

RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM

ADVANCED MATERIALS PROCESSING AND MICROFABRICATION

Urformen im Zustand Fest-Flüssig (Thixotrope Formgebung)

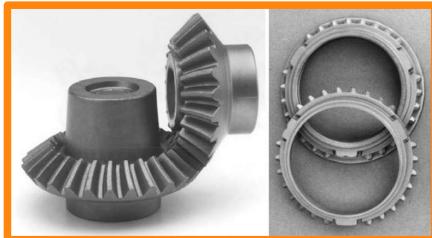
Struktur

1. Frage- bzw. Problemstellung anhand eines Vergleichs:
Vor- und Nachteile des Gesenkschmiedens und des Druckgießens
2. Tafel: Binäres Phasendiagramm Al-Si
3. Thixotropie
4. Urformen im Fest-Flüssigen Zustand: Thixo- vs. Rheo-Prozess
5. Anwendungs- / Produktbeispiele
6. Verwendung für Mg- und Al-Basis-Werkstoffe
7. Verwendung für Fe-Basis-Werkstoffe
8. Zusammenfassung & weiterführende Literatur
9. Anhang: Sintern im Phasengebiet Fest-Flüssig

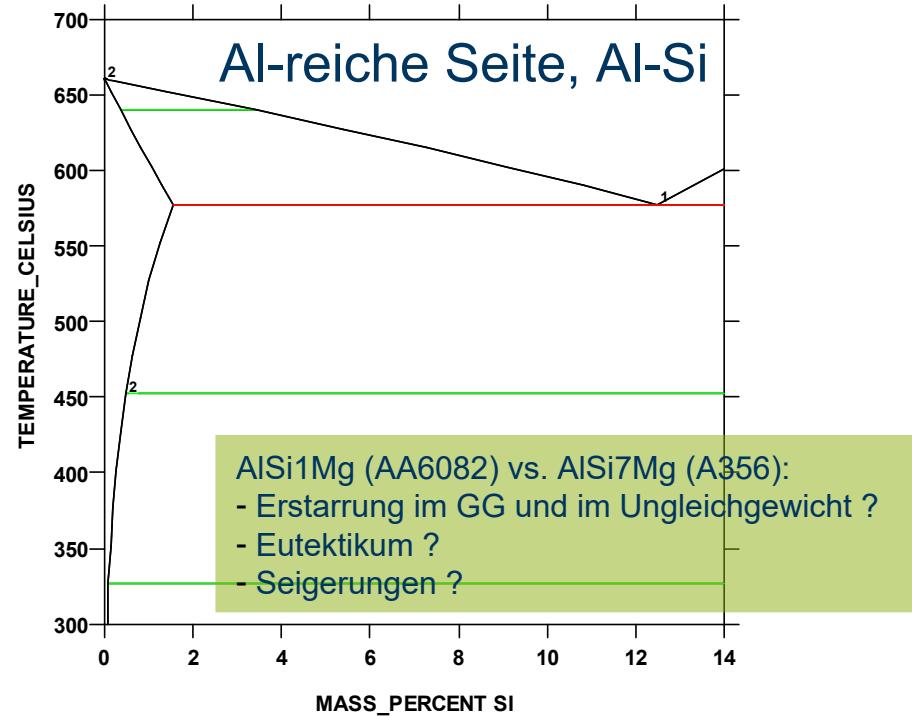
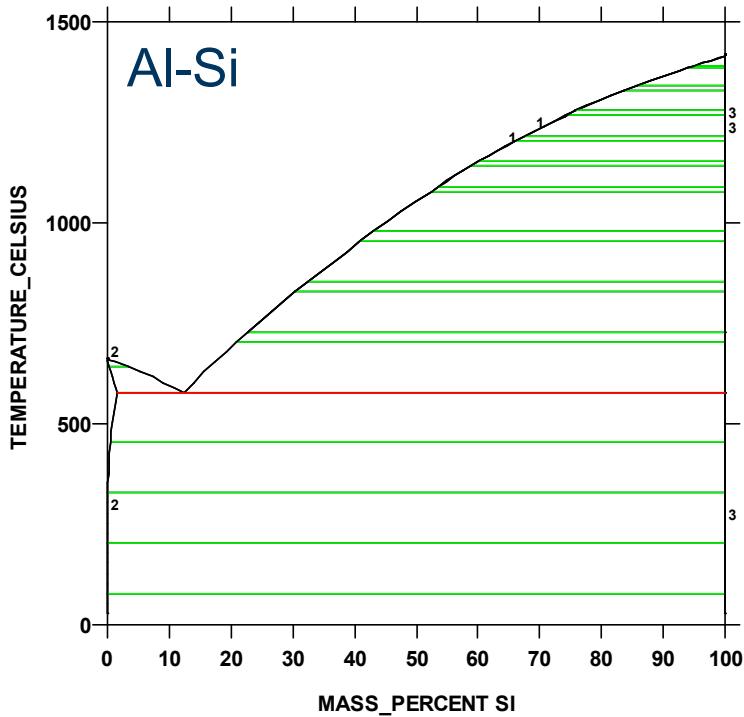
Frage-/ Problemstellung

Welche grundsätzlichen Ziele verfolgen
Warmumform- und Gießprozesse ?

Vergleichen Sie beispielhaft das **(Gesenk)schmieden** mit
dem **Druckgießen** und identifizieren Vor- und Nachteile der
Verfahren!



Binäres System Al-Si



Was bedeutet „Thixotropie“ ?

- Eigenschaft eines „festen“ Körpers, bei Einwirkung einer Scherkraft eine zeitabhängige Änderung seiner Viskosität zu zeigen.
- Beispiel: Ein Gel, das im ungescherten Zustand eine hohe Viskosität aufweist, die jedoch durch eine Scherkraft verringert wird, was zum Fließen des Materials führt.
- Wichtige Eigenschaft in der Geologie, da sich einige Lehmböden thixotrop verhalten (siehe Foto)
- Unterschied zu „pseudo-plastisch“: Änderung der Viskosität als Funktion der Scherrate
- In technischen Prozessen kann oftmals nicht exakt zwischen „thixotrop“ und „pseudo-plastisch“ unterschieden werden, da sowohl eine Scherraten- als auch eine Zeitabhängigkeit auftreten.



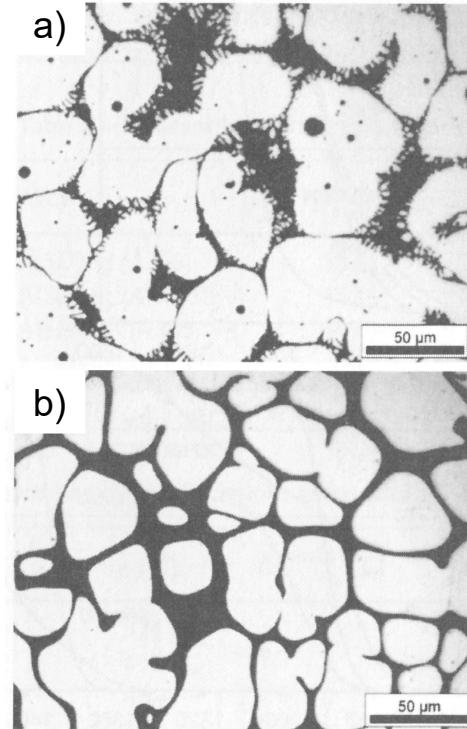
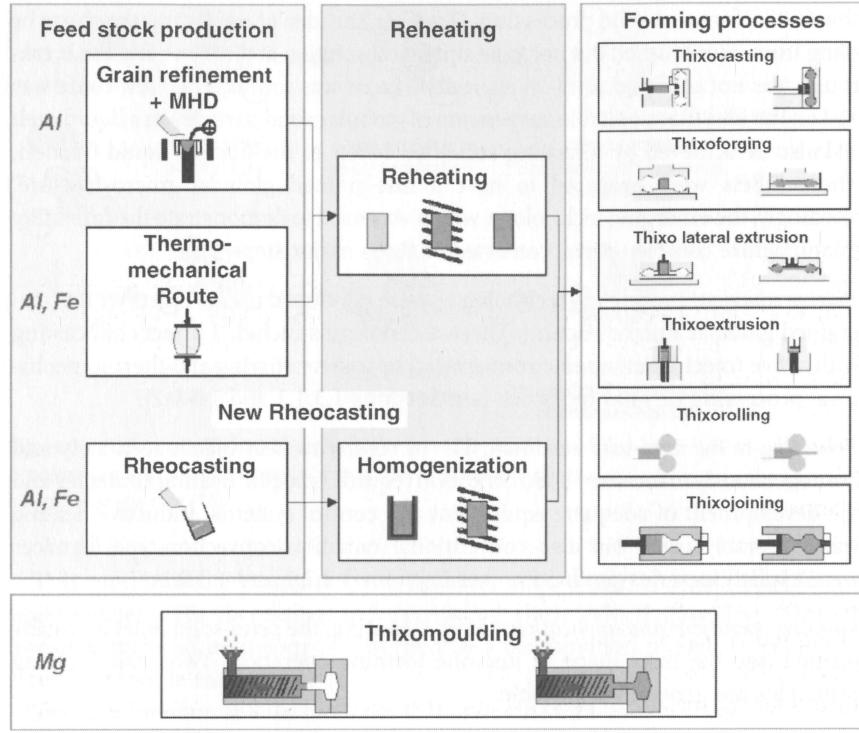
Blue Lias cliffs at Lyme Regis, Dorset, UK (Wikipedia)

Thixotropie metallischer Legierungen

- Legierungen können in einem teilflüssigen Zustand thixotrop sein
- Scharfe Trennung zur „Pseudo-Plastizität“ nicht möglich, da teilflüssige Metalle eine Abhängigkeit von Zeit und Scherrate aufweisen können
- Erste Arbeiten zum Fließverhalten teilflüssiger Metalle in den 1970er Jahren durch *Flemings et al.*
- Technische Nutzung z.B. beim „Thixo-Casting“
- In Europa starkes Interesse Ende der 1980er Jahre
- Konkurrenz durch weiterentwickelte Gießverfahren im vollständig flüssigen Zustand, v.a. aufgrund:
 - Kostendruck
 - Prozessstabilität
 - Einschränkung der Materialauswahl
 - Frage und Lernziel für die Vorlesung: **Warum bestehen diese Einschränkungen?**

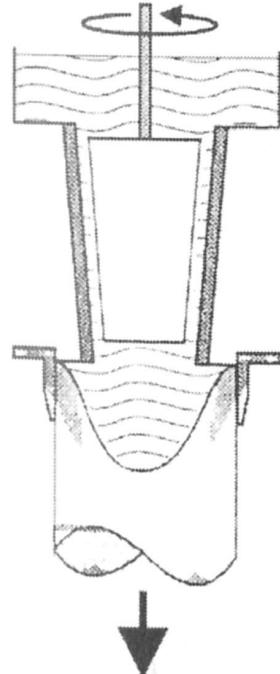
Flemings et al., Materials Science and Engineering 25 (1976), 103-117

Thixotropie vs. Rheo: Prozesse

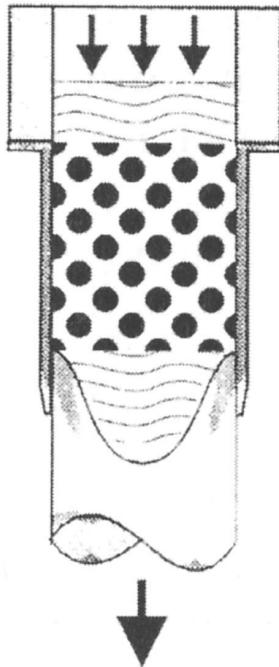


Gefüge einer Al-Si-Mg Legierung nach dem Abschrecken aus einem fest-flüssigen Zustand:
a) „Thixo-Route“
b) „Rheo-Route“

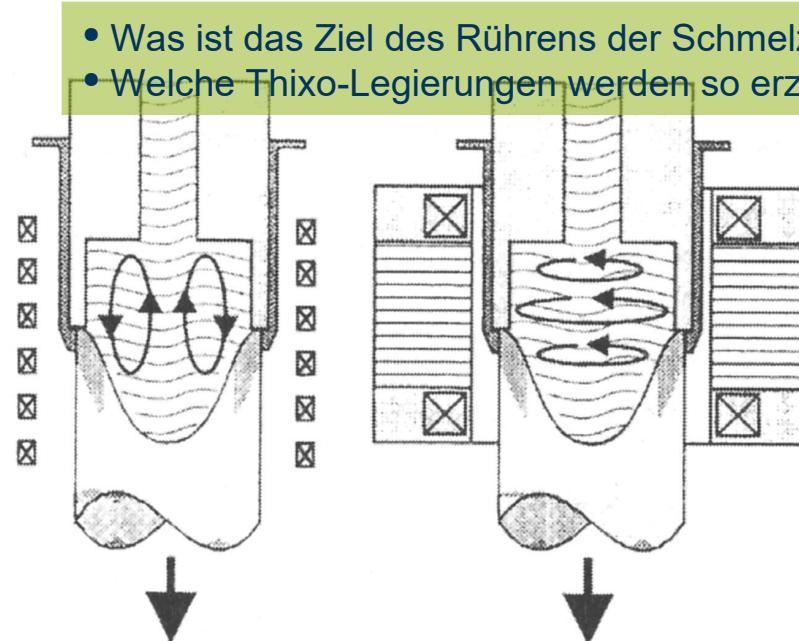
Thixotropie vs. New Rheocasting: Prozesse



mechanisch



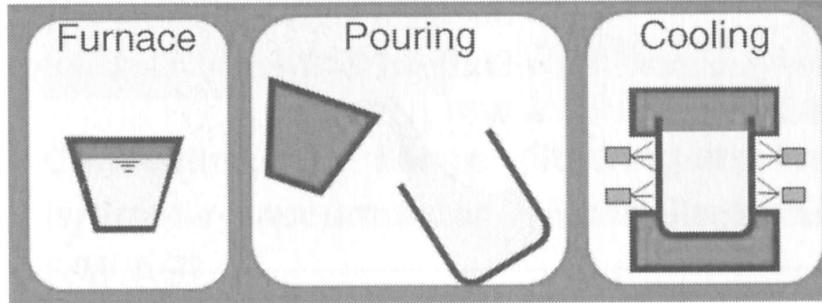
passiv mit Filter



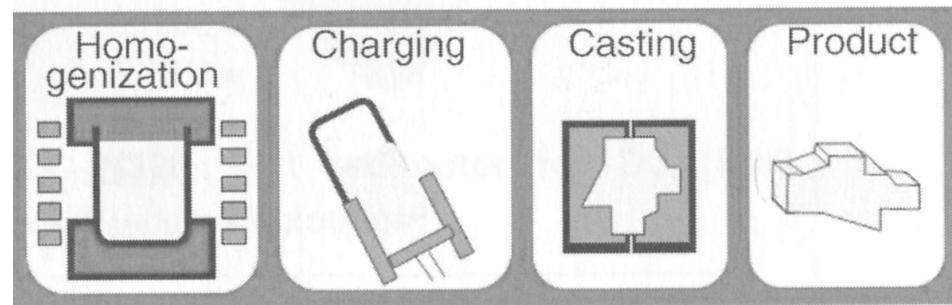
elektromagnetisch (MHD)

- Was ist das Ziel des Rührens der Schmelze?
- Welche Thixo-Legierungen werden so erzeugt und warum?

Thixotropie vs. New Rheocasting: Prozesse



(a) von der Schmelze
zum Block



(b) vom Block
zum Bauteil

Der (kontinuierliche) „New Rheocasting“ (RCP) Prozess

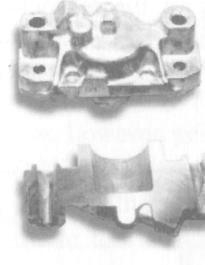
Anwendungsbeispiele Thixoformen



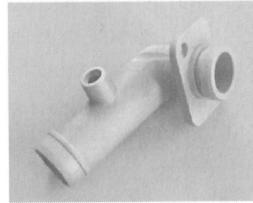
Spaceframe knot Audi A8 [SAG Thixalloy]



Doorframe part Audi A3 [Audi AG]



Brake master cylinder [EFU]



Connecting flange hydraulic accumulator [VW AG]



Steering arm for DC W220 [Alcan Singen GmbH]



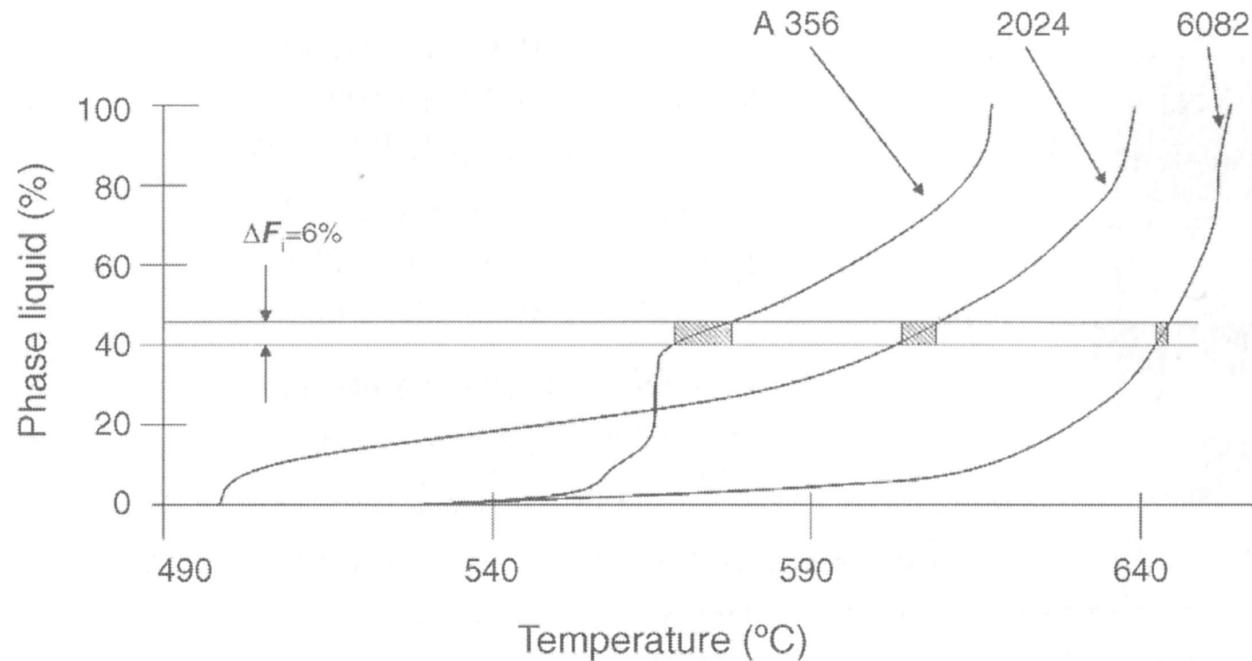
Belt redirector for DC [SAG Thixalloy]

Verwendung für Mg- und Al-Legierungen

	T _s [°C]	T _l [°C]	ΔT ⁴⁰⁻⁶⁰ [°C]	Si	Mg	Cu	Mn	Zn	Al
AlSi7Mg (A356)	557	614	17	6,5-7,5	0,3-0,4	-	-	-	Rest
AlSi1Mg (AA6082)	557	647	7	0,7-1,3	0,6-1,2	-	0,4-1,0	-	Rest
AlSi9 (A380)	548	603	10	7,5-9,5	-	3,0-4,0	-	-	Rest
AZ91	470	600	22	-	Rest	-	0,15	0,4-1,0	8,3-9,7

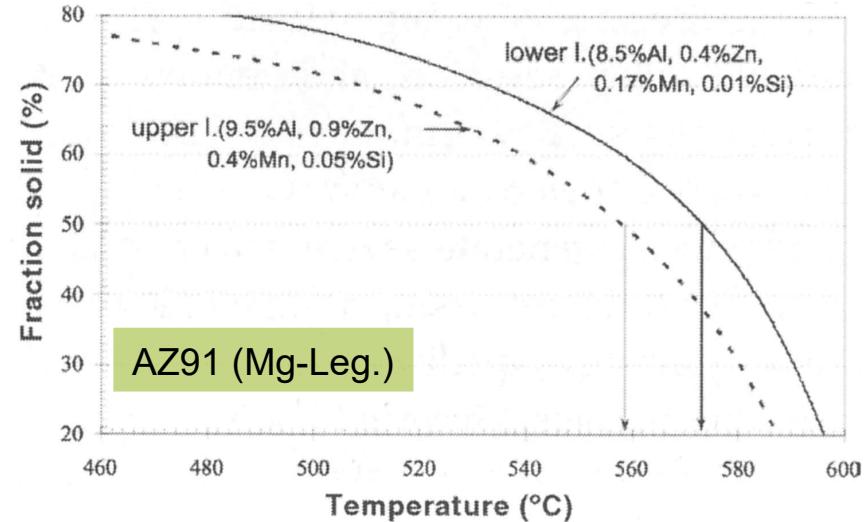
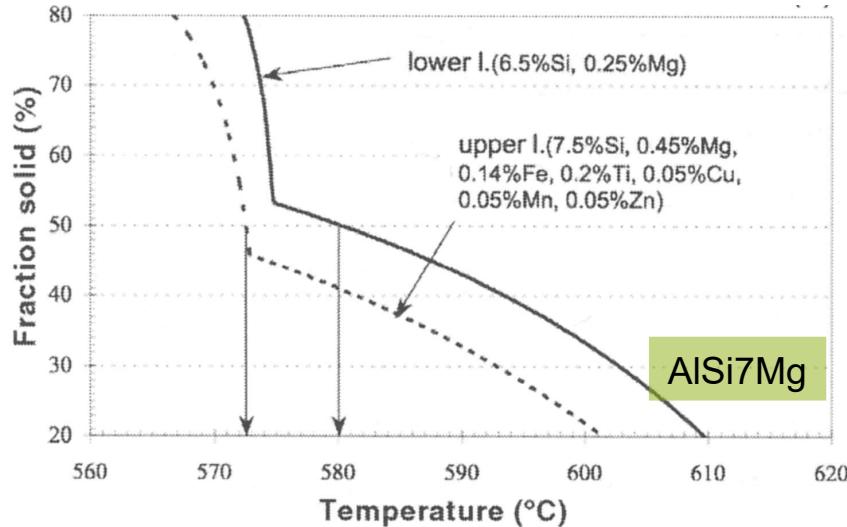
- Das Verhalten der ersten beiden Legierungen, AlSi7Mg und AlSi1Mg, kann anhand des binären Systems Al-Si abgeschätzt werden.
- Welcher Wert wirkt sich besonders auf die Prozessstabilität aus?
- Warum sind die ersten beiden Werte für T_s gleich?

Verwendung für Mg- und Al-Legierungen



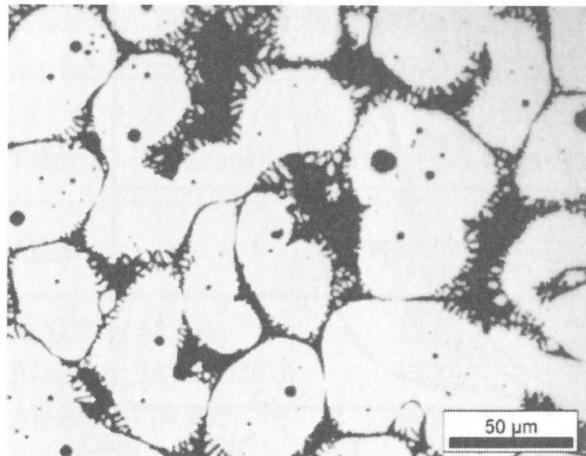
Typische Werte des Flüssigphasenanteiles: 40-60 Vol.-% für Thixocasting, 10-25 Vol.-% für Thixoforging

Verwendung für Mg- und Al-Basis-Werkstoffe

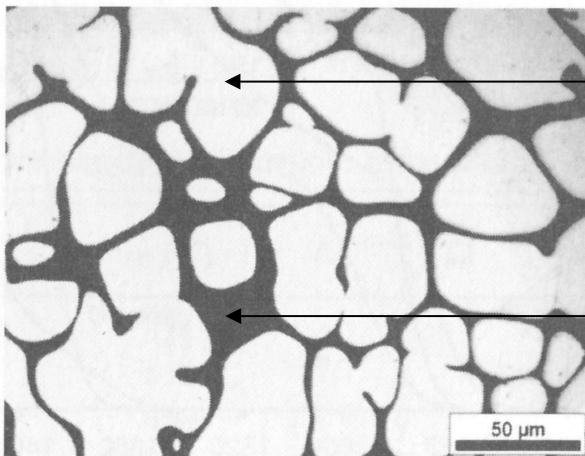


- Berechnete Festphasenanteile („fraction solid“, Vol.-%) für die obere und untere Grenze der zulässigen Legierungszusammensetzung.
- Pfeile zeigen die Verschiebung der Temperatur für einen Soll-Festphasenanteil von 50 Vol.-% an.
- Was ist im Falle der Legierung AlSi7Mg besonders kritisch?

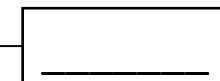
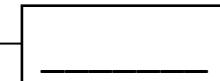
Verwendung für Mg- und Al-Basis-Werkstoffe



(a)



(b)



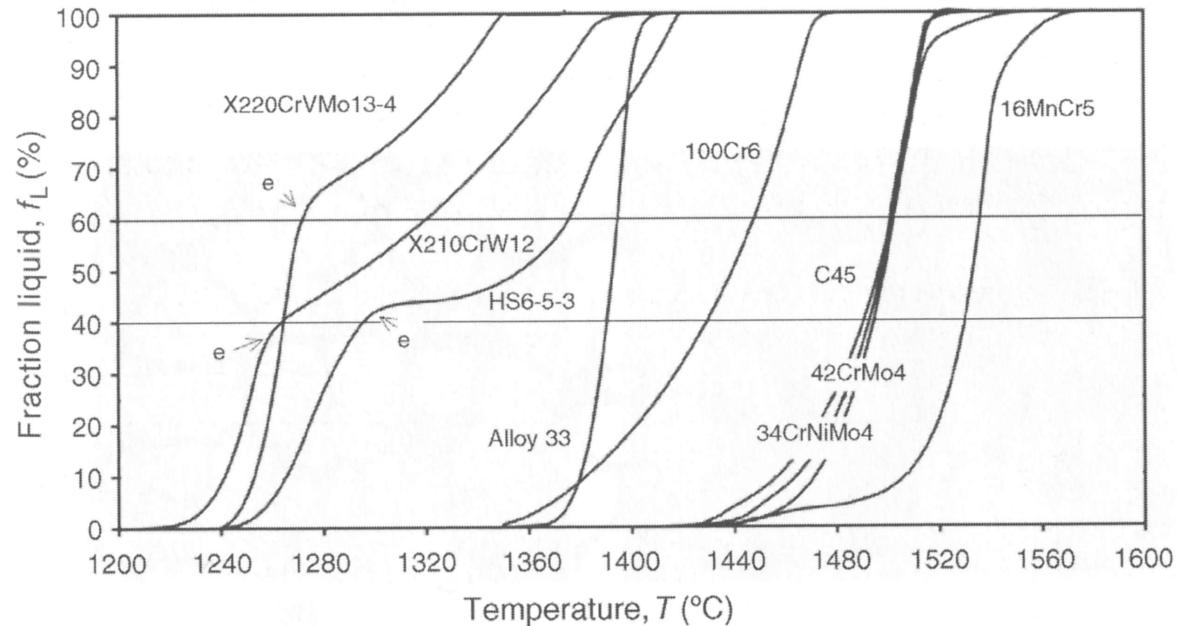
- Thixo-Vormaterial A356: (a) Thixo-Route (b) Rheo-Route
- In (a) eingeschlossene Flüssigphase, bedingt durch den Prozess
- Wichtig: Separation von Flüssigphase und Festphase bei der Erwärmung

Verwendung für Fe-Basis-Werkstoffe

	T_s [°C]	T_L [°C]	ΔT^{40-60} [°C]	C	W	Mo	V	Cr
100Cr6 (1.3505)	1348	1461	19	0,93-1,05	-	<0,1	-	1,35-1,6
X210CrW12 (1.2436)	1221	1366	50	2-2,3	0,6-0,8	-	-	11-13
HS6-5-2 (1.3343)	1175	1432	35	0,86-0,94	5,9-6,7	4,7-5,2	1,7-2,1	3,8-4,5

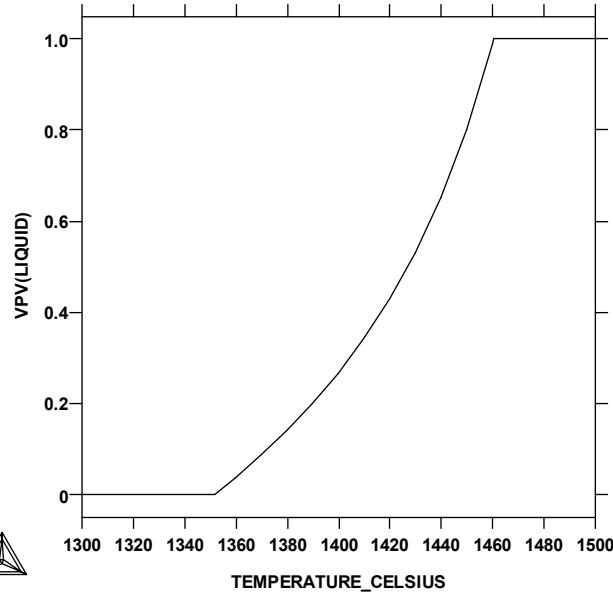
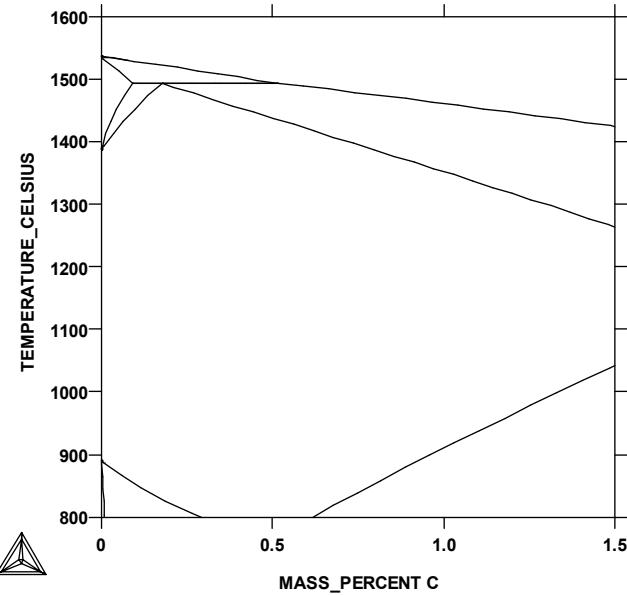
- Auch hier: Unterschiede durch Legierungsgrenzen sind zu erwarten
- Was bedeuten die Werte für T_s und T_L für den Prozess ?
- Welche Legierung erstarrt z.T. eutektisch? Art des Eutektikums ?
- Qualitativ: Eignung für Semi-Solid-Processing ?

Verwendung für Fe-Basis-Werkstoffe



Erstarrungskurven unterschiedlichen Eisenbasis-Werkstoffe, (e) indiziert einen eutektischen Punkt.
Welche Werkstoffe sind geeignet?

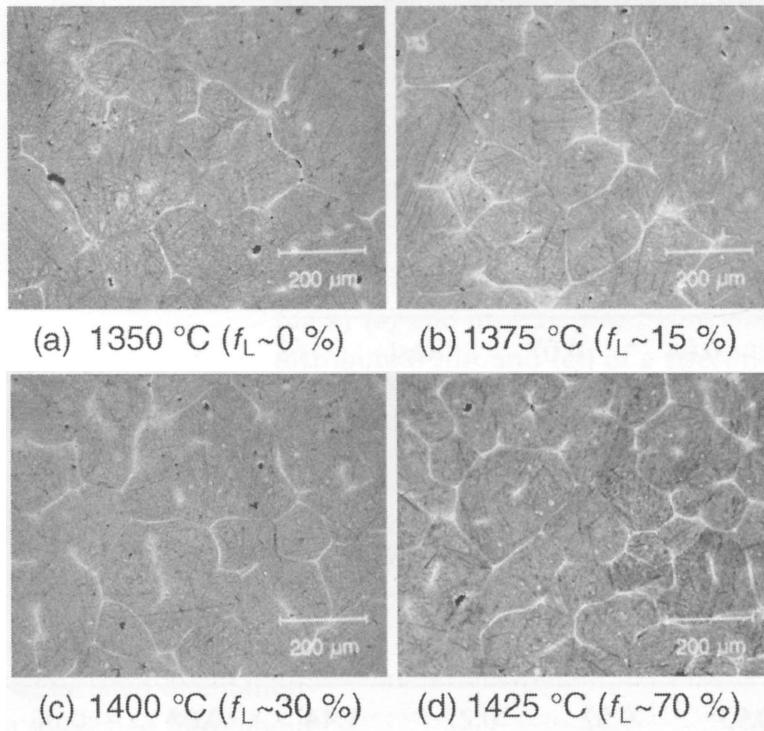
Verwendung für Fe-Basis-Werkstoffe: 100Cr6



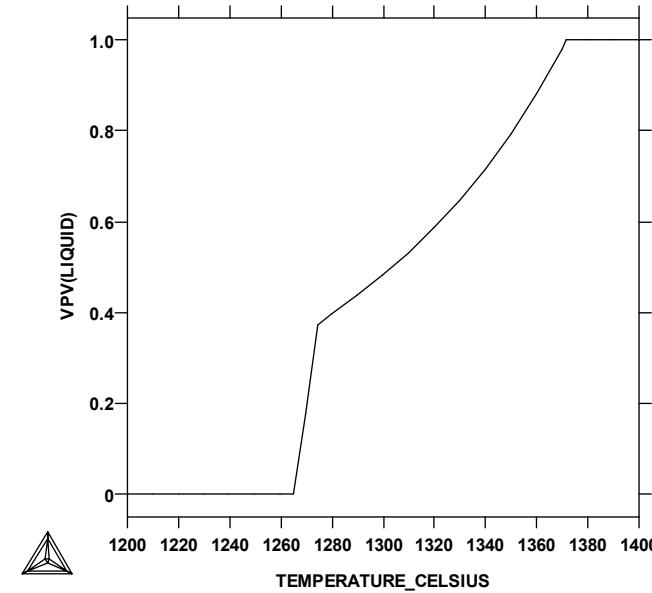
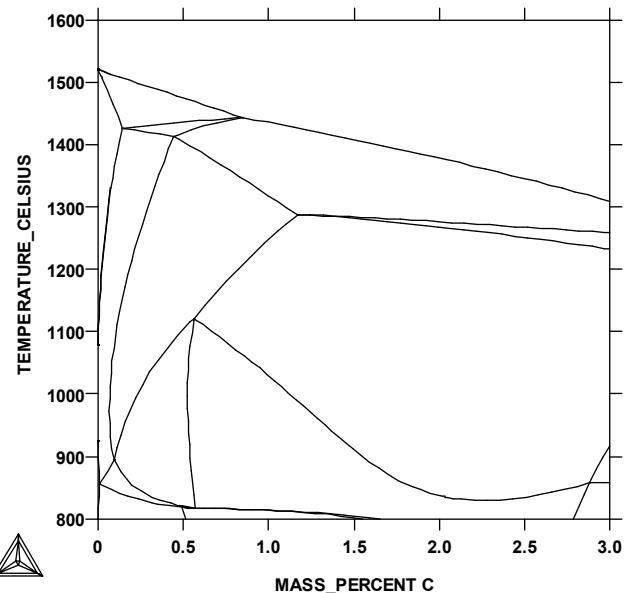
- Welche Phasenfelder liegen vor ?
- Wie erfolgt die Erstarrung ?
- Was sind die berechneten Werte von T_s und T_l ?

Verwendung für Fe-Basis-Werkstoffe: 100Cr6

- Gefüge von 100Cr6 nach dem Abschrecken in Wasser aus dem teilflüssigen Zustand
- Heller Bestandteil im Wesentlichen RA
- Keine Quantifizierung f_L mit Metallographie möglich => DTA

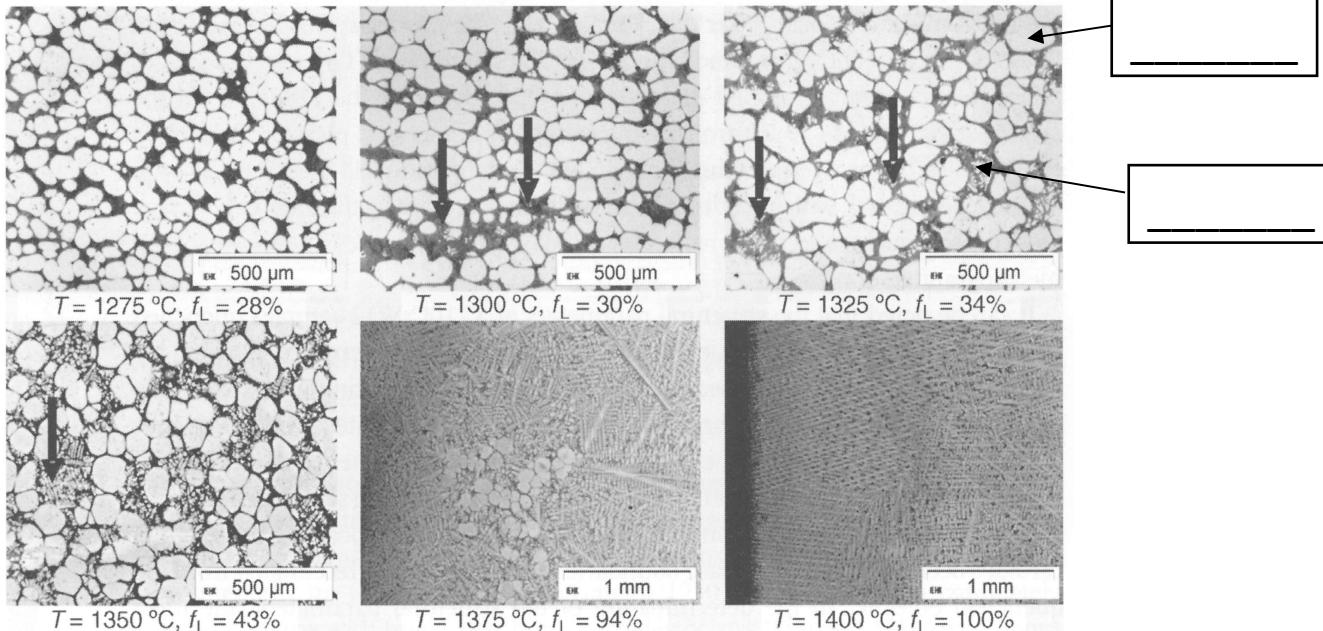


Verwendung für Fe-Basis-Werkstoffe: X210CrW12



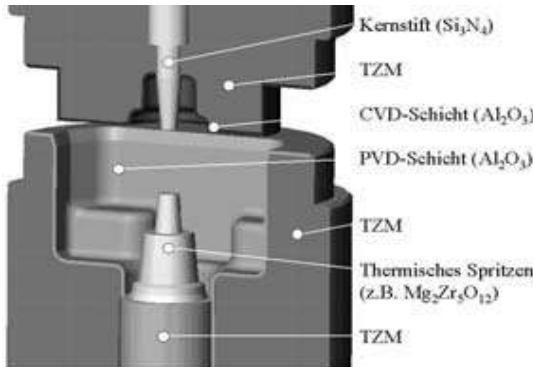
- Welche Phasenfelder liegen vor (bei $C=C_{\text{nom}}$ und $T>1100^\circ\text{C}$)?
 - Wie erfolgt die Erstarrung ?
 - Was sind die berechneten Werte von T_s und T_L ?

Verwendung für Fe-Basis-Werkstoffe



Gefüge des Kaltarbeitsstahles X210CrW12 nach Abschrecken von unterschiedlichen Temperaturen, f_L = Flüssigphasenanteil nach DTA

Werkzeugschäden durch Thixoschmieden von 100Cr6



Thixoschmieden von 100Cr6 bei 1420°C



Korrosion im Gesenk



Gratbildung



Verschleiß an Stempel
nach 8 Schmiedungen

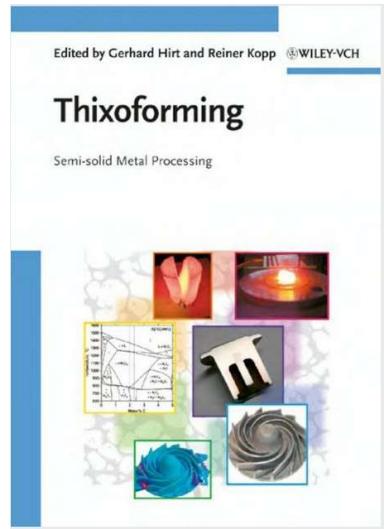
Zusammenfassung

- „Thixotropie“ ist definiert als zeitliche Änderung der Viskosität.
- Metallische Werkstoffe in einem teilflüssigen Zustand können thixotrope Eigenschaft haben.
- „semi solid processing“ ist der englische Fachbegriff für diese Verfahren.
- Entscheidender Einfluss durch Mikrostruktur: Verteilung Fest-/Flüssigphase bei Prozesstemperatur.
- „semi solid processing“ ist nur geeignet für Legierungen, nicht für reine Metalle.
- Mehrere „klassische“ Fertigungsverfahren lassen sich thixotrop durchführen.
- Prozessstabilität u.a. abhängig von dem Fest-Flüssigphasenanteil als $f(T)$.
- Thixocasting ist etabliert und gut geeignet für Al- und Mg-Legierungen.
- I.d.R. zu hohe Prozesstemperaturen verhindern Nutzung für Fe-Legierungen und andere hochschmelzende metallische Systeme.
- Einfluss der Legierungszusammensetzung (Variation innerhalb der durch die Norm gegebenen Spannen), v.a. in Bezug auf Eutektika, muss beachtet werden.
- Verfahren mit ähnlichen Grundlagen: SLPS (*super solidus liquid phase sintering, siehe Anhang*)

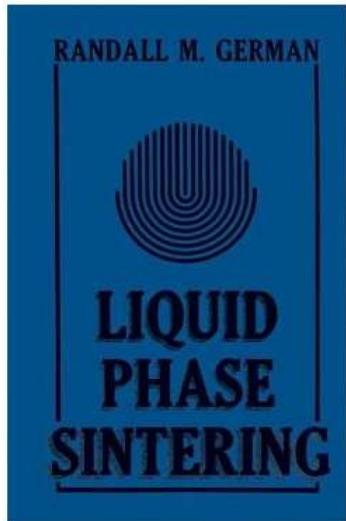
Überprüfungsfragen

1. Benennen Sie Vor- und Nachteile des (Gesenk-) Schmiedens, des Thixoformings und des (Druck-) Gießens.
2. Was bedeutet „Thixotropie“? Wie muss das Gefüge einer metallischen Werkstoffe aussehen, damit sich ein Zustand mit thixotropem Verhalten einstellen lässt?
3. Ist es möglich, reines Aluminium mittels Thixocasting zu verarbeiten? Begründen Sie Ihre Antwort!
4. Was unterscheidet „Thixocasting“ und „New Rheocasting“?
5. Skizzieren Sie den Verlauf von V_{liq} als $f(T)$ von RT bis 700°C für eine Al-Si-Legierung mit eutektischer Zusammensetzung (vgl. Folie 4).
6. Was verstehen Sie unter der Größe ΔT_{40-60} ?
7. Welche Werkstoffe werden momentan im technischen Maßstab thixotrop verarbeitet?
8. Auf welche Weise können sich Eutektika negativ auswirken? Erläutern Sie!
9. Welche Stähle eignen sich für die thixotrope Formgebung und warum? Was schränkt die Nutzung dieser Verfahren für Stähle dennoch stark ein?
10. Was verstehen Sie unter SLPS? Beschreiben Sie den Prozess.

Literatur



G. Hirt, R. Kopp (eds.):
Thixoforming
Wiley-VCH, 2009



R.M. German,
Liquid Phase Sintering, Kluwer
Academic Publishers Group,
2002



Unconventional structure of X210Cr12 steel obtained by thixoforming

Jirková Hana, Ajšman David, Mašek

Journal of African Development, Research Group on Economic Reforms, University of the Witwatersrand, Johannesburg, South Africa 2000

ARTICLE IN

Innovative technological processes allow the formation of unconventional structures with specific mechanical properties even when using conventional materials. One of many possibilities is the treatment of metal mesh in the semi-solid state. In this experiment, hot-forming technology was examined by processing X210Cr12 steel with rapid solidification of the liquid phase. The steel is fed onto an inductor coil, where it is heated to a temperature of 1200 °C. The molten metal is then sprayed onto a rotating drum, where it is rapidly cooled and solidified into a wire mesh structure. The resulting structure has a unique, non-crystalline, amorphous-like microstructure, which provides significantly improved mechanical properties compared to conventional crystalline structures. The mechanical properties of the processed steel are evaluated using tensile testing, and the microstructure is analyzed using optical microscopy and scanning electron microscopy (SEM). The results show that the processed steel exhibits significantly improved mechanical properties, such as higher tensile strength and ductility, compared to the conventional steel. The microstructure analysis shows the presence of a non-crystalline, amorphous-like phase, which is responsible for the improved mechanical properties.

ABSTRACT

1. Introduction

One more processing procedure is rapid solidification from the melt-state solid after or during the course of deformation. This procedure creates the creation of new types of structures of cementitious materials, achieving some properties that are not possible to obtain by means of conventional methods. This is possible due to distribution of chemical elements, which develop as a result of unequal distribution of chemical elements, in which the liquid

One of the forming methods which makes use of heating to temperatures between the solidus and liquidus temperature is thermoplastic welding where the absorption of heat causes the formation of a melt.

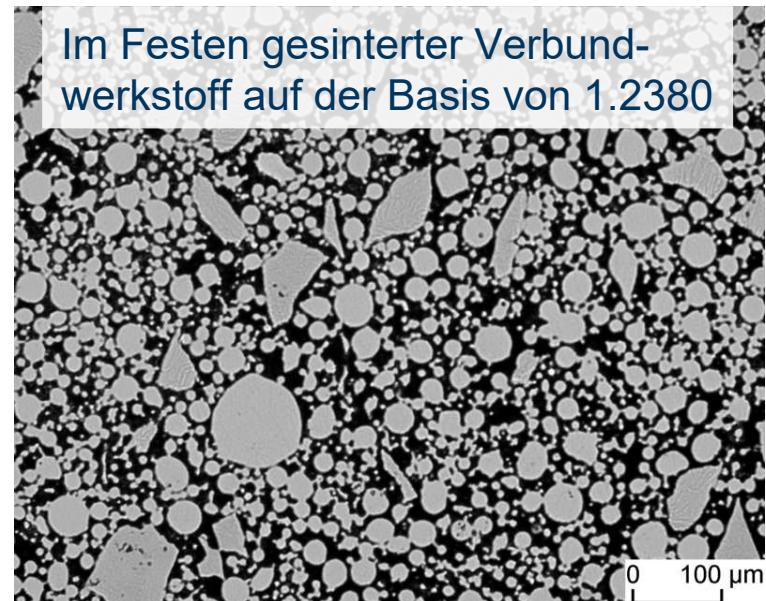
are combined [3].

Chemical composition of the experimental material.

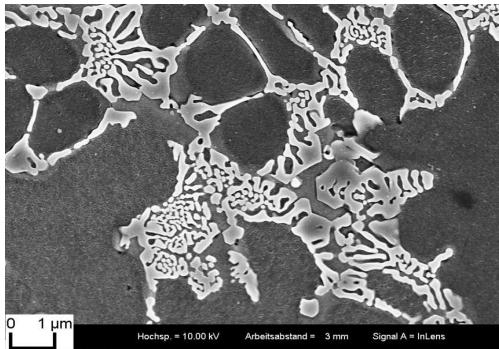
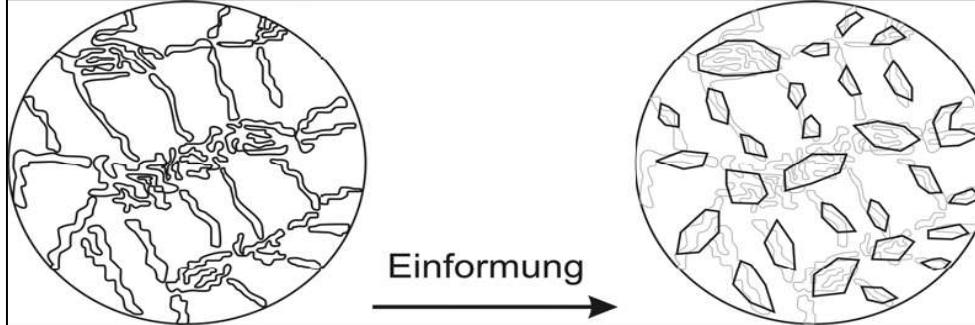
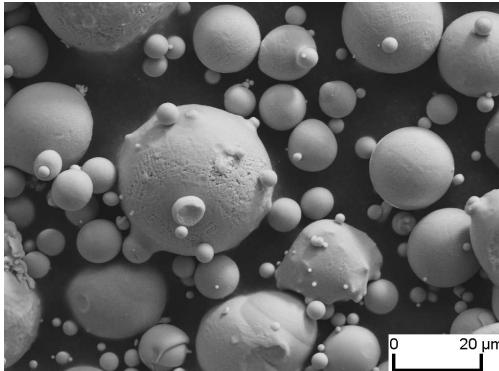
Publikation zum Thixoforming des Kaltarbeitsstahl X210Cr12

Anhang: Sintern im Phasengebiet Fest / Flüssig

- Kaltarbeitsstahl X220CrVMo13-4 (1.2380)
- z.B. für verschleißbeständige Bauteile und Verbundwerkstoffe
- Herstellung durch HIP teuer: Kapselung und HIP-Zyklus
- Sintern im Festen nicht möglich: geringe Sinteraktivität (Bild)!
- Lösung: Sintern mit Flüssigphase **Super-Solidus Liquid Phase Sintering (SLPS)**
- Ähnliche Grundlagen wie bei der thixotropen Formgebung



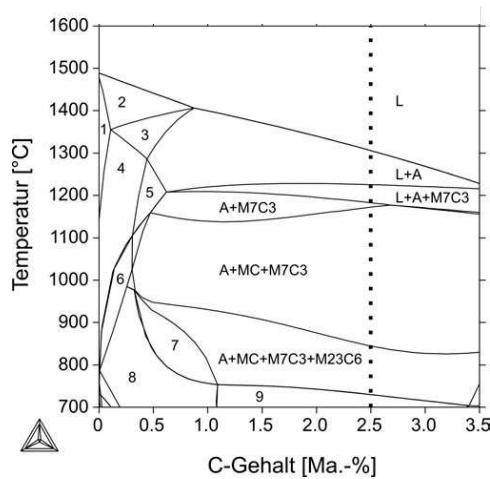
Anhang: Sintern im Phasengebiet Fest / Flüssig



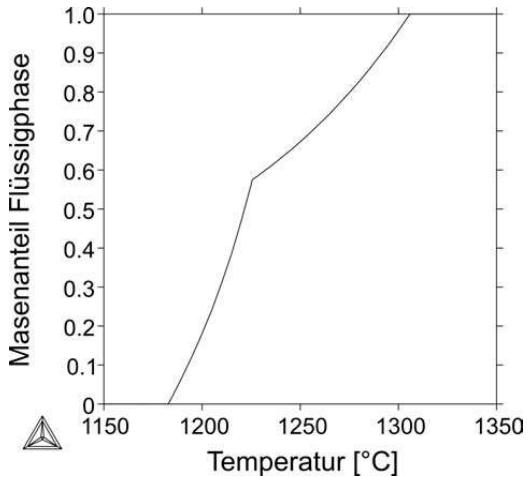
- Einformung der eutektischen Karbide (v.a. M_7C_3) während der Erwärmung auf Sintertemperatur
- Das Aufschmelzen erfolgt entlang der eutektischen Bereiche der Pulverstruktur wenn $T > T_{sol}$
- Eine Separation in kleine Partikel findet statt, die in Flüssigphasen eingebettet sind
- Rasche Verdichtung innerhalb von Sekunden!

Anhang: Sintern im Phasengebiet Fest / Flüssig

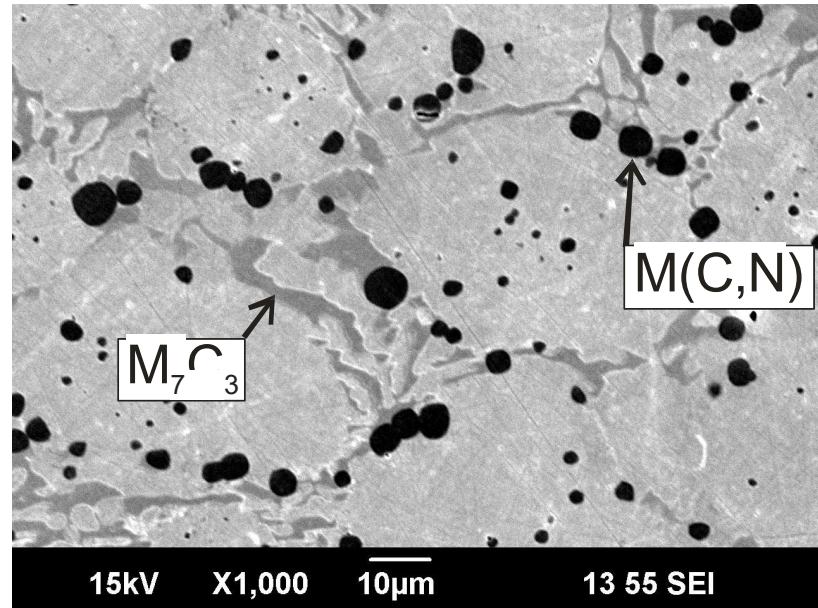
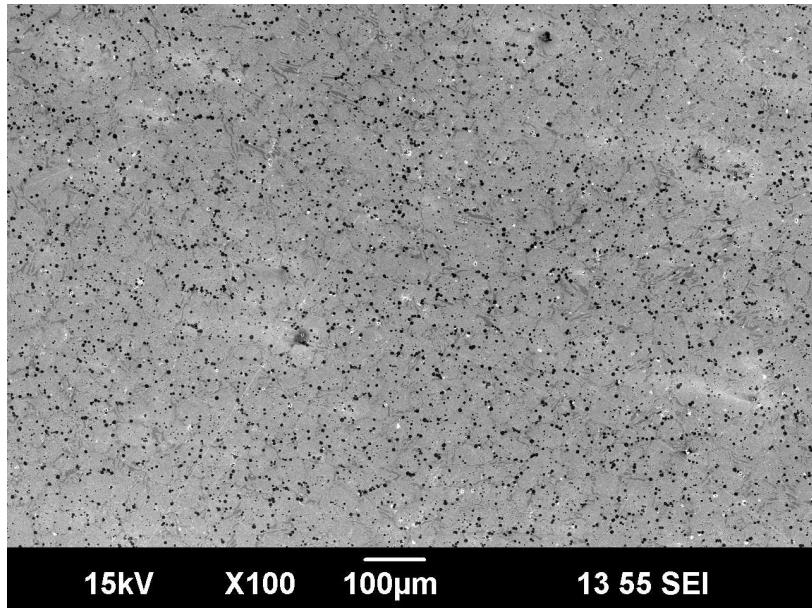
	T_s [°C]	T_l [°C]	ΔT^{40-60} [°C]	C	Mo	V	Cr
X220CrVMo13-4 (1.2380)	1223 (ber.)	1353 (ber.)	46 (ber.)	2,2	1,1	4,0	12,5



Wäre dieser Stahl geeignet
für Thixocasting ?



Anhang: Sintern im Phasengebiet Fest / Flüssig



Gefüge des Kaltarbeitsstahles 1.2380 nach Sintern in stickstoffhaltiger Atmosphäre bei T=1230°C für 30min

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit und Ihre Mitarbeit !

Prof. Dr.-Ing. Sebastian Weber
Fakultät für Maschinenbau
Lehrstuhl Werkstofftechnik
Universitätsstr. 150
D-44801 Bochum