

FOTOS UND GRAFIKEN: GF CASTING SOLUTIONS



Ein neues hochfestes, hoch duktiles Gusseisen mit Kugelgrafit

Getriebegehäuse eines Halbraupentraktors.

VON WERNER MENK, SCHAFFHAUSEN, SCHWEIZ

Vor Jahren schon wurde, vor allem in Schweden, für eine neue Familie von Gusseisen mit Kugelgrafit geworben – mischkristallverfestigtes Gusseisen mit Kugelgrafit. Seit der Ausgabe 2011 sind diese Sorten auch in der EN-1563 aufgenommen: EN-GJS-450-18, EN-GJS-500-14 und EN-GJS-600-10. Die Aufnahme dieser Sorten in die Europäische Norm führte zu einem großen Interesse vieler Ingenieure, welches mittlerweile fast zu einem Hype geworden ist. Der Grund dafür ist klar: Während der GJS-450-18 sich nicht stark vom konventionellen GJS-450-15 unterscheidet, verspricht vor allem der GJS-500-14 große Vorteile gegenüber dem Standard-



Bild 1: Dem Bauteil wurden Proben für Biegeversuche (statisch und dynamisch unter schlagartiger Beanspruchung) entnommen. Probenabmessungen: 14,8-17,5 mm Wanddicke, Breite auf 12,1 mm geschliffen, 180 mm Länge (wichtig: Der Rissausgangsbereich bei der Prüfung ist die unbearbeitete Gusshaut).

GJS-500-7: Verglichen mit dem konventionellen GJS-500-7 weist der mischkristallverfestigte GJS-500-14 eine von 320 auf 400 MPa erhöhte 0,2 %-Dehngrenze

und eine von 7 auf 14 % verdoppelte Bruchdehnung auf und verspricht zudem eine bessere Bearbeitbarkeit. Bezüglich der höherfesten Sorte GJS-600-10 tra-

ten schon früh Zweifel auf, da für das Erreichen der geforderten Festigkeit derart hohe Silicium-Gehalte eingestellt werden müssen, dass das Risiko einer Ferritversprödung schon bei Raumtemperatur hoch ist, was auch im statischen Zugversuch nachweisbar ist. Der Werkstoff GJS-500-14 hingegen hat nach wie vor die Reputation eines sehr duktilen Werkstoffs.

Vor einiger Zeit bekam GF Casting Solutions einen Auftrag eines Kunden, der ein Stahlteil für ein schweres kommerzielles Offroad-Fahrzeug durch ein in GJS-500-14 gegossenes ersetzen wollte. Alle Berechnungen bestätigten eine hervorragende Performance des Gussteils, aber kurz nach Serieneinführung zeigten sich Feldausfälle in Form von spontanen Brüchen des Bauteils ohne jegliche Vorwarnung.

Erste Untersuchungen

Die Untersuchungen zeigten, dass das Bauteil nicht nur statisch und zyklisch belastet wird, sondern auch schlagartigen Belastungen ausgesetzt ist. Weitere Untersuchungen zum Verhalten unter schlagartigen Beanspruchungen ergaben, dass sich der Werkstoff GJS-500-14 unter derartigen Bedingungen nicht wirklich duktil verhält (**Bild 1**).

Eine Probe GJS-500-14 wurde auf einem servohydraulischen Prüfstand statisch mit einer Belastungsgeschwindigkeit von 5 mm/min geprüft. Verschiedene Proben GJS-500-14 und Sibodur 700¹⁾ wurden auf einer instrumentierten Rosand-Schlagprüfanlage mit einer Prüfungsgeschwindigkeit von 3,6 m/s geprüft, was 216 000 mm/min entspricht (**Bild 2**). Die Anlage besteht aus einem Turm, in welchem eine Masse von bis zu 103 kg auf eine Höhe von max. 2500 mm gebracht und auf ein Prüfstück fallen gelassen werden kann. Während des Auftreffens auf das Prüfteil werden Weg und Kraft gemessen, sodass die Energie ermittelt werden kann, welche notwendig ist, die Probe zu brechen.

Die Ergebnisse dieser ersten Versuche sind in **Bild 3** wiedergegeben. Während sich die GJS-500-14-Probe im statischen Versuch sehr duktil verhält, zeigt der Schlagversuch, dass sich die Probe bis zum Bruch nur wenig verformt und das Energieaufnahmevermögen stark reduziert ist. Die Bruchfläche zeigt denn auch einen spröden inter- und transkristallinen Bruch (**Bild 4**). Das Verhalten im dynamischen Versuch ist vergleichbar mit Proben aus Sibodur 700-10 – einem GF-Werkstoff mit wesentlich höherer Festigkeit.

KURZFASSUNG:

Die neuen Sorten mischkristallverfestigten Gusseisens mit Kugelgrafit sind mittlerweile wohl bekannt. Speziell die Sorte GJS-500-14 findet großes Interesse: Verglichen mit dem konventionellen GJS-500-7 weist der mischkristallverfestigte GJS-500-14 eine von 320 auf 400 MPa erhöhte 0,2 %-Dehngrenze und eine von 7 auf 14 % verdoppelte Bruchdehnung auf. Diese Eigenschaftsverbesserungen sind für Konstrukteure natürlich interessant, und zudem verspricht die rein ferritische Matrix dieses Werkstoffs eine bessere Bearbeitbarkeit. Aus diesem Grund ersetzte einer der Kunden der GF Casting Solutions ein Stahlteil durch GJS-500-14. Alle Berechnungen bestätigten eine hervorragende Performance des Gussteils, aber kurz nach Serieneinführung traten Feldausfälle in Form von spontanen Brüchen des Bauteils ohne jegliche Vorwarnung auf. Die Untersuchungen ergaben, dass das Bauteil nicht nur statisch und zyklisch belastet wird, sondern auch schlagartigen Belastungen ausgesetzt ist. Weitere Untersuchungen zum Verhalten unter schlagartigen Beanspruchungen zeigten dann, dass sich der Werkstoff GJS-500-14 unter derartigen Bedingungen nicht wirklich duktil verhält. Die Besinnung auf die GF Casting-Philosophie mit dem Sibodur-Konzept, nämlich eine moderate Mischkristallverfestigung mit einer leichten Verfestigung durch Perlit zu kombinieren, führte zu einem neuen Gusseisen mit Kugelgrafit, zu Sibodur 500 – ein Werkstoff mit derselben Festigkeit wie GJS-500-14, mit nur 10 % niedrigerer 0,2 %-Dehngrenze, minimal geringerer Bruchdehnung im Zugversuch, aber je nach Temperatur doppelter bis vierfacher Energieaufnahme bis zum Bruch bei schlagartigen Belastungen!



Bild 2: Rosand-Schlagprüfanlage für instrumentierte Schlagversuche.

¹⁾Sibodur 700-10 ist ein geschützter Name eines GF-Gusseisens mit Kugelgrafit mit patentierter Zusammensetzung und einer Mindestzugfestigkeit von 700 MPa und einer Bruchdehnung von 10 %.

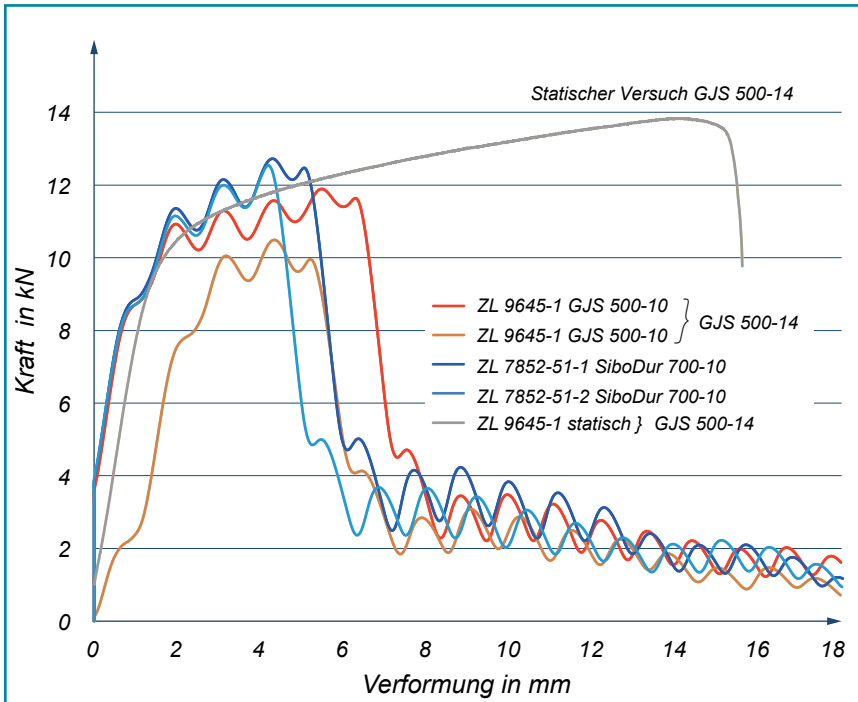


Bild 3: Ergebnisse statischer und dynamischer Versuche mit Proben aus GJS-500-14 und Sibodur 700-10.

- > $R_m = 500$ bis 560 MPa (Mittelwert 533 MPa),
- > $A = 11$ bis 15 % (Mittelwert $12,8$ %) und
- > $HB = 170$ bis 22 (Mittelwert 186).

Abhängig von der Probenposition lag eine Matrix mit 50 bis 70 % Ferrit und entsprechend 30 bis 50 % Perlit vor.

Gussteile in Sibodur 450²⁾ und dem neuen Sibodur 500 wurden abgegossen. Mit daraus entnommenen Proben wurden dieselben Schlagversuche durchgeführt, wie eingangs beschrieben. Bild 5 zeigt das Ergebnis dieser Versuche. Es ist deutlich erkennbar, dass Proben aus Sibodur 450 unter Schlagbeanspruchung eine höhere Duktilität aufweisen als Proben aus Sibodur 500 – bei allerdings natürlich niedrigerer Festigkeit.

Für Bauteile, welche schlagartigen Belastungen ausgesetzt sind, sind Kräfte und plastische Verformungen, welche zum Bruch führen, außerordentlich wichtig. Die Kombination von Kraft und Verformung ist die Energie, welche notwendig ist, den Bruch herbeizuführen. Diese Energie ist das Integral unter der Kraft-Verformungs-Kurve und kann leicht ermittelt werden. Bild 6 zeigt eine Zusammenstellung aller Schlagversuche (Mittelwerte und Standardabweichungen), welche bei Raumtemperatur durchgeführt wurden.

Während Sibodur 700-10 die höchste Kraft aufweist – dieser Werkstoff ist ja auch der höchstfeste der untersuchten Werkstoffe – zeigt Sibodur 450 die höchste Verformung bis zum Bruch und auch die höchste spezifische Energieaufnahme.

Verhalten bei niedrigen Temperaturen

Um festzustellen, ob das Verhalten der untersuchten Werkstoffe bei niedrigeren Temperaturen dasselbe ist, wurden identische Schlagversuche an Proben aus GJS-500-14, Sibodur 450 und Sibodur 500 bei -40 °C durchgeführt. Dazu wurden die Proben jeweils mit einem Thermoelement versehen, auf -78 °C abgekühlt und dann im Rosand-Tester platziert. Sobald die Probe eine Temperatur von -40 °C erreicht hatte, wurde der Schlag ausgelöst. Das Ergebnis dieser Versuche ist in Bild 7 dargestellt.

Maximale Kraft und Verformung bis zum Bruch sind bei allen drei Werkstoffen wesentlich niedriger als bei Raumtemperatur. Wie bereits bei Raumtemperatur festgestellt, ist das Ergebnis des Werkstoffes GJS-500-14 deutlich schlechter als dasjenige der beiden Sibodur-Werk-

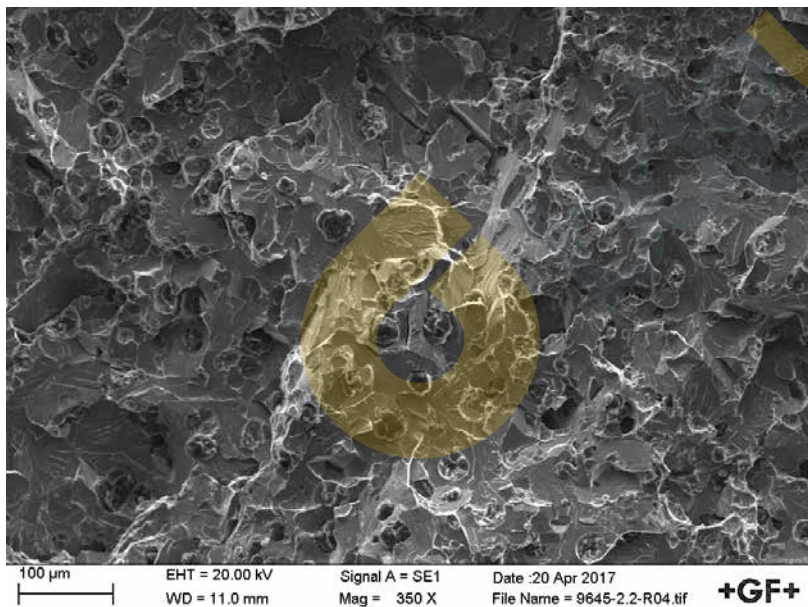


Bild 4: Inter- und transkristalliner Sprödbbruch der Probe GJS-500-14 nach Prüfung bei Raumtemperatur (REM-Aufnahme).

Sibodur 500

Die Besinnung auf die Philosophie der GF Casting Solutions mit dem Sibodur-Konzept, nämlich eine moderate Mischkristallverfestigung mit einer leichten Verfestigung durch Perlit zu kombinieren, brachte das Unternehmen auf ein neues Gusseisen mit Kugelgraphit, welches Sibodur 500 genannt wurde. Für das fragliche Gussteil wurde folgende Zusammensetzung gewählt:

- > $C = 3,5$ %,
- > $Si = 2,8$ %,
- > $Mn = 0,2$ %,
- > $Cu = 0,28$ % und
- > $S, P, Mg =$ Standard-Gehalte.

Mit dieser Zusammensetzung wurden folgende mechanische Eigenschaften an Proben ermittelt, welche dem Gussstück entnommen worden waren:

- > $R_{p0,2} = 330$ bis 360 MPa (Mittelwert 345 MPa),

²⁾Sibodur 450 ist ähnlich der mischkristallverfestigten Sorte GJS-450-18, aber eine GF Marke.

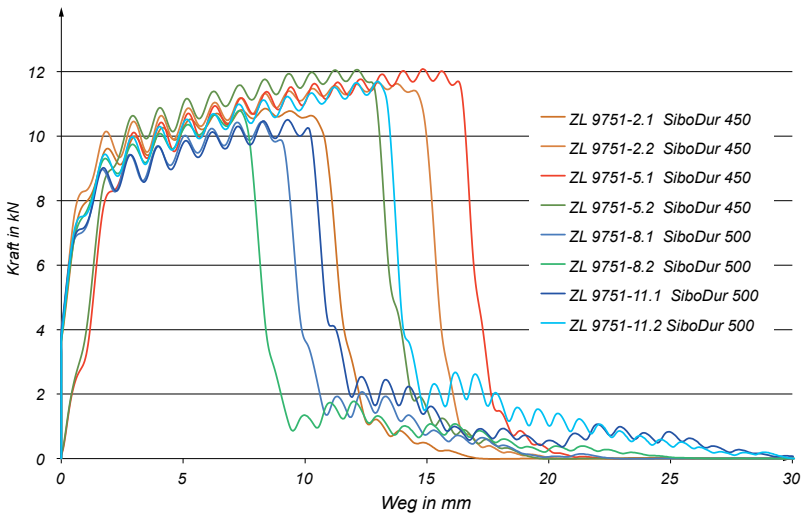


Bild 5: Prüfergebnis der Schlagversuche im Rosand-Tester an Proben aus Sibodur 450 und Sibodur 500.

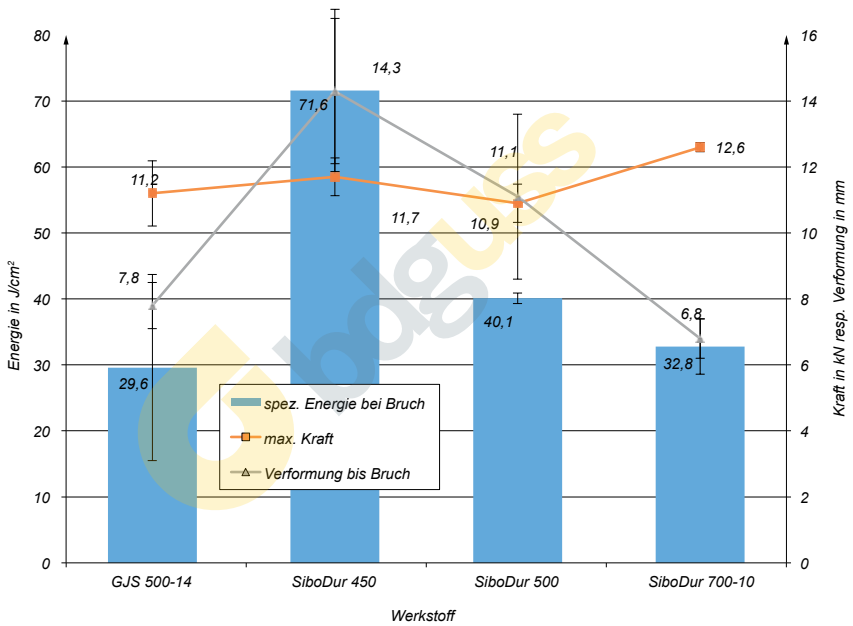


Bild 6: Zusammenstellung aller Prüfergebnisse bei Raumtemperatur: Mittelwerte und Standardabweichungen der spezifischen Energie beim Bruch, der maximalen Kraft und der Verformung bis zum Bruch.

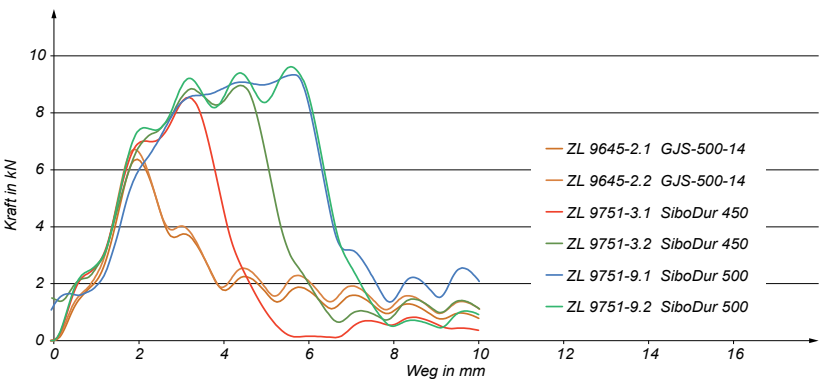


Bild 7: Ergebnis des Rosand-Versuchs bei -40 °C.

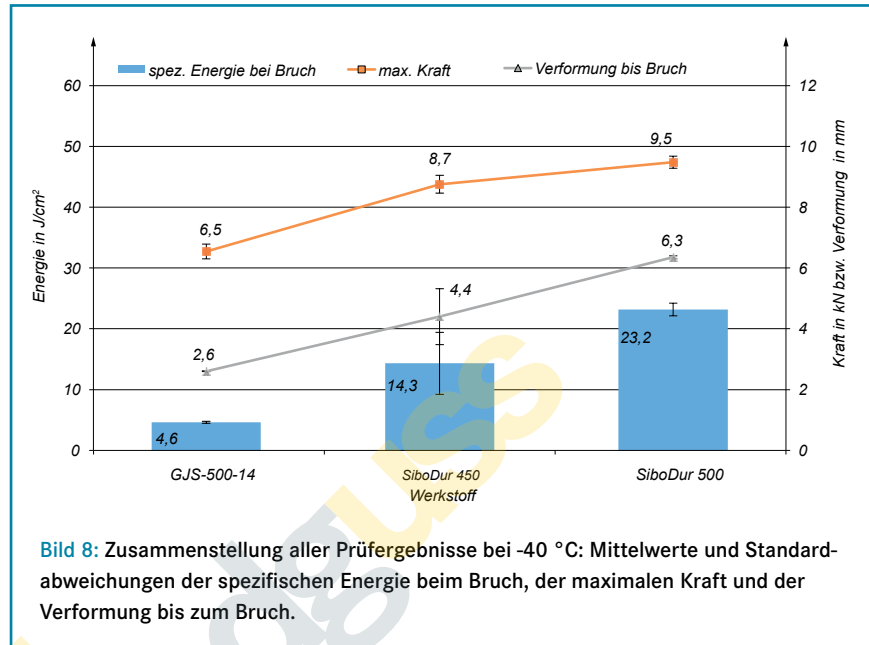
stoffe. Was nicht erwartet worden war, ist die höhere Kraft und die größere Verformung bis zum Bruch des Sibodur 500 im Vergleich zum Sibodur 450. Dies zeigt sich noch deutlicher in der Zusammenstellung der Ergebnisse in Bild 8.

Die Gründe für dieses Verhalten sind nicht klar. Dass Sibodur 450 und 500 etwa denselben Si-Gehalt von 2,8 % aufweisen, könnte jedoch eine Erklärung dafür sein. Bei diesem Si-Gehalt tritt bei -40 °C noch keine Ferrit-Versprödung auf. Bei beiden Werkstoffen ist die Randzone ferritisch. Der Sibodur 500 hat hingegen eine ferritisch/perlitische Kernzone, welche die Randzone stützt und so eine stärkere Verformung vor Rissentstehung ermöglicht.

Zusammenfassung

Silicium-legiertes mischkristallverfestigtes Gusseisen mit Kugelgraphit wie EN-GJS-500-14 gilt als hochfester und gleichzeitig hoch duktiler Gusswerkstoff und entsprechend besteht ein großes Interesse von Konstrukteuren an diesem Material. Diese hohe Duktilität gilt in einem Zugstab, der unter Normbedingungen, d. h. geringer Verformungsrate, geprüft wird.

Aufgeschreckt durch Feldausfälle führte GF Casting Solutions ausgedehnte Versuche unter schlagartiger Beanspruchung an aus Bauteilen entnommenen (größeren) Proben durch. Dabei wurde darauf geachtet, dass der Rissausgang in diesen Proben an der nicht bearbeiteten Gussoberfläche lag, so wie das bei den



Feldausfällen ebenfalls der Fall war. Diese Versuche zeigten deutlich auf, dass GJS-500-14 bei schlagartiger Beanspruchung trans- und interkristalline Brüche erleidet und das Verformungsvermögen und die Energieaufnahme bis zum Bruch deutlich reduziert sind – vergleichbar mit dem deutlich höherfesten Sibodur 700. Es war daher naheliegend, sich auf die Sibodur-Philosophie zu besinnen und eine moderate Mischkristallverfestigung mit einer leichten Verfestigung durch Perlit zu kombinieren. Dies führte zu einem neuen Gusseisen mit Kugelgraphit – dem Sibodur 500 – mit im Vergleich zum GJS-500-14 deutlich besserer Duktilität

bei schlagartigen Beanspruchungen, gleicher statischer Festigkeit und nur leicht niedrigerer 0,2 %-Dehngrenze und Bruchdehnung.

Dr. sc. techn. Werner Menk, GF Casting Solutions AG, Schaffhausen, Schweiz

Erstveröffentlichung in Giesserei-Rundschau 65 (2018), [Nr. 2], S. 6-9.

Der Vortrag beruht auf einem am SPCI XI 4.-7.09.2017 in Jönköping, Schweden, gehaltenen Vortrag, der im Scientific.Net von Trans Tech Publications Ltd. veröffentlicht wurde.