

**Einfluß der chemischen Zusammensetzung und der  
Abkühlgeschwindigkeit auf das eutektische  
Erstarrungsintervall von Fe-C-Si-Legierungen**

**D i s s e r t a t i o n**

zur Erlangung des Grades  
eines Doktor-Ingenieurs

vorgelegt von  
Dipl.-Ing. Stephan Schwenkel  
aus Heiligenhaus

genehmigt von der  
Fakultät für Bergbau, Hüttenwesen und Maschinenwesen  
der Technischen Universität Clausthal

Tag der mündlichen Prüfung: 13. Dezember 2002

Vorsitzender der Promotionskommission: Prof. Dr.-Ing. habil. H.-J. Barth

Hauptberichterstatter: Prof. Dr.-Ing. R. Döpp

Berichterstatter: Prof. Dr.-Ing. habil. F. Neumann

Prof. Dr.-Ing. O. Liesenberg

Berichte aus der Metallurgie

**Stephan Schwenkel**

**Einfluß der chemischen Zusammensetzung und der  
Abkühlgeschwindigkeit auf das eutektische  
Erstarrungsintervall von Fe-C-Si-Legierungen**

D 104 (Diss. TU Clausthal)

Shaker Verlag  
Aachen 2003

**Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek**

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Zugl.: Clausthal, Techn. Univ., Diss., 2002

Copyright Shaker Verlag 2003

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-2140-9

ISSN 0945-0904

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • eMail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

Für den gläubigen Menschen steht Gott am Anfang, für  
den Wissenschaftler am Ende aller seiner Überlegungen.

Max Planck



Meinen Eltern gewidmet.



# INHALTSVERZEICHNIS

	<b>Seite</b>
<b>VORWORT</b>	
<b>1 EINLEITUNG</b>	<b>1</b>
<b>2 KENNTNISSTAND</b>	<b>3</b>
<b>2.1 Die Bedeutung des eutektischen Erstarrungsintervalls</b>	<b>3</b>
<b>2.2 Einflüsse auf das eutektische Erstarrungsintervall</b>	<b>7</b>
2.2.1 Chemische Zusammensetzung	7
2.2.2 Keimhaushalt	7
2.2.3 Abkühlbedingungen	8
<b>2.3 Ansätze zur Untersuchung des eutektischen Erstarrungsintervalls</b>	<b>8</b>
2.3.1 Verfahren zur Bestimmung der metastabilen eutektischen Temperatur	8
2.3.2 Verfahren zur Bestimmung der stabilen eutektischen Temperatur	11
<b>2.4 Genauigkeit der herkömmlichen C- und Si-Bestimmung</b>	<b>13</b>
2.4.1 Einfluß chemischer Elemente auf die eutektischen Temperaturen	15
2.4.2 Wechselwirkungen zwischen den Elementen	16
2.4.3 Kohlenstoff	20
2.4.4 Silicium	22
2.4.5 Mangan	24
2.4.6 Schwefel	26
2.4.7 Phosphor	29
2.4.8 Kupfer	31
2.4.9 Chrom	32
2.4.10 Nickel	34
2.4.11 Molybdän	36
2.4.12 Aluminium	37

<b>3</b>	<b>ZIELE UND VERSUCHSDURCHFÜHRUNGEN</b>	<b>39</b>
<b>3.1</b>	<b>Ziele und Aufgaben</b>	<b>40</b>
<b>3.2</b>	<b>Versuchsdurchführung und spezielle Ziele</b>	<b>40</b>
3.2.1	Versuche mit Quik-Cup-Tiegeln	41
3.2.2	Versuche mit Stahlriegeln	43
3.2.3	Versuche mit Naßgußsand	44
3.2.4	DTA-Messungen	45
<b>3.3</b>	<b>Auswertung</b>	<b>46</b>
<b>3.4</b>	<b>Rechnerischer Ausgleich der chemischen Schwankungen</b>	<b>48</b>
<b>3.5</b>	<b>Abkürzungen</b>	<b>50</b>
<b>4</b>	<b>ERGEBNISSE</b>	<b>51</b>
<b>4.1</b>	<b>Versuche mit Quik-Cup-Tiegeln</b>	<b>51</b>
4.1.1	Variation des Siliciumgehaltes	51
4.1.2	Variation des Schwefel- und des Mangangehaltes	59
4.1.3	Variation des Phosphorgehaltes	68
4.1.4	Variation des Kupfergehaltes	70
4.1.5	Variation des Chromgehaltes	72
4.1.6	Variation des Nickelgehaltes	74
4.1.7	Variation des Molybdängehaltes	76
4.1.8	Variation des Aluminiumgehaltes	80
4.1.9	Einfluß des Tellurs auf die metastabile eutektische Temperatur	84
<b>4.2</b>	<b>Versuche mit Stahlriegeln</b>	<b>88</b>
4.2.1	Ansatz 1	93
4.2.2	Ansatz 2	93
4.2.3	Vergleich der Ansätze	94
<b>4.3</b>	<b>Versuche mit Naßgußsand</b>	<b>97</b>
4.3.1	Lineare Extrapolation für TEG*	100
4.3.2	Vergleich der Werte der Extrapolation mit denen der QC- Proben	100
4.3.3	Vergleich der Ergebnisse der Platten- und Zylinderproben	101

<b>4.4 DTA-Messungen</b>	<b>102</b>
4.4.1 TEG- und TEC-Werte der QC-Messungen	105
4.4.2 TEG- und TEC-Werte der DTA-Untersuchungen	105
4.4.3 Vergleich DTA- und TA-Messungen	105
<b>5 DISKUSSION</b>	<b>107</b>
<b>5.1 Einfluß der untersuchten Elemente auf die eutektischen Temperaturen</b>	<b>107</b>
5.1.1 Silicium	110
5.1.2 Mangan	110
5.1.3 Schwefel	112
5.1.4 Phosphor	113
5.1.5 Kupfer	113
5.1.6 Chrom	114
5.1.7 Nickel	114
5.1.8 Molybdän	114
5.1.9 Aluminium	115
5.1.10 Kritische Betrachtung der Ergebnisse	115
<b>5.2 Einfluß des Tellurs auf die metastabile eutektische Temperatur</b>	<b>116</b>
<b>5.3 Einfluß der Abkühlgeschwindigkeit</b>	<b>117</b>
<b>5.4 Kombination der thermischen Analyse mit der Spektralanalyse</b>	<b>118</b>
5.4.1 Bisherige Vorgehensweise in dieser Arbeit	118
5.4.2 Vollständige Kombination der Spektral- mit der thermischen Analyse	120
5.4.3 Nutzen der Kombination der thermischen mit der Spektralanalyse	123
<b>5.5 Ausblick</b>	<b>124</b>
<b>6 ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>127</b>
<b>7 SCHRIFTTUM</b>	<b>129</b>



## Vorwort

Das Gießen oder Urformen ist ein schon seit Jahrtausenden bekanntes und intensiv genutztes Handwerk und heute ein unverzichtbares Fertigungsverfahren. Flüssiges Ausgangsmaterial wird in Formen vergossen, erstarrt und kann damit fast jede beliebige Gestalt annehmen. Gegossene Teile finden wir im täglichen Leben wieder, angefangen von Fahrzeugteilen wie Motorblöcken und Felgen bis hin zu Pfannen, Türgriffen und Wasserhähnen. Es gibt unterschiedliche Gießverfahren, mit denen kleine Teile von einem Gramm bis zu großen Gußstücken bis über 250 Tonnen hergestellt werden können.

Bevor das flüssige Material vergossen wird, ist sicherzustellen, daß die Qualität der Schmelze stimmt, so daß das anschließend gegossene Gußstück die gewünschten Eigenschaften besitzt. Wird erst nach dem Abgießen und Erkalten des Stücks festgestellt, daß das Metall nicht in Ordnung war, muß das fehlerhafte Gußstück gegebenenfalls zerteilt, wieder aufgeschmolzen, eine neue Form bereitgestellt und erneut gegossen werden. Für die Prüfung einer kleinen Probenmenge der Schmelze steht nicht beliebig viel Zeit zur Verfügung, da das restliche Eisen weiterhin flüssig gehalten werden muß und sich die Eigenschaften des flüssigen Eisens mit der Zeit ändern, obwohl die chemische Zusammensetzung unverändert bleibt.

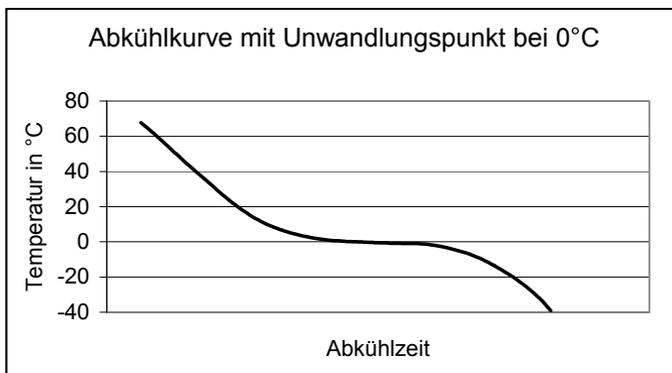


Bild 0-1: Schematische Abkühlkurve

Bei der Umwandlung von der flüssigen Phase in den festen Zustand wird Energie frei. Dieses Phänomen kann bei der Aufnahme von Abkühlkurven beobachtet werden. Bild 0-1 zeigt eine Abkühlkurve von Wasser mit einem Umwandlungspunkt bei 0 °C. Bei Zugabe von Salz verschiebt sich die Umwandlungstemperatur von 0 °C zu niedrigeren Werten, d. h. das Wasser gefriert erst bei

tieferer Temperatur. Dies wird beim winterlichen Salzstreuen gegen Schnee und Eis genutzt. Je mehr Salz im Wasser ist, desto tiefer sinkt die Umwandlungstemperatur. Im Umkehrschluß kann aus der gemessenen Umwandlungstemperatur auf die im Wasser gelöste Salzmenge geschlossen werden.

Solange sich nur eine Einflußgröße (Salzkonzentration) ändert, ist das System überschaubar. Die Interpretation wird schwieriger, wenn sich mehrere Einflußgrößen ändern (Salzart und -konzentration).

Bei der Untersuchung von Eisenschmelzen mit Hilfe von Abkühlkurven (thermische Analyse) werden aussagekräftige Umwandlungs- oder Haltepunkte innerhalb von 3 bis 4 Minuten aufgenommen und ausgewertet. Innerhalb kürzester Zeit kann somit auf einige Qualitätsmerkmale der Schmelze geschlossen werden.

Dabei kann im Eisen jedes einzelne Element einen Einfluß auf wichtige Umwandlungspunkte haben. In der Kombination mehrerer Elemente können sie sich in der Summe anders verhalten als jeweils einzeln.