

Werkstoffe und Fertigung II
Prof.Dr. K. Wegener

Sommersemester 2007

Name	
Vorname	
Legi-Nr.	

Übung 9

Wärmebehandlung GG, UGG

Musterlösung

Ausgabe: 12.04.2007

Abgabe: 17.04.2007

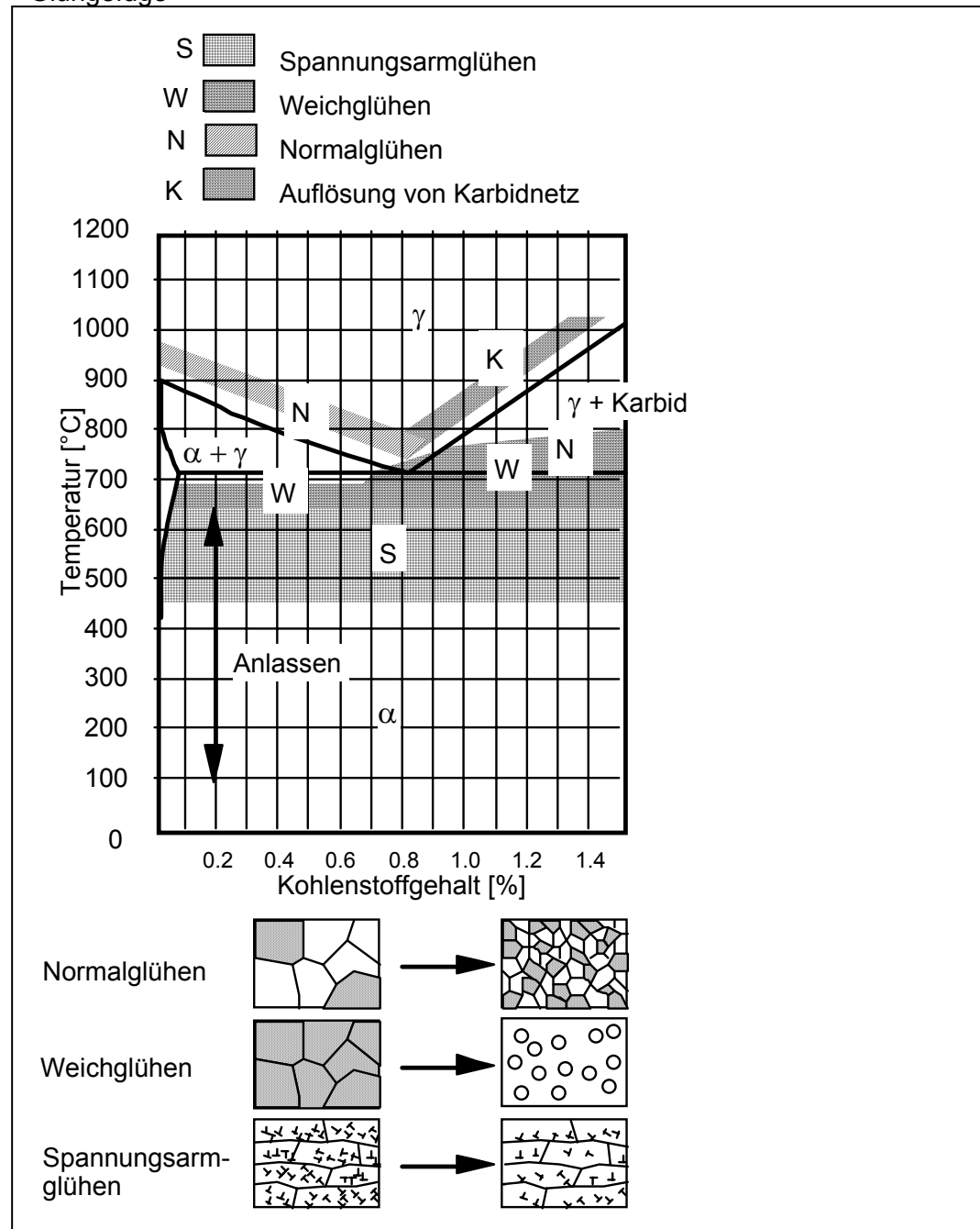
Lernziele

Werkstoffe und Fertigung II, Kap. 10, LZ 1-3; Kap. 11, LZ 1, 4, 5, 6, Kap. 6, 1,2,4-7

Kerninformationen

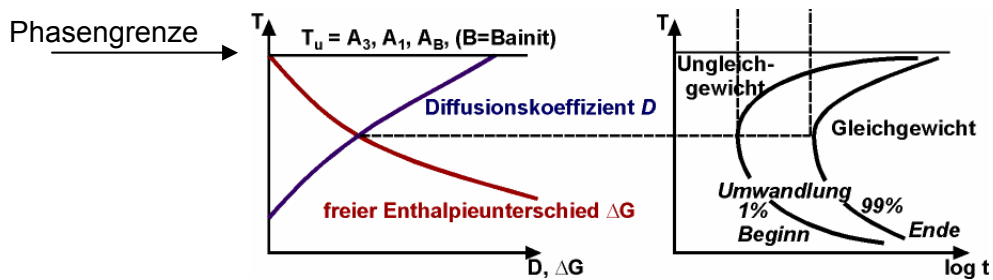
1 Wärmebehandlung im Gleichgewicht

- Glüh Temperatur
- Glühgefüge



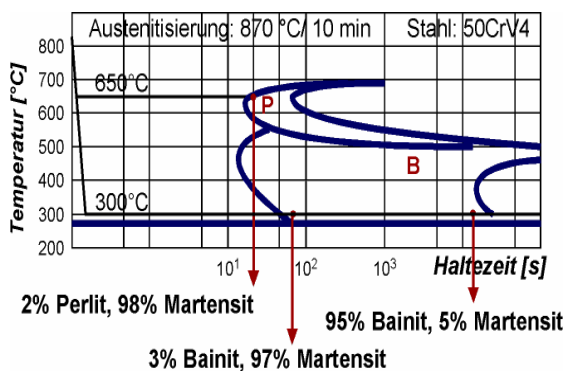
2 Wärmebehandlung im Ungleichgewicht

Die Zustandsdiagramme zeigen Gleichgewichtszustände, wie sie nach langer, bei tiefen Temperaturen nach sehr langer Zeit auftreten, indem Stoffausgleich durch Diffusion abläuft. Wärmebehandlungen im Ungleichgewicht benützen gezielt das zeitabhängige Verhalten der verschiedenen Werkstoffe. Je schneller die Abkühlung ist, bei umso tieferen Temperaturen laufen die Umwandlungen ab, der Antrieb aus dem Unterschied der freien Enthalpie des ursprünglichen, heißen Zustandes gegenüber dem Gleichgewichtszustand bei der aktuellen Temperatur ist zwar grösser, aber die Diffusionsgeschwindigkeit kleiner. Bei sehr schneller Abkühlung werden die Diffusionsvorgänge überhaupt unterbunden (Martensitumwandlung).

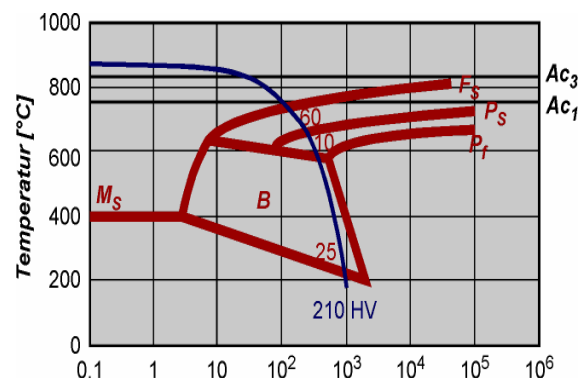


3 Zeit-Temperatur-Umwandlungsschaubilder (ZTU-Diagramm)

Isothermes ZTU – Schaubild



Kontinuierliches ZTU-Schaubild



Isothermes ZTU - Diagramm

Die Probe (Eisenwerkstoff) wird von der Austeritisierungstemperatur sehr schnell auf die Versuchstemperatur T abgekühlt und dort konstant gehalten. Durch abermaliges Abschrecken entsteht aus dem verbliebenen Austenit Martensit, die anderen Gefügebestandteile sind während des Verweilens bei T entstanden.

Kontinuierliches ZTU - Diagramm

Da die Wärme durch Wärmeleitung aus dem Innern eines Werkstückes nach aussen transportiert werden muss, lassen sich praktisch nicht beliebig hohe Abkühlgeschwindigkeiten realisieren. Entlang von praktischen Abkühlkurven werden Start- und Endpunkte der Gefügeumwandlung aufgezeichnet.

4 Ausscheidungshärtung

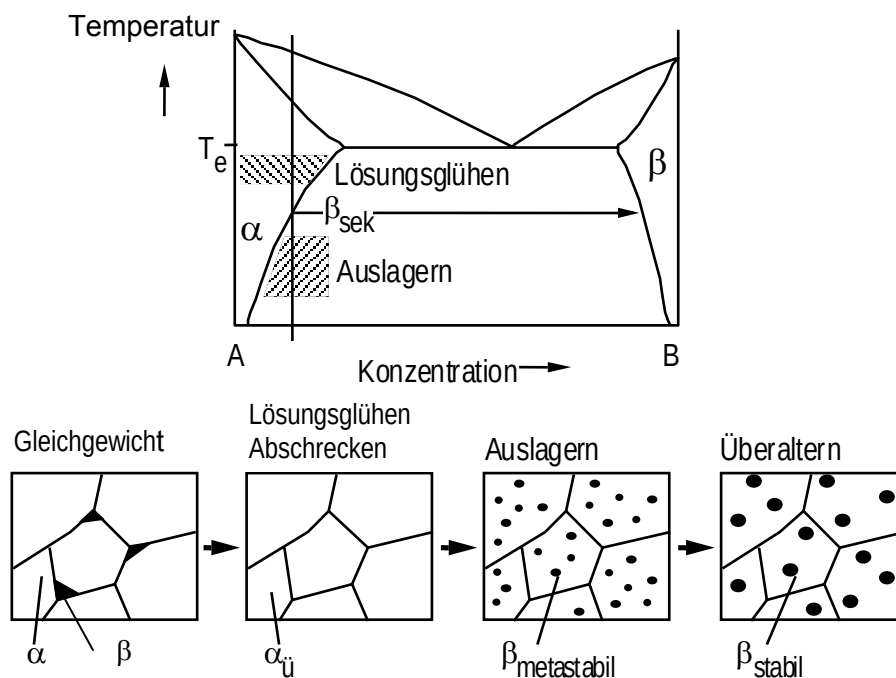
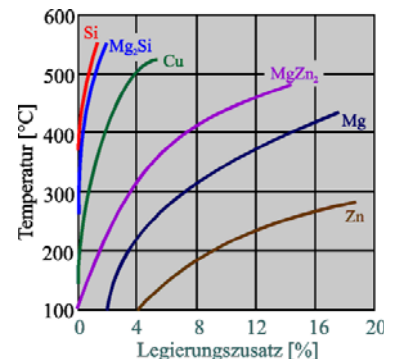
In einer Legierung mit den Komponenten A, B können Teilchen des Mischkristalls β innerhalb der Mischkristalle α zu deren Verfestigung beitragen, indem Versetzungen am Laufen gehindert werden. Die Versetzungen müssen die Teilchen entweder durchschneiden – das gelingt vor allem, wenn diese klein sind – oder die Teilchen umgehen. Es gilt, Menge und Grösse der Teilchen und damit auch die Abstände der Teilchen zu optimieren. Durch *Lösungsglühen* werden die groben Ansammlungen von β -Mischkristallen aufgelöst und als B-Komponente im α -Mk gelöst. Durch Abschrecken wird diese – bei tiefer Temperatur übersättigte – Lösung beibehalten. Bei gezielter Wärmebehandlung – Warmauslagern – oder Lagerung bei Raumtemperatur – Kaltauslagern – kristallisieren β -Mk-Teilchen aus, die Streckgrenze steigt bis zu einem Maximalwert, die Übersättigung der α -Mk hat sich abgebaut. Anschliessend wachsen aber die grösseren β -Mk-Teilchen unter Verzehr der kleineren langsam weiter an (Ostwaldreifung, Überalterung). Durch den vergrösserten Teilchenabstand sinkt die Streckgrenze wieder ab.

Der Streckgrenzenzuwachs durch Teilchenhärtung ist umgekehrt proportional zum Teilchenabstand:

$$\Delta\sigma_T = \frac{1}{D_T}$$

- Lösungsglühen – Auslagern
- Gefüge

Löslichkeit von
Legierungszusätzen
in Aluminium in
Abhängigkeit
von der Temperatur



1 Glühen

- Beschreiben Sie den Unterschied zwischen Normalglühen und Rekristallisationsglühen

Lösung:

Normalglühen:

- Erwärmen auf 30-50°C oberhalb A_{c3} und halten, Abkühlen in ruhender Atmosphäre.
Zweifache Phasenumwandlung Ferrit/Perlit $\rightarrow$ Austenit.
- Ziel: Feinkorn für höhere Festigkeit, bessere Zerspanbarkeit.
- Abbau von Eigenspannungen
- Beseitigung von Widmannstättengefüge (Ferrit im Innern von Perlitkörnern, spröde)

Rekristallisationsglühen:

- Kornneubildung ohne Phasenumwandlung in den verformten Zonen bei Temp. 500-650°C.
- Ziel: Aufhebung der Verfestigung nach Kaltverformung.

2 Isothermes ZTU-Diagramm

Konstruieren Sie ein isothermes ZTU-Diagramm (quantitativ soweit möglich) für zwei unlegierte Stähle mit

- 0.40 %C
- 0.8 %C
- Zeichnen Sie die Änderung des ZTU-Diagrammes mit 0.8 %C durch legieren mit Cr.

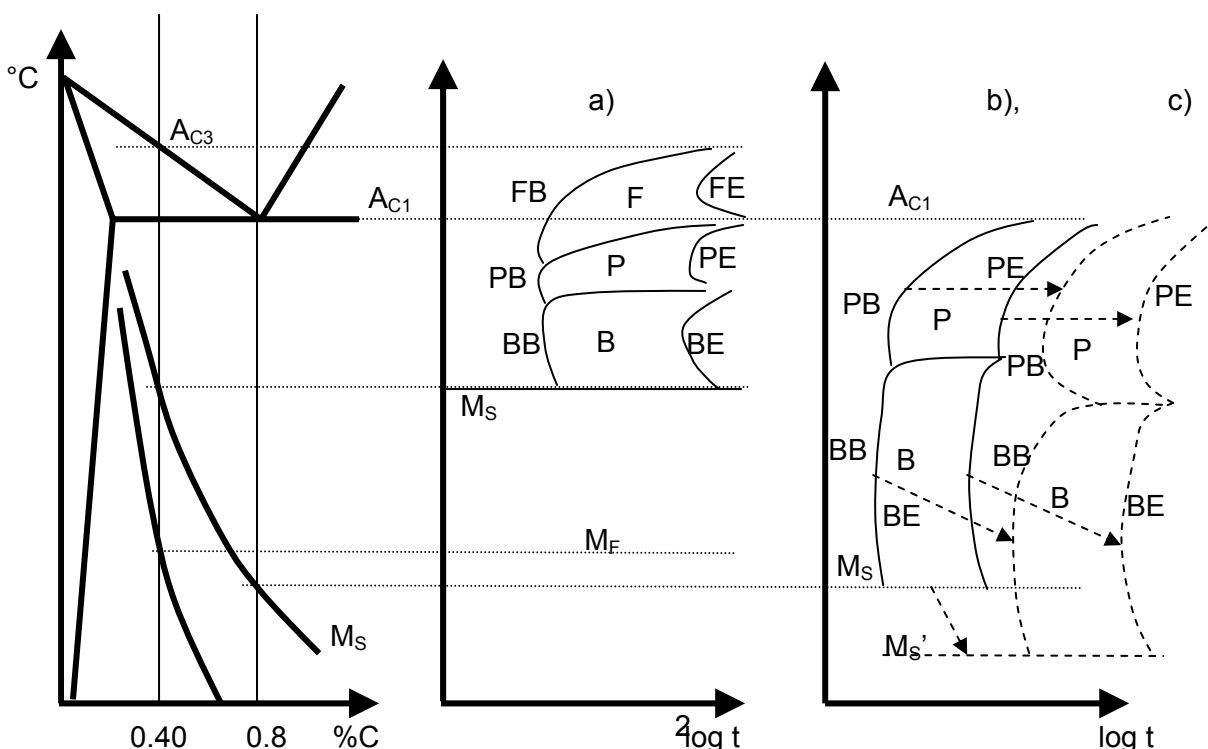
Lösung (S. Grafik)

x_B = Beginn, x_E = Ende der Umwandlung von Austenit in x. x: F = Ferrit, P = Perlit, B = Bainit

M_S , M_F : Martensit-Start-/Finish-Temperatur.

Quantitativ festgelegt: Die A_{c1} -Linie ist Asymptote an die PB und PE-Linie, die A_{c3} -Linie ist Asymptote an die FB und FE-Linie. Martensit-Start- und -Finish-Temperatur sind gegeben.

c) Legieren mit Cr (und auch vielen anderen Legierungselementen) verschiebt alle Umwandlungsbereiche (Perlit, Bainit, auch Ferrit, wo vorhanden) zu längeren Zeiten nach rechts, den Bainit- und Martensitbereich nach unten, zu tieferen Temperaturen.



3 Kontinuierliches ZTU - Diagramm

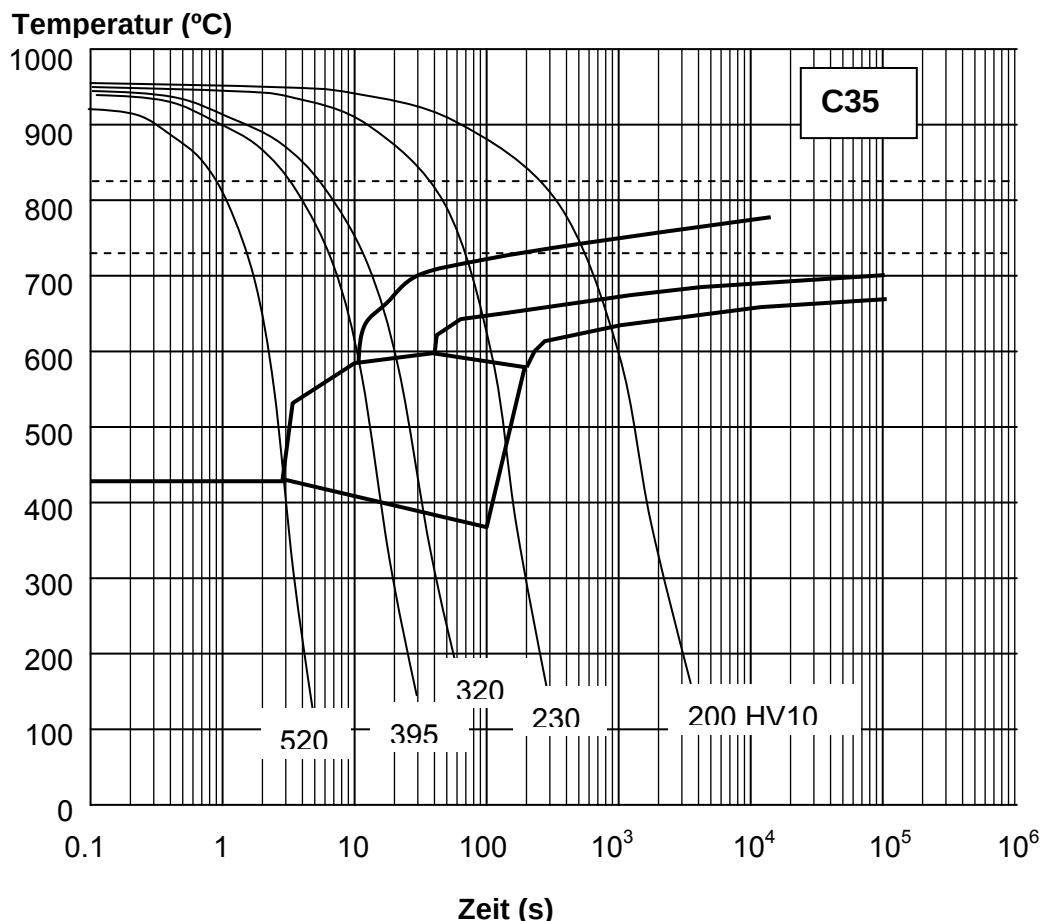
Gegeben ist das kontinuierliche ZTU – Diagramm des Stahles C35

a) Vervollständigen Sie das Diagramm durch die folgenden Angaben:

M_S	Martensitstarttemperatur
B_S	Bainitstartlinie
P_S	Perlitstartlinie
F	Bereich der Ferritbildung
P	Bereich der Perlitbildung
B	Bereich der Bainitbildung
M	Bereich der Martensitbildung
A	Bereich des Austenits
A_{C1}	Umw.-punkt Perlit → Austenit bei Erwärmung
A_{C3}	Umw.-punkt Ferrit → Austenit b. Erwärmung

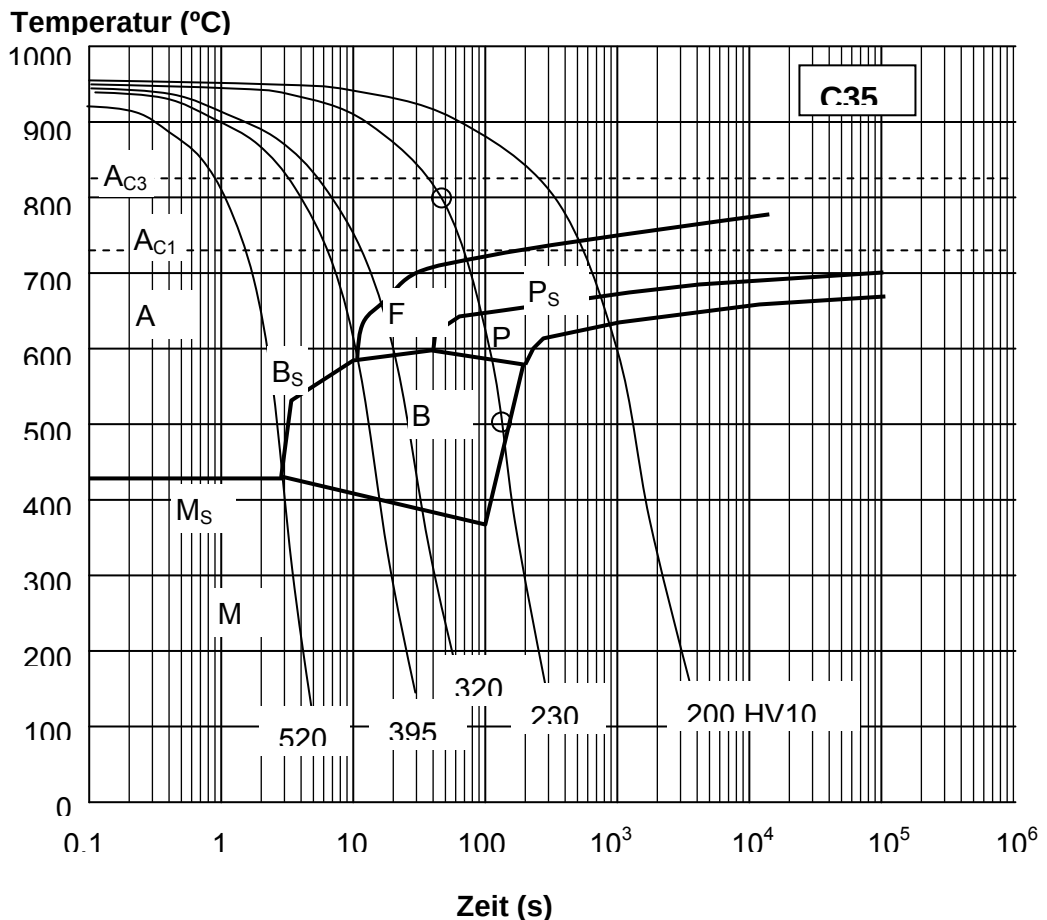
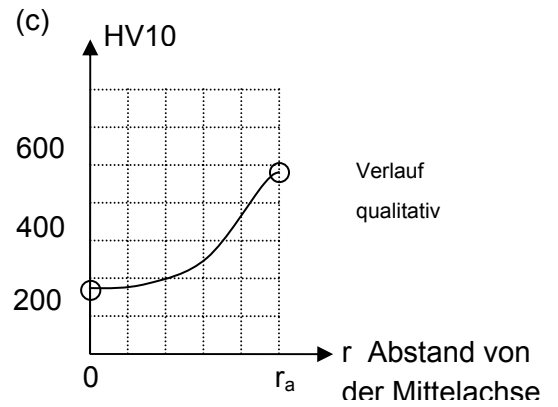
(c)

- b) Bestimmen Sie die $t_{8/5}$ – Zeit zur Erzielung eines Mehrphasengefüges aus Ferrit, Perlit und Bainit und geben Sie die korrelierende Härte HV an.
- c) Die Abkühlung eines Werkstückes aus C35 erfolgt so, dass die Temperatur aussen innerhalb 1s unterhalb M_S sinkt und in der Werkstückmitte nur noch Ferrit und Perlit entstehen. Zeichnen Sie den Härteverlauf über der Materialtiefe auf.
- d) Welchen anderen Werkstoff würden Sie wählen, um bei gleicher Abkühlung eine gleichmässige, hohe Härte zu erreichen, und warum.



Lösung

M_S	Martensitstarttemperatur
B_S	Bainitstartlinie
P_S	Perlitstartlinie
F	Bereich der Ferritbildung
P	Bereich der Perlitbildung
B	Bereich der Bainitbildung
M	Bereich der Martensitbildung
A	Bereich des Austenits
A_{C1}	Umw.-punkt Perlit $\rightarrow$ Austenit bei Erwärmung
A_{C3}	Umw.-punkt Ferrit $\rightarrow$ Austenit bei Erwärmung



b) $t_{8/5} = 130 - 48 = 82 \text{ s}$ (Toleranz $\pm 10 \text{ s}$). Härte = 230 HV10

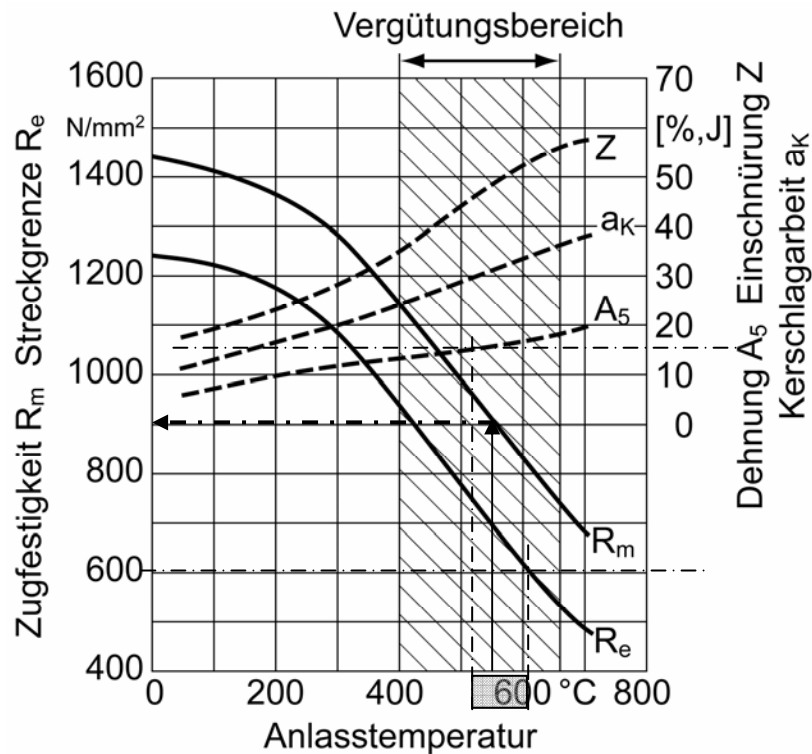
d) Geeigneten legierten Stahl verwenden. Viele Legierungselemente verschieben Nasen nach rechts, sodass mit kleinerer Abkühlgeschwindigkeit das Martensitgebiet erreicht werden kann, ohne dass Diffusionsvorgänge stattfinden können.

Beispiel C: 1%; Si: 0.3 %; Mn: 0.6% ; Cr: 5.3%, Mo: 1.1%, V: 0.2%. X100 Cr Mo 5

4 Anlassvergüten

Ein Bauteil aus dem Stahl 25 CrMo 4 soll durch Anlassvergüten eine Mindeststreckgrenze von 600 N/mm² und eine Mindestbruchdehnung von 15 % erhalten.

- Wählen Sie eine passende Anlasstemperatur.
- Zeichnen Sie eine schematische Temperatur-Zeit-Kurve für den Vergütungsprozess, wenn die Austenitisierungstemperatur 870 °C beträgt.
- Welche Härte des Werkstückes können Sie erwarten?

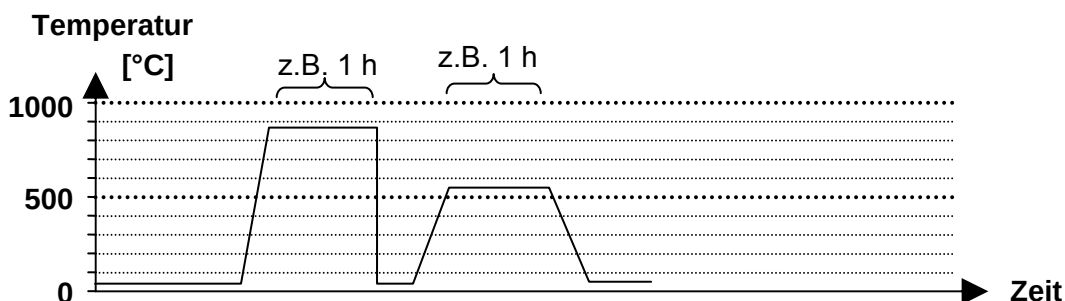


Vergütungsschaubild für Werkstoff 25 CrMo 4

Lösung

- Mindeststreckgrenze R_e von 600 N/mm² → Anlasstemperatur < 610 °C
Mindestbruchdehnung von 15 % → Anlasstemperatur > 520 °C
Also gilt: 520 °C < Anlasstemperatur < 610 °C. Hier gewählt: 550 °C.

- Schematische Temperatur-Zeit-Kurve:



- Zu erwartende Bruchspannung $R_m = 900$ N/mm². Im Skript gibt Gleichung (11.6) einen näherungsweisen Zusammenhang zwischen Bruchspannung und Härte:
 $R_m \approx 3.21 \cdot HV$ oder $R_m \approx 3.38 \cdot HB$

$$\text{Zu erwartende Härte: } HV \approx \frac{R_m}{3.21} = \frac{900 \text{ N/mm}^2}{3.21 \text{ N/(mm}^2 \cdot \text{HV)}} = 280$$

5 Lösungsglühtemperatur

- a) Bestimmen Sie die Lösungsglühtemperatur für eine Aluminium-4% Cu-Legierung.
 b) Wo liegt in der gegebenen Warmaushärtungskurve (Fig.) der Bereich der Überalterung?

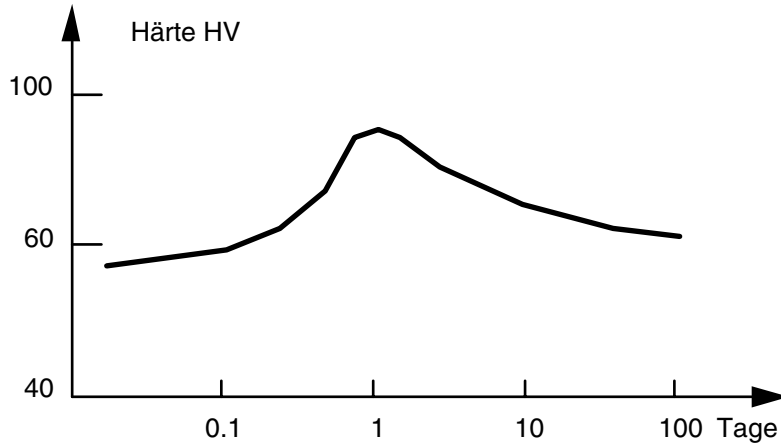
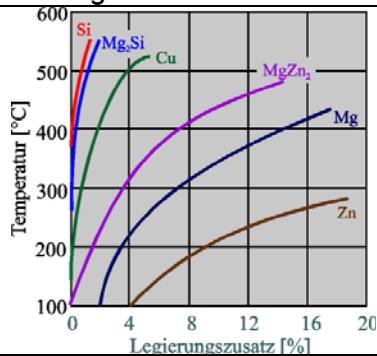


Fig.: Warmaushärtung von AlCu4 bei 190°C

Lösung



← Löslichkeit von Legierungszusätzen in Aluminium in Abhängigkeit von der Temperatur.

- a) Für eine Aluminiumlegierung mit 4% Cu Gehalt liegt die Löslichkeitsgrenze bei 500°C. Es wird eine Lösungsglühtemperatur von 550°C gewählt. (Nach Abschrecken ins Zweiphasengebiet bleibt der Mischkristall übersättigt, bis sich beim Auslagern Teilchen der kupferreichen Phase gebildet haben)

- b) Überalterung bezeichnet das Anwachsen grosser Teilchen, indem sie kleinere aufzehren (Ostwaldreifung). Dadurch wächst der Teilchenabstand, Festigkeit und Härte nehmen ab.

Fig.: Warmaushärtung von AlCu4 bei 190°C →

