



FOTOS UND GRAFIKEN: FRANKEN GUSS

Neue Entwicklungen im Bereich GJS für anspruchsvolle Belastungsfälle bei Franken Guss

Bewertung von Bauteilen aus Gusseisen mit Kugelgrafit für dynamische Lastfälle - auch unter extremen Kältebedingungen

Neukonstruktionen im Automobilbau werden zunehmend von gegossenen Bauteilen bestimmt, da hier bei der Auslegung nur wenige Einschränkungen für die Geometrie bestehen. So ist aus der Sicht des Konstrukteurs bei Neuentwicklungen auch die Suche nach neuen Gusswerkstoffen, insbesondere den Gusseisen, eine folgerichtige Entwicklung.

VON WOLFGANG KNOTHE, KITZINGEN

Traditionell und aktuell sind Werkstoffkennwerte wie Streckgrenze, Zugfestigkeit und Dehnung die grundlegenden Kriterien bei der Wahl der Werkstoffe. Entsprechend der gestiegenen Belastungen

durch den geforderten Leichtbau wurden Gusseisenwerkstoffe mit höheren Streckgrenzwerten und Dehnungen entwickelt. Mit Vorliegen aktueller Neukonstruktionen sowie von Werkstoffkennwerten aus Bauteiluntersuchungen kann jetzt eine kritische Bewertung, insbesondere der Si-legierten Kugelgrafitwerkstoffe, getroffen werden.

Analyse des Lastfalles

Die Lastfälle im Automobil- und Fahrzeugbau bestehen im Wesentlichen aus:

- > statischem Lastfall,
- > dynamischem Lastfall und
- > Crash-Verhalten.

Tabelle 1: Mischkristallverfestigtes ferritisches Gusseisen mit Kugelgraphit nach DIN EN 1563.			
Kurzzeichen	GJS-450-350-18	GJS-500-400-14	GJS-600-450-10
Zugfestigkeit R_m in N/mm	440	480	580
Streckgrenze $R_{p0,2}$ in N/mm ²)	350	400	450
Bruchdehnung A5 in %	16	12	8
Brinellhärte (HB) 30/5	170-200	185-215	200-230
Gefüge	ferritisch, max. 5 % Perlit	ferritisch, max. 5 % Perlit	ferritisch, max. 5 % Perlit
Siliziumgehalt in %	~ 3,20	3,80	4,30

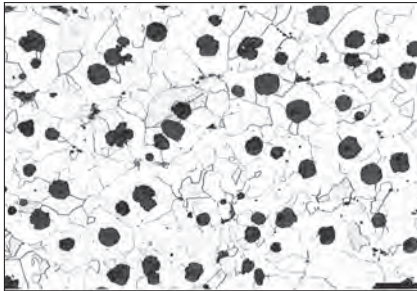


Bild 1: Typische Gefügeausbildung des Si-legierten Gusseisens mit Kugelgraphit, GJS-500-14.

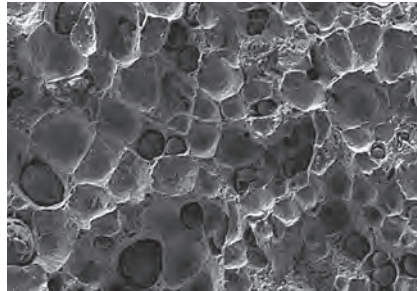


Bild 2: GJS-450-18, Si-Gehalt 3,08 %: Ausgeprägter Verformungsbruch bei Raumtemperatur.

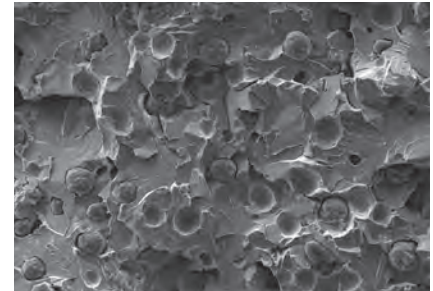


Bild 3: GJS-450-18, Si-Gehalt 3,08 %: Bei Tieftemperatur von -20 °C zeigt der Werkstoff bereits einen Mischbruch mit teilweiser Wabenstruktur.

Der statische Lastfall besteht aus der Einzelfalllast und wird nach den quasi-statischen Werkstoffkennwerten des klassischen Zugversuchs bewertet. Die dabei gemessene Dehnung gibt jedoch keinen ausreichenden Hinweis auf das Zähigkeitsverhalten des Bauteils. Demgegenüber ist für den dynamischen Lastfall das entscheidende Kriterium zur Auswahl des Werkstoffs die ertragbare Mittelspannungsamplitude. Betriebsfestigkeitsuntersuchungen zur Zeit- oder Dauerfestigkeit belegen, dass der bestimmende Einfluss auf das Werkstoffverhalten aus dem Kerbfaktor resultiert und mit steigender Werkstofffestigkeit die Kerbempfindlichkeit zunimmt.

Spätestens hier wird deutlich, dass hohe Streckgrenz- und Zugfestigkeitswerte noch lange kein Garant für höher tragbare Lastfälle sind. Vielmehr müssen Bauteilauslegung und Werkstoffeigenschaften einander ergänzen. Aus diesem Blickwinkel ist die Bewertung des Bruchverhaltens von legiertem Gusseisen mit Kugelgraphit aktuell von großer Bedeutung. Erste Priorität im Fahrwerksbau hat das Prinzip: Biegung vor Bruch!

Crashversuche belegen, dass Gusseisen mit Kugelgraphit sehr komplex belastbar ist, wenn folgende Anforderungen erfüllt werden:

- > Verformungsbruchverhalten,
- > Energieabsorption,
- > Vermeidung von Spröbruch,
- > Konstanz der Steifigkeit,
- > geringe Eigenspannung.

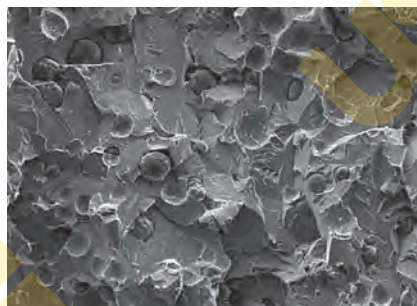


Bild 4: Bruchmorphologie von GJS-500-14 bei Raumtemperatur.

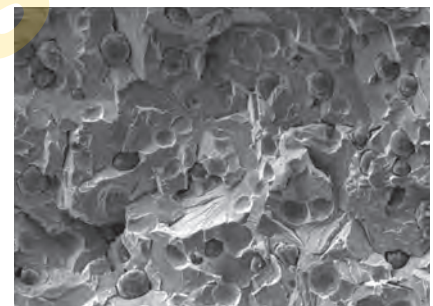


Bild 5: Bruchmorphologie von GJS-500-14 bei -20 °C.

Tabelle 2: Wertevergleich Schlagzähigkeitsproben 10 x 55 mm.			
Werkstoff	Schlagzähigkeit in J		Bruchart
GJS 400-18 (ferritisch)	RT	114	Verformungsbruch
	- 20 °C	84 / 92	Verformungsbruch
GJS 500-7 (ferritisch/perlitisch)	RT	74	Verformungsbruch
	- 20 °C	53 / 53	Mischbruch
GJS 450-18 (ferritisch)	RT	89	Verformungsbruch
	- 20 °C	38 / 71	Mischbruch
GJS 500-14 (ferritisch)	RT	92	Spröbruch
	- 20 °C	33 / 24	Spröbruch
GJS 600-10 (ferritisch)	RT	27	Spröbruch
	- 20 °C	9 / 11	Spröbruch

Mit den hier vorliegenden Untersuchungen werden die Werkstoffeigenschaften zwischen mischkristallverfestigtem ferritischem Gusseisen und ferritisch-perlitischen Werkstoffen verglichen.

Untersuchte Werkstoffe

Die Werkstoffprüfungen wurden an drei mischkristallverfestigten ferritischen

Gusseisensorten mit Kugelgraphit aus der nach DIN EN 1563 genormten Werkstoffreihe, Tabelle 1, durchgeführt. Exemplarisch zeigt Bild 1 eine typische Gefügeausbildung des Si-legierten Gusseisens mit Kugelgraphit, GJS-500-14. Die Bestimmung der Bruchmorphologie erfolgte im Schlagbiegeversuch an Stäben mit einem Durchmesser von 10 mm und einer Länge von 55 mm in Anlehnung an DIN EN

ISO 148-1. Die Bruchflächenbewertung wurde rasterelektronisch mikroskopisch bewertet.

Ergebnisse

Bei Raumtemperatur zeigt GJS-450-18 noch einen ausgeprägten Verformungsbruch (Bild 2). Bei Tieftemperatur von -20°C zeigt der mit 3,08 % Si legierte Werkstoff schon einen Mischbruch mit teilweiser Wabenstruktur (Bild 3). Sobald der Si-Gehalt über 3,20 % ansteigt, besteht in allen Temperaturbereichen nur noch Sprödbbruch. Die Bruchmorphologie wird am Beispiel GJS-500-14 in den Bildern 4 und 5 gezeigt. Mit den in der Tabelle 2 gezeigten Ergebnissen werden Untersuchungen von H. M. Lin u. a. [1] (Bild 6) bestätigt. Ziel der Untersuchungen von H. M. Lin war, mit Lastfallproben aus dem Abgasstrang den Einfluss steigender Si-Gehalte auf die Bruchmorphologie zu ermitteln. Untersucht wurden Si-Gehalte bis 4,30 %. Auch hier wurde ein Verformungsbruchverhalten dynamischer Lastfälle bei 2,90 % Siliziumgehalt ermittelt; höhere Si-Gehalte führten zu Sprödbbruch.

Über eine aktuelle europäische Untersuchung zum Einfluss steigender Mischkristallverfestigung berichten G. Gassner u. a. [2]. Siliziumgehalte über 3,50 % führen demnach zu einer Instabilität der mechanischen Werkstoffkennwerte insbesondere der Dehnung.

Risiken der mischkristallverfestigten GJS-Werkstoffe

1. Die Mischkristallverfestigung führt zu einer massiven Versprödung des Ferrits und entspricht nicht mehr den Eigenschaften des α -Mischkristalls.
2. Das Verformungsbruchverhalten des Ferrits wird verändert zum Sprö- und interkristallinen Bruch.
3. Bei Siliziumgehalten oberhalb 3,50 % besteht eine zunehmende Instabilität der gemessenen Werkstoffkennwerte wie Streckgrenzenverhältnis und Dehnung.

Bruchmorphologischer Vergleich zum ferritisch-perlitischen Werkstoff GJS-500-7

Diese Untersuchung zeigt, dass der ferritisch-perlitische Werkstoff GJS-500-7 bei einem Anstieg des Perlitgehaltes bis auf sogar 50 % noch ein Verformungsbruchverhalten aufweist (Bild 7). Hier bestätigt sich deutlich der Einfluss des niedrig legierten Ferrits. Die Fließstruktur des unlegierten α -Ferrits zeigt, dass

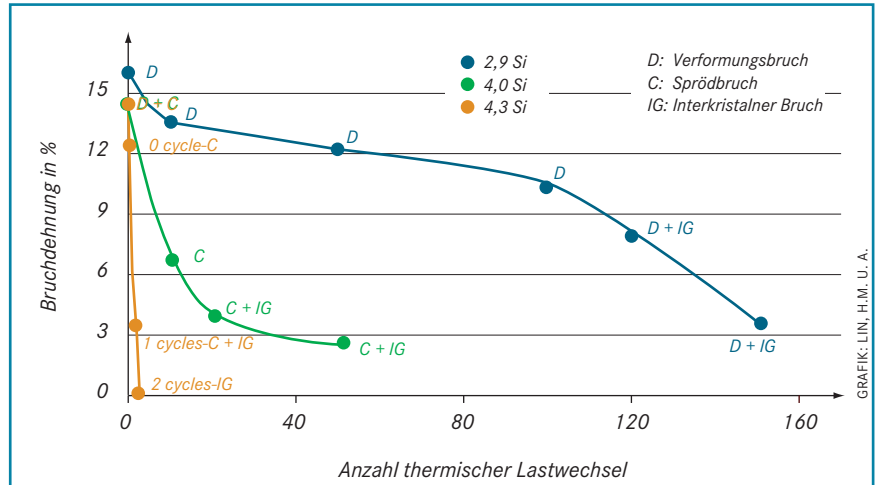


Bild 6: Bruchverhalten von GJS mit unterschiedlichen Si-Gehalten [1, S. 89]

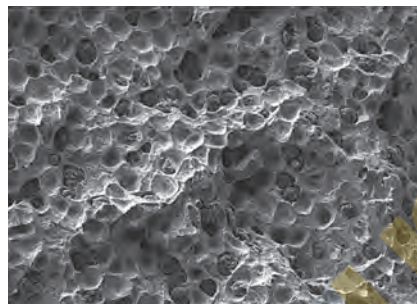


Bild 7: Der ferritisch-perlitische Werkstoff GJS-500-7 (Si-Gehalt 2,52 %) zeigt bei Raumtemperatur einen gleichmäßigen Verformungsbruch.

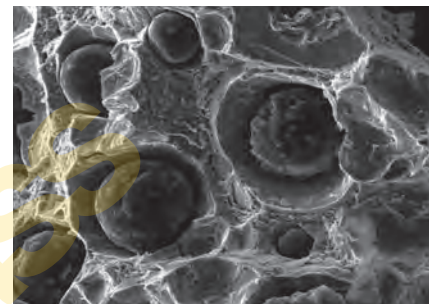


Bild 8: Fließstruktur der Matrix im Gusseisen mit Kugelgraphit / Wabenstruktur des Verformungsbruches.

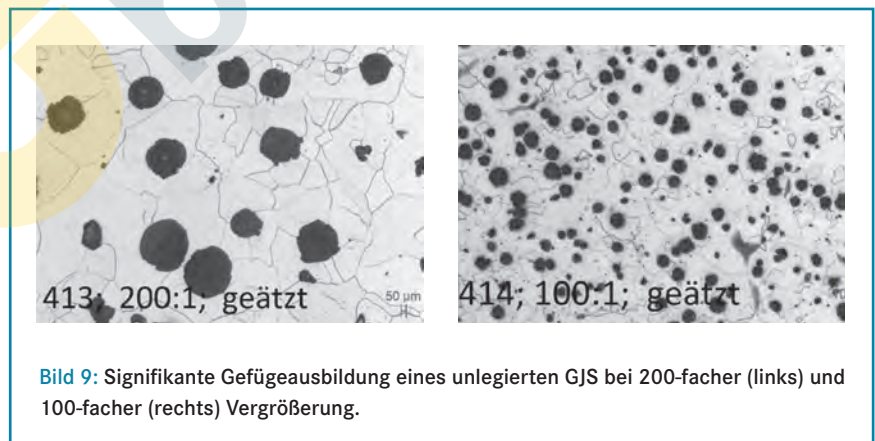


Bild 9: Signifikante Gefügeausbildung eines unlegierten GJS bei 200-facher (links) und 100-facher (rechts) Vergrößerung.

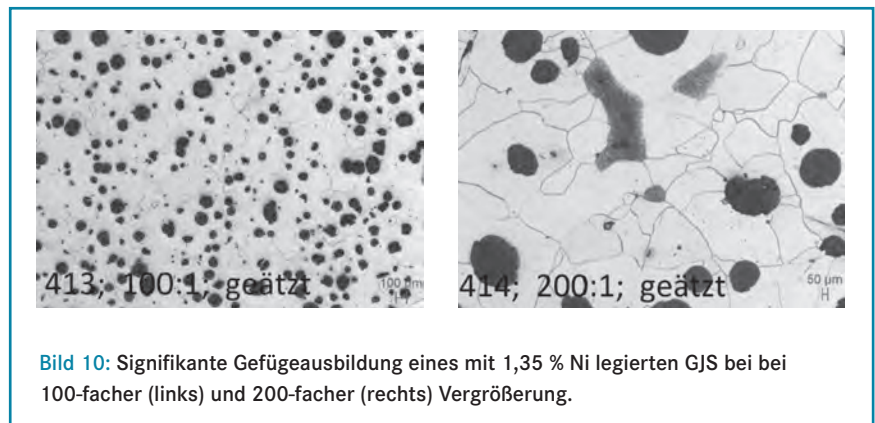


Bild 10: Signifikante Gefügeausbildung eines mit 1,35 % Ni legierten GJS bei bei 100-facher (links) und 200-facher (rechts) Vergrößerung.

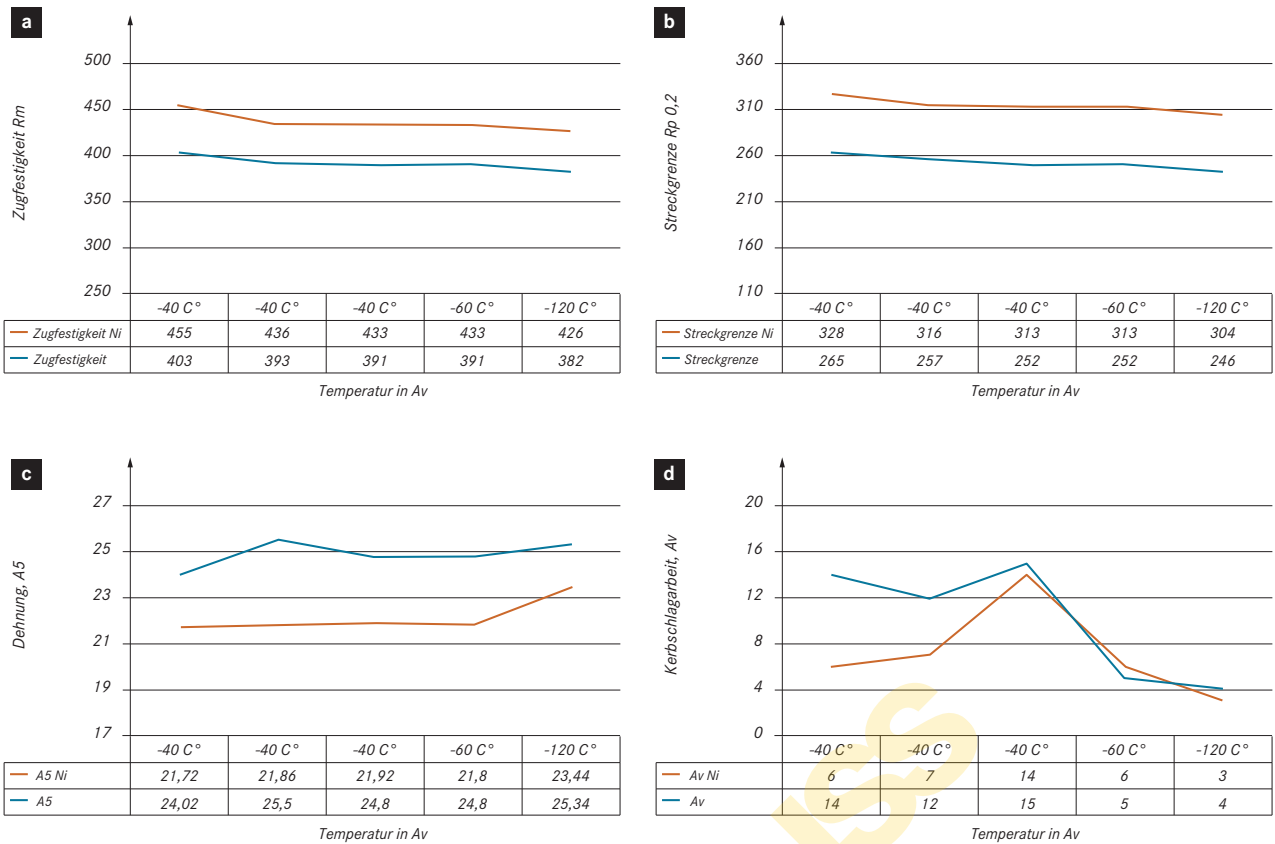


Bild 11: Vergleich der statischen Kennwerte mit der Kerbschlagfestigkeit AV: a) Zugfestigkeit, b) Streckgrenze, c) A5-Dehnung, d) Kerbschlagarbeit.

der Werkstoff im Lastfall eine eigene Stützstruktur entwickelt. Dabei bewirkt die Kugelform des Graphits das Entstehen einer Wabenstruktur (Bild 8). Zur Entwicklung einer erhöhten Kaltzähigkeit von ferritischem Gusseisen mit Kugelgraphit wurden unlegierte (Bild 9) mit Ni-legierten (Bild 10) Sorten verglichen. Die Grafiken a) bis c) in Bild 11 zeigen die gemessenen mechanischen Eigenschaften, die Grafik d) die gemessenen Kerbschlagarbeitswerte. Die gemessenen Werte bestätigen die Erwartung des Anstiegs der mechanischen Werkstoffkennwerte mit sinkender Temperatur. Die Kerbschlagwerte reagieren sehr sensibel auf steigende Ni-Gehalte, hier bis 1,35 % durch steigende Perlitanteile. Überraschend aber ist die übereinstimmende Bruchmorphologie; also das Vorliegen eines Verformungsbruches!

Aus diesen Ergebnissen erschließen sich neue Ansatzpunkte zur Bewertung der Kaltzähigkeit eines Bauteiles. So wie der Werkstoff eine geometrische Stützwirkung aufbaut, resultiert die Bauteilfestigkeit aus ihrer Auslegung. Das bedeutet, mit der Wanddicke kann das Trägheitsmoment so erhöht werden, dass dynamische Lasten oder Schlaglas-

ten zwar zu Deformationen, nicht aber zur Rissauslösung führen.

Aus diesem Grund kann nicht allein die Schlagzähigkeit der Werkstoffprobe als Bewertungskriterium gelten! Vielmehr resultiert das Kaltzähigkeitsverhalten eines Bauteiles sowohl aus der Bruchmorphologie des Werkstoffes als auch aus seiner Geometrie, weshalb Crash-Versuche am Bauteil erforderlich sind.

Fazit

- > Gusseisen mit Kugelgraphit und ferritischer Matrix ist ein moderner leistungsfähiger Werkstoff mit einer breiten Varianz für Bauteile im dynamischen Lastfall auch unter extremen Kältebedingungen bis in den Bereich von -90 °C; die Kältebelastung begrenzt sich durch die krz-Gitterstruktur des Ferrits.
- > Die Bewertung des Lastfalles muss im Crash-Versuch des Bauteils erfolgen und daraus müssen Kenndaten zur Berechnung der Kaltzähigkeit erarbeitet werden.
- > Die Auslegung von Bauteilen unter Nutzung der Gestaltungsfreiheit des

Gießens ermöglicht eine bedeutend höhere Belastbarkeit als vermeintlich aus der Steigerung der Werkstofffestigkeit.

- > Die Methoden der Bionik [3] empfehlen sich exklusiv für eine gießtechnische Formgebung.
- > Die dynamischen Lastfälle moderner Gusskonstruktionen erfordern die Gewährleistung einer elastisch-plastischen Verformung des Werkstoffes, also einem genügenden Anteil an niedrig legiertem α -Mischkristall.

Dr.-Ing. Wolfgang Knothe, Entwicklung Eisenguss, Franken Guss GmbH & Co. KG, Kitzingen.

Literatur:

- [1] Giesserei 91 (2004), [Nr. 11], S. 89.
- [2] Gassner, G. u. a.: 60. Österr. Gießertag, 7./8. April 2016, Bad Ischl.
- [3] Mattheck, C.: Seminar über Bauteiloptimierung, Okt. 2015, Universität Karlsruhe.