

Werkstoffe und Fertigung II

Prof.Dr. K. Wegener

Sommersemester 2007

Seminarübung 11

Stähle, Gusseisen, Alu, phys. Eigenschaften

Musterlösung

Institut für Werkzeugmaschinen und Fertigung, ETH Zentrum

Übungsassistenz: Michael Kelterborn, Florian Hofmann, Tobias Ott, Tobias Nösekabel, Jonas Schöndube, Daniel Sutter; Federico Wolff.

Koordination: Willi Müller, CLA F21.1, Tel. 01 633 23 84, wm@iwf.mavt.ethz.ch

Lernziele

Werkstoffe und Fertigung II, Kap. 15, Kap. 16, Kap. 17, Kap. 20,

Kerninformationen

1. Kerbschlagzähigkeit

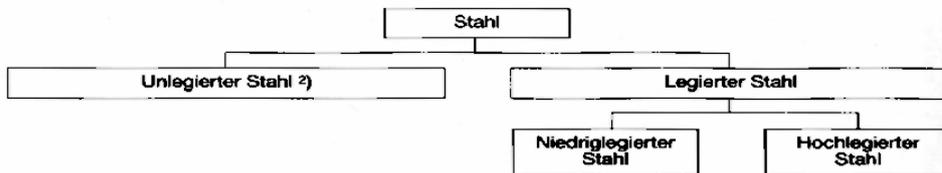
Die Kerbschlagzähigkeit ist ein Mass für die Fähigkeit eines Werkstoffes bzw. Bauteiles, einer hohen, momentanen Belastung ohne Bruch zu widerstehen.

Bei tiefen Temperaturen ist generell die Kerbschlagzähigkeit gering (S-Kurve)

Die Temperatur, bei welcher eine 0.8 cm² –Stahlprobe eine Kerbschlagzähigkeit von 35J/cm² erreicht, wird Übergangstemperatur T_Ü genannt. Die Gebrauchstemperatur muss oberhalb der Übergangstemperatur liegen. Verschlüsselung der Kerbschlagarbeit und der Übergangstemperatur für Stahlbezeichnungen nach Gebrauchseigenschaften:

Prüf-temperatur [°C]	Kerbschlagarbeit [J]		
	27	40	60
20	JR	KR	LR
0	JO	KO	LO
-20	J2	K2	L2
-30	J3	K3	L3
-40	J4	K4	L4
-50	J5	K5	L5
-60	J6	K6	L6

2. Einteilung der Stähle



Bezeichnung

aufgrund der Verwendung und der mechanischen oder physikalischen Eigenschaften

aufgrund des C Gehaltes und des Reinheitsgrades

aufgrund der chemischen Zusammensetzung

Beispiele

S235JRG2
S235 Hauptsymbol
S Stähle für den Stahlbau
 235 Mindeststreckgrenze
JRG2 Zusatzsymbol
JR Kerbschlagarbeit
G2 Desoxidationsart

C45E
C45 Hauptsymbol
C Kohlenstoff
 45 C-Gehalt verschlüsselt
E Zusatzsymbol für Vorgesriebener max. S Gehalt

42CrMo4
 42 C-Gehalt verschlüsselt
Cr, Mo Legierungsbestandteile
 4 Anteil Cr verschlüsselt

X5CrNi18-10
X Kennbuchstabe für Hochlegiert
 5 C-Gehalt verschlüsselt
Cr, Ni Legierungsbestandteile
 18 Anteil Cr in %
 10 Anteil Ni in %

Technische Lieferbedingungen

Baustahl warmgew. SN EN 10025
 Baustahl blank SN EN 10277-2
 Druckbehälterstahl SN EN 10028-2
 Stahlblech SN EN 10111
 Bandstahl SN EN 10139
 Stahlband feuerverzinkt SN EN 10142

Warmgewalzt Blank
 Automatenstahl SN EN 10087 SN EN 10277-3
 Einsatzstahl SN EN 10084 SN EN 10277-4
 Vergütungsstahl SN EN 10083-1/2 SN EN 10277-5
 Nitrierstahl SN EN 10085
 Federstahl SN EN 10132-4
 Stahl für Flamm- u. Induktionshärtung DIN 17212

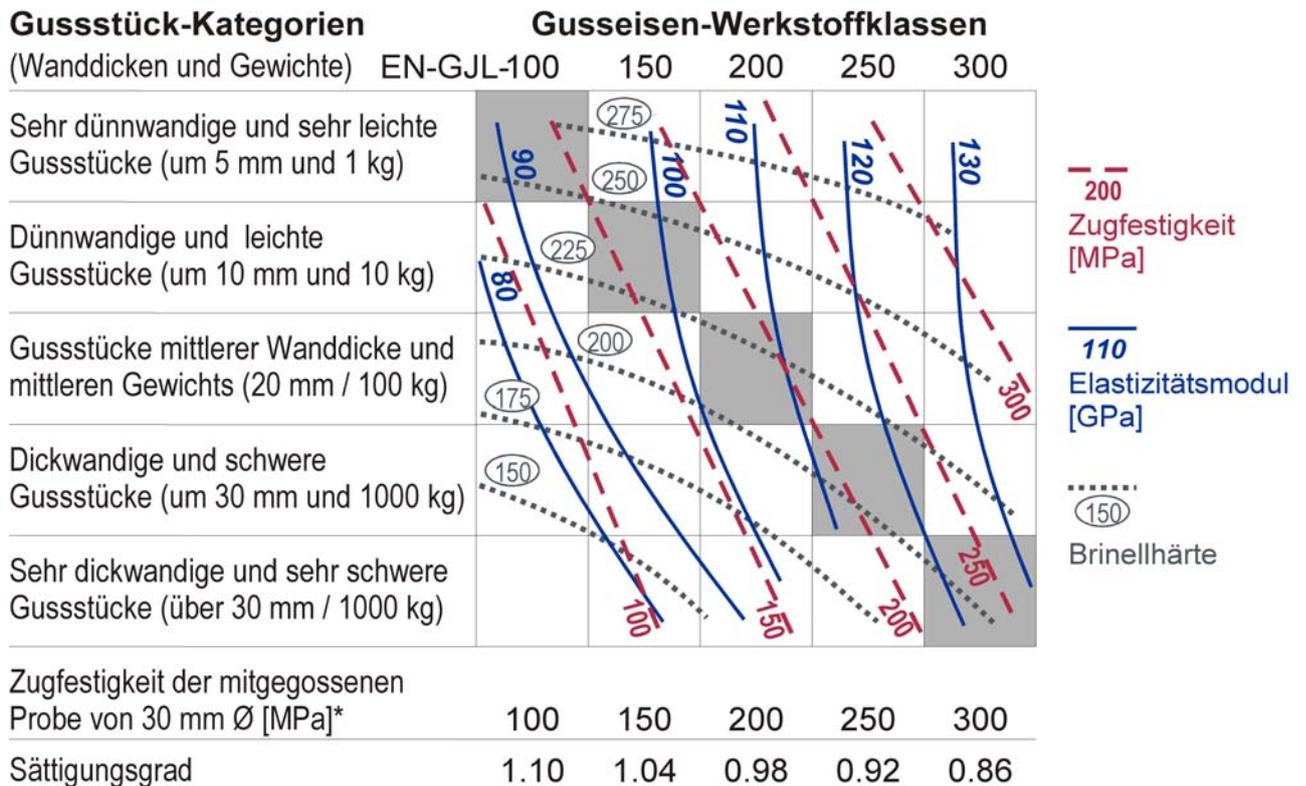
Nichtrostender Stahl SN EN 10088-2/-3
 Werkzeugstahl SN EN ISO 4957

3. Wirkung von Legierungselementen bei Stählen [Meier]

+ Erhöhung - Verminderung ohne Einfluss	Legierungselemente										
	Cr	Ni	Al	W	V	Co	Mo	Si	Mn	S	P
Warmumformbarkeit	-	+	-	-	+	-	+	-	+	-	-
Kaltumformbarkeit		+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Zerspanbarkeit		-	-	-	-	-	-	-	+	+	
Warmfestigkeit	+	+	+	+	+	+	+				
Korrosionsbeständigkeit	+	+		+						-	
Härtetemperatur	+	+	+	+	+	+	+	+	-		
Härtbarkeit, Vergütbarkeit	+	+	+	+	+	+	+	+			
Nitrierbarkeit	+		+	+	+	+	-	+			
Schweisbarkeit	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	
Zugfestigkeit	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Streckgrenze	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Kerbschlagzähigkeit	-	+	-	+	-	+	-	-	-	-	
Verschleissfestigkeit	+	-	+	+	+	+	-	-			

4. Eisen-Kohlenstoff-Gusswerkstoffe

Collaud-Diagramm: Zugfestigkeit, E-Modul und Härte für verschiedene Gusseisen-Werkstoffklassen in Abhängigkeit von der Wandstärke. Die Nummer im Code bezeichnet die Zugfestigkeit R_m , die an einer Probe mit 30 mm Durchmesser ermittelt wurde, was einer Wandstärke von 15 mm bei flächigen Bauteilen entspricht.



* entspricht einer massgebenden Wandstärke von 15 mm

Bearbeitbarkeit: Für gute Bearbeitbarkeit mit spanenden Verfahren gilt eine Härte 240 HB als obere Grenze.

5. Aluminiumlegierungen

• Eigenschaften von Al, Mg und Ti

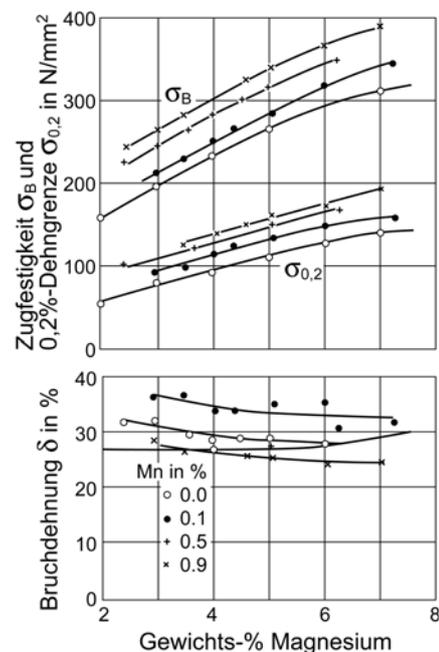
Eigenschaft	Al	Mg	Ti
Dichte [g/cm ³]	2.7	1.8	4.5
E-Modul [N/mm ²]	70'000	43'000	107'000
Querkontraktionszahl ν [-]	0.34	0.29	0.34
Kristallform	kfz	hdp	hdp
Schmelzpunkt rein [°C]	660	651	1668
R _m rein (Zugfestigkeit) [N/mm ²]	40 ... 130	—	290 ... 740
Elektr. Leitfähigkeit rein [%Cu]	60	40	4
Wärmeleitfähigkeit rein [%Cu]	56	5	5
Festigkeitssteigerung	Kaltverformung, Auslagern bis R _m = 700 MPa	Auslagern bis R _m = 350 MPa	Stabilisieren krz, Ausscheidung TiAl, TiAl ₃ bis R _m = 1500 MPa
Fügen	schweisbar (Nachbeh.) schlecht lötlbar	WIG-Schweißen mögl., nicht lötlbar	schweisbar mit 7% Al, lötlbar im Vakuum
Korrosion	beständig (Oxidhaut), nicht seewasserbest.	empfindlich, Kontaktkorrosion	Oxidhaut, seewasserbeständig, säurefest
Bemerkung	gut kaltumformbar, eloxierbar	nicht kaltumformbar	schwer kaltumformbar
Brennbarkeit	Schleifstaub explosiv	Späne entflammbar, Schleifstaub explosiv	Schleifstaub feuergefährlich

• Aushärtbare / nicht aushärtbare Al-Legierungen

Bei nicht aushärtbaren Al-Legierungen ist eine Steigerung der Streckgrenze nur durch Mischkristallhärtung, Härtung durch Versetzungen (Kaltverformung) und Kornfeinung (Korngrenzenhärtung) möglich, bei aushärtbaren zusätzlich und vor allem durch Ausscheidungshärtung. Für Ausscheidungshärtung müssen bestimmte Legierungsbestandteile in richtiger Menge vorliegen, damit im Aushärtprozess (Lösungsglühen, Abschrecken, Auslagern) Teilchen von feiner Verteilung, genügender Grösse und genügender Festigkeit entstehen.

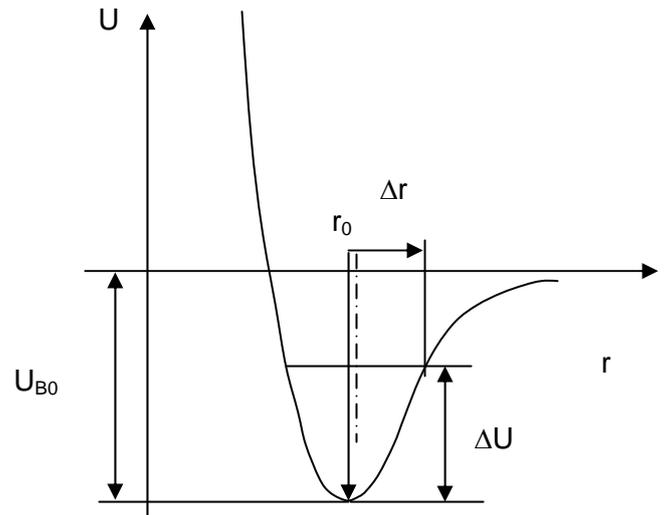
>>

Festigkeit und Bruchdehnung von Al-Mg-Mn-Legierungen



6. Bindungsenergie

- Grosse Bindungsenergie U_{B0} bedeutet hohe Schmelztemperatur.
- Asymmetrischer Kurvenverlauf bedeutet Wärmedehnung.
- Enge Potentialkurve bedeutet hohen E-Modul.
 r : Abstand zwischen 2 Atomen
 U : Potential der anziehenden und abstoßenden Kräfte



7. Wärmeausdehnung

Die temperaturabhängige Längenzunahme beträgt:

$$\Delta l = \alpha \cdot l_0 \cdot \Delta T$$

- α linearer Ausdehnungskoeffizient
 l_0 Ausgangslänge
 ΔT Temperaturänderung [K oder °C]

Material	α [10^{-6} m/mK]
Fe	11.7
X10CrNi 18-8	16.0
Al	23.8
Cu	16.2
Mg	24.6
Ti	18.8
Ni	13.3

1 Werkstoffauswahl

Für den Einsatz an einem Wintersportgerät haben sie einen Stahlwerkstoff ins Auge gefasst, der bei Raumtemperatur eine Kerbschlagzähigkeit von 35J/cm^2 aufweist.

- a) Wie gross ist die Kerbschlagarbeit an einer Probe mit Querschnitt 0.8 cm^2 ?
- b) Wie hoch ist die Übergangstemperatur?
- c) Wie beurteilen Sie die Eignung des Stahles für den geplanten Einsatz?
- d) welche Bezeichnung könnte dieser Stahl haben?

Lösung:

- a) *Die Kerbschlagarbeit E_k = Kerbschlagzähigkeit a_k * engste-Probenquerschnittsfläche-beim-Kerb A_0 an einer Probe mit Querschnitt 0.8 cm^2*
 $E_k = 35\text{ J/cm}^2 * 0.8\text{ cm}^2 = 28\text{ J}$
- b) *Die Übergangstemperatur T_U ist die Temperatur, bei der ein Werkstoff eine Kerbschlagzähigkeit von 35J/cm^2 aufweist. Hier ist also die Übergangstemperatur gleich der Raumtemperatur, 20°C .*
- c) *Die Temperatur des geplanten Einsatzes muss oberhalb der Übergangstemperatur liegen. Der Werkstoff ist für einen Einsatz im Freien ungeeignet.*
- d) *Mögliche Bezeichnung: S235JR*

2 Stahlbezeichnungen

Erklären Sie die Stahlbezeichnungen:

Lösung:

a) S275J2G4

S: Stahl für den Stahlbau
275: Mindeststreckgrenze = 275 N/mm²
J2: Übergangstemperatur -20°C, Kerbschlagarbeit = 27 J bei dieser Temperatur.
G4: beruhigt.

b) C15E

C: Unlegierter Stahl, Edelstahl
15: 15/100 = .15% C
E: Schwefelgehalt ≤ 0.035%

c) 16MnCr5

16 = 0.16% - C
Mn 5 = 5/4% Mn = 1.25%
Cr = Cr-Gehalt < Mn-Gehalt, nicht genau definiert
Einsatzstahl, niedriglegiert

d) 42CrMo4

42 = 0.42% C
Cr 4 = 4/4 % = 1% Cr
Mo = Mo-Gehalt < Cr-Gehalt
Vergütungsstahl, niedriglegiert

e) 34CrAlMo5

34 = 0.34% - C
Cr 5 = 5/4% Cr = 1.25%
AlMo = Al und Mo niedriger, von links nach rechts fallend
Nitrierstahl

f) 10S20

10 = 0.10% - C
S20 = 20/100% S = 0.2%
Automatenstahl

g) X6CrNiMo17-13

0.06% - C
17% - Cr
13% - Ni
Mo nicht angegeben
Korrosionsbeständiger, hochwarmfester Stahl

3 Legierungselemente im Stahl

Welche Legierungselemente wird

Lösung gem. Tab. Kerninfo/Skript

- | | |
|--|-------------------|
| a) ein Stahl enthalten, der gut zerspanbar ist? | S, P; Pb (Skript) |
| b) ein Stahl enthalten, der korrosionsbeständig ist? | Cr, Ni, V |
| c) ein Stahl enthalten, der gut schweisbar ist? | Al, V |
| d) ein Stahl enthalten, der eine hohe Kerbschlagzähigkeit hat? | Ni, V, Mo |

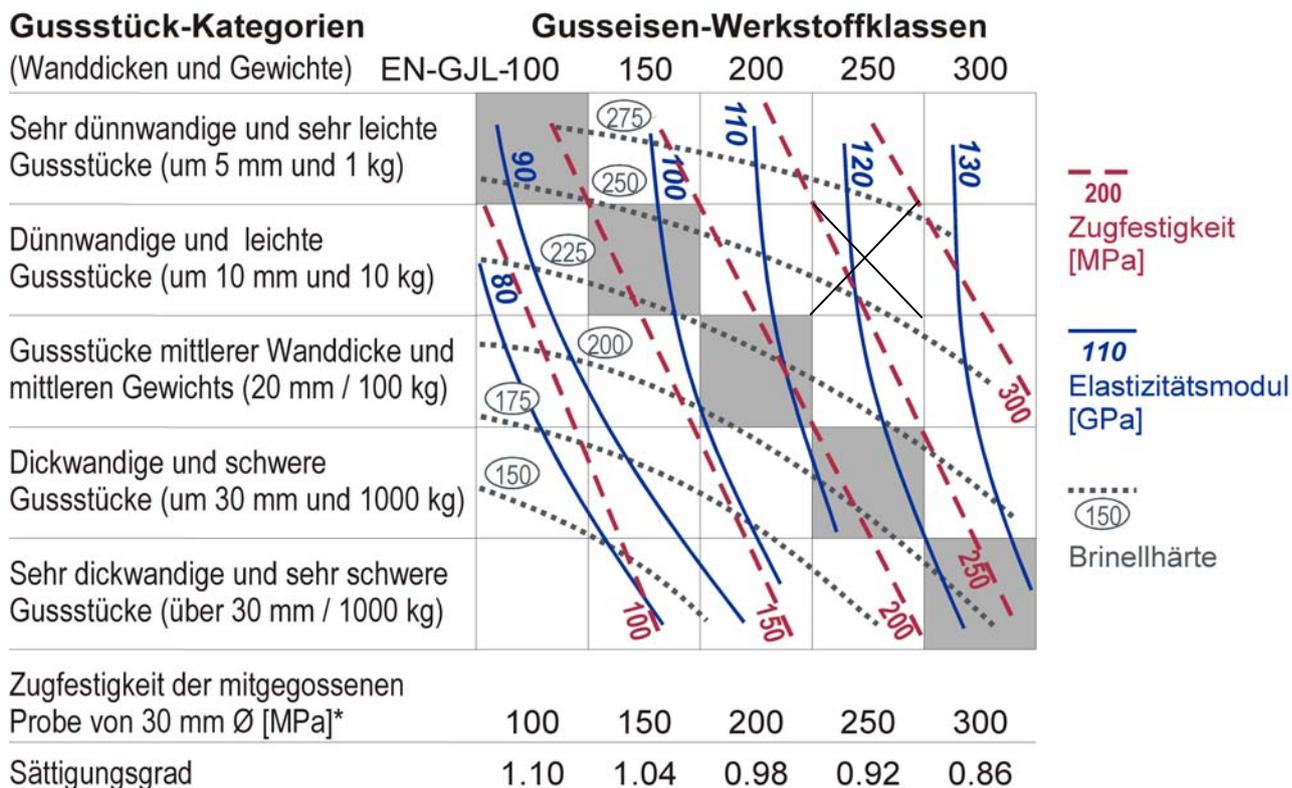
4 Festigkeit von Grauguss

Ein Gussteil (Wandstärke etwa 10 mm) wird aus EN-GJL-250 hergestellt.

- Geben Sie die erwartete Zugfestigkeit dieses Teils an.
- Wie schätzen Sie die Bearbeitbarkeit (Zerspanen) des Teils ein?

Lösung:

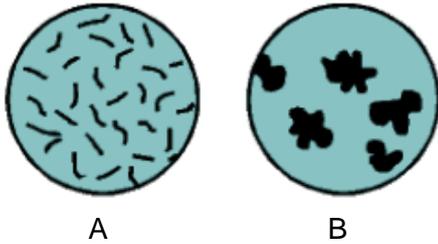
- Die Festigkeit liegt bei 270 MPa (aus Collaud-Diagramm)
- Aus dem Collaud-Diagramm liest man eine Härte von etwa 260 HB ab. Das liegt über den 240 HB, die als Maximalwert für gute Bearbeitbarkeit gelten. Die Bearbeitung dürfte deshalb schwierig sein.



* entspricht einer massgebenden Wandstärke von 15 mm

5 Zug- und Druckfestigkeit von Grauguss

Zwei Gussstücke weisen die abgebildeten Graphitformen im Gefüge auf (schematisch):



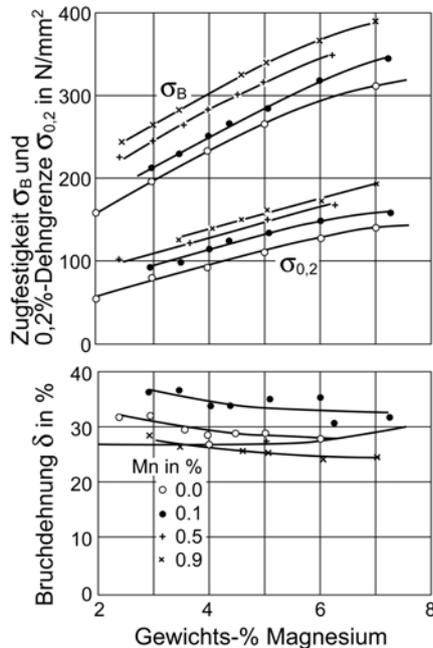
- Welches Stück weist die höhere Zugfestigkeit auf? Weshalb und unter welchen Bedingungen?
- Bei welchem Stück erwarten Sie einen grösseren Unterschied zwischen Zug- und Druckfestigkeit?
- Worauf sind die Unterschiede zwischen Zug- und Druckfestigkeit zurückzuführen?

Lösung:

- B hat die höhere Zugfestigkeit als A, sofern die Matrix (der Eisenwerkstoff, in welchen der Graphit eingebettet ist) bei A nicht wesentlich besser ist als bei B.*
- Bei A ist der Unterschied höher.*
- Bei Zug löst sich die Matrix von den Graphitteilchen ab, diese tragen nicht mit. Der tragende Querschnitt wird dadurch reduziert. Dies ist bei Lamellengraphit ausgeprägter als bei Kugelgraphit. Die Schwächung der Matrix durch Graphitlamellen entspricht der Bildung von Risskeimen. Bei Druck trägt der Graphit die Belastung mit.*

6 Aluminiumlegierungen

- Worauf beruht die Festigkeitssteigerung von Mg in einer Al-Mg-Legierung?
- Wie wirkt sich der Mg-Gehalt auf die Streckgrenze und die Bruchspannung aus?
- Wie wirkt sich ein Zulegieren von 0.9% Mn aus?
- Handelt es sich dabei um eine aushärtbare Legierung?



Festigkeit und Bruchdehnung von Al-Mg-Mn-Legierungen

Lösung:

a) Festigkeitssteigerung einer Al-Mg-Legierung ist durch

- Mischkristallhärtung (Behinderung des Versetzungsgleitens durch Legierungsatome)
- Versetzungshärtung (Kaltverformung, Behinderung des Versetzungsgleitens durch andere Versetzungen)
- Korngrenzenhärtung (Feinkorn. Behinderung des Versetzungsgleitens durch Korngrenzen)

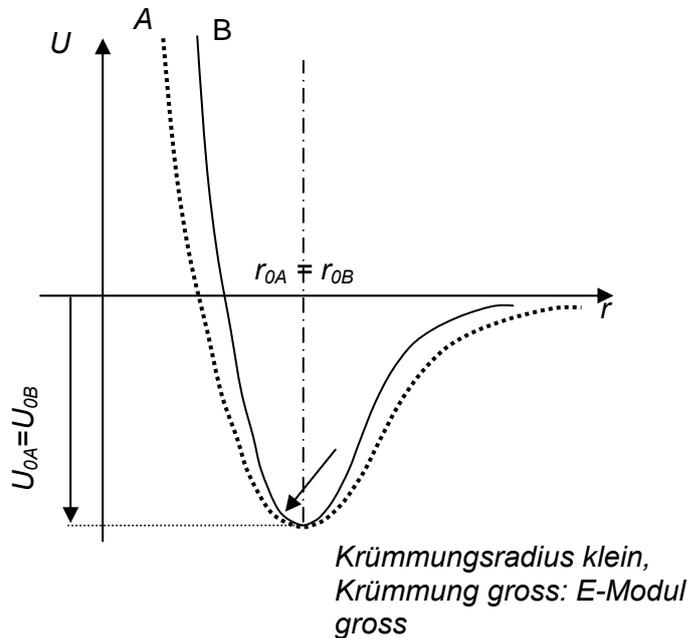
b) Sowohl Streckgrenze als auch Bruchspannung steigen mit zunehmendem Mg -Gehalt infolge Mischkristallhärtung an.

c) Das Zulegieren von 0.9% Mangan Mn bewirkt eine Steigerung der Festigkeitswerte von ca. 30%

d) Al-Mg-Legierungen sind nicht aushärtbar. Die oberhalb 5% Mg sich bildenden Teilchen haben keine Festigkeitssteigerung zur Folge.

7 Bindungsenergie

Zeichnen Sie qualitativ den $U(r)$ -Verlauf für zwei Werkstoffe mit der gleichen Gitterkonstanten, die die gleichen Schmelztemperaturen, jedoch unterschiedliche E-Moduli aufweisen.



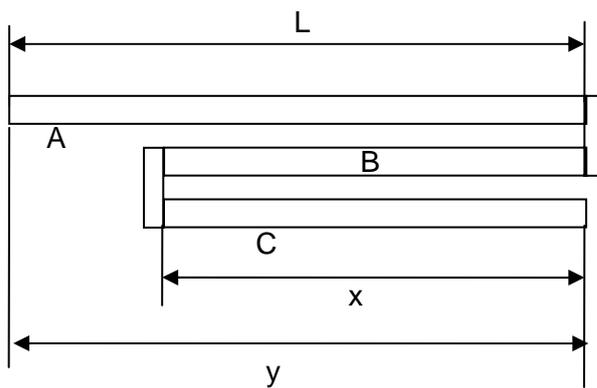
Erklärung:

- $U(R)$ ist das Potential der anziehenden und abstossenden Kräfte zwischen zwei Atomen, auf Null normiert bei grossem Abstand. U_0 ist das Potential beim Kräftegleichgewicht, wenn der Abstand der Gitterkonstanten entspricht.
- Gleiche Schmelztemperatur heisst $U_{0A} = U_{0B}$.
- Die Ableitung des Potentials nach dem Abstand ergibt die Kraft, die Ableitung der Kraft nach dem Abstand ist proportional zum E-Modul: Der E-Modul ist grösser, wenn der Krümmungsradius klein ist. Hier also $E_A < E_B$.

8 Thermische Ausdehnung

Gegeben ist eine Konstruktion aus den drei Stäben A, B, C mit Verbindungsjochen. Wie gross muss x sein, damit die Länge y konstant bleibt bei Änderung der Temperatur T ?

	Länge bei T_0	Material	linearer Ausdehnungskoeffizient α [10^{-6} K^{-1}]
A	$L=200 \text{ mm}$	Eisen	11.7
B	x	Aluminium	23.8
C	x	Eisen	11.7



Lösung:

Temperaturabhängige Längenzunahme:

$$\Delta l = \alpha \cdot l_0 \cdot \Delta T$$

$$\Delta y = \Delta l_A - \Delta l_B + \Delta l_C = (\alpha_A \cdot L - \alpha_B \cdot x + \alpha_C \cdot x) \cdot \Delta T = 0$$

$$x = L \cdot \frac{\alpha_A}{\alpha_B - \alpha_C} = \frac{11.7}{23.9 - 11.7} = 0.9669 \cdot L = 193 \text{ mm}$$