaubild eines Systems "Mischkristall" mit den Komponenten A und B und benennen Sie die Linienzüge und Phasenfelder.



Die folgenden Fragen beziehen sich auf Erstarrungsvorgänge der Legierung L_1 des abgebildeten Systems „Mischkristall“:



6.22 Wodurch ist der Erstarrungsbeginn gekennzeichnet?

Schnittpunkt zwischen der senkrechten Legierungskennlinie und der Liquiduslinie.

6.23 Welche Phase scheidet sich mit dem Beginn der Erstarrung aus?

Mischkristalle mit etwa 35% Cu.

6.24 (a) Beurteilen Sie am oberen Waagebalken den Anteil der Phasen und ihre Zusammensetzung im Vergleich zur Legierung L_1 .

(b) desgleichen am unteren Waagebalken.

(a) Etwa $7 : 39 = 18\%$ Mischkristalle, die wesentlich Ni-reicher (62%) sind, als die Legierung L_1 mit 30% Ni, sowie etwa $32 : 39 = 82\%$ Schmelze, deren Ni-Gehalt etwas kleiner als L_1 ist.

(b) Etwa $24 : 29 = 83\%$ Mischkristalle, deren Ni-Gehalt noch etwas größer als der von L_1 ist, etwa $5 : 29 = 17\%$ Schmelze, deren Ni-Gehalt wesentlich kleiner ist als der von L_1 .

6.25 Begründen Sie die unter 6.24 festgestellten Erscheinungen.

Damit bei sinkender Temperatur die Schmelze (großer Anteil nach Hebelgesetz) weiter flüssig existieren kann, muß sie Ni-ärmer werden als L_1 (Verlauf der Liquidus-Linie). Das geschieht dadurch, daß die ersten gebildeten Mischkristalle (kleiner Anteil) wesentlich mehr Ni enthalten, als L_1 prozentual besitzt.

Die weiterwachsenden Kristalle erhalten einen Zuwachs aus der Schmelze, dessen Ni-Gehalt kleiner ist. Durch Diffusion tritt Ausgleich ein ($K_0 \rightarrow K_u$).

Dabei verarmt die Schmelze immer mehr an Ni ($S_0 \rightarrow S_u$) und wird zum Ende der Erstarrung hin aufgezehrt.

6.26 (a) Welche Zusammensetzung haben alle Mischkristalle der Legierung L_1 nach vollständiger Erstarrung (Begründung)?

- (b) Unter welchen Bedingungen kann diese Zusammensetzung erreicht werden?
- (c) Wie verändern sich die Kristalle bei schneller Abkühlung?
- (a) Mischkristalle mit 30% Ni. Die zunächst entstehenden Mischkristalle ändern durch Diffusion ständig ihre Zusammensetzung, so daß nach vollständiger Erstarrung alle Mischkristalle die Zusammensetzung von L_1 mit 30% Ni erreichen.
- (b) unendlich langsame Abkühlung
- (c) Die Diffusion wird behindert, dadurch entstehen Schichtkristalle mit Ni-reichem Kern und Ni-ärmerer Randzone: Kristallseigerung.

6.27 Wodurch kann man Kristallseigerung begrenzen?

Durch langsame Abkühlung

6.28 Wie kann man Kristallseigerung nachträglich vermindern?

Durch langzeitiges Glühen unterhalb der Soliduslinie, durch Warmumformung (Walzen, Schmieden, Strangpressen) oder Kombination beider Maßnahmen.

6.29 Beurteilen Sie grundsätzliche Verhalten von Legierungen des Systems "Mischkristall" beim:

- (a) Kaltverformen
- (b) Gießen
- (c) Zerspanen (Begründungen)
- (d) Folgern Sie daraus die vorwiegend angewandten Arbeitsgänge in der Fertigung bis zum Werkstück.
- (a) Alle Kristalle des homogenen Gefüges nehmen an der plastischen Verformung teil. Die Translation kann z.T. weitergehend stattfinden als beim reinen Metall, d.h. es steigen Festigkeit und Bruchdehnung.
- (b) Die Legierungen haben einen Erstarrungsbereich, d.h. an kalten Formwänden wachsen Kristalle, welche die Formfüllung behindern; größeres Schwindmaß und Kristallseigerungen.
- (c) Das homogene Gefüge ergibt wegen der guten Kaltformbarkeit Fließspan und geringe Oberflächengüte.
- (d) Legierungen des Typs "Mischkristall" werden überwiegend als Knetlegierungen verwendet.
Gußblock → Warmumformen → Halbzeug → Kaltumformen/Verbinden → Fertigteil.

6.30 Welche Unterschiede weist ein Einlagerungs-MK gegenüber einem Austausch-MK auf?

	Austausch-MK	Einlagerungs-MK
Atomdurchmesser	fast gleich	stark unterschiedlich
Atomart	Metall/Metall	Metall/Nichtmetall
LE-Standort	Gitterplätze	Zwischengitterplätze
Löslichkeit	hoch	gering
Einfluß der LE auf:		
Gitterstörung	gering	groß
Härte	wenig erhöht	stark erhöht
Verformbarkeit	wenig verändert	stark erniedrigt

7 Eisen und Stahl

7.1 Welches maximale Lösungsvermögen haben Ferrit und Austenit für Kohlenstoff?

Austenit: 2% bei 1147 °C; Ferrit praktisch Null.

7.2 Wie verändern sich Abkühlungskurve und Lage der Haltepunkte durch die Anwesenheit von Kohlenstoff im Eisen?

Verlauf der Abkühlungskurve bleibt im Prinzip erhalten, die Haltepunkte verschieben sich nach tieferen Temperaturen.

7.3 Auf welche Weise gelangt der Kohlenstoff in das Eisen?

Beim Hochofenprozeß durch die Aufkohlung beim Kontakt mit CO-Gas oder glühendem Koks.

7.4 Welche mechanische Eigenschaft des Eisens wird bereits durch kleine C-Gehalte stark verbessert?

Zugfestigkeit und Härte

7.5 Läßt sich reines Eisen durch Abschrecken härten?

Nein

7.6 Nennen Sie die beiden Erstarrungsformen des Legierungssystems Eisen-Kohlenstoff.

stabiles und metastabiles System.

7.7 Geben Sie für beide Systeme die Kristallarten (Phasen) bei Raumtemperatur und ihre metallographische Bezeichnung an.

stabiles System: Eisenkristalle (Ferrit) und C-Kristalle (Graphit)

metastabiles System: α -Eisenkristalle (Ferrit) und Fe_3C -Kristalle (Zementit)

7.8 Erstarren die Legierungen jeweils nur rein stabil oder rein metastabil, oder sind Überlagerungen beider Systeme in einem Gefüge denkbar? Durch welche Maßnahmen kann das erreicht werden?

Überlagerungen sind möglich. Bei ungleichen Wanddicken ist die Abkühlungsgeschwindigkeit verschieden; sie läßt sich auch steuern, z.B. durch Abschrecken der Randzone in wärmeleitenden Formen: Schalenhartguß.

7.9 Zustandsschaubilder gelten für eine sehr langsame Abkühlung. Wie wirkt sich eine schnelle Abkühlung auf die γ -Mischkristalle aus?

Inneres der Mischkristalle ist C-ärmer als die Randzone: Kristallseigerung.

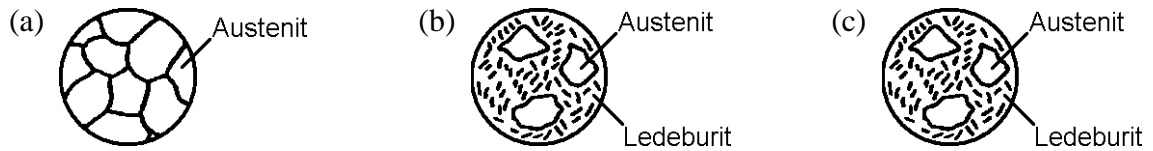
7.10 Skizzieren Sie schematisch das Gefüge, wie es unmittelbar nach der Erstarrung vorliegt, von je einer Legierung aus den Bereichen

(a) Stahl

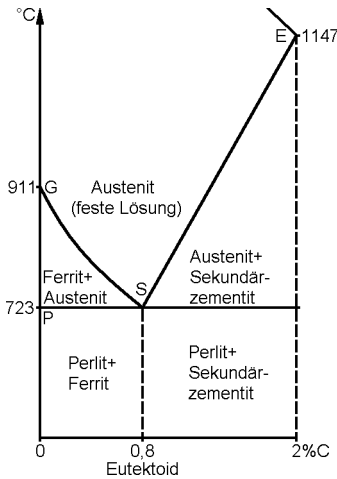
(b) untereutektisches Eisen

(c) übereutektisches Eisen

und geben Sie die metallographischen Bezeichnungen an.



7.11 Ermitteln Sie die Phasen in der Stahlecke durch Vergleich mit dem System "Kristallgemisch" (Grundtyp I). Skizzieren Sie dazu die Stahlecke mit den metallographischen Bezeichnungen.

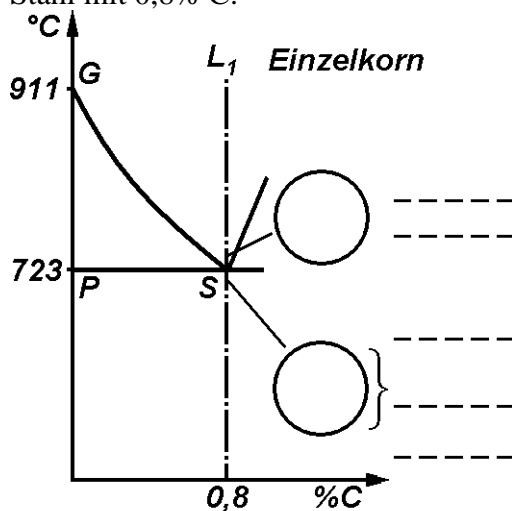


7.12 Wie viele Legierungen müssen herausgegriffen werden, um die Umwandlungen sämtlicher Stähle zu erfassen? Nennen Sie die Teilbereiche (C-Gehalt und Namen) für die jeweils eine Legierung genügt.

drei:

- untereutektoide Legierungen (0 bis 0,8% C)
- die eutektoide Legierung mit 0,8% C
- übereutektoide Legierungen (0,8 bis 2% C)

7.13 Die Fragen und Aufgaben beziehen sich auf die Umwandlung der reinperlitischen Legierung, Stahl mit 0,8% C:



- Welches Raumgitter besitzt das Eisen der Legierung L_1 oberhalb und unterhalb von 723°C ?
- Wieviel Kohlenstoff kann dieses Eisen oberhalb und unterhalb von 723°C lösen?
- Welchen Einfluß hat der C-Gehalt auf den Beginn der γ - α -Umwandlung (Begründung)?

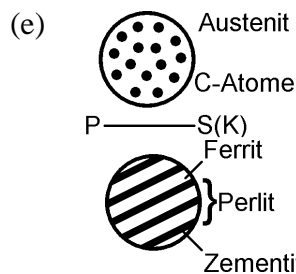
- (d) Welche Folgerung ergibt sich aus den Antworten zu a) und b) für die C-Atome, wenn die Legierung beim Abkühlen die Temperatur 723°C unterschreitet?
- (e) Zeigen Sie die Gefügeänderung bei der γ - α -Umwandlung an einem einzelnen Kristallkorn (Bild) über und unter 723°C und geben Sie alle Metallographischen Bezeichnungen an.
- (f) Welche Auswirkung hat eine schnelle Abkühlung auf die γ - α -Umwandlung und das entstehende Gefüge (Begründung)?

(a) oberhalb: Austenit (kfz); unterhalb: Ferrit (krz).

(b) oberhalb: 0,8 % C; unterhalb: praktisch Null.

(c) Die γ - α -Umwandlung des Reineisens bei 911°C wird durch C-Atome (im Einlagerungsmischkristall) bis auf 723°C bei 0,8% C-Gehalt gesenkt (Linie GS).

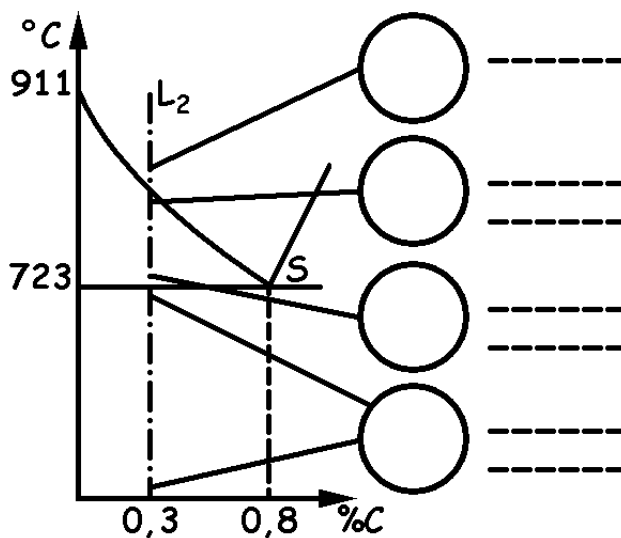
(d) Die im Austenit gelösten C-Atome können im entstehenden Ferrit nicht mehr gelöst enthalten sein. Deshalb müssen sie diffundieren und bilden außerhalb des Ferrits eine zweite Kristallart: Zementit, Fe_3C (metastabiles System).



(f) Die Kohlenstoffdiffusion benötigt Temperatur und Zeit. Bei schneller Abkühlung fehlt beides; die Umwandlung verschiebt sich zu niedrigeren Temperaturen, die C-Atome können nur kleine Wege zurücklegen. Ferrit- und Zementitkristalle werden zunehmend feinkörniger (feinstreifiger).

7.14 Die Fragen und Aufgaben beziehen sich auf Änderungen und Umwandlung der unterperliti-schen Legierung L_2 (Bild siehe unten). Verwenden Sie zur Beantwortung die Hilfslinien zum Lesen eines Zustandsschaubildes:

- (a) Welche Umwandlung setzt ein, wenn die Legierungskennlinie mit sinkender Temperatur die Linie GS schneidet?
- (b) Welche Phase scheidet mit Beginn dieser Umwandlung aus?
- (c) Bei welcher Temperatur ist diese Umwandlung abgeschlossen?
- (d) Wie verändert sich die Zusammensetzung des restlichen Austenits infolge der Ausscheidungen (Begründung)?
- (e) Bis zu welcher Temperatur ändert der restliche Austenit seine Zusammensetzung, welcher C-Gehalt liegt dann vor?
- (f) Welche Veränderung erfolgt beim Unterschreiten der Linie PS mit dem restlichen Austenit?
- (g) Berechnen Sie die prozentualen Anteile von Ferrit und Perlit am Gemenge bei Raumtemperatur.
- (h) Skizzieren Sie das Gefüge der Legierung an den vier markierten Punkten und geben Sie die metallographischen Bezeichnungen an (Bild unten).

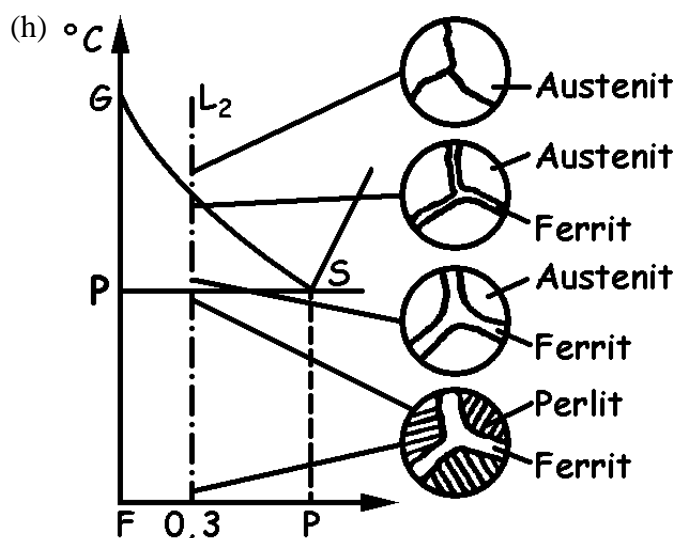


- (a) die γ - α -Umwandlung. Sie wird durch die Anwesenheit von 0,3% C im Austenit von 911 °C nach tieferen Temperaturen verschoben.
- (b) α -Eisen = Ferritkristalle.
- (c) bei 723°C, Linie PS
- (d) Der Austenit wird C-reicher. Durch die Gitterumwandlung werden einzelne C-haltige γ -Mischkristalle zu Ferrit (ohne Lösungsvermögen für C). Dadurch müssen diese C-Atome in den verbleibenden Austenit diffundieren und erhöhen dessen C-Gehalt.
- (e) bis zu 723°C, Linie PS. Der Austenit hat dann 0,8% C gelöst.
- (f) Austenit zerfall = Perlitbildung
- (g) Hebelgesetz:

$$\frac{\text{Ferrit}}{100\%} = \frac{0,5}{0,8}$$

$$\text{Ferrit} = \frac{0,5}{0,8} 100\% = 62,5\%$$

$$\text{Perlit} = 37,5\%$$



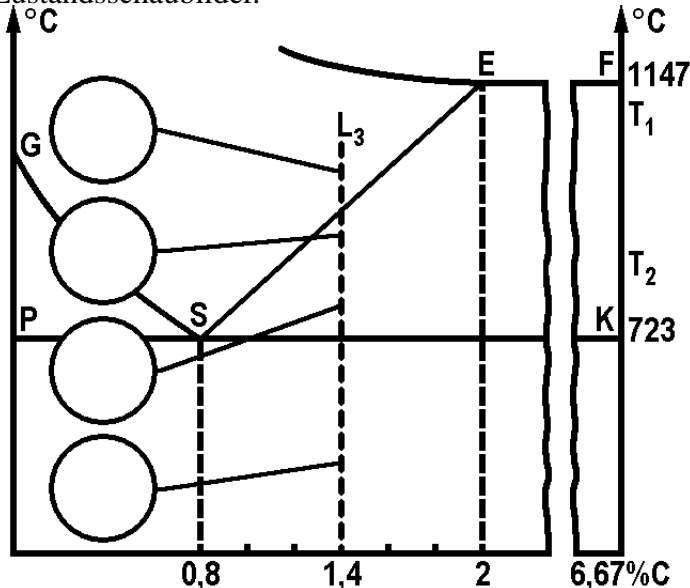
7.15 Wodurch unterscheiden sich die unterperlitischen Legierungen untereinander?

durch das Verhältnis von Ferrit zu Perlit: steigender C-Gehalt = steigender Perlitanteil

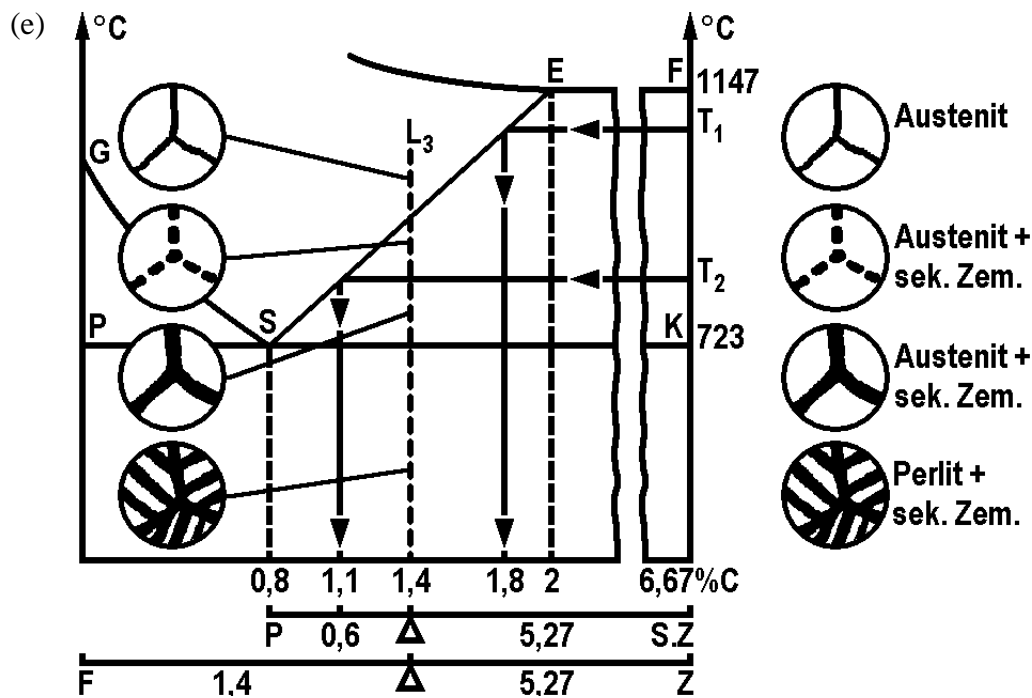
7.16 Welche Auswirkung hat eine schnellere Abkühlung auf die Gefügebildung (Begründung)?

Durch Hysterese verschieben sich die Umwandlungstemperaturen nach unten: dadurch wird die Diffusion der C-Atome erschwert. Es "klappen" weniger Kristalle um; der Ferritanteil wird kleiner. Er enthält evtl. noch nicht diffundierte C-Atome: übersättigter Ferrit. Die Kristalle sind insgesamt kleiner, der Perlit feinstreifiger.

7.17 Die Fragen und Aufgaben beziehen sich auf Änderungen und Umwandlungen der überperlitischen Legierung L_3 (Bild). Verwenden Sie zur Beantwortung die Hilfslinien zum Lesen der Zustandsschaubilder.



- Welcher Vorgang setzt ein, wenn die Legierungskennlinie mit sinkender Temperatur die Linie SE schneidet (Begründung)? Bei welcher Temperatur ist er abgeschlossen?
- In welcher Form finden die Ausscheidungen statt?
- Wie verändert sich die Zusammensetzung des Austenits durch die Ausscheidungen; welchen C-Gehalt hat er, wenn die Temperatur 723°C, Linie SK erreicht ist (Begründung)?
- Welche Änderung erfolgt mit der Austenit, wenn die Linie SK unterschritten wird?
- Skizzieren Sie das Gefüge der Legierung L_3 an den vier markierten Punkten und geben Sie die metallographischen Bezeichnungen an (Bild oben).
- Berechnen Sie die prozentualen Anteile des Gefüges bei Raumtemperatur (I) von Perlit und Sekundärzementit, (2) von Ferrit und Zementit (gesamt).
- Ermitteln Sie unter Verwendung der Hilfslinien das Lösungsvermögen des Austenits für Kohlenstoff bei den Temperaturen T_1 und T_2 .
 - Ausscheidung von Sekundärzementit aus dem Austenit. Die γ -Mischkristalle sind an diesem Punkt gerade gesättigt. Ihr Lösungsvermögen für Kohlenstoff nimmt mit der Temperatur weiter ab (Linie SK). Bei 723°C, Linie SK, ist der Vorgang abgeschlossen.
 - C-Atome diffundieren an die Korngrenzen und bilden dort Korngrenzzenementit, der als Schale die Austenitkörner umgibt (Schalenzementit). Im Gegensatz zum Primärzementit, der aus der Schmelze ausscheidet, wird Sekundärzementit im festen Zustand aus dem Austenit ausgeschieden.
 - Der Austenit wird C-ärmer. Bei 723 °C besitzt er 0,8% C. Nur bei dieser Zusammensetzung kann Austenit bis auf 723 °C abkühlen (untere Ecke des Austenitgebietes im EKD).
 - Austenit zerfällt = Perlitbildung



(f) Hebelgesetz oben (Bild):

$$\frac{\text{Ferrit}}{100\%} = \frac{5,27}{5,87}$$

$$\text{Ferrit} = \frac{5,27}{5,87} 100\% = 89,8\%$$

$$\text{Perlit} = 10,2\%$$

Hebelgesetz unten (Bild):

$$\frac{\text{Ferrit}}{100\%} = \frac{5,27}{6,67}$$

$$\text{Ferrit} = \frac{5,27}{6,67} 100\% = 79\%$$

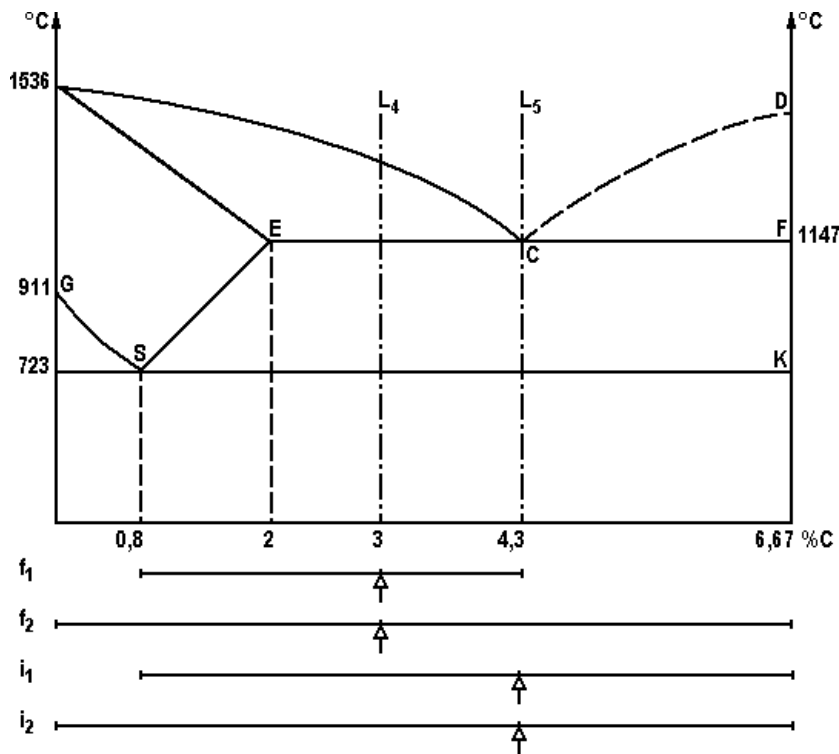
$$\text{Perlit} = 21\%$$

(g) Bei T₁: 1,8% C; bei T₂: 1,1% C

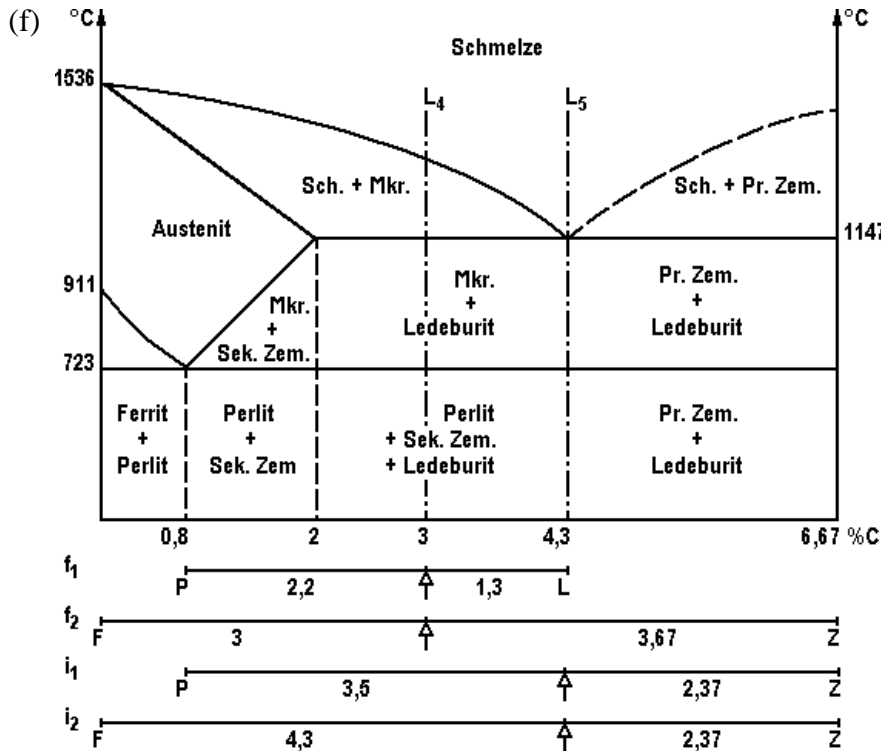
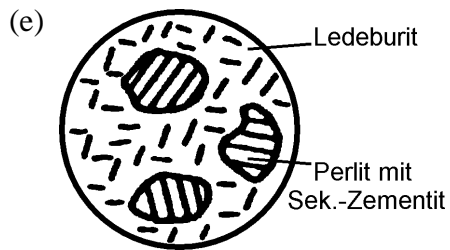
7.18 Wodurch unterscheiden sich die überperlitischen Legierungen untereinander?

Durch das Verhältnis von Perlit und Sekundärzementit: steigender C-Gehalt = steigende Dicke des Sekundärzementitnetzes.

7.19 Die Fragen und Aufgaben beziehen sich auf Änderungen und Umwandlungen der Legierungen L₄ und L₅ (Bild). Verwenden Sie zur Beantwortung die Hilfslinien zum Lesen der Zustandschaubilder:



- (a) Welcher Vorgang setzt ein, wenn L_4 nach beendeter Erstarrung bei 1147°C weiter abkühlt, bei welcher Temperatur ist er abgeschlossen?
- (b) In welcher Form finden die Ausscheidungen statt?
- (c) Wie verändert sich die Zusammensetzung des Austenits durch die Ausscheidungen, welchen C-Gehalt hat er, wenn die Temperatur 723°C , Linie SK, erreicht ist (Begründung)?
- (d) Welche Änderung erfolgt mit dem Austenit, wenn die Linie SK unterschritten wird?
- (e) Skizzieren Sie das Gefüge der Legierung L_4 bei Raumtemperatur, und geben Sie die metallographischen Bezeichnungen an.
- (f) Berechnen Sie die prozentualen Anteile des Gefüges der Legierung L_4 bei Raumtemperatur (1) von Perlit und Ledeburit, (2) von Ferrit und Zementit (gesamt).
- (g) Wodurch unterscheiden sich die untereutektischen Legierungen voneinander?
- (h) Aus welchen Kristallarten besteht das Eutektikum Ledeburit
- (1) bei Temperaturen dicht unterhalb der Soliduslinie?
 - (2) bei Temperaturen dicht oberhalb der Linie PSK?
 - (3) bei Raumtemperatur?
- (i) Berechnen Sie die prozentualen Anteile des Gefüges der eutektischen Legierung L_s bei Raumtemperatur
- (1) von Perlit und Zementit.
 - (2) von Ferrit und Zementit (gesamt).
- (a) Ausscheidungen von Sekundärzementit
- (b) als Korngrenzenzementit
- (c) der Austenit wird C-ärmer
- (d) Austenit zerfällt = Perlitbildung



Hebelgesetz f_1 (Bild):

$$\frac{\text{Perlit}}{100\%} = \frac{1,3}{3,5}$$

$$\text{Perlit} = \frac{1,3}{3,5} 100\% = 37,1\%$$

$$\text{Ledeburit} = 62,9\%$$

Hebelgesetz f_2 (Bild):

$$\frac{\text{Ferrit}}{100\%} = \frac{3,67}{6,67}$$

$$\text{Ferrit} = \frac{3,67}{6,67} 100\% = 55\%$$

$$\text{Zementit (gesamt)} = 45\%$$

- (g) (1) γ -Mischkristalle mit 2% C und Zementit
 (2) γ -Mischkristalle mit 0,8% C und Zementit
 (3) Ferrit und Zementit

(h) Hebelgesetz i_1 (Bild):

$$\frac{\text{Perlit}}{100\%} = \frac{2,37}{5,87}$$

$$\text{Perlit} = \frac{2,37}{5,87} 100\% = 40,4\%$$

$$\text{Zementit} = 59,6\%$$

Hebelgesetz i_2 (Bild):

$$\begin{aligned} \frac{\text{Ferrit}}{100\%} &= \frac{2,37}{6,67} \\ \text{Ferrit} &= \frac{2,37}{6,67} 100\% = 35,5\% \\ \text{Zementit (gesamt)} &= 64,5\% \end{aligned}$$

7.20 Das Gefüge und damit die Eigenschaften sämtlicher Fe-C-Legierungen werden im wesentlichen von fünf Faktoren bestimmt, welche sind es?

- prozentuale Anteile der Kristallarten
- Vorliegen des Kohlenstoffs als Graphit, Zementit oder als Kombination aus beiden
- Form der Kristallarten und Ausscheidungen
- Verlauf der Diffusionsvorgänge durch gezielte Steuerung (Wärmebehandlung) oder unkontrolliert (Fertigung)
- Legierungselemente

7.21 Die mechanischen Eigenschaften Zugfestigkeit, Härte und Kaltverformbarkeit werden vorwiegend durch die prozentualen Anteile an Ferrit und Zementit bestimmt. Begründen Sie diese Tatsache, und belegen Sie dies durch eine Gegenüberstellung von S235 (ST37) mit 0,2% und E360 (St70-2) mit 0,6% C.

S235JR: geringe Anteile von hartem Zementit (im Perlit), dadurch gute Verformbarkeit, geringere Härte und Festigkeit. E360: höherer Zementitanteil, dadurch hohe Härte und Festigkeit, geringe Verformbarkeit und Zähigkeit.

7.22 In welchen Formen kann Graphit im Gefüge vorliegen?

lamellar (bei GG), kugelförmig (bei GGG) flockenförmig (bei GT)

7.23 Welche Auswirkung haben steigende C-Gehalte auf folgende mechanische Eigenschaften (Begründung):

- (a) Zugfestigkeit
 - (b) Härte
 - (c) Bruchdehnung, Brucheinschnürung und Kerbschlagzähigkeit?
- (a) sinkt der Anteil an weichem zähem Ferrit. Die Zugfestigkeit steigt bis 0,8% C beim rein perlitischen Stahl. Über 0,8% C hinaus tritt zunehmend Korngrenzenzementit auf, welcher den Zusammenhang schwächt: Zugfestigkeit nimmt wieder ab.
 - (b) nimmt die Härte etwa linear zu.
 - (c) sinken Bruchdehnung, -einschnürung und Kerbschlagzähigkeit des reinen Ferrits anfangs stark, dann geringer ab.

7.24 Welche Auswirkungen haben steigender C-Gehalt auf Kalt- und Warmverformbarkeit der Stähle, bis zu welchem C-Gehalt sind die Verfahren anwendbar?

Kaltumformbarkeit: steigende Zementitgehalte erhöhen den Kraftbedarf und vermindern die möglichen Verformungsgrade (Biegeradien beim Abkanten); Grenze etwa bei 0,8% C. Warmumformbarkeit: Bei den Arbeitstemperaturen von ca. 1300°C ist der Kohlenstoff zunächst im Austenit gelöst und erfordert steigenden Kraft- und Energiebedarf. Über 0,8% C wird während

des Schmiedens das homogene Gefüge heterogen (störende Zementitausscheidung beim Erreichen der Linie ES und darunter), so daß nur noch kleinere Verformungsgrade zulässig sind. Grenze der Warmumformbarkeit liegt bei etwa 1,7% C für unlegierte Stähle.

7.25 Welche mechanischen Eigenschaften beeinflussen vor allem die Schweißbarkeit von Stählen (Begründung)?

Bruchdehnung und -einschnürung. Beim Schweißen wird der Werkstoff ungleichmäßig erwärmt und abgekühlt. Die dabei auftretende behinderte Schrumpfung führt zu inneren Spannungen, die nur bei guter Verformungsfähigkeit durch plastische Formänderungen abgebaut werden können. Spröde Werkstoffe reißen.

7.26 Welche Auswirkung haben steigende C-Gehalte auf die Schweißbarkeit von Stählen, bis zu welchen C-Gehalten sind Stähle schweißbar?

Mit steigendem Zementitanteil verringern sich Bruchdehnung und -einschnürung und damit die Schweißbarkeit; Grenze bei 0,25% C für normale Schmelzschweißverfahren.

7.27 (a) Welche mechanischen Eigenschaften beeinflussen vor allem die Zerspanbarkeit?

(b) Welche Wirkung haben steigende C-Gehalte auf die Zerspanbarkeit der Fe-C-Legierungen (Begründung)?

(a) Härte und Zugfestigkeit.

(b) (1) Der Zementitanteil steigt, damit Härte und Zugfestigkeit, die Zerspanbarkeit wird schlechter.

(2) Der Graphitanteil steigt, seine Schmierwirkung verbessert die Zerspanbarkeit.

7.28 Welche chemischen Elemente treten in Fe-C-Legierungen als Eisenbegleiter auf? Ordnen Sie diese nach

(a) qualitätsmindernden Elementen.

(b) teilweise erwünschten Elementen.

(a) P, H, O, N, S

(b) Si, Mn

7.29 Wodurch gelangen diese Elemente im einzelnen in das Gefüge der Stähle?

P: Verhüttung von P-haltigen Erzen und Zuschlägen (Kalkstein).

H: Stahlerschmelzung mit feuchtem Einsatz und Zuschlägen sowie schlecht getrockneten Ausmauerungen der Öfen und Pfannen. Brenngase enthalten Wasserdampf.

O: Frischvorgang bei der Stahlerschmelzung.

N: Stahlerschmelzung: Thomas-Verfahren durch Blasluft, Elektro-Lichtbogen-Verfahren durch Bildung von Stickoxiden bei hohen Temperaturen.

S: Verhüttung sulfidischer Erze sowie durch Koks, Erdöl oder Brenngase.

Si: Quarzhaltige Gangart der Erze bei der Verhüttung und durch Ferrolegierungen zur Desoxydation oder zum Erreichen der stabilen Erstarrung.

Mn: Verhüttung von Mn-haltigen Erzen, durch Ferrolegierungen zur Desoxydation.

7.30 Warum ist eine vollständige Entfernung der qualitätsmindernden Elemente nicht möglich?

Längere Behandlungszeiten ergeben kleineren Ausstoß bei höherem Aufwand an Energie und Zuschlagstoffen: geringere Wirtschaftlichkeit.

7.31 In welcher Form liegt Si bei kleinen Gehalten im Gefüge vor? Welche Nachteile ergeben sich daraus für die Fertigungsverfahren Kalt- und Warmumformen und Schweißen?

Als Silicatschlacke (hart, spröde) und als Mischkristallbildner im Ferrit (Silicoferrit). Die Kaltformbarkeit wird verschlechtert: Schlackenteilchen wirken verschleißend auf das Werkzeug; schlechte Oberfläche. Größerer Kraftbedarf bei geringerer Verformbarkeit. Warmumformung mit Gefahr der Randentkohlung. Beim Schweißen verbrennt das gelöste Si und bildet zähflüssige Schlackenhäute → Bindefehler und Schlackeneinschlüsse. Si schnürt das γ -Gebiet des EKD ab: umwandlungsfreie ferritische Stähle. Nach Kornvergrößerung ist kein Normalisieren möglich.

7.32 Welche günstigen Eigenschaftsänderungen bewirkt Si in

(a) Stählen für die E-Technik?

(b) Fe-C-Gußwerkstoffen?

(a) Si erhöht den elektrischen Widerstand und verringert dadurch die Ummagnetisierungs- und Wirbelstromverluste.

(b) Mit Si kann die stabile Erstarrung der Fe-C-Gußlegierungen gesteuert werden; es ist deshalb in allen Gußeisensorten enthalten.

7.33 Mn liegt bei kleinen Gehalten als MnS und MnO vor, die bei Warmumformung eine Faserstruktur ergeben. Welche Auswirkungen hat diese auf die mechanischen Eigenschaften der daraus hergestellten Proben (Anisotropie)?

Eigenschaften in Längs- und Querrichtung sind unterschiedlich; Querproben haben geringere Werte, besonders bei den Verformungskennwerten.

7.34 Der Hochbaustahl S355J2G3 enthält etwa 0,9 bis 1,4% Mn. Geben Sie dafür eine Begründung. Der Stahl muß gute Schweißbeignung besitzen; das erfordert niedrige C-Gehalte (bis 0,2%). Die Festigkeit wird durch Mischkristallbildung mit Mn erzielt.

7.35 Welche Auswirkung hat Mn auf die Erstarrungsform der Fe-C-Gußlegierungen?

Mn begünstigt die Zementitausscheidung bei Fe-C-Gußwerkstoffen (metastabile Erstarrung).

7.36 Welche Eigenschaftsänderungen bewirken P-Gehalte in Stählen? Welche allgemeine Forderung ergibt sich daraus für die Höhe des P-Gehaltes in Stählen?

P erhöht Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit, verringert stark die Kerbschlagzähigkeit und Kaltumformbarkeit. Alle Werkstoffe müssen ausreichende Zähigkeit besitzen; deshalb werden P-Gehalte so klein wie wirtschaftlich möglich gehalten.

7.37 (a) In welcher Form liegt S im Stahl vor?

(b) Welche Qualitätsminderung ergibt sich daraus?

(a) S ist chemisch an Fe als Eisensulfid FeS (Sulfidschlacke) gebunden und durch Seigerungen an Korngrenzen abgelagert.

(b) Bei hohen Schmiedetemperaturen ist FeS flüssig und führt beim Verformen zu Heißbruch. Bei etwas niedrigeren Temperaturen ist es spröde und ergibt Rotbruch.

7.38 In welcher Form liegt Sauerstoff im Stahl vor? Welche Qualitätsminderung ergibt sich daraus?

O ist chemisch an Fe als Eisenoxid FeO (Oxidschlacke) gebunden. Zusammen mit FeS bilden sich niedrigschmelzende Gefügebestandteile, die sich an den Korngrenzen absetzen.

7.39 Was verstehen Sie unter der Alterung eines Stahls?

langsame Änderung der Eigenschaften durch Diffusionsvorgänge im Laufe längerer Zeit

7.40 Stickstoff verursacht die Alterung des Stahles. Wie verändern sich dadurch die wichtigsten mechanischen Eigenschaften?

Festigkeit und Härte nehmen zu, Bruchdehnung und Zähigkeit nehmen stark ab.

7.41 (a) Welche inneren Vorgänge führen zur Alterung des Stahles?

(b) Wodurch kann die Alterung beschleunigt werden?

(a) Ferrit hat ein mit der Temperatur abnehmendes Lösungsvermögen für Stickstoff. Dadurch entstehen bereits bei normaler Abkühlung übersättigte Mischkristalle. Im Laufe der Zeit werden die N-Atome in Störstellen des Raumgitters abgedrängt und wirken dort als Gleitblockierung

(b) durch Kaltverformung und Erwärmung

7.42 Kaltgeformte Bleche für Schweißkonstruktionen dürfen nicht zur Alterung neigen. Begründen Sie diese Forderung.

Durch die Schweißwärme können die kaltgeformten Bleche schnell altern, dadurch wird die Dehnbarkeit verringert. Auftretende Schrumpfspannungen können nur begrenzt abgebaut werden. Es besteht die Gefahr von Sprödbrüchen.

7.43 (a) In welcher Form ist Wasserstoff im Gefüge enthalten?

(b) Welche mechanische Eigenschaft wird besonders stark durch H_2 -Gehalte vermindert?

(c) Wodurch läßt sich der H_2 -Gehalt der Stähle senken?

(a) als kleiner linsenförmiger Hohlraum, Flockenriss

(b) Kerbschlagzähigkeit

(c) Verwendung von trockenem Einsatzmaterial für das Stahlgewinnungsverfahren, Behandlung der abgestochenen Stahlschmelzen mit Vakuum oder Erschmelzung unter Vakuum

7.44 Die Stahlerzeugung basiert auf drei Fe-Vorprodukten. Nennen Sie diese in der Reihenfolge ihrer Bedeutung.

Roheisen, Schrott, Eisenschwamm

7.45 Nennen Sie die ungefähren C-Gehalte von Roheisen und Stahl.

Roheisen 3 bis 4 % C, Stahl 0,1 bis 0,6 % C

7.46 Welche Elemente sind als Stahlschädlinge im Roheisen enthalten?

Schwefel S und Phosphor P

7.47 Geben Sie zusammenfassend an, welche drei Aufgaben von allen Stahlgewinnungsverfahren bewältigt werden müssen.

Absenken des C-Gehaltes. Entfernen der Elemente P und S soweit möglich und Temperatursteigerung um etwa 300°C .

7.48 Ein Teil des Stahles wird aus Schrott erschmolzen. Dieser wird in zwei Gruppen eingeteilt.

(a) Wie heißen diese Gruppen?

(b) Welche wesentlichen Unterschiede bestehen im Fremdstoffgehalt?

(a) Kreislaufschrott (Neuschrott) und Fremdschrott (Altschrott)

(b) Altschrott hat teilweise störende Gehalte an Cu und Sn, sowie in den Rostschichten Schwefel, der aus der Industriemmosphäre aufgenommen wurde.

7.49 Warum lassen sich Elemente wie z.B. Cu, Ni oder Sn nicht aus einer Stahlschmelze entfernen?

Sie sind edler als Fe, d.h. mit Sauerstoff weniger reaktionsfähig. Deshalb wird zuerst das Fe oxidiert (verschlackt).

7.50 Welche Veränderungen treten ein, wenn eine Stahlschmelze unter Vakuum gesetzt wird?

Gelöste Gase (Wasserstoff) werden bis auf Reste entfernt. Die Reaktion $\text{FeO} + \text{C} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO}\uparrow$ läuft weiter, weil Unterdruck das Entstehen von Gasen begünstigt (Gesetz des kleinsten Zwanges). Dadurch verringert sich der Anteil an Oxidschlacken.

7.51 Welche Unterschiede bestehen zwischen einem Stahl, der normal (offen) erschmolzen wurde, und einem unter Vakuum erschmolzenen

(a) im Gefüge?

(b) in den mechanischen Eigenschaften?

(a) Geringere Gaseinschlüsse und Anzahl der Schlackenteilchen

(b) Quereigenschaften sind fast gleich den Längseigenschaften; die Dauerfestigkeit ist gegenüber den offen erschmolzenen Stählen erhöht.

7.52 (a) Was verstehen Sie unter Blockseigerung?

(b) Wie entsteht bei Stahlblöcken eine Seigerungszone?

(c) Welche Elemente sind vorwiegend in der Seigerungszone enthalten?

(a) Seigerung ist die Entmischung einer homogenen Schmelze beim Erstarren. Dadurch erhält der Block unterschiedliche Analysen über den Querschnitt und in der Höhe.

(b) Die Erstarrung beginnt an den kalten Formwänden. Es scheiden sich C-arme Mischkristalle aus. Legierungselemente reichern sich dadurch in der flüssigen Kernzone an, die zuletzt erstarrt und nach oben hin zunehmende Gehalte an diesen Elementen besitzt.

(c) Gefügebestandteile mit niedrigem Schmelzpunkt, wie z.B. Sulfide, Phosphide, C-reiche Mischkristalle, d.h. die Elemente P, S und C.

7.53 (a) Was verstehen Sie unter einem Lunker?

(b) Was ist die physikalische Ursache für die Entstehung der Lunker?

(c) Es gibt zwei wichtige Maßnahmen zur Vermeidung von Lunkern (eine konstruktive, eine gießtechnische). Wie heißen sie?

(a) Innere Hohlräume an dicken Querschnitten oder Einfallstellen der Außenhaut (Außenlunker)

(b) die starke Schrumpfung beim Übergang vom flüssigen (ungeordnete Teilchen) zum kristallinen Zustand (geordnete Teilchen)

(c) konstruktiv: Vermeiden von schroffen Querschnittsübergängen und Stoffanhäufungen
gießtechnisch: Setzen von Trichtern oder Steigern an Stellen mit dicken Querschnitten

- 7.54 (a) Worauf bezieht sich die Bezeichnung "unberuhigt vergossen"?
- (b) Wie heißt die Reaktionsgleichung, welche die Entstehung von Gas beim Vergießen beschreibt?
- (c) Welche Ursache hat die unter (b) beschriebene Reaktion?
- (a) auf die Bewegung der Badoberfläche in der Kokille. Die aufsteigenden Gasblasen lassen den Stahl "kochen"
- (b) $\text{FeO} + \text{C} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO}\uparrow$
- (c) Infolge der Kohlenstoffseigerung bei der Erstarrung wird das Gleichgewicht zwischen FeO und C gestört. Durch die Reaktion wird das Gleichgewicht wieder angestrebt.
- 7.55 (a) Beim unberuhigten Vergießen steigen CO-Blasen auf. Sie führen zu drei Erscheinungen am fertigen Block. Wie heißen diese?
- (b) Welche ungünstige Eigenschaft besitzen unberuhigt vergossene Söhle?
- (a) Blasenkranz, Seigerungszone, kleiner Lunker.
- (b) Restliche Sauerstoff- und Stickstoffgehalte ergeben eine Alterungsneigung der Stähle.
- 7.56 Warum muß der innere Blasenkranz in manchen Fällen vermieden werden? Geben Sie zwei wichtige Fälle an.
- Bei Stahlgußteilen, die nicht mehr warmverformt werden, bei Hartstählen und legierten Stählen. Sie dürfen nur mit geringen Kräften und Querschnittsabnahmen verformt werden, so dass innere Blasen nicht verschweißen.
- 7.57 (a) Auf welche Weise kann die CO-Entwicklung vermieden werden (zwei Möglichkeiten)?
- (b) Nennen Sie Desoxydationsmittel und geben Sie die zugehörige Reaktionsgleichung an.
- (a) Diffusion des FeO in eine Schlacke (Elektro- und Siemens-Martin-Ofen), Fällung, d.h. Umwandlung in unlösliche Teilchen durch Desoxydationsmittel
- (b) Al: $3\text{FeO} + 2\text{Al} \rightarrow 3\text{Fe} + \text{Al}_2\text{O}_3$
 Si: $2\text{FeO} + \text{Si} \rightarrow 2\text{Fe} + \text{SiO}_2$
 Ca: $\text{FeO} + \text{Ca} \rightarrow \text{Fe} + \text{CaO}$
- 7.58 (a) Beruhigt vergossene Stähle zeigen drei Erscheinungen am fertigen Block. Wie heißen diese?
- (b) Welche besondere Eigenschaft unterscheidet beruhigte Stähle von einen unberuhigten?
- (c) Welche Stahlsorten müssen beruhigt vergossen werden?
- (a) kein Blasenkranz, keine Seigerungszone, tiefer Lunker
- (b) mit Al beruhigte Stähle sind nicht alterungsanfällig
- (c) Stahlgußsorten, legierte Stähle, unlegierte Einsatz- und Vergütungsstähle, allgemeine Bau-
 stähle (Qualitätsstähle)

8 Wärmebehandlung

8.1 Welche Ziele haben die Verfahren der Wärmebehandlung?

Der Werkstoff soll ein gewünschtes Eigenschaftsprofil erhalten, eine Formänderung ist unerwünscht.

8.2 Welche zwei physikalischen Eigenschaften der Legierung Fe-C ermöglichen die Gefügeänderung der Stähle im festen Zustand?

- Die temperatur- und gitterabhängige Löslichkeit des Eisens in Kohlenstoff.
- Die α - γ -Umwandlung des Eisens.

8.3 Warum werden die Umwandlungstemperaturen (Haltepunkte) bei der Wärmebehandlung mit den Buchstaben "A" und nicht mit den jeweiligen Temperaturangaben bezeichnet?

Die Buchstaben bezeichnen bestimmte Umwandlungen, die bei den jeweiligen Verfahren ausgenutzt werden. Je nach C-Gehalt (und LE) und Erwärm- und Abkühlgeschwindigkeit finden diese Umwandlungen bei höheren oder tieferen Temperaturen statt.

8.4 Was versteht man unter der "Austenitisierung" des Stahls?

Herstellung eines homogenen, feinkörnigen γ -MK-Gefüges in Stählen durch die Umwandlung des Ferrits und Auflösung der Carbide (Perlitauflösung).

8.5 Wie sind ZTA-Schaubilder aufgebaut, wofür gelten sie?

Weil das EKD für unendlich langsame Abkühlzeit gilt, muß es, um die Größe Zeit mit einzubringen, um eine Zeitachse senkrecht auf die Ebene des EKDs erweitert werden. In dieser Ebene geben die Linien die Verschiebung der Haltepunkte bei kürzerer Abkühlzeit (nach links) zu höheren Temperaturen an. Dazwischen liegen die Phasenfelder, unten Ferrit + Zemenrit (F + C) oben homogener Austenit A_{hom} . Nur gültig für einen Stahl bestimmter Zusammensetzung. Stähle mit hiervon abweichenden Zusammensetzungen haben i.a. andere ZTA-Schaubilder.

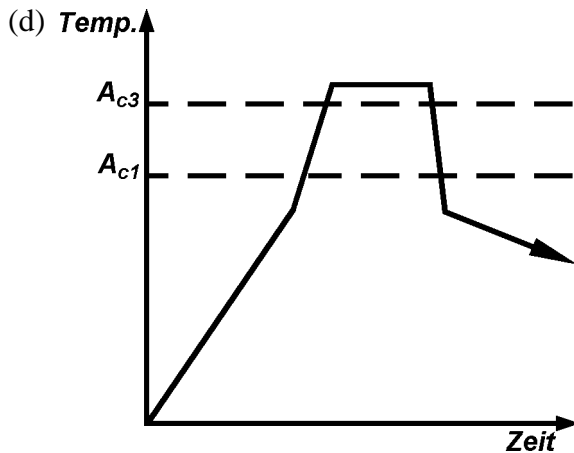
8.6 Zu welchem Zweck werden Stähle normalgeglüht?

Der Stahl soll ein normales Gefüge, d.h. ein feinkörniges Gefüge mit rundlichen Körnern annähernd gleicher Größe erhalten. Auch zur Herstellung eines Gefügezustandes mit Eigenschaften, welche die mechanische Bearbeitung erleichtern, z.B. Spanen oder Umformen.

8.7 Bearbeiten Sie folgende Fragen und Aufgaben zum Normalglühen von (1) unterperlitischen, (2) überperlirischen Stählen:

- (a) Auf welche Temperatur wird erwärmt (Begründung)?
 - (b) Wovon hängt die Haltezeit ab (Begründung)?
 - (c) Wie muß die Abkühlung verlaufen (Begründungen)?
 - (d) Skizzieren Sie schematisch den Temperatur-Zeit-Verlauf für das Normalglühen mit Angabe der Haltepunkte.
- (a) (1) dicht oberhalb A_{c3} (Linie GS). Eine vollständige Umkörnung ist nur möglich, wenn das ferritisch-perlitische Gefüge vollständig in Austenit umwandelt.
(2) dicht oberhalb A_{c1} (Linie SK). Eine vollständige Austenitisierung ist nicht zweckmäßig (Überhitzungsgefahr). Die Umwandlung des Perlitanteils ergibt eine vollständige Umkörnung.

- (b) (1) und (2) Haltezeit nur so lang, bis auch der Kern der Werkstücke in Austenit umgewandelt ist; um neue Grobkornbildung zu vermeiden.
- (c) (1) und (2) zunächst schnell bis unter A_{r1} (Linie PSK), damit der Austenit feinkörnig in Perlit umwandelt, danach langsam, um Spannungen zu vermeiden.



8.8 Nennen Sie Anwendungsbeispiele für das Normalglühen.

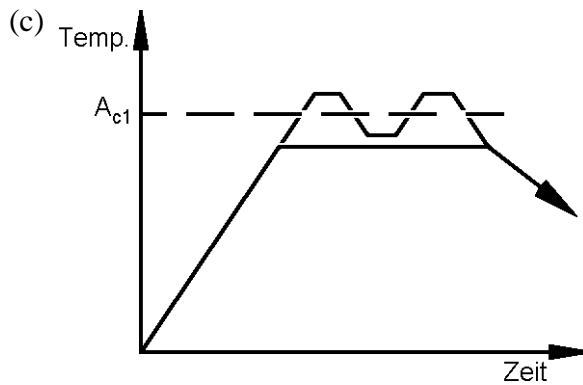
Bei "überzeiteten" und "überhitzten" Stählen, z.B. Guß-, Schmiede- und Schweißteilen; Teile, die einem Diffusionsglühen unterworfen wurden; kaltverformte Teile mit kritischem Verformungsgrad.

8.9 Welchen Zweck hat das Weichglühen?

Der Stahl soll niedrigste Härte bei hoher Bruchdehnung erhalten. Das wird durch eine Verfeinerung der Zementitkristalle erreicht. Damit wird das günstige Ausgangsgefüge für wichtige Fertigungsverfahren hergestellt.

8.10 Bearbeiten Sie folgende Fragen und Aufgaben zum Weichglühen von (1) unterperlitischen, (2) überperlitischen Stählen:

- (a) Auf welche Temperatur wird erwärmt (Begründung)?
- (b) Welche Haltezeiten sind üblich?
- (c) Skizzieren Sie schematisch den Temperatur-Zeit-Verlauf für das Weichglühen eines unter- und übereutektoiden Stahls.
- (a) (1) dicht unterhalb A_{c1} (Linie PS); bei Wiedererwärmung zerfällt der Streifenzenenrit im Perlit aufgrund der Oberflächenspannung in kleinere Körner, die Kugelgestalt anstreben.
 (2) Pendelglühen um A_{c1} (Linie SK), die mehrfache Perlit- Austenitumwandlung erleichtert die Einförmigkeit des Korngrenzzenenrits. Infolge der kurzen Haltezeiten über A_{c1} geht der Streifenzenenrit nicht vollständig im Austenit in Lösung. Die Kristallreste wirken als Keime und führen zur feinkörnigen, kugeligen Zementitbildung.
- (b) mehrere Stunden, etwa 2 bis 4, je nach Größe der Teile.



8.11 Beim Spannungsarmglühen werden innere Spannungen abgebaut.

- (a) Wodurch entstehen innere Spannungen?
 - (b) Werden die Spannungen vollständig abgebaut (Begründung)?
 - (c) Eine kaltgezogene Welle steht unter Zugspannungen in der Randzone. Es wird eine Nut eingefräst. Welche Auswirkung hat die Zerspannung auf die Form der Welle, Fall (1) oder (2) (Begründung)?
- (a) Schrumpfspannungen entstehen durch behinderte Schrumpfung, wenn bei der Abkühlung außenliegende oder dünnwandige Bereiche des Werkstücks wesentlich niedrigere Temperaturen besitzen als Kernzonen oder dickwandige Querschnitte. Zuletzt schrumpfende Bereiche werden dadurch unter Zugspannungen gesetzt. Die im Gleichgewicht mit den Druckspannungen der anderen Bereiche stehen.
Eigenspannungen entstehen durch Kaltumformen. Die Werkstoffteilchen werden dabei nicht gleichmäßig stark verformt. Der elastische Anteil der Verformung geht zurück, wenn die Bearbeitungskräfte verschwinden; dabei tritt ebenfalls eine Behinderung auf.
Umwandlungsspannungen entstehen bei Gefügeänderungen im festen Zustand, wenn sie in einem Querschnitt nicht gleichzeitig stattfinden.
- (b) Nein, innere Spannungen werden nur bis auf den Betrag der Fließgrenze bei Glüh Temperatur abgebaut.
 - (c) Nach Bild (a). Die obere zugspannungsdurchsetzte Faser ist durchgetrennt. Es überwiegen die Zugspannungen in der unteren Faser und versuchen sie zu verkürzen.

8.12 Beantworten Sie folgende Fragen zum Spannungsarmglühen:

- (a) Auf welche Temperaturen wird erwärmt (Begründung)?
 - (b) Welche Haltezeiten werden angewendet?
 - (c) Wie muß die Abkühlung verlaufen (Begründung)?
- (a) unterhalb A_{c1} (Linie PSK) im Bereich von 550 °C bis 650 °C . Es soll keine Gefügewandlung eintreten, sondern nur eine Abnahme des Gleitwiderstandes durch die Wärmebewegung (Abnahme der Fließgrenze). Dann liegen die inneren Spannungen über dem Gleitwiderstand und bewirken kleine plastische Formänderungen im Raumgitter.
- (b) etwa 4 h
 - (c) langsam, damit keine Temperaturunterschiede im Werkstück auftreten, die Ursache für neue Spannungen wären

8.13 Nennen Sie Anwendungsbeispiele für das Spannungsarmglühen.

Schmiede- und Gußteile vor der spannenden Weiterbearbeitung, Schweißteile, Teile mit engen Toleranzen nach der Schruppbearbeitung.

8.14 Welchen Zweck hat das Diffusionsglühen?

Lösliche Bestandteile sollen möglichst gleichmäßig im Gefüge verteilt werden, um einen homogenen Werkstoff zu erzeugen. Ausgleich von Kristallseigerungen und Inhomogenitäten.

8.15 Welche Eigenschaft soll durch das Rekristallisationsglühen verbessert werden?

Die plastische Verformbarkeit. Dabei wird die Kaltverfestigung aufgehoben, welche durch Kaltumformverfahren im Werkstoff entsteht.

8.16 Nennen Sie Anwendungsbeispiele für das Rekristallisationsglühen.

Kaltgeformte Fertigteile und Halbzeuge wie z.B. Feinblech, Draht, Präzisionsstahlrohr, deren Fließfähigkeit vor dem Erreichen der Endabmessung durch die Kaltverfestigung erschöpft ist (Zwischenglühen).

8.17 Stellen Sie Härten und Vergüten in ihren wesentlichen Unterschieden gegenüber (Zweck, Stahlgruppe, Verfahren).






Härten: Vorwiegend Werkzeugstähle sollen hohe Härte erhalten. Die Zähigkeit muß dem Verwendungszweck ausreichend angepaßt werden, deshalb folgt nach dem Abkühlen ein Anlassen bei niedrigen Temperaturen.

Vergüten: Vorwiegend Baustähle sollen hohe Zähigkeit bei erhöhter Streckgrenze erhalten, deshalb folgt nach dem Abkühlen ein Anlassen auf höhere Temperaturen.

8.18 Welchen Einfluß hat die steigende Abkühlgeschwindigkeit auf den Austenitzerfall=Perlitbildung (Begründung)?

Haltepunkte A_{r3} und A_{r1} werden zu tieferen Temperaturen verschoben (Hysterese). Dadurch wird die Kohlenstoffdiffusion behindert.

8.19 Geben Sie eine Darstellung des Austenitzerfalls bei steigender Abkühlgeschwindigkeit mittels des folgenden Schemas an (Gefügebilder und -bezeichnungen).

	Austenit zerfällt bei Abkühlung durch:			
	Ofen	Luft	Bleibad	Wasser
				
Austenit 0,4% C	Ferrit + Perlit	wenig Ferrit + Perlit	dicht- streifiger Perlit	Martensit

8.20 Welche Art von Gefüge soll bei richtiger Härtung entstehen?

Ein möglichst reines Martensitgefüge ohne Perlit.

8.21 (a) Welche Bedeutung hat die kritische Abkühlungsgeschwindigkeit v_{krit} beim Härten?

(b) Welches Gefüge bildet sich aus, wenn v_{krit} nicht in allen Teilen des Werkstückes erreicht wird?

(a) Es ist die Abkühlungsgeschwindigkeit, die im Werkstück überschritten werden muss, um die Perlitbildung zu verhindern.

- (b) Keine vollständige Martensitbildung; im Gefüge entstehen äusserst dichtstreifige Perlitflecken (Weichfleckigkeit).

8.22 (a) Vergleichen Sie die Elementarzelle des Martensits mit der des Ferrits.

(b) Womit läßt sich die hohe Härte und Sprödigkeit des Martensits begründen?

(c) Welcher Zusammenhang besteht zwischen Martensithärte und C-Gehalt?

(a) Martensit ist ein durch C-Atome tetragonal aufgeweitetes Ferritgitter.

(b) Infolge der Gitterverzerrung gehen die Gleitebenen des krz-Gitters verloren. Der Versuch, ein Abgleiten zu erzwingen, erfordert große Kräfte, führt aber zum Trennungsbruch.

(c) Je mehr Gitterzellen verzerrt sind, um so grösser ist die Härte. Deshalb steigt sie mit dem C-Gehalt an, aber nur bis zu einem Maximum bei etwa 0,8% C.

8.23 Bei überkritischer Abkühlung verschwinden die Haltepunkte A_{r3} und A_{r1} . Wie verhält sich dann der Austenit?

Er bleibt als unterkühlter Austenit bis zu einem neuen Umwandlungspunkt M_S , dem Startpunkt der Martensitbildung, bestehen.

8.24 Welche Größe hat Einfluss auf die Lage des M_S -Punktes, wie ist der Einfluss?

Der C-Gehalt des Stahles. Mit steigenden C-Gehalten wird M_S nach tieferen Temperaturen verschoben.

8.25 Für Stähle mit höheren C-Gehalten liegt der Endpunkt M_f unter der Raumtemperatur. Welche Auswirkungen ergeben sich daraus für die

(a) Gefügeausbildung?

(b) Gesamthärte?

(a) keine vollständige Martensitbildung. Das Gefüge enthält Restaustenit

(b) geringere Gesamthärte

8.26 Durch welche Maßnahme kann der Restaustenit der C-reichen Stähle beseitigt werden?

Durch Tieftemperaturbehandlung nach dem Abkühlen.

8.27 Welche physikalische Eigenschaft des Stahles führt beim Abschrecken größerer Werkstücke zu großen Temperaturunterschieden zwischen Kern und Rand?

Die schlechte Wärmeleitfähigkeit des Stahls.

8.28 Was versteht man unter der "Härtbarkeit" eines Stahls? Erklären Sie diese mit zwei Werkstoffkennzahlen!

Eigenschaft eines Stahls, beim Abschrecken Härte anzunehmen.

- Aufhärbarkeit (Aufhärtung), größte am Rand erreichbare Härte, nur vom C-Gehalt abhängig, jedoch maximal 65 HRC = 820 HV.
- Einhärbarkeit (Einhärtung) Einhärtetiefe des gebildeten Martensitgefüges.

8.29 Welche Folgen haben große Temperaturunterschiede zwischen Rand und Kern des Werkstückes auf die Härbarkeit von Stählen?

Die kritische Abkühlgeschwindigkeit v_{krit} zur Martensitbildung ist als Werkstoffkenngröße für Rand und Kern gleich. Die wirkliche Abkühlgeschwindigkeit v_{k} nimmt vom Rand zum Kern hin ab. Martensit entsteht nur in der Werkstoffschicht, in der $v_{\text{k}} > v_{\text{krit}}$ ist. Nach innen entstehen die anderen Umwandlungsegefüge des Austenits.

8.30 Welche Faktoren beeinflussen die Härbarkeit eines Stahles?

- Erschmelzung- und Vergießungsart. Winzige nichtmetallische Einschlüsse wirken als Keime, an denen die Perlitbildung beginnt.
- Höhere Härtetemperatur. Mögliche Keime zur Perlitbildung gehen in Lösung, v_{krit} wird erniedrigt (jedoch Gefahr der Grobkornbildung).
- Abschreckmittel mit angepasster Kühlwirkung. Größte Abschreckwirkung derart, dass der Rand die Perlitstufe ohne Umwandlung in Perlit durchläuft, danach geringere Abschreckwirkung, wenn auch der Kern die Perlitstufe ohne Umwandlung in Perlit durchlaufen hat.

8.31 Was versteht man unter der "Durchhärtung" eines Werkstückes?

Einhärtung bis zum Kern, besonders wichtig für hochbeanspruchte und vergütete Bauteile.

8.32 Wie beeinflussen gelöste LE die Härbarkeit von Stählen?

LE, die bei der Härtetemperatur in Lösung gehen, behindern bei der Abkühlung die Perlitbildung, da sie ebenfalls diffundieren müssen: Die kritische Abkühlgeschwindigkeit v_{krit} wird gesenkt.

8.33 Welche drei Maßnahmen vergrößern die Eindhärtungstiefe bei Stählen (Aufzählung)?

Höhere Härtetemperaturen; Verwendung von Abkühlmitteln mit angepasster Abkühlwirkung, Verwendung legierter Stähle.

8.34 Wasser mit Zusätzen (NaOH, Cyansalze) als Abkühlmittel ergibt eine größere Eindhärtungstiefe. Begründen Sie diese Erscheinung.

Durch den Salzgehalt wird die Kochperiode des Kühlmittels verlängert, dadurch wird mehr Wärme entzogen: v_{krit} wird auch in tieferen Schichten noch überschritten.

8.35 Stähle der gleichen genormten Sorte, die aus unterschiedlichen Lieferungen stammen, können unterschiedlich tief einhärten. Geben Sie zwei Gründe für diese Erscheinung an.

(1) Der Gehalt an LE darf bei genormten Stählen in zulässigen Toleranzbereichen schwanken, z.B. bei unlegiertem Vergütungsstahl C45: Mn von 0,5 % bis 0,8 % und $\text{Si} \leq 0,4 \%$

(2) Erschmelzungs- und Vergütungsart beeinflussen den Gehalt an nichtmetallischen Einschlüssen. Diese wirken z.T. als Keime für die Perlitbildung. Der reinere Stahl härtet tiefer ein.

8.36 Beim unterbrochenen Abschrecken wird, um einem Härteverzug vorzubeugen, die Perlitstufe schnell durchlaufen, danach langsamer abgekühlt. Welchen Einfluß hat diese Maßnahme auf die Entstehung der Wärme- und Umwandlungsspannungen?

Zuerst entstehen die Wärmespannungen, die von dem unterkühlten Austenit (zäh, kfz-Gitter) ohne Risse abgebaut werden können. Die Umwandlungsspannungen entstehen danach bei der Martensitbildung, also nicht gleichzeitig.

8.37 Warum kann man aus dem EKD nicht den Geschwindigkeits- und Temperaturverlauf, z.B. der Perlit- oder Austenitentstehung, ablesen?

Das EKD gilt nur für unendlich langsame Abkühlung.

8.38 Was versteht man unter

(a) kontinuierlicher Abkühlung?

(b) isothermer Abkühlung härt- und vergütbarer Stahlsorten?

(a) stetige Abkühlung des Austenits von Härtetemperatur bis auf Raumtemperatur in Luft, Öl, Wasser, Wirbelbetten usw.

(b) Schnelle umwandlungsfreie Abkühlung des Austenits auf 700 bis 300 °C und Halten bei dieser Temperatur (isotherm), bis sich der Austenit vollständig umgewandelt hat.

8.39 Welche beiden mechanischen Eigenschaften sollen bei Konstruktionsstählen durch Vergüten verbessert werden?

Größere Zähigkeit und erhöhte Streckgrenze gegenüber dem normalisierten Zustand.

8.40 Warum liegen die C-Gehalte der Vergütungsstähle im allgemeinen zwischen 0,25 und 0,6% C?

Damit sich Martensit bildet, müssen mindestens 0,3% C bei unlegierten Stählen vorhanden sein. Höhere C-Gehalte ergeben größere Zementitanteile im Gefüge, damit zwar hohe Festigkeit, aber eine geringe Zähigkeit.

8.41 Unterperlitische Stähle sind im vergüteten Zustand sowohl zäher als auch von höherer Festigkeit als im normalisierten. Begründen Sie diese Erscheinung mit der Gefügeausbildung.

Vergütungsgefüge sind feinkörniger, dadurch erhöht sich gleichzeitig Festigkeit und Zähigkeit. Außerdem ist der Ferritanteil mit Kohlenstoff übersättigt, dadurch entsteht zusätzlich Mischkristallverfestigung.

8.42 Was versteht man unter Vergütungsstählen (Gehalte an C und LE)?

Es sind unlegierte und niedriglegierte Stähle mit C-Gehalten von 0,25 % C bis 0,6 % C, dadurch hohe bis mittlere Zähigkeit und Bildung von Martensit beim Abkühlen. Die Maximalhärte wird aber nicht erreicht, LE wie z.B. Cr, Mn, Ni, Si, Mo und V zum Erreichen der Durchhärtung größerer Querschnitte. Mit zunehmendem Querschnitt der Werkstücke steigt der erforderliche Gehalt an LE.

8.43 Wie wird das Vergüten durchgeführt (Arbeitsgänge)?

Ähnlich wie beim Härten: Erwärmen auf Härtetemperatur, Austenitisierung, Abkühlung in Öl oder Salzbad zur Martensitbildung, Anlassen auf Temperaturen zwischen 450 °C und 650 °C in Öfen oder Salzbadern.

8.44 Nennen Sie Teile, z.B. aus dem Kfz.-Bau, die aus Vergütungsstählen bestehen.

Achsen, Wellen, Schrauben, Federn, Zahnräder, Ventile.

8.45 Warum hat bei kompliziert gestalteten Teilen mit Kerben und schroffen Querschnittsübergängen ein zäher Stahl eine hohe Sprödbuchtsicherheit?

Zähe Stähle können örtliche Spannungsspitzen durch geringe plastische Verformungen der rißgefährdeten Bereiche abbauen.

8.46 Was versteht man unter Anlaßsprödigkeit? Wie läßt sie sich vermeiden?

Abnahme der Kerbschlagzähigkeit bei einigen legierten Vergütungsstählen (Mn, Cr und Cr + Ni enthaltend) nach dem Anlassen mit nachfolgender langsamer Abkühlung. Es handelt sich dabei um Ausscheidungsvorgänge. Sie wird vermieden durch schnelles Abkühlen aus der Anlaßwärme oder durch Verwendung von Mo-legierten Vergütungsstählen, welche keine Anlaßsprödigkeit zeigen.

8.47 Was versteht man unter Einsatzhärten?

Randschichthärteverfahren von Stählen, die beim Härten nur eine geringe Härtesteigerung erfahren, dafür zäh bleiben, d.h. niedrige C-Gehalte besitzen. Durch Aufkohlung wird der Randzone Kohlenstoff zugeführt. Nach dem Härten wird nur sie martensitisch hart.

8.48 Welche Zusammensetzung haben Einsatzstähle (Gehalte an C und LE)?

Niedrige C-Gehalte, um die Zähigkeit zu erhalten; niedrige Gehalte an Cr, Mn, Ni und Mo, um die Festigkeit des Kernes zu steigern, damit bei großen Wanddicken eine Durchvergütung des Kernes möglich wird.

8.49 Warum werden z.B. große Zahnräder im Nutzfahrzeugbau aus dem Stahl 17CrNiMo6 hergestellt und nicht aus 16MnCr5?

Bei größeren Querschnitten ist eine Durchvergütung nur bei höheren Gehalten an LE möglich. Der niedriger legierte Stahl hat nach dem Einsatzhärten auch niedrigere Kernfestigkeit. Wegen der Stoßbelastung des Rades ist außerdem der zähere Stahl von beiden besser geeignet.

8.50 Welche physikalischen Vorgänge liegen allen Aufkohlungsverfahren zugrunde?

Diffusion aus der C-reichen Umgebung in die C-arme Randschicht des Werkstückes bis zu max. 0,8 % C. Deshalb Kohlungstemperatur im Austenitgebiet bei etwa 930 °C, wo Austenit ein Lösungsvermögen von über 1 % besitzt. Der Konzentrationsunterschied muß vorhanden sein, damit überhaupt Diffusion stattfindet.

8.51 Welche Einflussgrößen bestimmen die Randhärte?

Der erreichte C-Gehalt der Randschicht (von der Kohlungswirkung des Kohlungsmittel abhängig) und carbidbildende LE.

8.52 Worauf ist die Härteannahme der Randschicht beim Nitrieren zurückzuführen?

Durch die Stickstoffzufuhr entstehen in der Randzone Nitride, die als intermetallische Phasen sehr hart, aber auch spröde sind.

8.53 Unter welchen Verfahrensbedingungen entsteht allgemein bei allen Verfahren die harte Randschicht?

Stickstoff gelangt atomar von außen an das Werkstück und wandert durch Diffusion in die Randschicht ein. Dazu muß die Temperatur erhöht werden.

8.54 Welche inneren Vorgänge laufen beim Nitrieren ab?

Der Stahl muß sich noch im ferritischen Zustand befinden, d.h. bei Temperaturen unter A_{c1} , damit sich Stickstoff nur wenig im α -Eisen löst, dafür aber mit Fe und den LE Nitride bildet (Verbindungszone von etwa 30 μm). Weitere N-Atome diffundieren tiefer ein und liegen nach Abkühlung als feinstverteilte Nitride vor (Diffusionszone). Sie besitzt einen allmählichen Übergang zum Grundwerkstoff und dadurch gute Verankerung.

8.55 Welche Eigenschaften hat die Randschicht nach dem Nitrieren (vier günstige, eine ungünstige)?

Die Härte liegt über der des Martensits, bis max. 1500 HV; bessere Korrosionsbeständigkeit, gute Gleiteigenschaften durch geringe Kaltschweißneigung, Warmfestigkeit, aber hohe Sprödigkeit.

8.56 Nitrierschichten sind wesentlich dünner als Einsatzschichten. Welche Forderung ergibt sich daraus für

(a) den Kernwerkstoff?

(b) die Randschicht selbst?

(a) Kernwerkstoff muß eine höhere Streckgrenze besitzen, damit sich bei Punkt- oder Linienbelastungen (Zahnräder) die Randschicht nicht in den weichen Grundwerkstoff eindrückt. Deshalb werden die Teile meist im vergüteten Zustand nitriert.

(b) Sie kann im allgemeinen nicht nachgearbeitet werden, da sie bei Unrundheiten evtl. weggeschliffen wird.