



Ausleeren des Lasteisens und der Probekörper aus dem Formkasten bei der Zeitzer Guss GmbH.

Machbarkeitsstudie zur Herstellung von mischkristallverfestigtem ferritischem Gusseisen mit Kugelgrafit im Großguss

Teil 2: Darstellung und Diskussion der Ergebnisse



VON STEFAN SEIDEL, ZEITZ

Mechanische Kennwerte

In **Bild 1** wird die Zugfestigkeit R_m der Y4-Anguss- und Bauteilproben in Abhängigkeit vom Siliziumgehalt dargestellt. Die Sollwerte entsprechen dabei den mechanischen Kennwerten, die in Teil 1, Tabelle 2, für den Wanddickenbereich $60 < t \leq 200$ mm festgelegt wurden. Erwartungsgemäß wächst die Zugfestigkeit mit steigendem Siliziumgehalt. Sie beträgt

für die Y4-Angussproben beim Werkstoff EN-GJS-450-18 (3,4 %** Si) 480 N/mm^2 und bei EN-GJS-500-14 (3,8 % Si) 530 N/mm^2 . Das entspricht im Vergleich zum Ausgangswerkstoff (2,1 % Si) einem Plus von rund 100 N/mm^2 bzw. 150 N/mm^2 . Im Vergleich zu den Y4-Angussproben weisen die aus dem Bauteil entnommen Proben eine um rund 30 N/mm^2 verringerte Zugfestigkeit auf. Der Rückgang der Zugfestigkeit fällt somit stärker aus als in der DIN EN 1563:2012 bzw. in Teil 1, Tabelle 2, vorgesehen. Die definierten Sollwerte für die Bauteilproben

KURZFASSUNG:

Die in Teil 1* der Veröffentlichung vorgestellte Versuchsplanung und -durchführung wurde für die mischkristallverfestigten Werkstoffe EN-GJS-450-18 und EN-GJS-500-14 umgesetzt.

Die Ergebnisse werden in diesem 2. Beitragsteil dargestellt und diskutiert.

*Teil 1 in GIESSEREI 103 (2016), [Nr. 7], S. 24-27.

**Sofern nicht anders erwähnt, handelt es sich bei den prozentualen Angaben zur Zusammensetzung um Massenanteile.

werden aufgrund der eingetretenen Mischkristallverfestigung trotzdem sicher erreicht.

Bild 2 ist zu entnehmen, dass auch die 0,2 %-Dehngrenze $R_{p0,2}$ in Abhängigkeit vom Si-Gehalt ansteigt. Bei einem Si-Gehalt von 3,4 % lässt sich mit den Y4-Angussproben eine Steckgrenze von 360 N/mm² erreichen. Wird der Si-Gehalt auf 3,8 % erhöht, steigt die 0,2 %-Dehngrenze auf über 420 N/mm² an. Im Vergleich zum Ausgangswerkstoff kann somit ein Festigkeitsanstieg von 120 N/mm² bzw. 190 N/mm² erzielt werden. Die Kennwerte der 0,2 %-Dehngrenze werden für Proben, die aus dem Bauteil entnommen werden, nicht abgesenkt. Die Versuchsergebnisse zeigen jedoch, dass zwischen den Kennwerten der Y4-Angussproben und der Bauteilproben ein Unterschied von mehr als 10 N/mm² besteht. Trotz der Verminderung der 0,2 %-Dehngrenze an den Bauteilproben werden die Sollwerte erreicht.

Bei Gusseisen mit Kugelgrafit ist eine Steigerung der Festigkeit gleichzeitig mit einer Reduzierung der Zähigkeit verbunden. Das gegenläufige Verhalten wird an den ermittelten Kennwerten der Bruchdehnung A_5 für die erprobten Werkstoffe deutlich. In Bild 3 ist zu sehen, dass die Bruchdehnung der Y4-Angussproben mit steigendem Si-Gehalt abnimmt. Während die Erhöhung des Si-Gehaltes von 2,1 % auf 3,4 % nur mit einer geringfügigen Reduzierung der Bruchdehnung verbunden ist, führt die weitere Erhöhung des Si-Gehaltes zu einer Absenkung der Bruchdehnung auf 18 %. Noch deutlicher wird dieser Effekt bei den Kennwerten der Bauteilproben. Während zwischen dem Ausgangswerkstoff und EN-GJS-450-18 in Bezug auf die erreichte Bruchdehnung keine Unterschiede bestehen, sinkt diese bei EN-GJS-500-14 unerwartet ab und erfüllt mit durchschnittlich 8,4 % nur noch knapp die definierten Anforderungen. Bei EN-GJS-500-14 ist der Abfall der Bruchdehnung nicht ausschließlich der mischkristallverfestigenden Wirkung des Siliziums zuzuschreiben, sondern muss vielmehr im Zusammenhang mit dem Grafitformanteil V+VI diskutiert werden.

Als weiterer Indikator für die Zähigkeit eines Werkstoffes kann die Kerbschlagarbeit KV genutzt werden. Die in Bild 4 dargestellten Versuchsergebnisse zeigen, dass die Mischkristallverfestigung mit Silizium, unabhängig von der Prüftemperatur, zu einer deutlichen Reduzierung der Kerbschlagarbeit führt. Die Kerbschlagarbeit der erprobten Werkstoffe kann folglich nur noch informativ und mit kleiner 5 J angegeben werden.

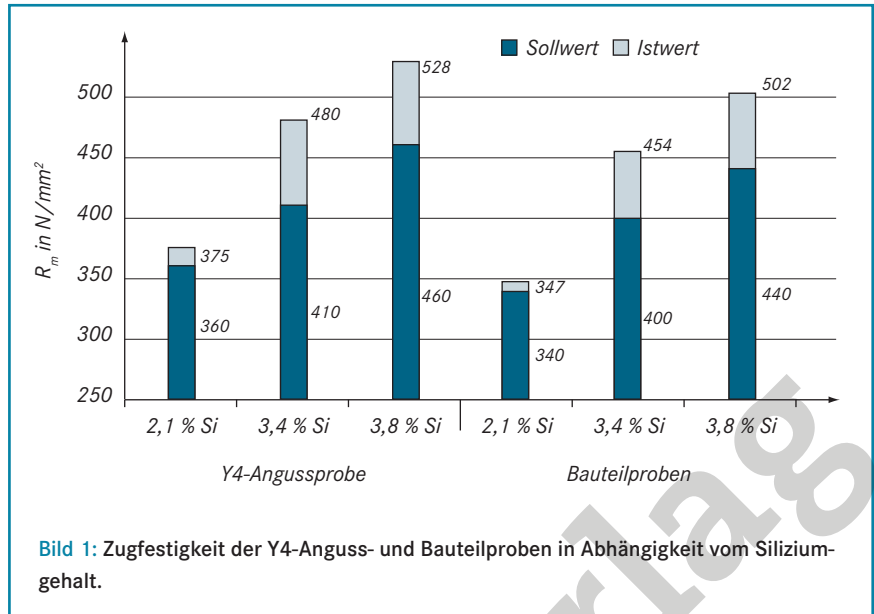


Bild 1: Zugfestigkeit der Y4-Anguss- und Bauteilproben in Abhängigkeit vom Siliziumgehalt.

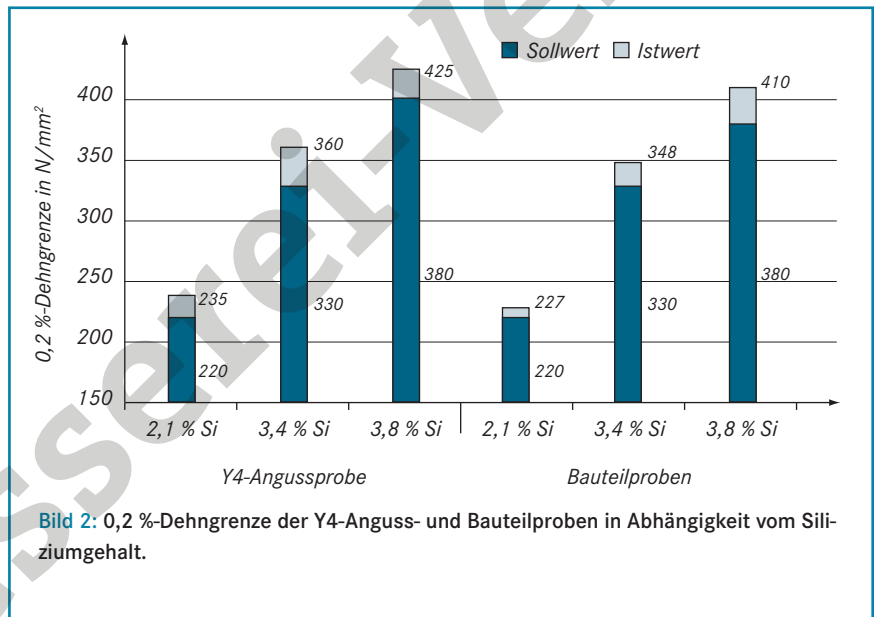


Bild 2: 0,2 %-Dehngrenze der Y4-Anguss- und Bauteilproben in Abhängigkeit vom Siliziumgehalt.

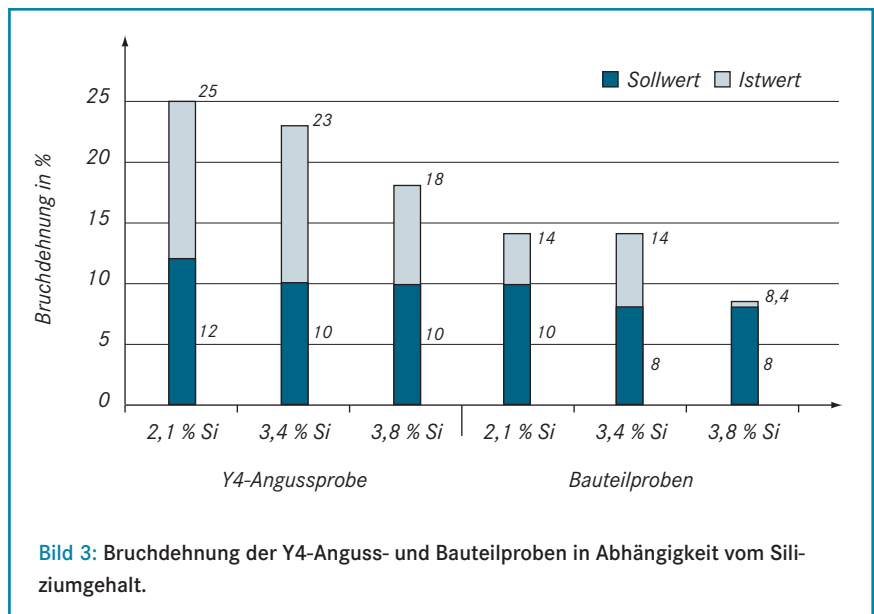


Bild 3: Bruchdehnung der Y4-Anguss- und Bauteilproben in Abhängigkeit vom Siliziumgehalt.

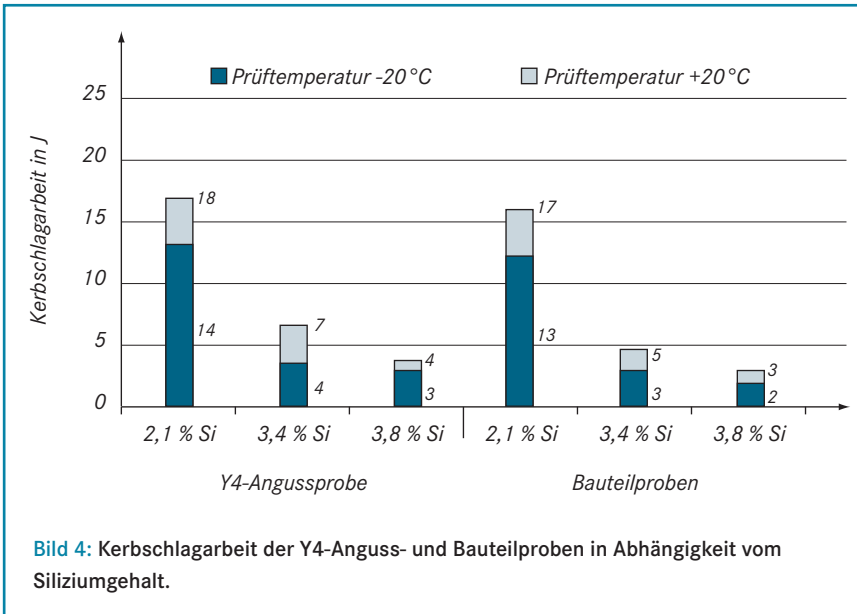


Bild 4: Kerbschlagarbeit der Y4-Anguss- und Bauteilproben in Abhängigkeit vom Siliziumgehalt.

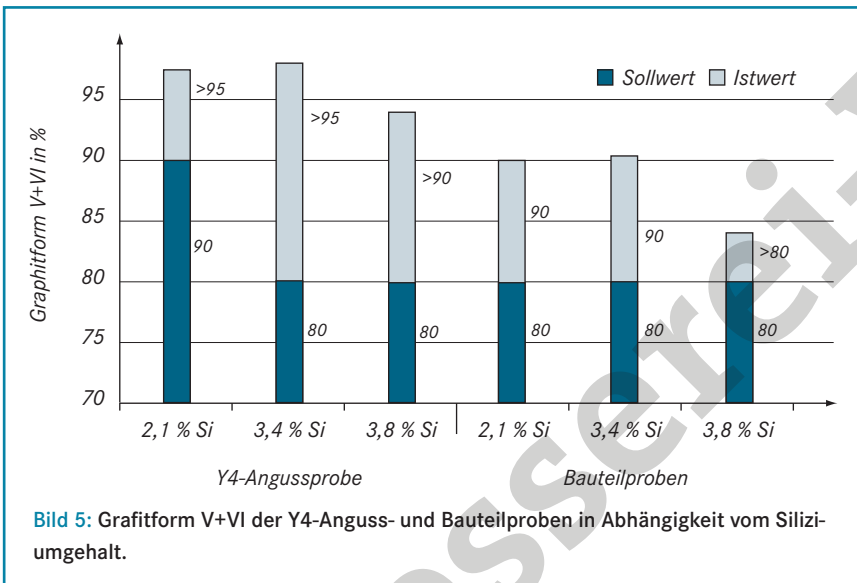


Bild 5: Graphitform V+VI der Y4-Anguss- und Bauteilproben in Abhängigkeit vom Siliziumgehalt.

Gefügeeigenschaften

Werden die durchgeführten Versuchsabgüsse zunächst unabhängig voneinander betrachtet, können folgende Aussagen getroffen werden:

Die Probekörper 1 und 6 (s. Teil 1, Tabelle 3), deren Eigenschaften ausschließlich von der vergossenen Basisschmelze abhängig sind, weisen hinsichtlich der Gefügeeigenschaften keine Unterschiede auf. Durch die im Querlauf der Probekörper 2 und 3 eingebrachte Formimpfung konnte im Vergleich zum Probekörper 1 der Anteil an Graphitform V+VI schrittweise erhöht werden. Andere Gefügeeigenschaften wie die Objektdichte oder der Ferrit-/Perlit-Anteil bleiben durch die steigende Zugabemenge an Impfmittel 1 unverändert. Im Vergleich zum Probekörper 6 konnte durch die Zugabe des Impfmittels 2 die Objektdichte der Probekörpern 7 und 8 deutlich gesteigert werden.

Der Anteil an Graphitform V+VI bleibt gegenüber dem Probekörper 6 unverändert. Mit der gleichmäßigen Erhöhung beider Impfmittel können beim Probekörper 4 sowohl der Anteil an Graphitform V+VI als auch die Objektdichte gesteigert werden. Obwohl durch die Erhöhung der Gesamtimpfmittelmenge auf 0,4 % nochmals ein Anstieg der Objektdichte erreicht wird, wirkt sich diese Impfmittelkombination bereits nachteilig auf den Anteil an Graphitform V+VI aus. Durch die gewählten Impfmittelkombinationen konnten in allen Probekörpern Grafitentartungen vermieden werden, die durch erhöhte Siliziumgehalte entstehen können.

Weil für jeden Versuchsabguss die gleichen Impfmittelkombinationen zur Anwendung kamen, stehen die Gefügeeigenschaften der Werkstoffe beim Vergleich miteinander nur in Abhängigkeit zum Siliziumgehalt. In Bild 5 ist zu erkennen, dass sich der Anteil an Graphitform V+VI

durch die Erhöhung des Siliziumgehaltes von 2,1 % auf 3,4 % nicht verringert. Allerdings führt die Erhöhung des Siliziumgehaltes auf 3,8 % vor allem bei den Bauteilproben zu einer Reduzierung der Grafitform V+VI. Der Unterschied zwischen den Y4-Angussproben und den Bauteilproben ist durch die unterschiedlichen Erstarrungsgeschwindigkeiten zu begründen.

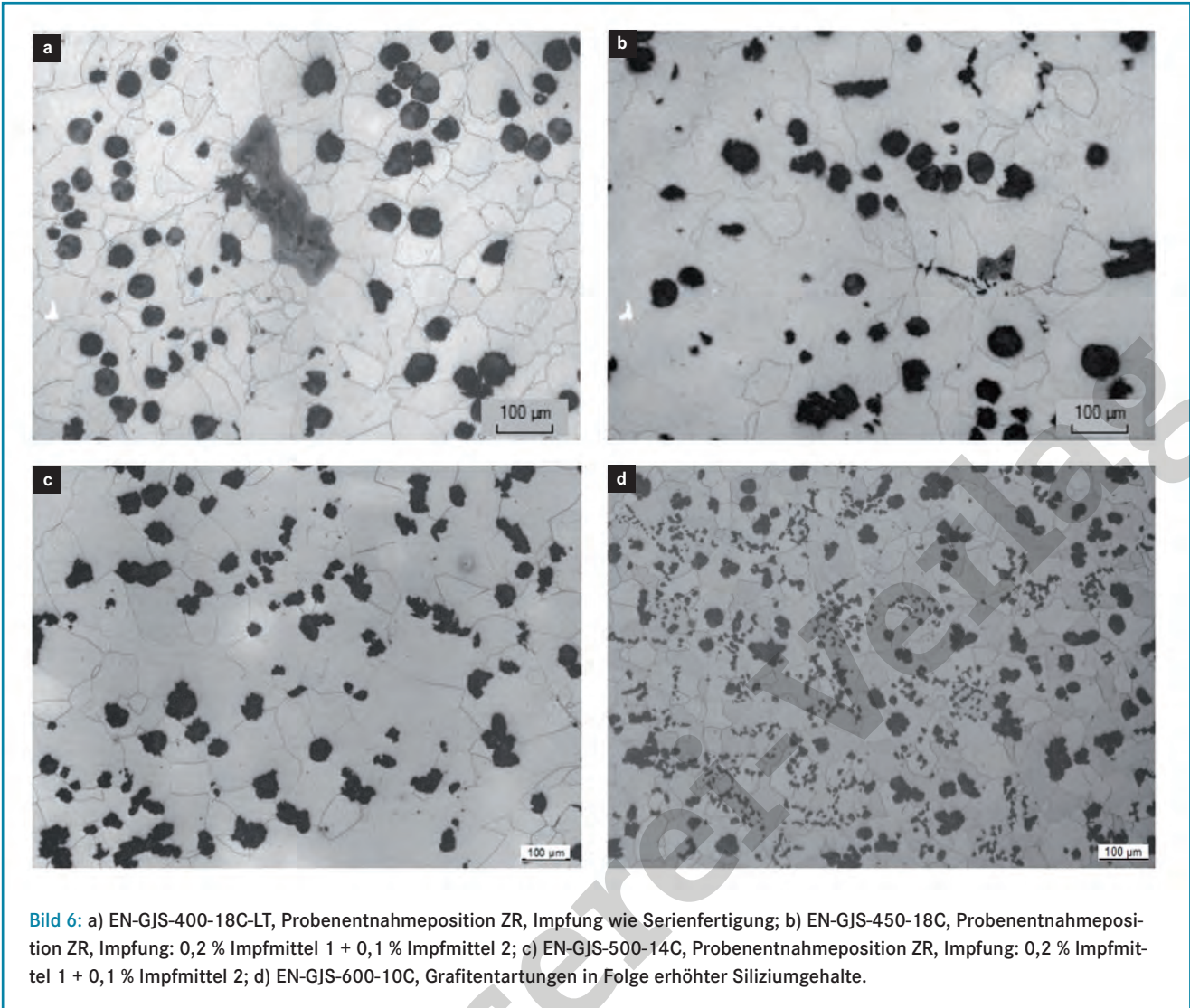
Die erreichbare Bruchdehnung von Gusseisen mit Kugelgraphit steht neben dem Siliziumgehalt auch im Zusammenhang mit dem Anteil an Grafitform V+VI. Werden die Erkenntnisse der metallografischen Untersuchungen in Kontext zu den mechanischen Eigenschaften gesetzt, lässt sich ableiten, dass der unerwartete Rückgang der Bruchdehnung beim Werkstoff EN-GJS-500-14 durch die Reduzierung des Grafitformanteils V+VI und nicht ausschließlich durch die erhöhten Siliziumgehalte verursacht wird. Dieses Beispiel verdeutlicht, dass die gewünschten mechanischen Eigenschaften nur bei optimaler Grafitausbildung erreicht werden. Die Gefügebilder in Bild 6 zeigen beispielhaft die Veränderung der Gefügeeigenschaften bei konstanter Impfmittelmenge und Probenposition in Abhängigkeit vom Siliziumgehalt. Neben der Reduzierung des Grafitformanteils V+VI ist auch eine Reduzierung des Perlitanteils erkennbar. Dieser Eindruck wird durch die ermittelten Phasenteile an Ferrit/Perlit bestätigt. Wie in Bild 7 erkennbar ist, sinkt der Perlitanteil in Abhängigkeit vom Siliziumgehalt.

Speisungseigenschaften

Die Ultraschall- und Röntgenprüfung der Probekörper und Lunkerkreuze blieb ohne Anzeigen. Auch durch das gezielte Entfernen von Speisern konnten keine Porositäten in den Probekörpern oder Lunkerkreuzen herbeigeführt werden. Aus diesen Ergebnissen lässt sich ableiten, dass die erprobten mischkristallverfestigten Werkstoffe das gleiche Speisungsverhalten wie der Ausgangswerkstoff besitzen. Das bedeutet, dass bei konstantem Sättigungsgrad eine Werkstoffsubstitution auch ohne Änderung der Gießtechnologie erfolgen kann.

Praxiserfahrungen und Ausblick

Die Versuchsergebnisse ermöglichten es der Zeitzer Guss GmbH bereits, eine vom Kunden gewünschte Werkstoffsubstitution für ein 14,5 t schweres Seriengussteil der Windkrafttechnik erfolgreich umzusetzen. Der bis dato vergossene Werkstoff EN-GJS-400-18-LT wurde, ohne gießtech-



nologische Veränderungen am Fertigungsprozess vorzunehmen, durch den Werkstoff EN-GJS-500-14 ersetzt. In **Bild 8** werden das Bauteil und die Probenentnahme schematisch dargestellt. Das Bauteil besitzt in der gezeigten Position eine Wanddicke von 200 mm. Die in **Tabelle 1** aufgeführten Ergebnisse decken sich bzgl. der Zugfestigkeit und der 0,2 %-Dehngrenze mit den Versuchsergebnissen der Probekörper. Die Ergebnisse zeigen, dass durch einen hohen Anteil an Grafitform V+VI auch eine ausreichend hohe Bruchdehnung trotz Mischkristallverfestigung erreicht werden kann. Die für den Wanddickenbereich $60 < t \leq 200$ mm geforderten mechanischen Eigenschaften und Gefügeigenschaften werden dadurch sicher erreicht.

Die Anwendung der mischkristallverfestigten Werkstoffe in der Windkrafttechnik ist jedoch mit zusätzlichen Herausforderungen für die Gießerei und den Kunden verbunden. Zum einen sind bis heute nur wenige Untersuchungsberichte bzgl. der zyklischen Werkstoffeigenschaften im Wanddickenbereich $60 < t \leq 200$ mm ver-

öffentlicht, und zum anderen muss aufgrund des eintretenden Zähigkeitsverlustes ($A_5 < 12,5\%$; $KV < 10$ J) zusätzlich ein bruchmechanischer Sicherheitsnachweis für die Zertifizierung der Windkraftanlage geführt werden. Es bietet sich an, diese

Herausforderungen in Zusammenarbeit mit dem Kunden anzunehmen. Die Gießerei muss sich dabei der Aufgabe stellen, Gussbauteile herzustellen, die möglichst wenige Porositäten und Ausscheidungen sowie eine bestmögliche Gefügeausbil-

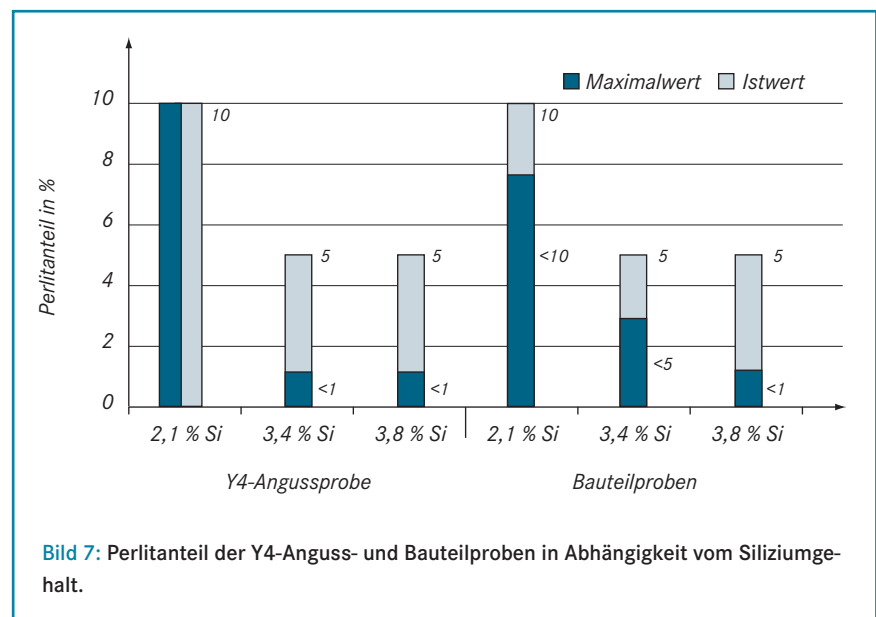


Tabelle 1: Werkstoff EN-GJS-500-14C – Ergebnisse der zerstörenden Werkstoffprüfung eines 14,5 t schweren Bauteils.						
		$R_{p0,2}$ in N/mm ²	R_m in N/mm ²	A_5 in %	Form V+VI in %	Perlitanteil in %
Soll		380	440	8	≥80	≤5
Ist	Außen	423	544	18	95	<1
	Mitte	415	532	15	95	<1
	Innen	414	528	11	95	<1

dition aufweisen, um entsprechende zyklische und bruchmechanische Werkstoffeigenschaften erreichen zu können [1]. Mit den erfolgten Untersuchungen zur Impftechnologie und dem Speisungsverhalten der mischkristallverfestigten Werkstoffe wurden die ersten Schritte in diese Richtung unternommen. Die Arbeit an dieser Aufgabenstellung muss aber in Zukunft noch weiter intensiviert werden, um einen vollständigen Überblick über die Werkstoffgruppe zu erhalten.

Zusammenfassung

Im Folgenden werden die Versuchsergebnisse kurz zusammengefasst:

- > Die definierten Mindestanforderungen an die mechanischen Kennwerte und die Gefügeeigenschaften der mischkristallverfestigten Werkstoffe wurden erreicht.
- > Durch die gewählten Impfmittelkombinationen konnten Grafitentartungen, die als Folge von erhöhten Siliziumgehalten entstehen können, vermieden werden.
- > Die erreichbare Bruchdehnung steht im Zusammenhang mit dem Grafitformanteil V+VI. Es ist ein möglichst hoher Anteil an Grafitform V+VI anzustreben.
- > Das Speisungsverhalten der mischkristallverfestigten Werkstoffe unterscheidet sich nicht grundsätzlich von dem des Ausgangswerkstoffes.



Bild 8: Schematische Darstellung eines 14,5 t schweren Bauteils mit Probenentnahmeposition.

- > Die erprobten mischkristallverfestigten Werkstoffe sind unter Beachtung der beschriebenen Zusammenhänge im Großguss herstellbar.

Allen Mitarbeitern der Silbitz Group, die mit Rat und Tat zum Gelingen dieser Veröffentlichung beigetragen haben, sei herzlich gedankt. Darüber hinaus gilt der Dank Dipl.-Ing. Wolfgang Johannes für seine wertvolle fachliche Unterstützung.

Dipl.-Ing. Stefan Seidel, Zeitzer Guss GmbH, Zeitz

Literatur:

[1] Pusch, G.; Biermann, H.: Bruchmechanische Bewertung Si-mischkristallverfestigter GJS-Werkstoffe im Hinblick auf ihren Einsatz in Windkraftanlagen. In: 25. Lederbur-Kolloquium, Freiberg 29./30. Oktober 2016.

