

Hüttenaluminium- Gußlegierungen

Berichte aus dem Gußwerkstofftechnikum

Code-Nr. 802

Hochwirksame Dauerkornfeinung für unter- bis naheutekische AlSi-Gußlegierungen

Hubert Koch, Ulrich Hielscher (Aluminium Rheinfelden GmbH)
Arne Schaathun, Halvor Fosli (HYDELKO)

Aluminium Rheinfelden GmbH
Kundenberatung

Friedrichstraße 80
D-79618 Rheinfelden

Postfach 1140
D-79601 Rheinfelden

Telefon 0 76 23 / 93-329
Telefax 0 76 23 / 93-546



Hochwirksame Dauerkornfeinung für unter- bis naheutekische AlSi-Gußlegierungen

1. Einleitung

Die Korngröße ist ein wichtiges Qualitätsmerkmal für ein gesundes Gußstück. Mit kleiner werdender Korngröße verändern sich die Gießigenschaften in Richtung:

- besseres Fließvermögen
- besseres Formfüllungsvermögen
- längere Nachspeisung
- geringere Warmrißneigung
- hochwertigere Gußoberfläche

Das Wachstum langer Dendriten wird unterbunden. Lange Dendriten sind dafür verantwortlich, daß die Nachschubwege für die Restschmelze abgeschnitten werden und damit das Volumendefizit beim Übergang von Flüssig nach Fest nicht mehr ausgeglichen werden kann (1). Dies führt zu ungünstigen Makro- und Mikroporositäten. Wünschenswert ist ein kleines Korn mit eingeformter möglichst globulitischer Dendritenmorphologie. Die Warmrißneigung wird dadurch minimiert, daß die Kontraktionskräfte, die während der Erstarrung auftreten, durch eine kleine Korngröße gleichmäßiger verteilt werden. Das Ausheilungsvermögen für Warmrisse wird zusätzlich stark begünstigt. Die mechanischen Eigenschaften werden zwar nicht signifikant verbessert, aber durch die größere Homogenität des Gefüges wird die Streuung der Ergebnisse erheblich verringert; es resultiert eine gleichmäßigere Qualität.

Anforderungen an ein Kornfeinungsmittel für AlSi-Gußlegierungen

Die Kornfeinungsbehandlung, die beim Gußlegierungshersteller vorgenommen wird, muß sowohl in der unveredelten, als auch in der veredelten Gußlegierung hoch wirksam sein und darf die Ausbildung des veredelten Gefüges nicht beeinträchtigen. Bei den untereutektischen bis naheutektischen Aluminium-Silizium-Legierungen ist es sehr wichtig zusätzlich zur α -Phase des Aluminiums auch die eutektischen Körner zu feinen, die neben der Primärphase in der Schmelze wachsen.

Gemäß dem Verfahrensablauf sollte sich die Kornfeinungswirkung erst nach dem Wiederaufschmelzen, also beim Formgießen, voll entfalten. Auch nach einer Reinigungsbehandlung, z.B. mittels Impeller und Inertgas, einer Reinigung mit Tabletten oder Vakuumgasung,

sollte sie noch eine optimale Wirkung erzielen. Damit entfällt die Kornfeinung beim Gießen und erspart so Kosten dieser zusätzlichen Kornfeinungsbehandlung, die zudem noch zu Agglomerationen im Gießofen führen kann.

Problemstellung

Die heutigen handelsüblichen Kornfeinungsvorlegierungen wurden hauptsächlich für die Bedürfnisse bei der Produktion von Knetlegierungen entwickelt. Sie müssen kurze Inkubationszeiten aufweisen, da die Vorlegierungen in Drahtform meist in der Gießrinne zugeführt werden. Diese Vorlegierungen werden auch bei Gußlegierungen eingesetzt, sind aber nicht optimal auf den Legierungstyp abgestimmt.

ALUMINIUM RHEINFELDEN und HYDELKO, ein namhafter norwegischer Vorlegierungs-Produzent, haben nun eine neue Kornfeinungsvorlegierung entwickelt und getestet¹⁾. Diese Kornfeinungsvorlegierung, Handelsname TiBloy, ist auf die große Gruppe der unter- bis naheutektischen Aluminium-Silizium-Gußlegierungen optimal abgestimmt. Es ist damit gelungen, eine Dauerkornfeinung zu entwickeln, die

- ein sehr feines Korn erzeugt
- auch nach mehrmaligem Umschmelzen eine sehr gute Wirkung zeigt
- die Veredelung nicht behindert
- nach einer Reinigungsbehandlung an Wirksamkeit nichts einbüßt.

In den folgenden Ausführungen soll nun über die Ergebnisse von Tests im Labor und in der Gußlegierungsproduktion mit verschiedenen AlSi-Gußlegierungen berichtet werden.

Versuchsablauf

Legierungen

Stellvertretend für die große Gruppe der Aluminium-Silizium-Gußlegierungen wurden zwei Legierungstypen ausgewählt:

- Anticorodal-70 (Ac-70) = AlSi7Mg
- Silafont-20 (Sf-20) = AlSi11Mg

Diese Legierungen wurden im unveredelten Zustand und im veredelten Zustand (Strontium-Dauerveredelung) untersucht. In Tabelle 1 sind die Legierungszusammensetzungen zusammengefaßt dargestellt.

Schmelzen und Gießen

Das Schmelzgewicht betrug bei allen Varianten 70 kg. Die Schmelzetemperatur bzw. die Gießtemperatur lag in allen Fällen zwischen 730 und 740 °C. Die Legierung wurde in einem Induktionsofen aufgeschmolzen. Die Entgasung der Schmelze erfolgte mittels Rotor. Die Behandlungszeit betrug 10 min bei 625 U/min und 4,5 l/min Argon-Spülgas. Danach erfolgte eine 15 minütige Abstehtzeit. Zur Kontrolle der Entgasungsbehandlung wurde vor und nach der Spülgasbehandlung eine Unterdruck-Dichte-Probe genommen. Der Dichteindex lag bei allen untersuchten Varianten unter 5%.

Nach der Rotorbehandlung wurde die Schmelze in einen Widerstandsofen umgesetzt und 2 kg/t Kornfeinungsmittel zugegeben, entweder AlTi5B1 in Draht-/Waffelform oder das neu entwickelte Kornfeinungsmittel TiBloy. Danach erfolgte die Zugabe des Veredelungsmittels in Form einer AlSr10-Vorlegierung. Für die Umschmelzversuche wurde die Schmelze in 5 kg-Masseln verblockt und nach o. a. Verfahrensablauf wieder aufgeschmolzen.

Zur Bestimmung des Keimzustands wurden Bolzenproben in eine Sandform und in eine Stahlkokillenform abgegossen. Die Erstarrungsgeschwindigkeit betrug im Sandgußbolzen ca. 0,7 K/s und im Kokillengußbolzen 9,5 K/s. Diese Werte wurden einer differenzierten Abkühlungskurve entnommen und sind definiert als maximale Abkühlungsgeschwindigkeit im festen Zustand. Die Bolzenproben wurden im Abstand von 25 mm oberhalb der Grundfläche getrennt, poliert und nach Barker geätzt. Danach erfolgte eine metallographische Auswertung in Form von Makroreihen- und einer Korngrößenbestimmung. Die Korngrößen wurde nur im mittleren Probenbereich mit 12 mm Durchmesser bestimmt, um den Einfluß der Abschreckzone im Randbereich der Probe auszuschalten. Die Korngröße wurde nach ASTM E 112-88 bestimmt.

Da die metallographische Bestimmung der Korngröße sehr aufwendig ist, wurde zur weiteren Bestimmung des Keimzustands die thermische Analyse herangezogen. Verwendung fand hier ein Gerät der Firma EMTEC. Gegossen wurde in Croningsandtiegel mit Einmalthermoelement. Die aufgenommene Abkühlungskurve wurde mittels Software ausgewertet und aus dem Primärerstarrungspeak die sog. KF-Zahl errechnet, die ein Maß für den Keimzustand der Schmelze darstellt (2). Bei der thermischen Analyse wird eine Abkühlungsge-

¹⁾ Schutzrechte wurden angemeldet

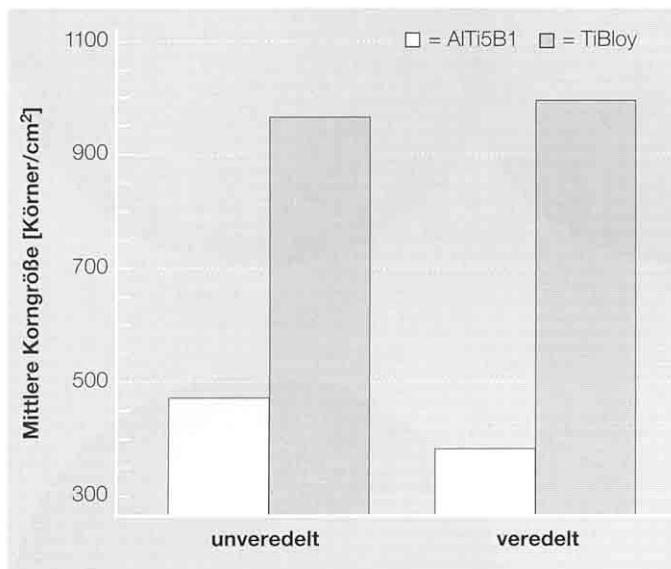


Abb. 1: Vergleich der mittleren Korngröße zwischen AlTi5B1 und TiBloy, 1x umgeschmolzen
 Legierung: Anticorodal-70 = AlSi7Mg
 Probeform: Sandgußbolzen

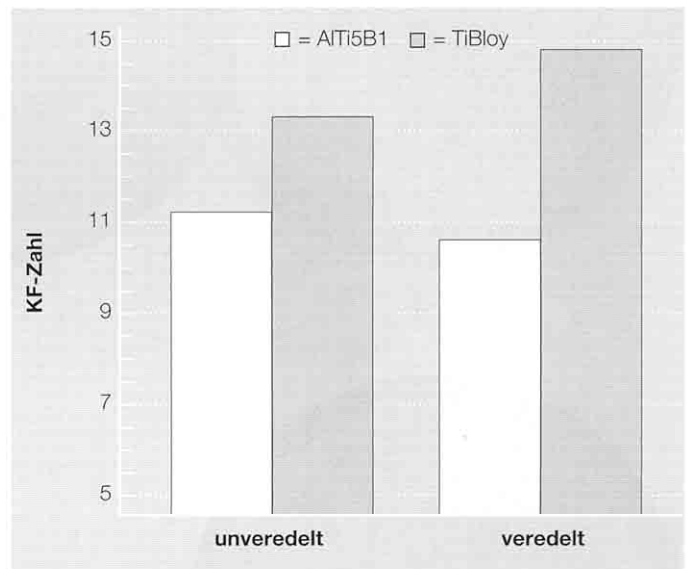


Abb. 2: Vergleich der mittleren Kornfeinungszahl zwischen AlTi5B1 und TiBloy, 1x umgeschmolzen
 Legierung: Anticorodal-70dv = AlSi7Mg

schwindigkeit von etwa 0,6 K/s erreicht. Dies entspricht der o. a. Bolzenprobe in Sand.

Ergebnisse

Einfluß der Kornfeinung auf die Korngröße und die KF-Zahl nach einmaligem Umschmelzen der Legierungen Anticorodal-70 = AlSi7Mg und Silafont-20 = AlSi11Mg

Die Kornfeinung der Legierungen wird in der Hüttengießerei vorgenommen. Wie oben schon erwähnt, sollte die Kornfeinungsbehandlung deshalb erst nach dem Wiederaufschmelzen beim Gießen ihre optimale Wirkung entfalten. Daher ist es wichtig, die Ergebnisse nach dem Wiederaufschmelzen zu betrachten.

Abb. 1 zeigt die mittlere Korngröße der Legierung Anticorodal-70 nach einer Standard-Kornfeinung mit AlTi5B1 und nach der Spezialkornfeinung mit TiBloy, sowohl im unveredelten und veredelten Zustand. Zum

Vergleich sei hier angemerkt, daß die Korngröße des Ausgangszustandes ohne Kornfeinungsbehandlung 243 Körner/cm² betrug. Aus Abb. 1 geht deutlich hervor, daß bei langsamer Abkühlung die neue Kornfeinungsbehandlung zu einem wesentlich feineren Korn führt. So wird im unveredelten Zustand die Korngröße von 470 Körner/cm² auf 961 Körner/cm² gesteigert und im veredelten Zustand wird die Korngröße von 385 Körner/cm² auf 1000 Körner/cm² erhöht. Vergleicht man die Kornfeinungszahlen, aufgenommen mit der thermischen Analyse (Abb. 2), so zeigt sich der gleiche Trend. In Tafel 1 sind makrogeätzte Sandgußbolzen dargestellt. Es zeigt sich hier sehr anschaulich die enorme Kornfeinungswirkung der neuen Kornfeinungsvorlegierung gegenüber dem Ausgangszustand und der Standard-kornfeinungsbehandlung.

Bei schnellerer Abkühlung ist ebenfalls eine Verbesserung der Kornfeinung zu erzielen. Dies ist in Abb. 3, Seite 6 beispielhaft dargestellt. Die Steigerung der Kornzahl ist prozentual nicht mehr so groß wie bei langsamer Abkühlung, aber es wird immer noch eine merkbare

Erhöhung der Kornzahl pro Fläche erzielt. Durch die erhöhte Abkühlungsgeschwindigkeit werden vermutlich mehr Keime aktiviert, die sonst unwirksam bleiben.

In Tabelle 2 sind Messungen der KF-Zahl einer Produktionskampagne vor und nach einmaligem Umschmelzen der Legierung Silafont-20 dauerveredelt dargestellt. Aus den Werten geht hervor, daß die Kornfeinungswirkung mit TiBloy um ca. einen Zähler besser ist im Vergleich zur normalen Kornfeinungsbehandlung. Die mittlere KF-Zahl erhöht sich noch nach dem Umschmelzen. Daraus kann geschlossen werden, daß nach dem Umschmelzen noch weitere Keime wirksam werden.

TAFEL 1

UMSCHMELZTEST
Anticorodal-70, AlSi7Mg

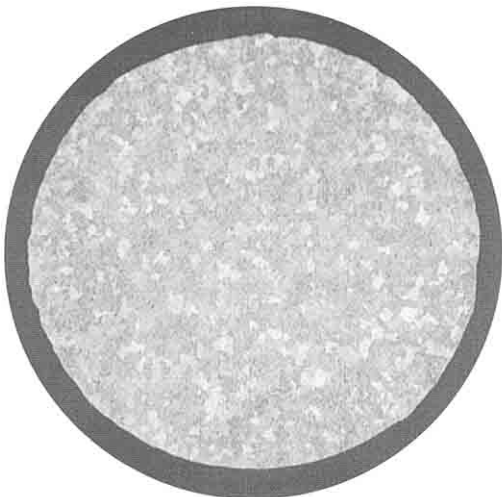
Sandgußbolzen
Vergrößerung = 2,2 : 1



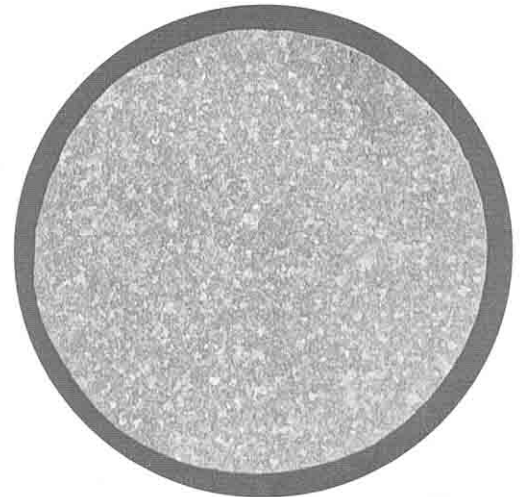
KF = 8,8

2 kg/t AlTi5B1

2 kg/t TiBloy



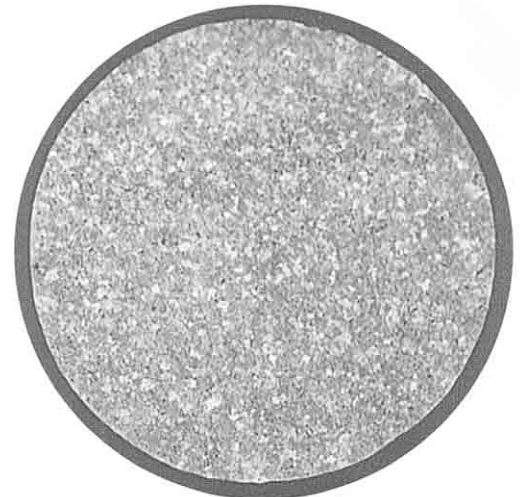
unveredelt
KF = 9,8



unveredelt
KF = 15,7



dauerveredelt



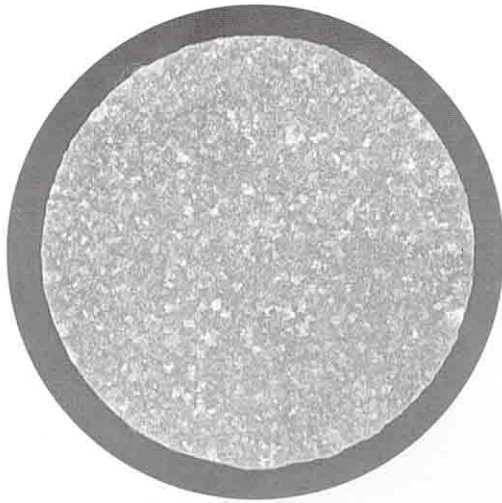
dauerveredelt

TAFEL 2

LANGZEITTEST
Anticorodal-70 dv, AlSi7MgSr

Sandgußbolzen
Vergrößerung = 2,2 : 1

2 kg/t AlTi5B1



Haltezeit t = 1 min
KF = 11,6

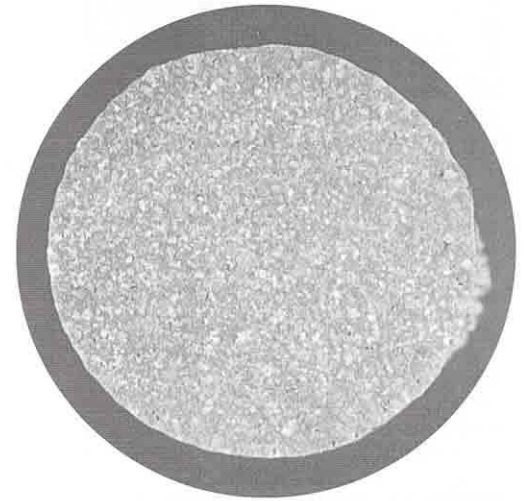
2 kg/t TiBloy



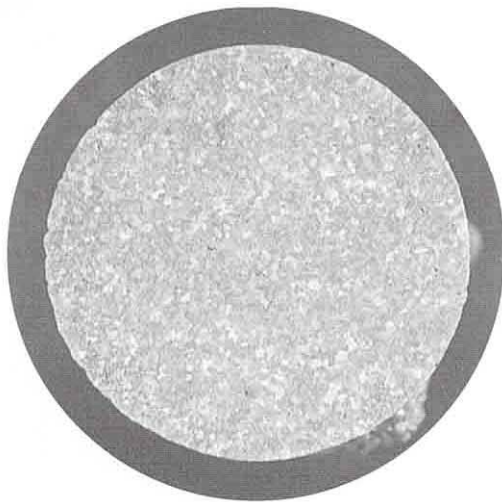
Haltezeit t = 1 min
KF = 15,7



Haltezeit t = 40 min
KF = 12,0



Haltezeit t = 41 min
KF = 14,8



Haltezeit t = 234 min
KF = 11,0



Haltezeit t = 210 min
KF = 15,6

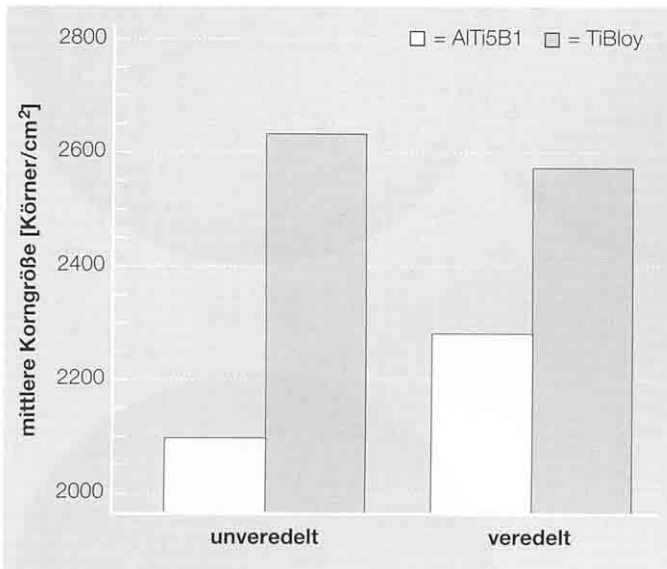


Abb. 3: Vergleich der mittleren Korngröße zwischen AlTi5B1 und TiBloy, 1 x umgeschmolzen
 Legierung: Anticorodal-70 = AlSi7Mg
 Probeform: Kokillengußbolzen

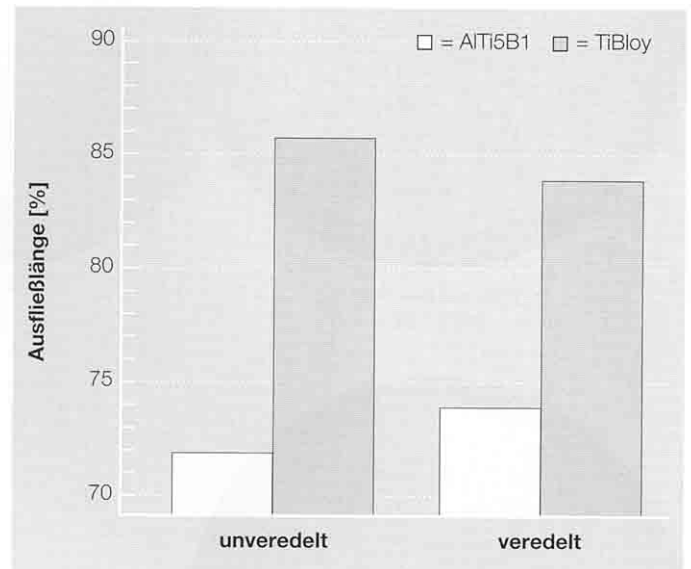


Abb. 4: Einfluß der Kornfeinung auf die prozentuale Ausfließlänge der Schmelze, 1x umgeschmolzen
 Legierung: Anticorodal-70dv = AlSi7MgSr
 Probeform: Gießspirale

Einfluß der Kornfeinung auf das Fließvermögen der Legierung Anticorodal-70

Die Legierung Anticorodal-70 ist, bedingt durch den geringen Anteil an Eutektikum besonders im veredelten Zustand gegenüber den naheutektischen AlSi-Legierungen schwieriger zu vergießen. Um so mehr kommt es hier darauf an, durch eine hochwirksame Kornfeinung die Gieß Eigenschaften zu verbessern. Als Labortest bot sich hier die Gießspirale an, die bei akkurater Versuchsdurchführung (konst. Gießtemperatur, konst. Schmelzemenge, gleicher Zustand der Gießform), ein Maß für das Fließvermögen der Legierung ist. In Abb. 4 sind die Versuchsergebnisse in Prozent der Ausfließlänge graphisch dargestellt. Jeder Balken stellt einen Mittelwert aus sechs Abgüssen dar. Aus den Ergebnissen geht deutlich hervor, daß die Kornfeinungsbehandlung mit TiBloy die Fließfähigkeit um ca. 10% gegenüber der konventionellen Kornfeinung steigert. Die Dendriten sind hier kleiner und eingeformt, so daß die Schmelzkanäle länger offen bleiben. Die

Verbesserung des Fließvermögens führt demnach zu einem verbesserten Gießverhalten.

Einfluß der Haltezeit auf die Korngröße und die KF-Zahl der Legierungen Anticorodal-70 = AlSi7Mg und Silafont-20 = AlSi11Mg

Die Haltezeit der Schmelze im Gießofen sollte nach Möglichkeit keinen Einfluß auf den Keimzustand der Schmelze haben, da sonst keine gleichbleibende Qualität der Gußstücke gewährleistet ist. In Abb. 5 ist die Korngröße der Legierung Anticorodal-70 dauerveredelt während einer Haltezeit von 300 min aufgetragen. Beide Kornfeinungsmittel zeigen keine verminderte Wirkung über die Zeit, es ist aber ein deutlicher Unterschied im Niveau der Kurven zu erkennen. Die gemessenen Kornfeinungszahlen, dargestellt in Abb. 6 zeigen den gleichen Trend. Die Kornfeinungswirksamkeit bleibt bei beiden Behandlungen bis zu 300 min

gleich; das neue Kornfeinungsmittel zeigt aber eine wesentlich bessere Wirkung.

In Tafel 2 sind beispielhaft makrogeätzte Proben im unveredelten und veredelten Zustand der Legierung Anticorodal-70 dargestellt. Bei beiden Gefügeständen behält der neue Kornfeiner seine gute Wirksamkeit.

In Abb. 7 ist das Langzeitverhalten der Legierung Silafont-20 dauerveredelt dargestellt. Hier zeigt sich ebenfalls deutlich die Überlegenheit der neuen Kornfeinungsbehandlung. Insgesamt liegt die KF-Zahl etwas niedriger als bei der Legierung Anticorodal-70. Dies ist vermutlich auf den geringen α -Aluminiumanteil im Gefüge zurückzuführen.

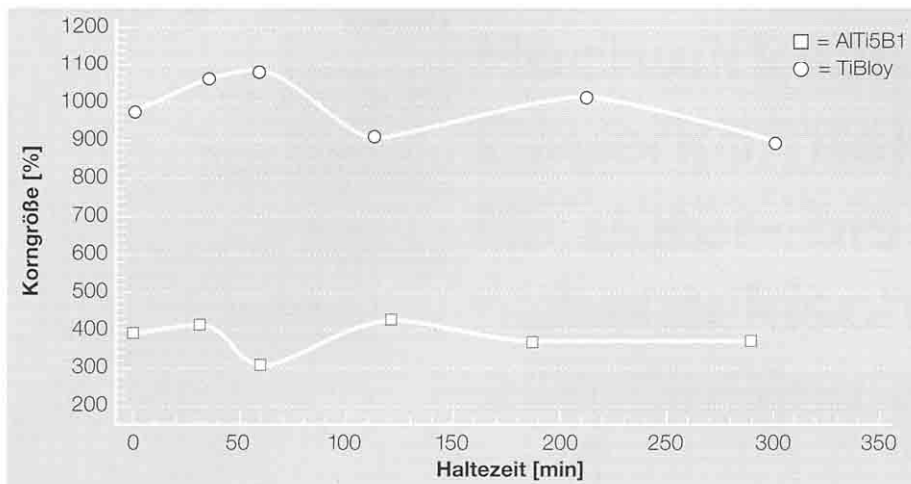


Abb. 5: Einfluß der Haltezeit der Schmelze auf die mittlere Korngröße, 1 x umgeschmolzen
Legierung: Anticorodal-70dv = AlSi7MgSr, Probeform: Sandgußbolzen

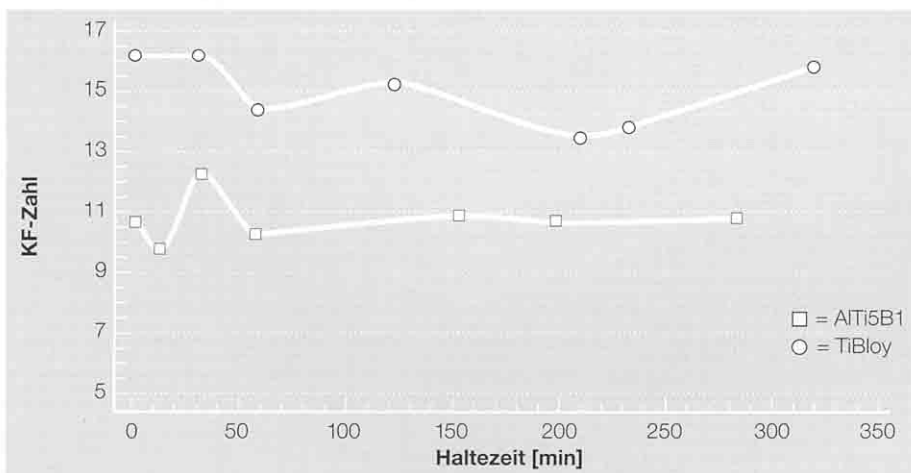


Abb. 6: Einfluß der Haltezeit der Schmelze auf die Kornfeinungszahl, 1 x umgeschmolzen
Legierung: Anticorodal-70dv = AlSi7MgSr

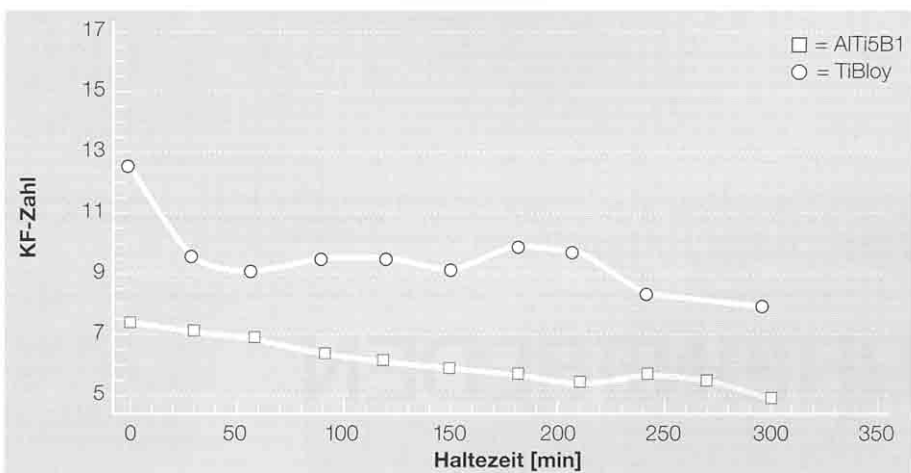


Abb. 7: Einfluß der Haltezeit der Schmelze auf die Kornfeinungszahl, 1 x umgeschmolzen
Legierung: Silafont-20dv = AlSi11MgSr

Diskussion

Die Ergebnisse zeigen deutlich, daß der neue Kornfeiner bei unter- bis naheutektischen AlSi-Gußlegierungen eine erheblich verbesserte Wirkung zeigt. Worauf beruht nun diese überlegene Kornfeinungswirkung?

Das entwickelte KF-Mittel wird ebenfalls auf Al/Ti/B-Basis hergestellt, wobei eine unterstöchiometrische Zusammensetzung vorliegt, d.h. die Zusammensetzung liegt bei einem Verhältnis Titan: Bor < 2,2:1 und insgesamt enthält die Vorlegierung weniger als 1,9 Masse-% Titan und Bor. In dieser Vorlegierung liegen neben anderen intermetallischen Phasen AlB_2 und die Phase TiB_2 bzw. das Mischborid $(Al,Ti)B_2$ vor. Aus der Literatur ist bekannt, daß diese Phasen kornfeinungswirksam sind (3;4), wobei vermutlich das AlB_2 zur Ankeimung der α -Aluminium-Phase die geringste Unterkühlung benötigt. Damit wäre die sehr gute Wirkung bei langsamer Abkühlung, z.B. im Sandguß oder dickwandigem Kokillenguß, erklärt. Da die AlSi-Gußlegierungen in der Regel mehr als 0,04 Masse-% Titan enthalten, dürfte das AlB_2 bei längerer Abstehtzeit der Schmelze oder mehrmaligem Umschmelzen umgewandelt werden in TiB_2 oder das Mischborid $(Al,Ti)B_2$, da die Affinität von Titan zu Bor höher ist als von Aluminium zu Bor. Die in der Schmelze gebildeten Boride sind vermutlich sehr fein und damit wesentlich wirksamer als extern über eine Al_5TiB_1 -Vorlegierung eingebrachte, zumeist grobe Boride.

Bei der Kornfeinung mit Boriden muß allerdings auch berücksichtigt werden, daß ein zu hoher Gehalt an Bor schädlich ist, da Boride zu Agglomeratbildung neigen und dann sedimentieren. Dies ergibt einerseits Anhäufungen von Partikel und führt zu groben Einschlüssen im Guß, andererseits reichern sich agglomerierte Boride am Boden des Gießofens an und bilden eine »Schlammsschicht«.

Die vorliegende Kornfeinung, die bereits in der Hüttengießerei nach optimierten Verfahrensparametern in die Schmelze eingebracht wird, stellt einen optimalen Kompromiß dar. Die Borgehalte in der Gußlegierung werden nicht höher als 0,0040 Masse-% eingestellt, so daß jeweils eine Agglomeratbildung und Sedimentation beim Aufschmelzen ausgeschlossen werden kann und andererseits der oben beschriebene sehr wirksame Kornfeinungsmechanismus gewährleistet ist.

Zusammenfassung

Es wird eine neue Kornfeinung auf Basis Aluminium-Titan-Bor vorgestellt, die optimal auf die große Gruppe der unter- bis naheutektischen Aluminium-Silizium-Gußlegierungen abgestimmt ist. Die in der Hüttengießerei eingestellte Kornfeinung erspart eine Kornfeinungsbehandlung nach dem Wiederauf-

schmelzen der Legierungsmasse. Die Wirksamkeit des neuen Kornfeinungsmittels wird an den Legierungen Anticorodal-70 = AlSi7Mg und Silafont-20 = AlSi11Mg dargestellt. Die kornfeinende Wirkung bleibt auch über einen längeren Zeitraum erhalten. Der Kornfeinungsmechanismus wird diskutiert.

Literatur

- 1 L. Henrichs, U. Hielscher
Metall 28, 1975, S. 281ff
- 2 H. Jürgens, B. Günther
Gießerei 71, 1984, S. 928ff
- 3 L. Bäckerud u.a.
ALUMINIUM, 67, 1991, S. 910ff
- 4 G. K. Sigworth u.a.
AFS Transactions 85-172, 1993, S. 907ff

Tabelle 1: Chemische Analyse der untersuchten Legierungen

Charge	Si %	Fe %	Cu %	Mg %	Ti %	Sr ppm
Ac-70	7,2	0,1	0,01	0,32	0,1	-
Ac-70dv	7,1	0,1	0,01	0,36	0,1	200
Sf-20	10,8	0,1	0,01	0,21	0,05	-
Sf-20dv	10,6	0,1	0,01	0,23	0,07	350

Tabelle 2: KF-Zahlen der Legierung Silafont-20 dauerveredelt, entnommen aus einer Produktionskampagne

KF-Zahlen, der Produktion entnommen	mit 2 kg/t AlTi5B1	mit 2 kg/t TiBloy
Anzahl Proben	27	16
Mittelwert	10,2	10,7
Standardabweichung	0,99	0,77
Minimum	7,1	9,4
Maximum	11,6	12,6
KF-Zahlen, nach dem Umschmelzen	mit 2 kg/t AlTi5B1	mit 2 kg/t TiBloy
Anzahl Proben	13	15
Mittelwert	10,0	11,1
Standardabweichung	0,79	0,78
Minimum	8,4	9,6
Maximum	11,7	12,7

Alle Angaben dieser Druckschrift erfolgen nach bestem Wissen aufgrund angemessener Prüfung. Wie alle anwendungstechnischen Empfehlungen stellen sie jedoch nur unverbindliche Hinweise außerhalb unserer vertraglichen Verpflichtungen (auch hinsichtlich etwaiger Schutzrechte Dritter) dar, für die wir keine Haftung übernehmen. Sie stellen insbesondere keine Eigenschaftszusicherungen dar und befreien den Anwender nicht von der eigenverantwortlichen Prüfung der von uns gelieferten Erzeugnisse auf ihre Eignung für den vorgesehenen Verwendungszweck. Nachdruck und Vervielfältigung - auch auszugsweise - nur mit unserer ausdrücklichen Genehmigung.

RHEINFELDEN

