Metallografische Präparation von Gusseisen

Struers
Ensuring Certainty

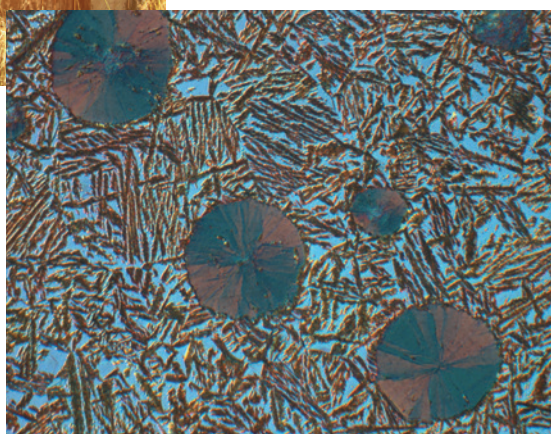
Application Notes

Eisen ist eines der vielfältigsten Metalle und ergibt legiert mit Kohlenstoff und weiteren Elementen eine große Anzahl von verschiedenen Gusseisen- und Stahllegierungen. Gusseisen wurde schon 600 v. Ch. in China hergestellt und ist seit dem 14. Jh. in Europa bekannt. Durch die Entwicklung von mit Kohle betriebenen Schmelzöfen wurden die Eigenschaften des Eisens verbessert und dadurch eröffneten sich neue Bereiche für die Anwendung von Gusseisen als Werkstoff für Gebrauchsgegenstände. Mit der Industrialisierung wurde Gusseisen ein wichtiges Baumaterial, wie Gebäude aus dem 19.Jh. zeigen: Bahnhofs- und Markthallen, Palmenhäuser, Brücken und der Eiffelturm sind heute noch Zeugen der breiten Verwendung von Gusseisen in dieser Zeit.

Als Gusseisen werden Eisen-Kohlenstoff-Silizium-Legierungen bezeichnet, die 2.5-4% Kohlenstoff und normalerweise 1-3% Silizium enthalten. Gusseisen ist ein wichtiges Material im Maschinenbau mit einer Anzahl von Vorteilen, hauptsächlich gutes Gießverhalten und gute spanabhebende Bearbeitung mit ausreichenden mechanischen Eigenschaften.

Wegen seiner Wirtschaftlichkeit wird Gusseisen für viele Anwendungen im Automobil- und Maschinenbau eingesetzt; außerdem für spezielle Anwendungen wie z.B. Gehäuse für Meerwasserpumpen, Walzen für Walzwerke und Teile für Baumaschinen.

Da die Graphitmorphologie die mechanischen Eigenschaften von Gusseisen stark beeinflusst, ist die metallografische Qualitätskontrolle von grauem Gusseisen ein integraler Bestandteil des Herstellungsprozesses. Mit standardisierten Bildrichtreihen und/oder Bildanalyseverfahren werden die Form, Größe und Verteilung des Graphits an einem polierten, ungeätzten Schliff bestimmt. Je nach Spezifikation wird die Probe anschließend geätzt, um das Grundgefüge zu beurteilen.



ADI-Gusseisen, Farbätzung nach Beraha, DIC, 500x

Schwierigkeiten während der metallografischen Präparation

Trennen: Weißes Gusseisen ist sehr hart und deshalb schwer zu trennen
Schleifen und Polieren: Graphit ist weich, und es kann schwierig sein, ihn in seiner ursprünglichen Form und Größe zu erhalten. Das Grundgefüge von ferritischen und austenitischen Gusseisensorten neigt zu Verformung und Kratzern.

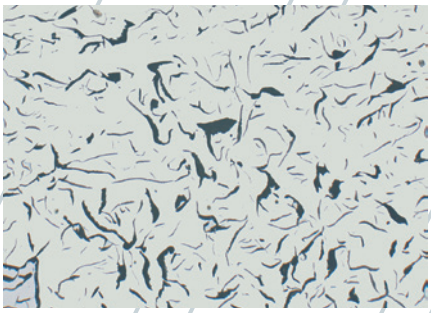


Abb.1: Gusseisen mit Lamellengraphit, nicht ausreichend poliert 200x

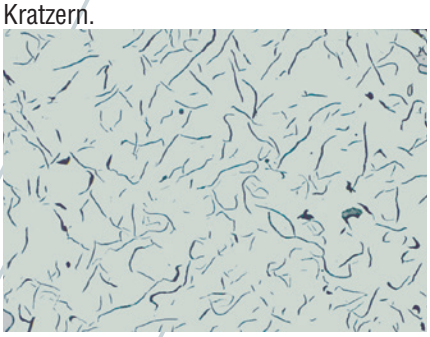


Abb. 2: Gefüge wie in Abb.1, richtig poliert 200x

Lösung:

- CBN-Trennscheibe
- Gründliches Diamantpolieren auf harten Tüchern und Oxid-Endpolieren

Herstellung und Verwendung von Gusseisen

Abb. 6: Abgaskrümmer aus Gusseisen mit Vermiculargraphit

Herstellung
Gusseisen wird im Kupol- oder Induktionsofen im Allgemeinen aus Roheisen, Gusseisen- und Stahlschrott und verschiedenen Zusätzen erschmolzen. Die Legierungszusammensetzung und die Abkühlungsgeschwindigkeit sind entscheidend für eine weiße oder graue Erstarrung des Gusseisens.

Grundsätzlich fördert eine schnelle Abkühlung die weiße Erstarrung und die Bildung von Eisenkarbid (Fe_3C, auch Zementit genannt). Bei der eutektoiden Umwandlung wird bei einer schnellen Abkühlung Perlit gebildet, dagegen begünstigt eine langsame Abkühlung die Graphit- und Ferritbildung.

Das Grundgefüge grauer Gusseisen kann entweder perlitisch und/oder ferritisch sein, mit Graphit in Form von Lamellen, Sphärolyten oder auch als Temperkohle. Durch Legieren und Wärmebehandlung können Gusseisen für bestimmte Anwendungen spezifisch produziert werden, z.B. verbessern die Zulegierung Molybdän und Silizium die Warmfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit.

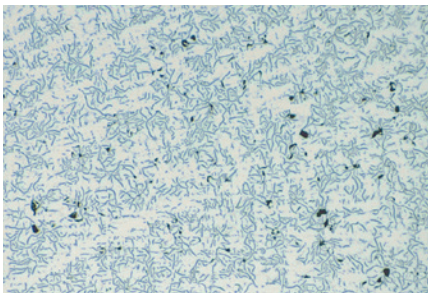


Abb. 3: Gusseisen mit feinverteiltem Lamellengraphit, ungeätzt *100x*

Im Folgenden werden die einzelnen Gusseisensorten kurz beschrieben und einige Anwendungsgebiete erwähnt.

Gusseisen mit Lamellengraphit (GJL) hat zwischen 2.5 - 4% Kohlenstoff, 1- 3% Silizium und 0.2 -1% Mangan. Kohlenstoff und Silizium fördern die Bildung von Graphitlamellen und Ferrit. Phosphor in kleinen Mengen erhöht das Fließvermögen von Grauguss und bildet ein Netzwerk von ternärem Phosphideutektikum, Steadit genannt, das die Verschleißfestigkeit erhöht.

Die Graphitlamellen unterbrechen das metallische Grundgefüge, besonders wenn sie sehr

Abb. 4: Gusseisen mit Lamellengraphit, perlitisches Grundgefüge *200x*

groß sind, und wirken als Kerben, welche die Festigkeit reduzieren. Dagegen erzielt man in einem unlegierten Grauguss mit fein verteilten Graphitlamellen in einer perlitischen Matrix eine höhere Festigkeit (Abb. 3 und 4).

Wegen seiner ausgezeichneten Dämpfungs- und Gleiteigenschaften und seiner guten Wärmeleitfähigkeit ist Grauguss für Maschinenbetten, Dämpfungsplatten für Flügel, Motorblöcke, Schwungräder, Kolbenringe und Bremstrommeln und -scheiben geeignet.

Gusseisen mit Kugelgraphit (GJS), auch Sphäroguss genannt, erfordert einen höheren Reinheitsgrad als Gusseisen mit Lamellengraphit. Die Schmelze muss frei sein von Pb, As, Sb, Ti und Al und sollte sehr wenig Phosphor und Schwefel enthalten. Durch eine Magnesiumbehandlung der Schmelze bildet sich der Graphit in Form von Kugeln statt Lamellen aus. Gusseisen mit Kugelgraphit hat eine höhere Festigkeit, Zähigkeit und Bruchdehnung als lamellarer Grauguss. Sphäroguss ist gut spanabhebend zu bearbeiten und wird für schwer beanspruchte Getriebe, Kolben, Walzen, Getriebegehäuse (Abb.10), Ventile, Röhren und Türscharniere verwendet. Perlitischer Sphäroguss ist Ausgangsmaterial für Nocken- und Kurbelwellen, die durch Oberfächenhärtung verschleißfest gemacht werden (Abb. 8).

Abb. 5: Filterkopf aus ADI-Gusseisen, wird im Hydrauliksystem von Kunststoff-Spritzgussmaschinen eingesetzt

ADI-Gusseisen (Austemperd Ductile Iron) ist ein Gusseisen mit Kugelgraphit, das bei 840 - 950°C austenitisiert und dann auf 250 - 400°C abgeschreckt wird. Diese Temperatur wird solange gehalten, bis sich das Grundgefüge in eine Mischung aus nadeligem Ferrit und mit Kohlenstoff angereichertem Restaustenit umgewandelt hat, wodurch das ADI-Gusseisen eine hohe Festigkeit, Zähigkeit und Verschleißbeständigkeit erhält. Das Gefüge ist bainitartig, enthält aber keine Karbide.

Hochfeste ADI-Gusseisensorten werden hauptsächlich für verschleißfeste Teile von schweren Lastwagen, Landwirtschaftsgeräten und Baumaschinen verwendet. Zähe Sorten finden Verwendung bei dynamischer Beanspruchung wie z.B. Achsschenkel, Getriebe, Kurbelwellen, Zughaken und Radnaben.

Für **Gusseisen mit Vermikulargraphit (GJV)** wird das gleiche Rohmaterial wie für Sphäroguss verwendet. Durch sehr genaue Kontrolle der Zugabe von Magnesium werden ca. 80% des Graphits als Vermikulargraphit, der Rest als Kugelgraphit ausgebildet. Gusseisen mit Vermikulargraphit hat eine höhere Festigkeit, Zähigkeit, Dauerschwingfestigkeit und Oxidationsbeständigkeit als Grauguss. Außerdem ist es besser zu gießen, leichter spanabhebend zu bearbeiten, hat bessere Dämpfungseigenschaften und Wärmeleitfähigkeit und bessere Maßhaltigkeit bei Temperaturschwankungen als Sphäroguss.

Die Qualitätskontrolle von Gusseisen mit Vermikulargraphit ist äußerst wichtig, da die Form des Graphits ausschlaggebend für die Eigen-

Abb.7: Trägerplatte für Räderkassette aus ADI-Gusseisen

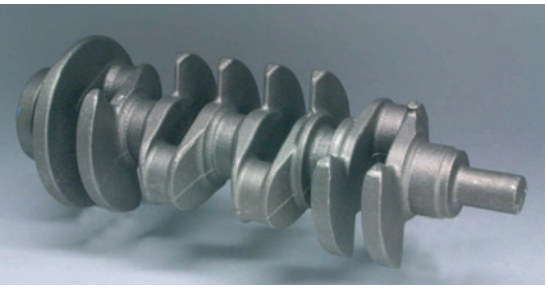


Abb. 8: Kurbelwelle aus Gusseisen mit Kugelgraphit

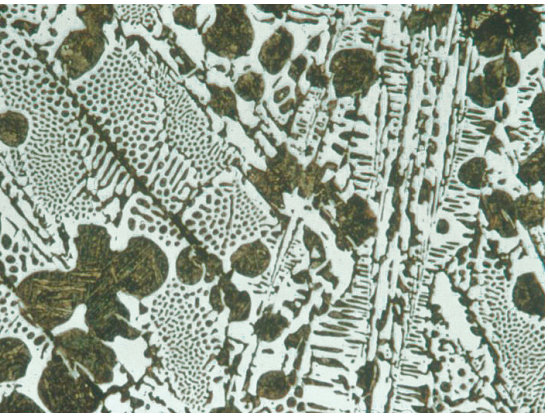
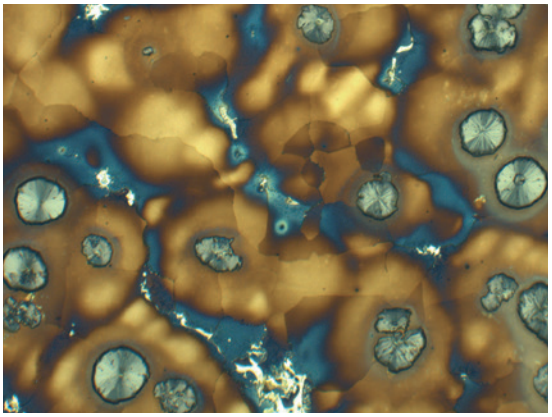


Abb. 9: Weißes Gusseisen, Perlit mit Ledeburit 200x

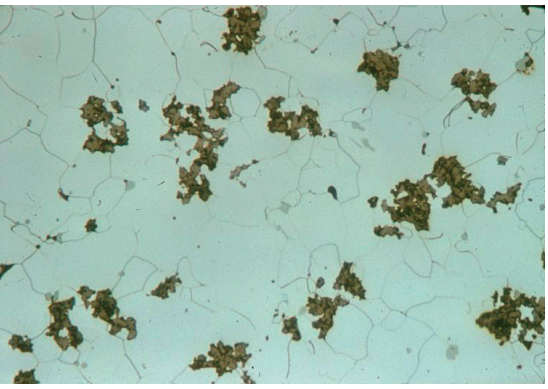


Austenitisches Gusseisen, geätzt mit 3% Nital + modifiziertes Beraha Ätzmittel 200x

schaften ist. Dabei kann ein etwas höherer Prozentsatz von Kugelgraphit hingenommen werden, aber die Bildung von Lamellengraphit muss vermieden werden, da er die guten Eigenschaften reduzieren oder sogar hinfällig machen würde.

Anwendungsgebiete sind Zylinderköpfe für schnell laufende Dieselmotoren, Achs- und Getriebegehäuse, Abgaskrümmer (Abb. 6), Gehäuse für Turbolader.

Weißes Gusseisen enthält 1.8 - 3.6 % Kohlenstoff, 0.5 -1.9 % Silizium und 1- 2 % Mangan. Der in der Schmelze gelöste Kohlenstoff scheidet sich nicht als Graphit sondern als Eisenkarbid (Zementit) und Sonderkarbide aus. Das Gefüge von weißem Gusseisen besteht aus Perlit und Ledeburit (Abb. 9), einem Eutektikum aus in Perlit zerfallenen Austenit und Zementit. Ni-Hard Legierungen (8-9% Cr, 5-6% Ni) haben ein martensitisches Grundgefüge mit Chromkarbiden.



Ferritischer Temperguss 200x

Weißes Gusseisen hat eine hohe Druckfestigkeit und legierte Sorten haben eine gute Festigkeit und Härte bei erhöhten Temperaturen. Wegen des sehr großen Anteils von Karbiden, besonders bei legiertem Guss, hat weißes Gusseisen ausgezeichnete Abrieb- und Verschleißeigenschaften. Es wird für Kugelstrahldüsen, Walzenrollen, Brecher, Pulver- und Kugelmühlenauskleidungen verwendet.

Indem man Grauguss oder Sphäroguss außen schnell und innen langsam abkühlt gibt es die Möglichkeit, Teile mit einer harten Oberfläche aus weißem Gusseisen und einem zähen, inneren Kern herzustellen (Schalenhartguss).

Temperguss (GJM) wird durch Wärmebehandlung von weißem Gusseisen hergestellt. Mit einem zweistufigen Langzeit-Tempern wird das weiße Gusseisen in ferritischen oder perlitischen Temperguss umgewandelt. Der Kohlenstoff des Eisenkarbids geht zunächst in Lösung und scheidet sich durch langsames Abkühlen in unregelmäßigen Graphitnestern, auch Temperkohle genannt, aus. Perlitischer Temperguss kann auch gehärtet werden.

Temperguss wird aus wirtschaftlichen Gründen zunehmend durch Sphäroguss ersetzt, zumal die Anwendungsgebiete sehr ähnlich sind.

Austenitisches Gusseisen mit Lamellen- oder Kugelgraphit enthält mindestens 20% Nickel und 1-5% Chrom. Da es einfacher zu gießen und daher für komplizierte Teile mit dünnen Wandstärken geeignet ist, kann austenitisches Gusseisen für bestimmte Anwendungen eine preiswerte Alternative zu rostfreiem Stahl sein.

Die Haupteigenschaften von austenitischen Gusseisensorten sind Korrosionsbeständigkeit gegen Meerwasser und alkalische Medien, sowie hohe Festigkeit und Zunderbeständigkeit bei hohen Temperaturen. Sie werden speziell für Anwendungen im maritimen Umfeld verwendet, wie z. B. für große Pumpengehäuse oder andere Teile von Entsalzungsanlagen, Buchsen und Futter in Chemieanlagen, Kompressoren für aggressive Gase, Gehäuse für Gasturbinen und Turbolader.

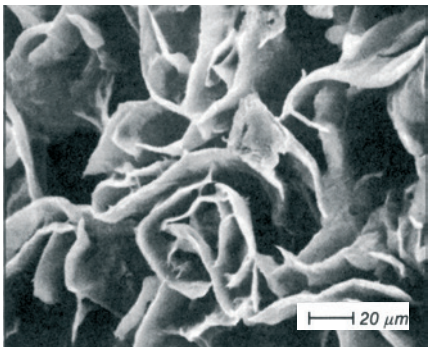
Abb.10: Differentialgehäuse aus Gusseisen mit Kugelgraphit

Schwierigkeiten bei der metallografischen Präparation von Gusseisen

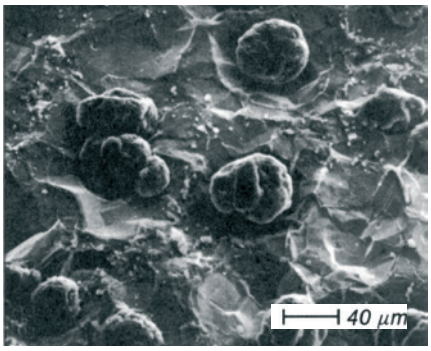
Legiertes weißes Gusseisen ist sehr hart (bis HV 600) und große Teile lassen sich nur schwer trennen. Hierbei ist es wichtig darauf hinzuweisen, dass trotz der Härte Diamanttrennscheiben nicht zum Trennen von weißem Gusseisen geeignet sind.

Das Hauptproblem bei der Präparation von grauen Gusseisen ist die Erhaltung des Graphits in seiner ursprünglichen Form und Größe. Obwohl man im optischen Mikroskop nur ein 2-dimensionales Bild sieht, muss man sich den Graphit 3-dimensional vorstellen. Das bedeutet, dass während des Schleif- und Poliervorgangs sich die Form des Graphits ganz leicht verändern kann und ein gewisser Prozentsatz des Graphits nur sehr flach angeschliffen wird. Dadurch hat er wenig Halt im Grundgefüge und es besteht immer die Möglichkeit, dass der Graphit nicht vollständig erhalten werden kann. Besonders große Lamellen und deren Agglomeration neigen dazu, Graphit zu verlieren. Auch Graphitsphärolyten können nicht immer gut poliert werden oder erhalten bleiben.

Im Temperguss liegt der Kohlenstoff in Form von Temperkohle vor, die nicht kristallin ist, leicht bröckelt, und deswegen schwer zu polieren ist.



Rasterelektronische Aufnahme von Gusseisen mit Lamellengraphit



Rasterelektronische Aufnahme von Gusseisen mit Kugelgraphit

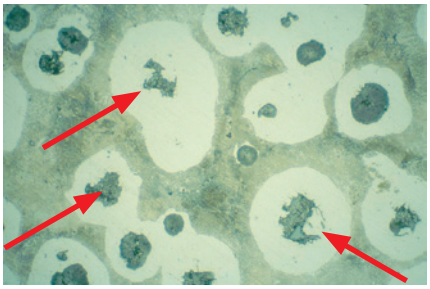


Abb.11: Unzureichende Politur, Graphitkugeln sind durch das Schleifen noch mit Ferrit verschmiert *200x*

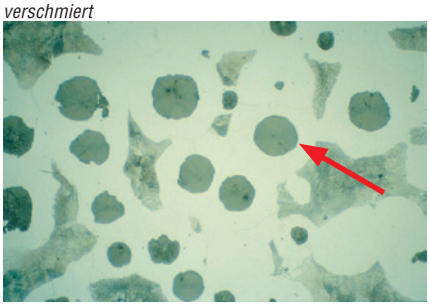


Abb.12: Gut auspoliertes Gefüge, Graphitkugeln sind gut definiert *200x*

Ein häufiger Präparationsfehler, der die Darstellung der wahren Form und Größe des Graphits behindert, ist der ungenügende Abtrag des durch das Schleifen verschmierten Grundgefüges (vergleiche Abb.11 und 12). Das kann besonders bei ferritischen und austenitischen Gusseisen auftreten, da diese zur Verformung und Kratzerbildung neigen und deshalb eine sehr gründliche Diamantpolitur und Endpolitur durchgeführt werden muss.

Die Schwierigkeiten mit der Präparation von Gusseisen mit Graphit können sich noch verschärfen, wenn die metallografische Beurteilung als Teil der Qualitätskontrolle in die Gießstraße integriert ist. Bei dem vorherrschenden Zeitdruck ist es schwierig, mit manuellen Methoden gleichbleibend gute Präparationsergebnisse zu erzielen.

Abb.13: Probenhalter zum halb-automatischen Polieren von Gussproben zur Qualitätskontrolle in der Gießstraße

Viele Gussproben eignen sich auf Grund ihrer Form nicht zum automatischen Polieren. Diese Form der Gussproben ist aber oft willkürlich und kann geändert werden, damit die Proben in ein automatisches Präparationssystem passen (Abb.13). In manchen Gießereien ist diese Änderung erfolgreich durchgeführt worden, so dass die Präparation effizienter ist und die Auswertung des Graphits verbessert werden konnte.

Die meisten Beurteilungen mit dem optischen Mikroskop werden bei Vergrößerungen von 100x vorgenommen, bei welcher der Graphit schwarz erscheint. Nur bei einer höheren Vergrößerung kann man genau sehen, ob der Graphit vollständig poliert oder herausgerissen wurde. Gut auspolierter Graphit ist grau (Abb.14).

Hinweis: Gusseisen mit Graphit eignet sich nicht zum elektrolytischen Polieren, da der Graphit durch den Vorgang herausgelöst wird. Wenn dagegen nur eine schnelle Überprüfung des Grundgefüges vorgenommen werden soll, kann elektrolytisches Polieren und Ätzen verwendet werden (Abb.15).

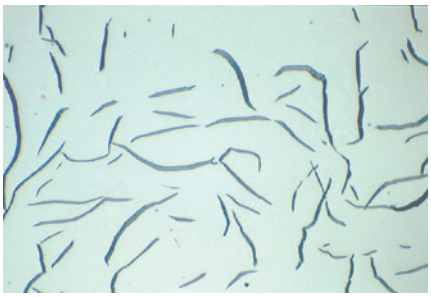


Abb.14: Gut auspolierte Graphitlamellen *500x*

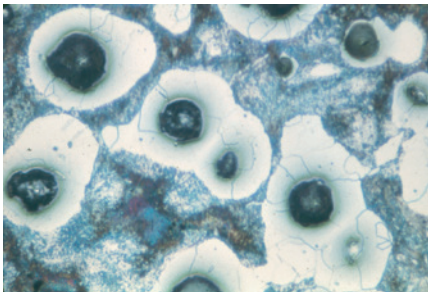


Abb.15: Gusseisen mit Kugelgraphit, elektrolytisch poliert und geätzt, perlitisches Grundgefüge und Ferrit um die Graphitkugeln, Graphit ist herausgerissen

Grinding

Stufe		PG	FG
Unterlage		MD-Piano 220	MD-Allegro
Schleif-mittel	Typ	Diamond	Diamond
	Große	#220	9 µm
Suspension/ Lubrikant		Wasser	DiaPro Allegro/Largo 9
UpM		300	150
Kraft [N]		30	30
Zeit		Until plane	5

Polishing

Stufe		DP 1	DP 2
Unterlage		MD-Dac	MD-Nap
Schleif-mittel	Typ	Diamond	Diamond
	Große	3 µm	1 µm
Suspension/ Lubrikant		DiaPro Dac 3	DiaPro Nap B 1
UpM		150	150
Kraft [N]		40	30
Zeit		4	1-2

Tabelle 1: Präparationsmethode für weißes Gusseisen

DiaPro Diamantsuspension kann durch Diamantsuspension, P, und Lubrikant Blau wie folgt ersetzt werden: für FG mit 9 µm, für DP 1 mit 3 µm und DP 2 mit 1 µm.

Grinding

Stufe		PG	FG
Unterlage		Foil/Paper	MD-Largo*
Schleif-mittel	Typ	SiC	Diamond
	Große	#220	9 µm
Suspension/ Lubrikant		Wasser	DiaPro Allegro/Largo 9
UpM		300	150
Kraft [N]		30	30
Zeit		Until plane	5

Polishing

Stufe		PG	FG	OP**
Unterlage		MD-Dac	MD-Nap	OP-Chem
Schleif-mittel	Typ	Diamond	Diamond	Collodial Silica
	Große	3 µm	1 µm	0.04 µm
Suspension/ Lubrikant		DiaPro Dac 3	DiaPro Nap B 1	OP-U NonDry
UpM		150	150	150
Kraft [N]		30	20	10
Zeit		4	1-2	1

Tabelle 2: Präparationsmethode für Gusseisen mit Graphit

**In Fällen, in denen es besonders schwer ist den Graphit zu erhalten, kann alternativ MD-Plan zum Feinschleifen verwendet werden.*

*** Wahlweise*

DiaPro Diamantsuspension kann durch Diamantsuspension, P, und Lubrikant Blau wie folgt ersetzt werden: für FG mit 9 µm, für DP 1 mit 3 µm und DP 2 mit 1µm.

Empfehlungen für die Präparation von Gusseisen

Trennen

Zum Trennen von hartem, weißen Gusseisen wird eine CBN (Cubic Boron Nitride)-Trennscheibe empfohlen. Bei großen Werkstücken ist das automatische Trennen effizienter als Trennen von Hand. Für das Trennen von grauen Gusseisensorten wählt man eine Aluminiumoxid-Trennscheibe die entsprechend der Härte des zu trennenden Stücks empfohlen wird.

Einbetten

Proben für die Qualitätskontrolle werden meistens uneingebettet präpariert. Für Proben zur Fehleranalyse ist Warmeinbetten zu bevorzugen. Dazu verwendet man für weiche bis mittelharte Gusseisenproben ein Phenolharz (MultiFast), und für harte Gusseisenproben ein Einbettharz mit Füllstoff (IsoFast, DuroFast).

Schleifen und Polieren

Herkömmlicherweise wird Gusseisen mit Graphit auf Siliziumkarbidpapier geschliffen. In den letzten Jahren hat das Schleifen mit Diamant das SiC-Papier zum Feinschleifen von Gusseisen verdrängt, da die Proben flacher bleiben und Reliefbildung verhindert wird (vergleiche Abb.16 und 17).
Hartes, weißes Gusseisen und ADI-Gusseisen können mit Diamant plangeschliffen (MD-Piano 220) und auch feingeschliffen werden (MD-Allegro, siehe Tabelle 1). Weiche und mittelharte Gusseisen mit ferritischem und austenitischem Grundgefüge werden mit SiC-Papier plangeschliffen und mit Diamant auf MD-Largo feingeschliffen (siehe Tabelle 2).

Für Gusseisen die leicht zu Korrosion neigen empfiehlt es sich, wasserfreie Diamantsuspension A und gelbes Schmiermittel zu verwenden. Die Präparationsangaben sind geeignet für 6 eingebettete Proben, 30 mm Durchmesser, in einem Halter eingespannt.

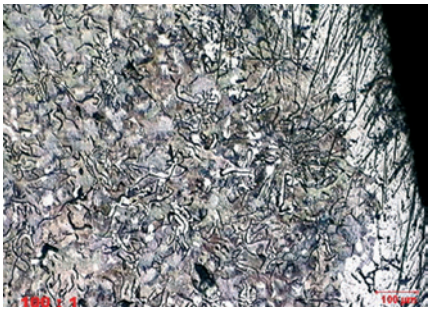


Abb.16: Grauguss mit SiC-Papier feingeschliffen, Schliffkante nicht flach, noch starke Kratzer

Abb.17: Gleiche Probe wie in Abb.16, mit Diamant auf MD-Largo feingeschliffen, zeigt gute Kantenschärfe

Struers ApS
Pederstrupvej 84
DK-2750 Ballerup, Denmark
Phone +45 44 600 800
Fax +45 44 600 801
struers@struers.dk
www.struers.com

Reinigen

Da viele Gusseisensorten leicht zu Korrosion neigen, soll die Reinigung sehr schnell und mit kaltem Wasser erfolgen. Unter keinen Umständen dürfen Proben lange im nassen Zustand belassen werden. Gründliches Spülen mit Alkohol und schnelles Trocknen mit einem starken, warmen Luftstrom wird empfohlen. Sollten trotzdem noch Flecken durch Korrosion auftreten, kann mit wasserfreiem Alkohol gereinigt und gespült werden.

Ätzen

Gusseisenproben werden zunächst immer ungeätzt angesehen, um die Form, Größe und Verteilung des Graphits und eventuelle Gussporen zu beurteilen.
Nach dieser ersten Beurteilung wird die Probe in 1 - 3%iger alkoholischer Salpetersäure geätzt, um das Grundgefüge auszuwerten.
Die folgende Farbätzung nach Beraha kann entsprechend der Legierung modifiziert werden:

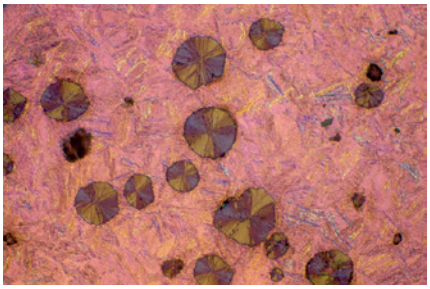
1000 ml Wasser
200 ml Salzsäure
24 g Ammoniumbifluorid
Zu 100 ml dieser Stammlösung 1 g Kaliumdisulfit zugeben.

Hinweis: *Beim Umgang mit Chemikalien müssen die empfohlenen Sicherheitsbestimmungen eingehalten werden.*

Zusammenfassung

Gusseisen sind Eisenlegierungen mit zumeist 2,5 - 4% Kohlenstoff und 1 - 3% Silizium. Der Kohlenstoff liegt bei den grauen Gusseisen als Graphit, bei weißem Gusseisen in Form von Eisenkarbid und Sonderkarbiden vor. Die Schwierigkeit bei der metallografischen Präparation liegt in der Erhaltung der wahren Form und Größe der Graphitlamellen, -kugeln oder der Temperkohle. Während des Schleifens wird das Grundgefüge über den Graphit geschmiert, und wenn diese Verschmierung nicht durch gründliches Diamantpolieren entfernt wird, wird der Graphit nicht in seiner wahren Ausformung sichtbar. Besonders Gusseisen mit ferritischem Grundgefüge neigen zu Verformung und Kratzern. Zur Präparation wird Planschleifen mit Siliziumkarbidpapier empfohlen, mit anschließendem Feinschleifen und Polieren mit Diamant. Wahlweise kann eine kurze Endpolitur mit Siliziumoxid durchgeführt werden.

Weiße Gusseisen sind sehr hart, und zum Trennen wird eine CBN-Trennscheibe empfohlen.
Hinweis: Diamanttrennscheiben sind ungeeignet zum Trennen von weißen Gusseisen.



ADI Gusseisen, geätzt mit 3% Nital, pol. Licht 200x

Plan- und Feinschleifen sowie Polieren erfolgen mit Diamant.

Für die Qualitätskontrolle während des Gießens können mit halb-automatischen Geräten bessere und mehr reproduzierbare Präparationsergebnisse erzielt werden als mit Polieren von Hand, wodurch eine zuverlässigere Beurteilung des Graphits möglich ist.

Author

Elisabeth Weidmann, Anne Guesnier, Struers A/S, Copenhagen, Denmark

Danksagung

Wir bedanken uns bei der Fa. **CLAAS GUSS GmbH**, Bielefeld, für die Bereitstellung von Probenmaterial und die Erlaubnis zur Reproduktion der Aufnahme aus der Gießerei auf Seite 1 und Abb. 5 und 7. Unser besonderer Dank gilt Dr. Christine Bartels für ihre großzügige Unterstützung, und auch Ute Böhm.
Wir danken der Fa. **GF Eisenguss GmbH**, Herzogenburg, Österreich, für die Erlaubnis zur Reproduktion der Abb. 6, 8 und 10.
Wir danken der **Zentrale für Gussverwendung**, Düsseldorf für die Erlaubnis zur Wiedergabe der beiden REM Aufnahmen auf Seite 4.

Bibliografie

Literatur der Zentrale für Gussverwendung, Düsseldorf

Vera Knoll, Gusseisen, 2003

Metals Handbook, Desk Edition, ASM, Metals Park, Ohio, 44073, 1997

ASM Handbook Vol. 9, Metallography and Microstructures, ASM, 2004

Schumann, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1968

Werkstoffkunde und Werkstoffprüfung, W. Domke, Verlag W. Giradet, Essen, 1977

AUSTRALIA & NEW ZEALAND
Struers Australia
27 Mayneview Street
Milton QLD 4064
Australia
Tel.: +61 7 3512 9600
Fax: +61 7 3369 8200
info.au@struers.dk

BELGIUM (Wallonie)
Struers S.A.S.
370, rue du Marché Rollay
F- 94507 Champigny
sur Marne Cedex
Tel.: +33 1 5509 1430
Fax: +33 1 5509 1449
struers@struers.fr

BELGIUM (Flanders)
Struers GmbH Nederland
Zomerdijk 34 A
3143 CT Maassluis
Tel.: +31 (10) 599 7209
Fax: +31 (10) 5997201
netherlands@struers.de

CANADA
Struers Ltd.
7275 West Credit Avenue
Mississauga, Ontario L5N 5M9
Tel.: +1 905-814-8855
Fax: +1 905-814-1440
info@struers.com

CHINA
Struers Ltd.
No. 1696 Zhang Heng Road
Zhang Jiang Hi-Tech Park
Shanghai 201203, P.R. China
Tel.: +86 (21) 6035 3900
Fax: +86 (21) 6035 3999
struers@struers.cn

CZECH REPUBLIC & SLOVAKIA
Struers GmbH Organizační složka
vědeckotechnický park
Přílepská 1920,
CZ-252 63 Roztoky u Prahy
Tel.: +420 233 312 625
Fax: +420 233 312 640
czechrepublic@struers.de
slovakia@struers.de

GERMANY
Struers GmbH
Carl-Friedrich-Benz-Straße 5
D- 47877 Willich
Tel.: +49 (0) 2154 486-0
Fax: +49 (0) 2154 486-222
infoservice@struers.de

FRANCE
Struers S.A.S.
370, rue du Marché Rollay
F-94507 Champigny
sur Marne Cedex
Tel.: +33 1 5509 1430
Fax: +33 1 5509 1449
struers@struers.fr

HUNGARY
Struers GmbH
Magyarországi Fióktelep
2040 Budaörs
Szabadság utca 117
Phone +36 (23) 80 60 90
Fax +36 (23) 80 90 91
hungary@struers.de

IRELAND
Struers Ltd.
Unit 11 Evolution@ AMP
Whittle Way, Catcliffe
Rotherham S60 5BL
Tel.: +44 0845 604 6664
Fax: +44 0845 604 6651
info@struers.co.uk

ITALY
Struers Italia
Via Monte Grappa 80/4
20020 Arese (MI)
Tel.: +39-02/38236281
Fax: +39-02/38236274
struers.it@struers.it

JAPAN
Struers K.K
Takanawa Muse Bldg. 1F
3-14-13 Higashi-Gotanda,
Shinagawa
Tokyo
141-0022 Japan
Tel.: +81 3 5488 6207
Fax: +81 3 5488 6237
struers@struers.co.jp

NETHERLANDS
Struers GmbH Nederland
Zomerdijk 34 A
3143 CT Maassluis
Tel.: +31 (10) 599 7209
Fax: +31 (10) 5997201
netherlands@struers.de

NORWAY
Struers ApS, Norge
Sjøskogenveien 44C
1407 Vinterbro
Tel.: +47 970 94 285
info@struers.no

AUSTRIA
Struers GmbH
Zweigniederlassung Österreich
Betriebsgebiet Puch Nord 7
5412 Puch
Tel.: +43 6245 70567
austria@struers.de

POLAND
Struers Sp. z o.o.
Oddział w Polsce
ul. Jasnogórska 44
31-358 Kraków
Tel.: +48 12 661 20 60
Fax: +48 12 626 01 46
poland@struers.de

ROMANIA
Struers GmbH, Sucursala Bucuresti
Str. Preciziei nr. 6R
062203 sector 6, Bucuresti
Tel.: +40 (31) 101 9548
Fax: +40 (31) 101 9549
romania@struers.de

SWITZERLAND
Struers GmbH
Zweigniederlassung Schweiz
Weissenbrunnenstraße 41
CH-8903 Birmensdorf
Tel.: +41 44 777 63 07
Fax: +41 44 777 63 09
switzerland@struers.de

SINGAPORE
Struers Singapore
627A Aljunied Road,
#07-08 BizTech Centre
Singapore 389842
Tel.: +65 6299 2268
Fax: +65 6299 2661
struers.sg@struers.dk

SPAIN
Struers España
Camino Cerro de los Gamos 1
Building 1 - Pozuelo de Alarcón
CP 28224 Madrid
Tel.: +34 917 901 204
Fax: +34 917 901 112
struers.es@struers.es

FINLAND
Struers ApS Suomi
Sahaajankatu 20-22 A6
00880 Helsinki
Tel.: +358 (0)207 919 430
finland@struers.fi

SWEDEN
Struers Sverige
Box 20038
161 02 Bromma
Tel.: +46 (0)8 447 53 90
Fax: +46 (0)8 447 53 99
info@struers.se

UNITED KINGDOM
Struers Ltd.
Unit 11 Evolution @ AMP
Whittle Way, Catcliffe
Rotherham S60 5BL
Tel.: +44 0845 604 6664
Fax: +44 0845 604 6651
info@struers.co.uk

USA
Struers Inc.
24766 Detroit Road
Westlake, OH 44145-1598
Tel.: +1 440 871 0071
Fax: +1 440 871 8188
info@struers.com

28.01.2020 R04 / 62240306