

Tobias Schäfer

Ermittlung der Verschleißursachen beim Spanen von Vermikularguss

Diplomarbeit

BEI GRIN MACHT SICH IHR WISSEN BEZAHLT



- Wir veröffentlichen Ihre Hausarbeit, Bachelor- und Masterarbeit
- Ihr eigenes eBook und Buch - weltweit in allen wichtigen Shops
- Verdienen Sie an jedem Verkauf

Jetzt bei www.GRIN.com hochladen
und kostenlos publizieren



Institut für
Fertigungstechnik und Spanende Werkzeugmaschinen
Universität Hannover

Diplomarbeit

**Ermittlung der Verschleißursachen
beim Spanen von Vermikularguss**

vorgelegt von
cand. mach. Tobias Schäfer

Hannover, 16. Juli 2001

Abstrakt

Thema : Ermittlung der Verschleißursachen beim Spanen von
Vermikularguss
von: Tobias Schäfer
Abgabedatum: 16. Juli 2001

Im Rahmen dieser Arbeit wird das Verschleißverhalten verschiedener Schneidstoffe mit unterschiedlichen Werkzeuggeometrien bei der Zerspanung von Gusseisen mit Vermikulargraphit untersucht. Die Zerspanversuche werden im Außenlängsdrehen von GJV600 unter Variation der Schnittgeschwindigkeit durchgeführt. Es erfolgt eine Analyse der während des Bearbeitungsprozesses auftretenden Zerspankraftkomponenten, eine Betrachtung von REM-Aufnahmen der Spanflächen, eine Analyse der Elementverteilungen auf den Spanflächen mit dem EDX-System sowie eine Untersuchung von Diffusionvorgängen mit der Mikrosonde. Zur Beurteilung der Spanbildung und des Einflusses der Bearbeitung auf die Werkstückrandzone werden Spanwurzeln erzeugt. Eine Ermittlung der Temperaturen in der Spanfläche erfolgt beim Orthogonal-Einstechedrehen von GJV550 und einem Vergleichswerkstoff GJL250.

Gute Standwege können mit Werkzeugen aus Aluminiumoxidkeramik und aus beschichtetem Hartmetall erreicht werden. Dabei ist beschichtetes Hartmetall eher für konventionelle Schnittgeschwindigkeiten geeignet, während Aluminiumoxidkeramik im Bereich der Hochgeschwindigkeitszerspannung einsetzbar ist. Durch das Verrunden der Schneidkante wird die erreichbare Schnittlänge von Werkzeugen aus Al_2O_3 weiter erhöht.

Der Verschleiß wird verursacht durch hohe mechanische bzw. abrasive Belastungen aufgrund der Inhomogenität des Werkstoffgefüges und der Graphitmorphologie unterstützt durch die Schwächung der Schneidstoffe durch hohe Temperaturen beim Zerspanprozess und tribochemische Reaktionen bzw. Diffusionen, die wegen der fehlenden Ausbildung einer Sulfidschicht zwischen Werkzeug und Werkstoff ablaufen können. Außerdem kommt es zu einer mit der Schnittgeschwindigkeit ansteigenden Erhöhung der Mikrohärtigkeit in der plastisch verformten Randzone der Werkstücke. Bei der Bearbeitung von GJV mit Aluminiumoxidkeramik entstehen weiße Schichten auf den Spänen, die vermutlich eine hohe Härte besitzen und stark abrasiv wirken.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Zielsetzung und Vorgehensweise	2
3	Stand der Kenntnisse	4
3.1	Gusseisen mit Vermikulargraphit	4
3.1.1	Gefügebau	4
3.1.2	Einfluss von Legierungselementen	6
3.1.3	Mechanische Eigenschaften	8
3.2	Grundlagen des Drehens	12
3.2.1	Bewegungen, Geometrie und Eingriffsgrößen beim Drehen.....	12
3.2.2	Spanbildung	15
3.2.3	Kräfte beim Drehen.....	19
3.2.4	Energieumsetzung	23
3.2.5	Verschleiß	26
3.2.6	Schneidstoffe	32
3.3	Zerspanbarkeit von Gusseisen	38
3.3.1	Gusseisen mit Kugelgraphit	39
3.3.2	Gusseisen mit Lamellengraphit.....	39
3.3.3	Gusseisen mit Vermikulargraphit	40
4	Versuchsdurchführung und -auswertung	42
4.1	Versuchswerkstoffe.....	42
4.2	Schneidstoffe	45
4.3	Versuchseinrichtungen.....	46
4.4	Messeinrichtungen	48
4.5	Verschleißuntersuchungen	50
4.6	Spanwurzeluntersuchungen.....	52
4.7	Temperaturermittlung in der Kontaktzone	54
5	Ergebnisse der Verschleißuntersuchungen	56
5.1	Einsatzverhalten von unbeschichtetem Hartmetall HW.....	56
5.2	Einsatzverhalten von beschichtetem Hartmetall HC	60
5.3	Einsatzverhalten von kubisch kristallinem Bornitrid BN.....	64
5.4	Einsatzverhalten von Siliziumnitrid-Keramik CN	69
5.5	Einsatzverhalten von Aluminiumoxidkeramik CA	73
5.6	Einsatzverhalten von CA-R mit verrundeter Schneidkante	78
5.7	Vergleich der Schneidstoffe	81

5.8	Variation der Schnittgeschwindigkeit.....	84
5.8.1	Außenlängsdrehen mit HC bei $v_c = 200$ m/min	84
5.8.2	Außenlängsdrehen mit CA bei $v_c = 200$ m/min und $v_c = 1000$ m/min	87
5.8.3	Vergleich der Standwege von HC und CA bei verschiedenen Schnittgeschwindigkeiten	91
6	Ergebnisse der Spanwurzeluntersuchungen	93
6.1	Spanwurzelerzeugung mit Werkzeugen aus CA bei verschiedenen Schnittgeschwindigkeiten.....	93
6.1.1	Spanbildung bei der Bearbeitung mit CA bei $v_c = 200$ m/min	93
6.1.2	Spanbildung bei der Bearbeitung mit CA bei $v_c = 400$ m/min	95
6.1.3	Spanbildung bei der Bearbeitung mit CA bei $v_c = 600$ m/min	97
6.1.4	Spanbildung bei der Bearbeitung mit CA bei $v_c = 800$ m/min	99
6.1.5	Spanbildung bei der Bearbeitung mit CA bei $v_c = 1000$ m/min	101
6.1.6	Vergleich der Ergebnisse bei der Bearbeitung mit dem Schneidstoff CA bei verschiedenen Schnittgeschwindigkeiten	103
6.2	Spanwurzelerzeugung mit Werkzeugen aus HC bei verschiedenen Schnittgeschwindigkeiten.....	105
6.2.1	Spanbildung bei der Bearbeitung mit HC bei $v_c = 200$ m/min	105
6.2.2	Spanbildung bei der Bearbeitung mit HC bei $v_c = 600$ m/min	107
6.2.3	Vergleich der Spanbildung bei der Bearbeitung mit HC.....	109
6.3	Spanwurzelerzeugung mit verschiedenen Werkzeuggeometrien bei $v_c = 600$ m/min	111
6.3.1	Spanbildung bei der Verwendung von CA-R	111
6.3.2	Vergleich der Ergebnisse bei der Bearbeitung mit verschiedenen Werkzeuggeometrien bei $v_c = 600$ m/min	113
7	Ergebnisse der Temperaturermittlung in der Spanfläche	115
7.1	Temperaturen in der Spanfläche bei der Bearbeitung von GJV550 mit HC bei $v_c = 200$ m/min	115
7.2	Temperaturen in der Spanfläche bei der Bearbeitung von GJL250 mit HC bei $v_c = 200$ m/min	117
7.3	Temperaturen in der Spanfläche bei der Bearbeitung von GJV550 mit HC bei $v_c = 400$ m/min	120
7.4	Temperaturen in der Spanfläche bei der Bearbeitung von GJL250 mit HC bei $v_c = 400$ m/min	122
7.5	Temperaturen in der Spanfläche bei der Bearbeitung von GJV550 mit HC bei $v_c = 600$ m/min	125
7.6	Temperaturen in der Spanfläche bei der Bearbeitung von GJL250 mit HC bei $v_c = 600$ m/min	127

7.7	Temperaturen in der Spanfläche bei der Bearbeitung von GJV550 mit HC bei $v_c = 800$ m/min	130
7.8	Temperaturen in der Spanfläche bei der Bearbeitung von GJL250 mit HC bei $v_c = 800$ m/min	132
7.9	Vergleich der ermittelten Temperaturen.....	135
8	Zusammenfassung und Ausblick	138
9	Literaturverzeichnis	142

Abkürzungen und Sonderzeichen

α	Freiwinkel	Grad
β	Keilwinkel	Grad
γ	Spanwinkel	Grad
ε	Eckenwinkel	Grad
ϕ	Scherwinkel	Grad
η	Sekundärverformungswinkel	Grad
η	Wirkrichtungswinkel	Grad
φ	Vorschubrichtungswinkel	Grad
κ	Einstellwinkel	Grad
λ	Wärmeleitfähigkeit	W/(m K)
λ_b	Spanbreitenstauchung	-
λ_h	Spandickenstauchung	-
λ_s	Neigungswinkel	Grad
λ_w	Spankürzung	-
ρ	Reibungswinkel	Grad
ρ	Dichte	kg/m ³
A	Spanungsquerschnitt	mm ²
A_γ	Transformationsmatrix für γ	-
A_λ	Transformationsmatrix für λ	-
A_κ	Transformationsmatrix für κ	-
a_e	Arbeitseingriff	mm
a_k	Kerbschlagzähigkeit	J/cm ²
a_p	Schnittbreite, Schnitttiefe, Zustellung	mm
A_S	Transformationsmatrix für Schneidplattenkoordinaten	
b	Spanungsbreite	mm
b	Wärmeeindringkoeffizient	Ws ^{1/2} /(m ² K)
b´	Spanbreite	mm
b _{St}	Stegbreite	mm
BN	kubisch kristallines Bornitrid	-
CA	Aluminiumoxidkeramik	-
CN	Siliziumnitridkeramik	-
d_{max}	Kontaktdurchmesser	mm
E	Elastizitätsmodul	Pa
EDX	Energy Dispersive X-Ray Analysis	
f	Vorschub	mm
F_a	Aktivkraft	N
F_c	Schnittkraft	N
F_{cm}	Mittelwert der Schnittkraft	N
F_{cmax}	Schnittkraft bei $VB_C = 0,3$ mm	N

F_f	Vorschubkraft	N
F_{fm}	Mittelwert der Vorschubkraft	N
F_{fmax}	Vorschubkraft bei $VB_C = 0,3$ mm	N
$F_{N\gamma}$	Normalkraft auf der Spanfläche	N
$F_{N\phi}$	Normalkraft an der Scherebene	N
F_p	Passivkraft	N
F_{pm}	Mittelwert der Passivkraft	N
F_{pmax}	Passivkraft bei $VB_C = 0,3$ mm	N
$F_{T\gamma}$	Tangentialkraft auf der Spanfläche	N
$F_{T\phi}$	Tangentialkraft an der Scherebene	N
$F_{T\lambda}$	Tangentialkraft entlang der Schneidkante	N
F_Z	Zerspankraft	N
GJL	Gusseisen mit Lamellengraphit	-
GJS	Gusseisen mit Kugelgraphit	-
GJV	Gusseisen mit Vermikulargraphit	-
h	Spanungsdicke	mm
h'	Spandicke	mm
HC	beschichtetes Hartmetall	-
HW	unbeschichtetes Hartmetall auf Wolframkarbid-Basis	-
IFW	Institut für Fertigungstechnik und Spanende Werkzeugmaschinen	-
K	Kolkverhältnis	-
KB	Kolkbreite	mm
K_{Ic}	kritischer Spannungsintensitätsfaktor	Pa m ^{1/2}
KL	primäre Kontaktlänge	mm
KM	Kolkmittenabstand	mm
KT	Kolktiefe	mm
l_d	Schnittlänge beim Drehen	m
l_f	Vorschubweg	mm
n_W	Werkstückdrehfrequenz	min ⁻¹
\dot{q}	Wärmestromdichte	W/mm ³
r_β	Schneidkantenradius	μ m
r_ϵ	Eckenradius	μ m
R_a	arithmetischer Mittenrauhwert	μ m
REM	Rasterelektronenmikroskop	-
R_{max}	maximale Rauhtiefe	μ m
R_z	gemittelte Rauhtiefe	μ m
t	Zeit	s
T	Standzeit	min
TRS	Transverse Rupture Strength	Pa
v_ϕ	Schergeschwindigkeit	m/min

VB	Verschleißmarkenbreite	mm
VB _i	Verschleißmarkenbreite im Bereich i = B, C, N	mm
v _c	Schnittgeschwindigkeit	m/min
v _e	Wirkgeschwindigkeit	m/min
v _f	Vorschubgeschwindigkeit	m/min
v _{sp}	Spangeschwindigkeit	m/min
V _W	Zerspanvolumen	mm ³
w	Spanungslänge	mm
w'	Spanlänge	mm
ϑ	Temperatur	°C
ϑ ₀	Ausgangstemperatur	°C

1 Einleitung

Steigende Anforderungen an die Leistung, den Verbrauch und das Abgasverhalten moderner Kfz-Motoren erfordern eine ständige Weiterentwicklung seitens der Automobilentwickler. Zum Erreichen dieser Ziele ist eine weitere Gewichtsreduzierung bei allen Motorbauarten und ein Erhöhen der Zünddrücke ohne wesentliche Steigerung des Gewichts bei Dieselmotoren ein geeigneter Ansatz. Die konstruktive Lösung dieses Zielkonflikts wird durch die Einführung neuer Werkstoffe ermöglicht.

Ein seit langem bekannter jedoch lange Zeit wenig beachteter Werkstoff ist Gusseisen mit Vermikulargraphit (GJV). Dieses Material wurde lange Zeit als unerwünschte Form des Gusseisens mit Kugelgraphit angesehen, zeichnet sich jedoch im Vergleich mit Gusseisen mit Lamellengraphit (GJL) durch eine erhöhte Festigkeit und einen größeren E-Modul aus, gegenüber Gusseisen mit Kugelgraphit (GJS) durch bessere Dämpfungseigenschaften, eine gute Temperatur-Wechselbeständigkeit und bessere Gieseigenschaften. Seit Anfang der 90-er Jahre wurden von mehreren Herstellern Verfahren entwickelt, diesen Werkstoff prozesssicher zu produzieren. 1995 setzte ein großer deutscher Automobilhersteller Motoren mit Zylinderblöcken aus GJV im Rennsport ein. Die ausgezeichneten Eigenschaften dieses Motors erregten das Interesse anderer Hersteller für dieses Material. In Dieselmotoren von Oberklassemodellen, die in Kleinserie gebaut werden, sowie in Nutzfahrzeug-Motoren wird der Werkstoff seit 1998 von drei weiteren Fahrzeugbauern eingesetzt /LAMP01/.

Um die Wirtschaftlichkeit der Herstellung von Motoren aus Gusseisen mit Vermikulargraphit zu erhöhen und auch die Massenfertigung zu ermöglichen, ist die Bearbeitung mit, idealerweise bereits vorhandenen, Transferstraßen notwendig. Diese sind jedoch im allgemeinen auf die Bearbeitung von Gusseisen mit Lamellengraphit, dem konventionellen Werkstoff für Zylinderblöcke, ausgelegt. Es stellte sich schnell heraus, dass bereits bei konventionellen Schnittgeschwindigkeiten ein um 30 - 50 % geringerer Standweg bei der Bearbeitung von GJV in Kauf genommen werden musste, bei der Hochgeschwindigkeitsbearbeitung fiel dieser Wert sogar um 95 % ab /SAHM98/.

Um die Einrichtung neuer Fertigungsstraßen zu vermeiden, die Produktivität zu steigern und um die Flexibilität, d. h. die Möglichkeit der Bearbeitung beider Gusswerkstoffe auf den vorhandenen Maschinen, zu erhalten, ist die Entwicklung neuer Werkzeuge bzw. Schneidstoffe erforderlich. Dafür müssen allerdings die Verschleißmechanismen und die Vorgänge bei der Zerspanung bekannt sein.

Die Erforschung der Verschleißmechanismen beim Zerspanen von Gusseisen mit Vermikulargraphit ist somit Inhalt der vorliegenden Arbeit. Die Ergebnisse dienen als Grundlage für die Weiterentwicklung bestehender Schneidstoffe bzw. die Entwicklung neuer Werkzeuge.

2 Zielsetzung und Vorgehensweise

Ziel dieser Arbeit ist die Ermittlung der Verschleißursachen beim Spanen von Gusseisen mit Vermikulargraphit. Es soll untersucht werden, nach welchen Mechanismen Werkzeuge aus verschiedenen Schneidstoffen und mit verschiedenen Geometrien verschleifen, um auf dieser Grundlage die Weiter- bzw. Neuentwicklung von Schneidstoffen für die Bearbeitung dieses vielversprechenden Werkstoffes zu unterstützen.

Der Werkzeugverschleiß ist eines der Bewertungskriterien der Zerspanbarkeit eines Werkstoffs. Er steht im Zusammenhang mit den Zerspankräften und der Spanart und ist ein Einflussfaktor auf die Oberflächenausbildung des bearbeiteten Werkstücks.

In der industriellen Praxis hat sich herausgestellt, dass das Ausbohren von Zylinderlaufbuchsen der Prozess ist, in dem die größten Standzeiteinbußen der Werkzeuge gegenüber der Bearbeitung von Gusseisen mit Lamellengraphit bzw. der größte Werkzeugverschleiß festzustellen ist. Wegen der besseren Zugänglichkeit der Werkstückoberfläche, und des Werkzeugs im Prozess und der damit verbundenen guten Möglichkeit der Aufnahme von Messwerten sowie der einfacheren Werkzeuggeometrie wurde das Drehen als äquivalenter Versuchsprozess gewählt. Wie beim Bohren handelt es sich hierbei um einen ununterbrochenen Schnitt, auch die Bearbeitungsgeometrie bzw. die Schnittverhältnisse sind bei beiden Verfahren ähnlich.

Es stehen eine begrenzte Anzahl von Proben mit verschiedenen Maßen zweier Gusseisen mit Vermikulargraphit zur Verfügung: GJV600 und GJV550. Eine Analyse dieser Werkstoffe durch das Institut für Werkstoffkunde der Universität Hannover liegt vor.

Zunächst werden die verschiedenen Wendeschneidplatten durch das Außenlängsdrehen von GJV600 bei definierten Schnittgeschwindigkeiten bis zur Verschleißgrenze beansprucht. Hinsichtlich der Standzeit herausragende Schneidstoffe werden unter Variation der Schnittgeschwindigkeit weiter untersucht. Die Aufnahme der Kräfte während der Bearbeitung gibt Aufschluss über die mechanische Belastung der Werkzeuge. Auch der Einfluss der verschiedenen Werkzeuge bzw. Bearbeitungsparameter auf die Oberflächenrauheit der Werkstücke wird ermittelt. Zur Begutachtung der verschlissenen Schneidkanten werden am Laserzentrum Hannover REM-Aufnahmen angefertigt. Durch eine EDX-Analyse am Institut für Werkstoffkunde werden Elementverteilungen auf der Spanfläche der Schneidplatten ermittelt, um eine Abschätzung der sich gebildeten bzw. abgelagerten Stoffe liefern zu können. Anschließend werden Querschliffe der Werkzeuge angefertigt, um mit Hilfe der Mikrosonde am Institut für Werkstoffkunde Elementverteilungen des Inneren der Schneidstoffe, der Randzone sowie innerhalb der Beläge auf Span- und Freifläche zu erhalten. Hiermit können Diffusionsvorgänge zwischen Schneid- und Werkstoff ermittelt werden.

Durch das Orthogonal-Einstechdrehen von GJV600 mit Schnittkraftunterbrechung werden Spanwurzeln erzeugt, die der Untersuchung der Spanbildung dienen. Ferner werden anhand dieser Spanwurzeln der Scherwinkel gemessen sowie Gefügeveränderungen und -umformungen bzw. Härteänderungen ermittelt.

Abschließend werden beim Orthogonal-Einstechdrehen von GJV550 mit verschiedenen Schnittgeschwindigkeiten die Temperaturen in der Spanfläche einer Wendeschneidplatte mit Thermoelementen ermittelt und die zu erwartenden Temperaturen in der Kontaktzone zwischen Spänen und Werkzeug berechnet.

Das Ergebnis der Verknüpfung der ermittelten Daten ist eine mögliche Erklärung der Verschleißvorgänge für die verschiedenen Schneidstoffe, sowie die Auswahl der am besten geeigneten Werkzeuge aus den vorhandenen Schneidplatten für verschiedene Bearbeitungsparameter.

3 Stand der Kenntnisse

3.1 Gusseisen mit Vermikulargraphit

Gusseisen mit Vermikulargraphit (EN-Kurzzeichen: GJV) ist schon ebenso lange wie Gusseisen mit Kugelgraphit bekannt. Auf seine möglicherweise interessanten Eigenschaften wurde schon frühzeitig hingewiesen, jedoch gelang es erst 1969 ein Verfahren zu entwickeln, mit dem dieser Werkstoff industriell hergestellt werden konnte /RÖHR91/.

Die Eigenschaften von Gusseisen mit Vermikulargraphit liegen zwischen denen von Gusseisen mit Kugelgraphit und Gusseisen mit Lamellengraphit. Gusseisen mit Vermikulargraphit hat eine bessere Festigkeit, Zähigkeit, Steifigkeit, Dauerwechselfestigkeit, Oxidationsbeständigkeit und Temperaturwechselbeständigkeit als Gusseisen mit Lamellengraphit, sowie bessere Gießereigenschaften, Bearbeitbarkeit, Dämpfungsfähigkeit und Formbeständigkeit bei Temperaturwechseln als Gusseisen mit Kugelgraphit /RÖHR91/.

3.1.1 Gefügebau

GJV hat seinen Namen von den wurmförmigen, an den Enden abgerundeten Graphitgebilden (Vermikeln), die nicht miteinander verbunden sind. Standardgrauguss (Kurzzeichen nach DIN EN 1561: GJL) bildet den Graphit in scharfkantigen, miteinander verbundenen Lamellen aus (Gusseisen mit Lamellengraphit), während beim hochfesten Sphäroguss (Kurzzeichen nach DIN EN 1563: GJS) der Graphit in frei orientierten kugelartigen Formen vorliegt (Gusseisen mit Kugelgraphit) /INDR95/. Bild 3.1 zeigt die verschiedenen Möglichkeiten der Graphitbildung im Gusseisen im Vergleich.

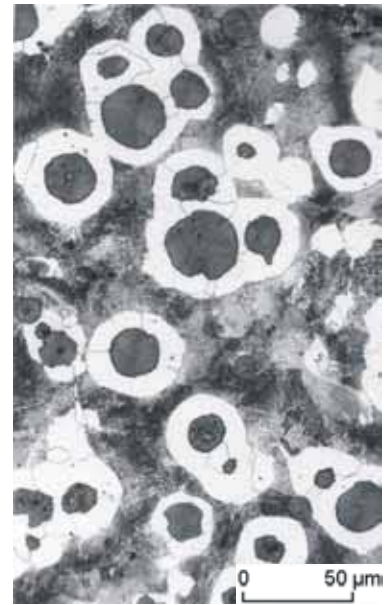
Zum Erreichen der gewünschten Eigenschaften muss die Ausbildung des Graphits im Werkstoff zu mindestens 80 - 90 % in vermikularer Form erfolgen, der Rest muss in Form von Kugelgraphit vorliegen /NECH84/. Schon geringe Konzentrationen von Lamellengraphit verschlechtern die Eigenschaften des Gusseisens erheblich (siehe Bild 3.5).



Lamellengraphit



Vermikulargraphit



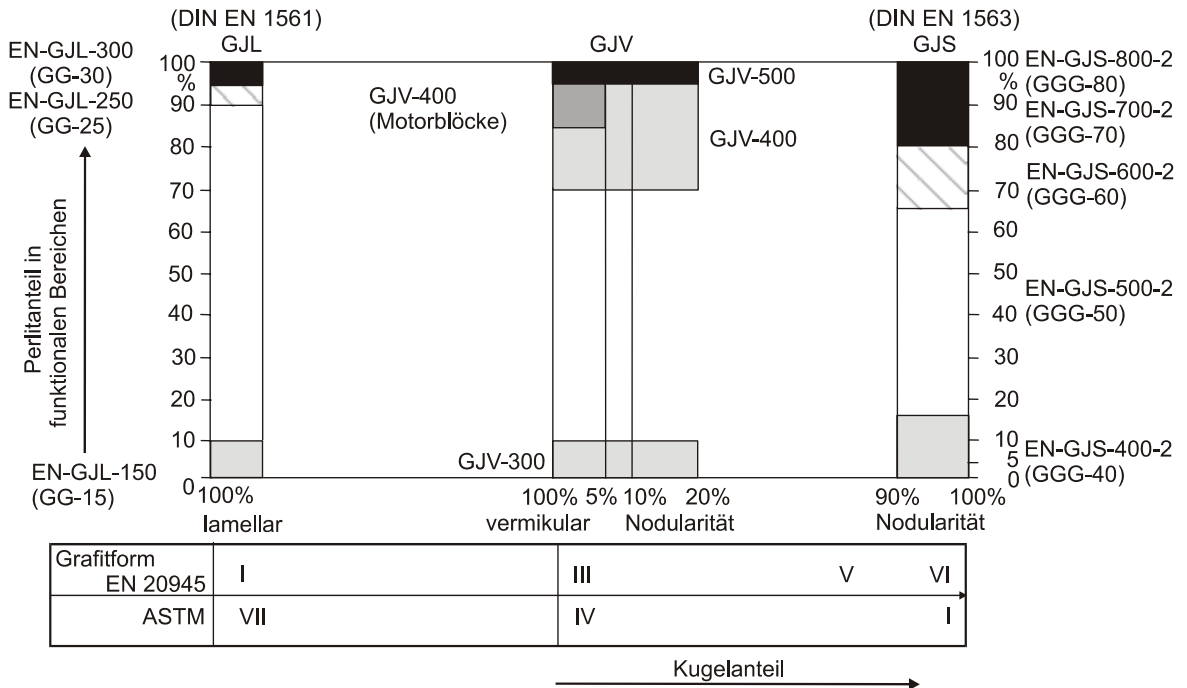
Kugelgraphit

325/001 © IFW

Bild 3.1: Graphitmodifikationen bei Gusseisen

Bild 3.5 zeigt die Abhängigkeit der Zugfestigkeit und der Streckgrenze von der Nodularität. Die Nodularität ist ein Maß für den Gehalt der verschiedenen Graphitmodifikationen im Gusseisen: 0 % bedeutet das alleinige Vorliegen von Vermikulargraphit, positive Prozentzahlen geben den Gehalt von Kugelgraphit an, negative Prozentzahlen denjenigen von Lamellengraphit.

Die Eigenschaften des Gusseisens werden außerdem durch die Form der Kristallmatrix des Eisens bestimmt. Diese kann als Ferrit und als Perlit vorliegen. Bild 3.2 zeigt die Einteilung des Gusseisens in Abhängigkeit von der Graphitform und vom Perlitanteil. Innerhalb des Perlits kann das Fe_3C in Konzentrationen von 8 % bis 15 % enthalten sein. Auch die Konzentration des Zementits im Perlit beeinflusst die Eigenschaften des GJV /DAWS99/.



Quelle: Halberg Guß GmbH

325/29307c © IFW

Bild 3.2: Matrixcharakteristik von Gusseisen

3.1.2 Einfluss von Legierungselementen

3.1.2.1 Legierungselemente zur Stabilisierung des Perlits

Gusseisen mit Vermikulargraphit hat eine Tendenz, eine ferritische Matrix zu bilden. Durch die Zumischung von 1 % Kupfer und 0,1 % Zinn erzielt man eine vorwiegend perlitische (>95 %) Matrix. Neben Kupfer und Zinn gelten auch Antimon, Mangan und Chrom als Perlit-Stabilisatoren /DAWS99/.

Durch die Bildung von Mangansulfid bindet das Mangan außerdem den freien Schwefel, der ansonsten die mechanischen Eigenschaften des Gusseisens verschlechtern würde. Die Konzentration des Mangans im GJV beträgt üblicherweise 0,35 - 0,45 %. Erst wenn die Konzentration den zur Bindung des Schwefels nötigen Wert überschreitet, trägt das Mangan zur Bildung von Perlit bei /DAWS99/.

3.1.2.2 Legierungselemente zur Stabilisierung des Ferrits

Silizium fördert die Bildung einer ferritischen Matrix. Gusseisen mit Vermikulargraphit enthält typischerweise einen Anteil von 2,0 - 2,4 % Silizium. Durch ein Erhöhen der Konzentration von Silizium auf 3 % oder darüber, kann eine zu 100 % ferritische Matrix erzeugt werden. Die erhöhte Siliziumkonzentration verhärtet bzw. versprödet allerdings die ferritische Matrix. Daher darf GJV in sicherheitsrelevanten Teilen maximal 2,7 % Si