

Bildunterschrift.

# Werkstoff- und fertigungstechnische Grundlagen der Herstellung und Anwendung von hoch siliciumhaltigem Gusseisen mit Kugelgraphit

Cornet-Projekt Siron – Zwischenbericht

VON GERT GASSNER, WERNER BAUER UND PETER SCHUMACHER, LOEBEN, ÖSTERREICH, HERBERT LÖBLICH UND WOLFRAM STETS, DÜSSELDORF

**G**usseisen mit Kugelgraphit (GJS) wird seit 50 Jahren in Europa industriell hergestellt. Die Produktion von GJS betrug im Jahr 2010 etwa 4 Mio. t. Das Gefüge dieses Werkstoffes ist vielfältig beeinflussbar und das Anwendungspotential ist bei weitem noch

nicht ausgeschöpft. GJS wird in vielen Bereichen des Maschinen-, Fahrzeug- und Motorenbaus, der Energie-, Umwelt- und Nukleartechnik eingesetzt. Hierbei müssen die GJS-Sorten den einschlägigen Normen entsprechen.

Die technologischen Eigenschaften der in der EN 1563 genormten GJS-Sorten werden über das Ferrit/Perlit-Verhältnis des Matrixgefüges eingestellt. Der Perlitanteil und seine Verteilung im Gussstück hängen hauptsächlich von der chemischen Zu-

sammensetzung (insbesondere Si, Mn, Cu, Sn) des Werkstoffes ab sowie von der Kugeldichte (Wanddicke und Impfung) und der Abkühlgeschwindigkeit (Wanddicke und Ausleerzeit).

Während das resultierende Ferrit/Perlit-Verhältnis beim überwiegend ferritischen GJS-400-15 bzw. beim überwiegend perlitischen GJS-700-2 und GJS-800-2 bei grundsätzlich richtiger Zusammensetzung relativ stabil ist, ist dies bei den Sorten GJS-500-7 und GJS-600-3 mit ca. 40

bis 70 %\* Perlit weniger der Fall. Insbesondere bei großen Wanddickenunterschieden können der Perlitanteil bzw. die Härte im Gussstück stark variieren, sodass enge Härtetoleranzen im Gussstück bzw. Maßtoleranzen am Fertigteil oft schwierig einzuhalten sind.

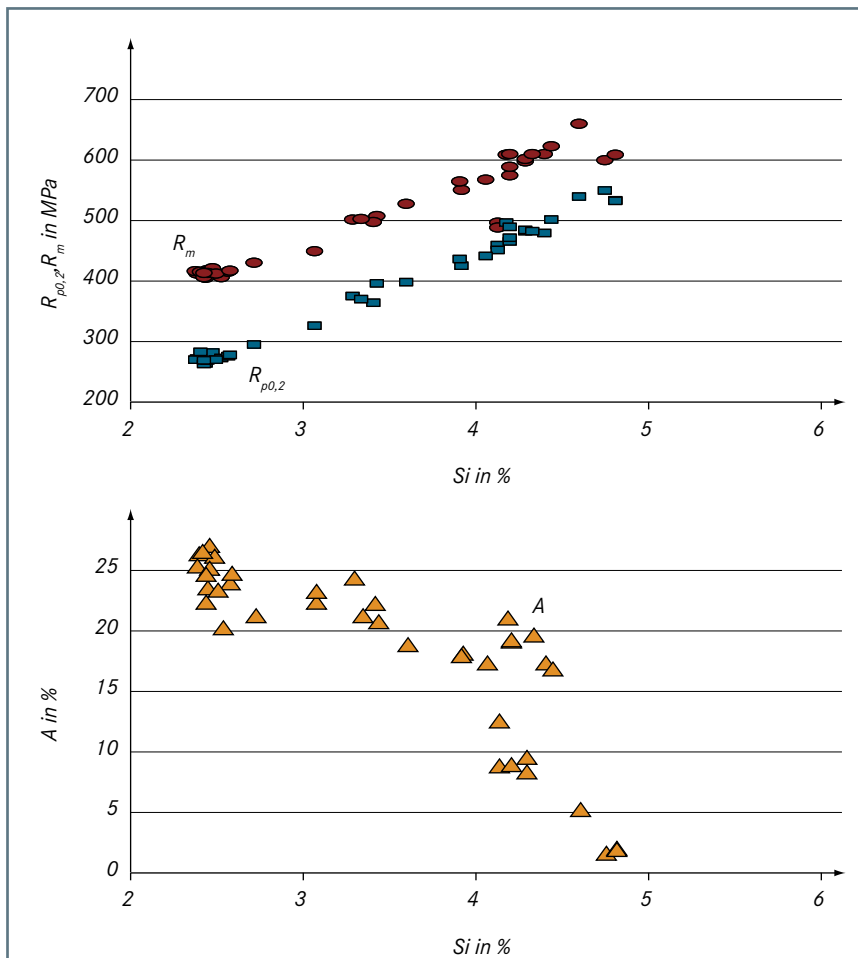
Dieses Problem kann durch Erhöhung des Siliciumgehaltes gelöst oder stark minimiert werden: Silicium ist ein Ferritbildner (vermindert also den Perlitanteil) und erhöht die Festigkeit und Härte des Ferrits durch Mischkristallverfestigung. Durch Erhöhung des Siliciumgehaltes von (prozess- und wanddickenabhängig) üblicherweise ca. 2,2 bis 2,8 % auf >3,5 % Si entsteht ein praktisch vollferritisches Matrixgefüge mit einer den teilperlischen Sorten vergleichbaren Festigkeit. Obwohl durch die Mischkristallverfestigung des Ferrits bei erhöhtem Siliciumgehalt zwar auch dessen Verformungsvermögen abnimmt, überwiegt hinsichtlich der Auswirkung auf die Bruchdehnung im Zugversuch die Beseitigung des Perlitanteils. Der Nettoeffekt dieser Maßnahme ist eine Festigkeit wie bei GJS-500/600 bei gleichzeitig höherer Bruchdehnung (weil vollferritisch), und das weitgehend wanddickenunabhängig!

Die Vorteile dieser Maßnahme für den Gussstückanwender sind geringere Härtestreuungen im Gussstück und folglich verbesserte und gleichmäßigere Bearbeitbarkeit sowie leichtere Einhaltung enger Maßtoleranzen. Der Vorteil für die Gießereien ist die erleichterte Erfüllung enger Härtetoleranzen bei hohen Wanddickenunterschieden. Ein weiterer Vorteil könnte auch eine höhere Toleranz gegenüber perlit- und carbidstabilisierenden Begleitelementen sein, wodurch mehr Spielraum bei den Einsatzmaterialien gegeben wird, was aber noch nicht untersucht wurde.

Die Neuauflage der EN-1563 beinhaltet die auf diese Weise herzustellenden Sorten GJS-450-18, GJS-500-14 und GJS-600-10 (Tabelle 1), sodass von einem raschen Anstieg der Anwendung auszugehen ist.

Mit den werkstoff- und fertigungstechnische Grundlagen der Herstellung und Anwendung von hoch siliziumhaltigem Gusseisen mit Kugelgraphit befasst sich ein Forschungsprojekt, das im Rahmen des Förderprogramms „Cornet“ in Zusammenarbeit mit der Forschungsvereinigung Gießereitechnik e.V. (Projektleitung Institut für Gießereitechnik gGmbH, Düsseldorf, (IfG)) bearbeitet wird.

Die Projektleitung in Österreich obliegt dem Österreichischen Gießerei Institut (ÖGI), Leoben. Unter der Leitung des Fachverbandes der Gießereiindustrie WKO, Wien, Österreich, sind im KMU-Beirat sieben österreichische KMUs (kleine und mittlere Unternehmen) am Projekt beteiligt.



**Bild 1:** Statische Kennwerte 0,2 %-Dehngrenze ( $R_{p0.2}$ ), Zugfestigkeit ( $R_m$ ) und Dehnung ( $A$ ) in Abhängigkeit vom Si-Gehalt der Schmelze.

**Tabelle 1:** Eigenschaften der neuen Werkstoffe, die bei der Revision der DIN EN 1563 zusätzlich in die Norm aufgenommen wurden (Auszug aus EN 1563, Werte in Klammern: bisherige „alte“ Normwerte).

Mechanische Kennwerte	Werkstoffbezeichnung		
	EN-GJS-450-18	EN-GJS-500-14	EN-GJS-600-10
$R_m$ min. in N/mm <sup>2</sup>	450	500	600
$R_{p0.2}$ min. in N/mm <sup>2</sup>	350 (319)	400 (320)	450 (379)
A in %	18 (10)	14 (7)	10 (3)

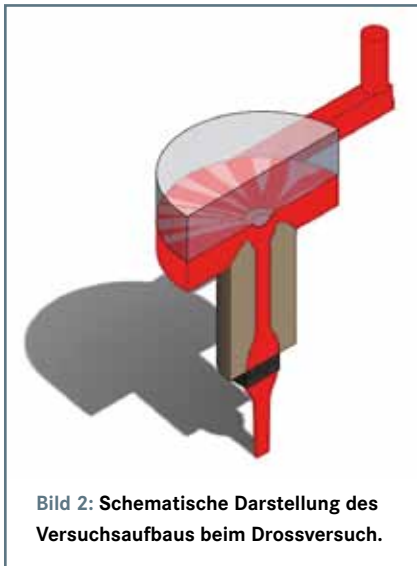
Cornet wendet sich speziell an KMUs, welche keine/wenig Forschung und Entwicklung (FuE) betreiben bzw. dafür keine Kapazitäten haben. In einer Cornet-Partnerschaft sind mehrere bzw. mindestens zwei nationale Branchenfachverbände, FuE-Einrichtungen (wie das ÖGI) und jeweils mindestens fünf KMUs in einer Planungs- und Durchführungspartnerschaft vereint. Auf nationaler Ebene wird das Forschungsvorhaben vom Branchenfachverband eingereicht, von den KMUs mitgestaltet und durch die branchenspezifischen FuE-Einrichtungen durchgeführt.

Die geförderte Projektlaufzeit beträgt zwei Jahre. Der Technologietransfer erfolgt zeitnah in die Industrie, insbesondere zu den KMU, durch technische Beratung, durch regelmäßige Veranstaltung von Seminaren, Tagungen sowie durch Veröffentlichungen.

#### Auszug aus derzeit laufenden Untersuchungen: Mechanische Kennwerte

Die neuen Normsorten wurden in Kleinschmelzen am ÖGI und am IfG hergestellt.

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



**Bild 2: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus beim Drossversuch.**

Aus den mitabgegossenen Y2-Platten wurden Zugproben gefertigt und bei Raumtemperatur geprüft. Allgemein werden die Vorgaben aus der Norm EN 1563 erreicht (Bild 1). Erste Untersuchungsergebnisse zeigen, dass die Werte sehr hohe Abhängigkeit von der Ausbildung des Graphitanteils der Form III zeigen. Die Auswertung der 0,2 %-Dehngrenze weist auf eine deutliche Verschlechterung der Duktilität bei Siliciumgehalten mehr als 4,3 % hin, sodass hier eine erste prozessabhängige Grenze gezogen werden kann.

Die genauen Zusammenhänge der Ausbildung der Mikrostruktur, insbesondere der Graphitform, verbunden mit gießtechnischen Prozessparametern und verwendeten Materialien, sind Gegenstand von derzeit laufenden Untersuchungen.

Neben der normgemäßen Ermittlung der werkstofftechnischen Eigenschaften der neuen Normsorten werden derzeit auch gießtechnologische Eigenschaften wie Drossverhalten, Formfüllungs- und Speisungsverhalten untersucht. Hierzu wurden eigens spezielle technologische Versuchsanordnungen entworfen bzw. bekannte Versuchsaufbauten adaptiert.

**Auszug aus derzeit laufenden Untersuchungen: Drossverhalten**

Dross ist ein generischer Begriff für Oxidationsprodukte der Schmelze (Schlacken), welche sich laufend vom Abstich bis zum Formfüllen bilden, wo und wann immer die Schmelze Luftkontakt hat. Die sogenannten „Drossfehler“ sind Einschlüsse derartiger Schlacken im Gusstück, insbesondere in oder unter der Gusstückoberfläche.

Die am ÖGI zur Beurteilung der Neigung zu Drossbildung entwickelte Versuchsanordnung besteht aus einem nach oben hin offenen, zylindrischen Schmelzereservoir im Oberteil und einem Mittelteil mit einem als Kern geformten zentralen

Auslauf in einen Filter im Unterteil (Bild 2). Nach dem Filter läuft die Schmelze in einen auf einer digitalen Waage stehenden Auffangbehälter aus. Der Auslaufquerschnitt nach dem Filter ist kleiner bemessen als der Einlaufquerschnitt. Durch den tangential angeordneten Lauf und den zentralen Auslauf bildet die Schmelze einen Drehwirbel mit Sog am Auslauf aus, der einerseits die Oberflächenoxidation und andererseits das Einsaugen gebildeter Schlacke ermöglichen soll. Zur Minimierung des Einflusses der ferrostatischen Druckhöhe auf das Ergebnis ist der Auslauf im Oberteil als „Überlauf“ ausgeführt bzw. wird die Gießleistung aus der Pfanne so reguliert, dass das Schmelzeniveau über der Auslaufkante konstant bleibt. Die Bedingungen für die Bildung von Dross und dessen Mitführung mit der Schmelze sind somit viel günstiger als in der Praxis, wo durch Druckbeaufschlagung und rasches Füllen des Gießsystems genau das verhindert werden soll. Infolge der geringen Druckhöhe und des kleinen Auslaufquerschnittes beträgt die Versuchsdauer für 40 kg Durchflussmenge 1 bis 1,5 min, wodurch eine möglichst starke Oxidation der Schmelzoberfläche bewerkstelligt werden soll. Die Gießleistung wurde mit einer digitalen Waage ermittelt.

Die Gewichtsaufzeichnungen in Bild 3 zeigen deutlich ein Zusetzen der Filter bei 2,5 % Si. Während bei den Versuchen mit 4 % Si der lineare Kurventeil praktisch bis zum Versuchsende reicht (die Gießleistung also konstant blieb), krümmen sich die Kurven bei 2,5 % Si bereits ca. 20 s vor Gießende deutlich, die Gießleistung nahm bis zur Blockade des Filters kontinuierlich ab.

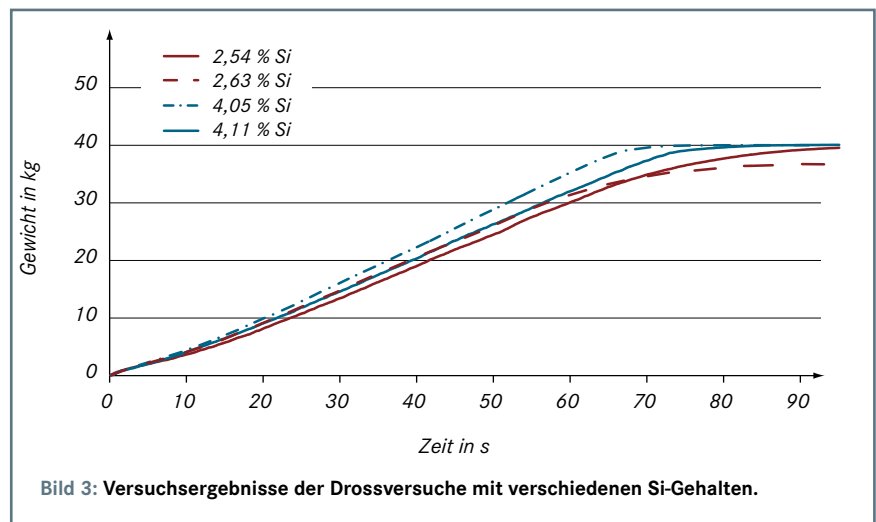
Das Ergebnis ist somit konträr zur Befürchtung, dass durch Erhöhung des Siliciumgehaltes Drossfehler begünstigt würden. Nach derzeitigem Stand der Untersuchungen kann also festgehalten werden, dass das Risiko für Drossfehler bei Erhöhung des Siliciumgehaltes keinesfalls ansteigt.

**Weiterer Projektausblick**

Bis Mitte 2012 laufen derzeit am ÖGI und am IfG noch folgende Untersuchungen:

- > Vergleichende Untersuchung der Bearbeitbarkeit von Gussteilen aus den Werkstoffen GJS-500-7 und GJS-500-14 sowie GJS-600-3 und GJS-600-10;
- > Ermittlung von Grenzgehalten carbidbildender Legierungs- und Begleitelemente (Cr, V, Ti) hinsichtlich der Entstehung von Carbiden;
- > Ermittlung gießtechnischer Eigenschaften: Schwindungsverhalten (Hochtemperatur-Dilatometeruntersuchungen im Bereich Schmelze/Feststoff);
- > Erarbeitung einer Impftechnologie zur Einstellung des angestrebten Werkstoffgefüges (Graphitkugelzahl und -gestalt);
- > Einflüsse auf Bildung und Vermeidung von Abweichungen in der Graphitform bei hohen Si-Gehalten;
- > Untersuchungen zur Vermeidung von Magnesiumsilicaten (Dross) und MgO-Einschlüssen;
- > Ermittlung der Schweißneigung und des Verhaltens der Werkstoffe beim Schweißen;
- > Qualifizierung der GJS-Sorten mit erhöhten Si-Gehalten für einen Einsatz bei tieferen und höheren Temperaturen (statische und zyklische Werkstoffkennwerte zwischen -40 bzw. 25 und +400 °C);
- > Ermittlung thermophysikalischer und thermomechanischer Eigenschaften als Grundlage für die Simulation des Gießens, Erstarrens und der Eigenspannungsbildung (Wärmeleitung, -kapazität, Warmdehngrenze, thermische Dehnung);
- > Verifizierung der Werkstoffdaten für die Simulationssoftware.

*DI Dr. mont G. Gassner, DI W. Bauer, Prof. DI Dr. P. Schumacher, Österreichisches Gießereiinstitut, Leoben, Österreich, Dr.-Ing. H. Löblich, Dr.-Ing. W. Stets, Institut für Gießereitechnik GmbH, Düsseldorf, Deutschland.*



**Bild 3: Versuchsergebnisse der Drossversuche mit verschiedenen Si-Gehalten.**

