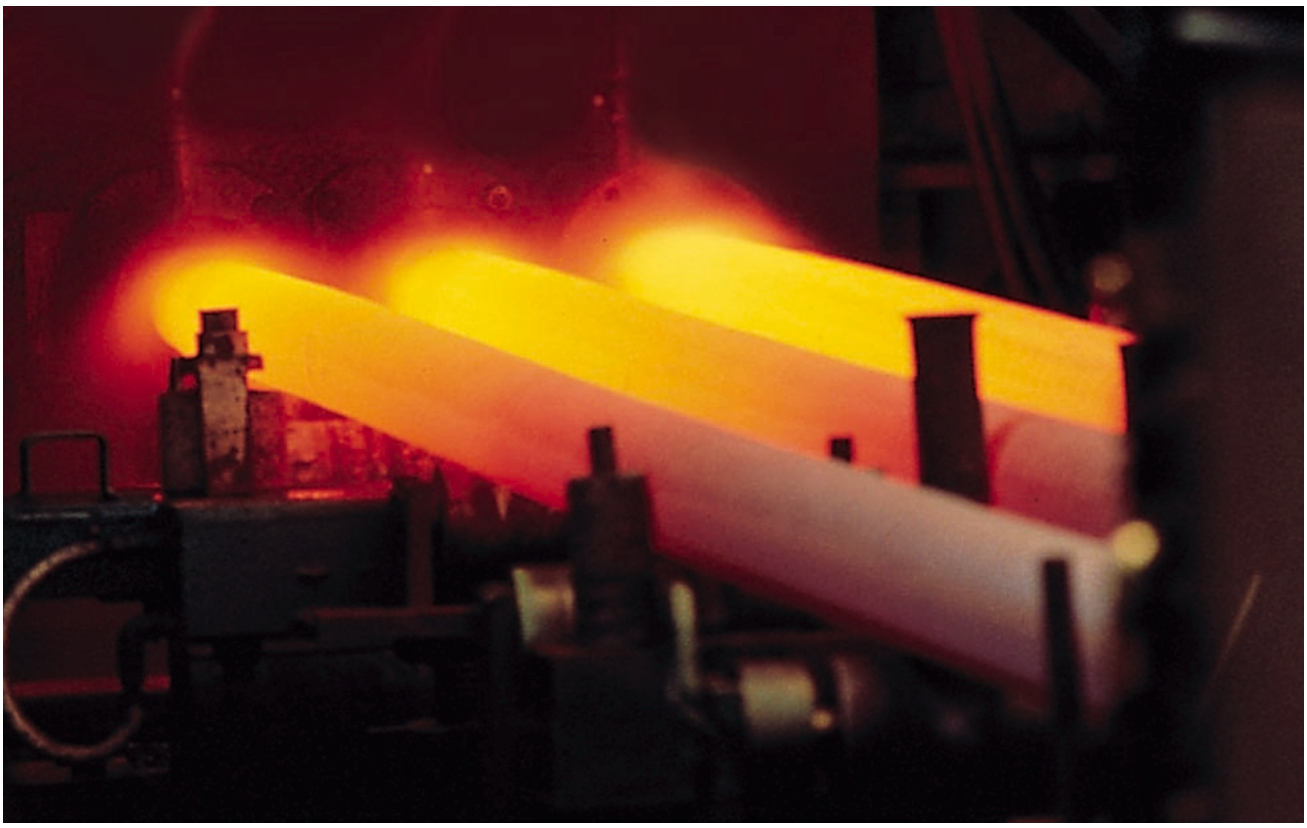
Sonderdruck aus konstruieren + giessen 30 (2005) H. 3



Der neue Maßstab für Qualität

ACO Eurobar® – Strangguss von ACO Guss

ACO guss

Sonderdruck aus konstruieren + giessen 30 (2005) H. 3

Klaus Herfurth, Solingen

Gusseisen-Strangguss für eine innovative Teilefertigung

Es gibt zahlreiche Beispiele für den technisch vorteilhaften und wirtschaftlich günstigen Einsatz von Gusseisen mit Lamellengraphit (GJL) und von Gusseisen mit Kugelgraphit (GJS). Die Vorteile dieser Gusseisenwerkstoffe wurden vor allem für den Formguss beschrieben. In den folgenden Ausführungen wird auf den Strangguss als gegossenes Halbzeug, aus dem Bauteile für die verschiedensten Anwendung gefertigt werden, eingegangen. Strangguss aus Gusseisen ist derzeit nicht genormt. Vier europäische Stranggießereien erfassten deshalb auf Initiative des Deutschen Gießereiverbandes (DGV), Düsseldorf den derzeitigen Entwicklungsstand des Gusseisen-Stranggusses, der nachfolgend beschrieben wird.

1 Einleitung

Bei der Herstellung von Gusseisen-Strangguss beginnt die Erstarrung in einer wassergekühlten Durchlaufkokille. Infolge anderer wärmephysikalischer Bedingungen als beim Sandguss ergibt sich eine höhere Erstarrungsgeschwindigkeit. Verfahrensbedingt entstehen dadurch vom Sandguss abweichende Eigenschaften und ein besonders feinkörniges und dichtes Werkstoffgefüge. Strangguss aus Gusseisen zeichnet sich durch eine sehr hohe Druckdichtheit gegenüber Flüssigkeiten und Gasen aus [1, 2].

Für diesen Strangguss existieren keine internationalen (ISO), europäischen (EN) oder nationalen Normen. Vertreter der folgenden vier Firmen erfassten deshalb den gegenwärtigen Stand der Produktion von Gusseisen-Strangguss und erarbeiteten einen ersten Vorschlag für eine spätere Normung:

- ACO Guss, Kaiserslautern (D),
- Contifonte Groupe Kuhn, Saverne (F),
- Gontermann-Peipers, Siegen (D),
- TASSO, Odense (DK).

Prof. Dr.-Ing. habil Klaus Herfurth, Solingen, Koordinator der ad-hoc-DGV-Arbeitsgruppe „Strangguss“

2 Das Strangguss-Prinzip

Strangguss aus Gusseisen mit Lamellengraphit und Gusseisen mit Kugelgraphit wird nach dem horizontalen Stranggießverfahren hergestellt. Im **Bild 1** sind die drei wichtigen Baugruppen der horizontalen Stranggießanlage dargestellt: Ziehgefäß mit angeflanschter, schnell auswechselbarer, wassergekühlter Durchlaufkokille; Treib- und Ziehvorrichtung mit elektronischer Steuerung; sowie Trenn- und Abdrückvorrichtung. Die Durchlaufkokille als wichtigste Baugruppe bestimmt im wesentlichen die Oberflächenqualität der gegossenen Stränge, Fehlerfreiheit, Gefügeausbildung und Gießgeschwindigkeit. Sie besteht aus Graphit und wird von einem wassergekühlten Mantel umschlossen.

Der Nutzinhalt des Ziehgefäßes, auch Ziehofen genannt, richtet sich nach der Produktionsleistung der Stranggießanlage und dem Bereitstellungszyklus der Gusseisenschmelze. Während des Stranggießvorgangs wird das Ziehgefäß in regelmäßigen Zeitabständen mit Gusseisenschmelze nachgefüllt, so dass ein kontinuierlicher Gießprozess entsteht.

Die Gusseisenschmelze wird nach dem Abstich aus dem Schmelzofen noch nachbehandelt (Magnesiumbehandlung, Impfen) und anschließend in das Ziehgefäß gegossen. Je nach Strangabmessung und Gießgeschwindigkeit wiederholt sich dieser Vorgang alle 15 bis 30 Minuten. In Abhängigkeit von den herzustellenden Strangabmessungen liegt die Temperatur der Gusseisenschmelze im Warmhalteofen zwischen 1180 und 1300 °C. Wegen der Wärmebilanz muss die Überhitzungstemperatur um so höher liegen, je dünner der zu gießende Strang ist.

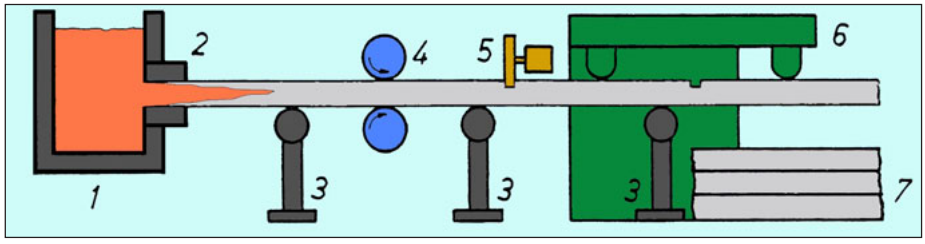


Bild 1: Schematische Darstellung des horizontalen Stranggusses, 1 – Ziehgefäß, 2 – Durchlaufkokille, 3 – Stützrollen, 4 – Vorschubeinheit, 5 – Trennscheibe, 6 – Brechgerät, 7 – abgebrochene Strangabschnitte

Während der ersten Abkühlungsphase des Gusseisens in der Durchlaufkokille – der Primärkühlung – bildet sich die äußere stützende, feste Randschicht des Strangs. Es schließt sich die Sekundärkühlung an, in der die Stränge an ruhender Luft abkühlen. Nach Austritt des Stranges aus der Durchlaufkokille ist die Erstarrung über dem ganzen Querschnitt noch nicht abgeschlossen. Im Kern ist der Strang noch einige Zeit flüssig. Die Stranggusskokille, vorwiegend aus Elektrographit hergestellt, erfüllt die Aufgabe der Formgebung und stellt infolge ihrer physikalischen Eigenschaften und der Kühlintensität die Abkühlungsgeschwindigkeit des Stranges auf ein gewünschtes Maß ein. Die Wasserkühlung der Durchlaufkokille ist regelbar. Damit kann die Kühlintensität variiert werden. Durch die Schmierwirkung des Graphits wird die Reibung zwischen Stranggusskokille und Strang vermindert. Die ferrostatische Höhe der Schmelze im Warmhalteofen übt auf den Strang die Wirkung eines Speisers aus. Die Flüssig- und Erstarrungskontraktion des Werkstoffs wird durch das ständige Nachfließen der Schmelze ausgeglichen. Gleichzeitig wirkt die durch die Graphitausscheidung während der Erstarrung auftretende Expansion des Werkstoffs einer Lunkerbildung entgegen. Dadurch entsteht beim

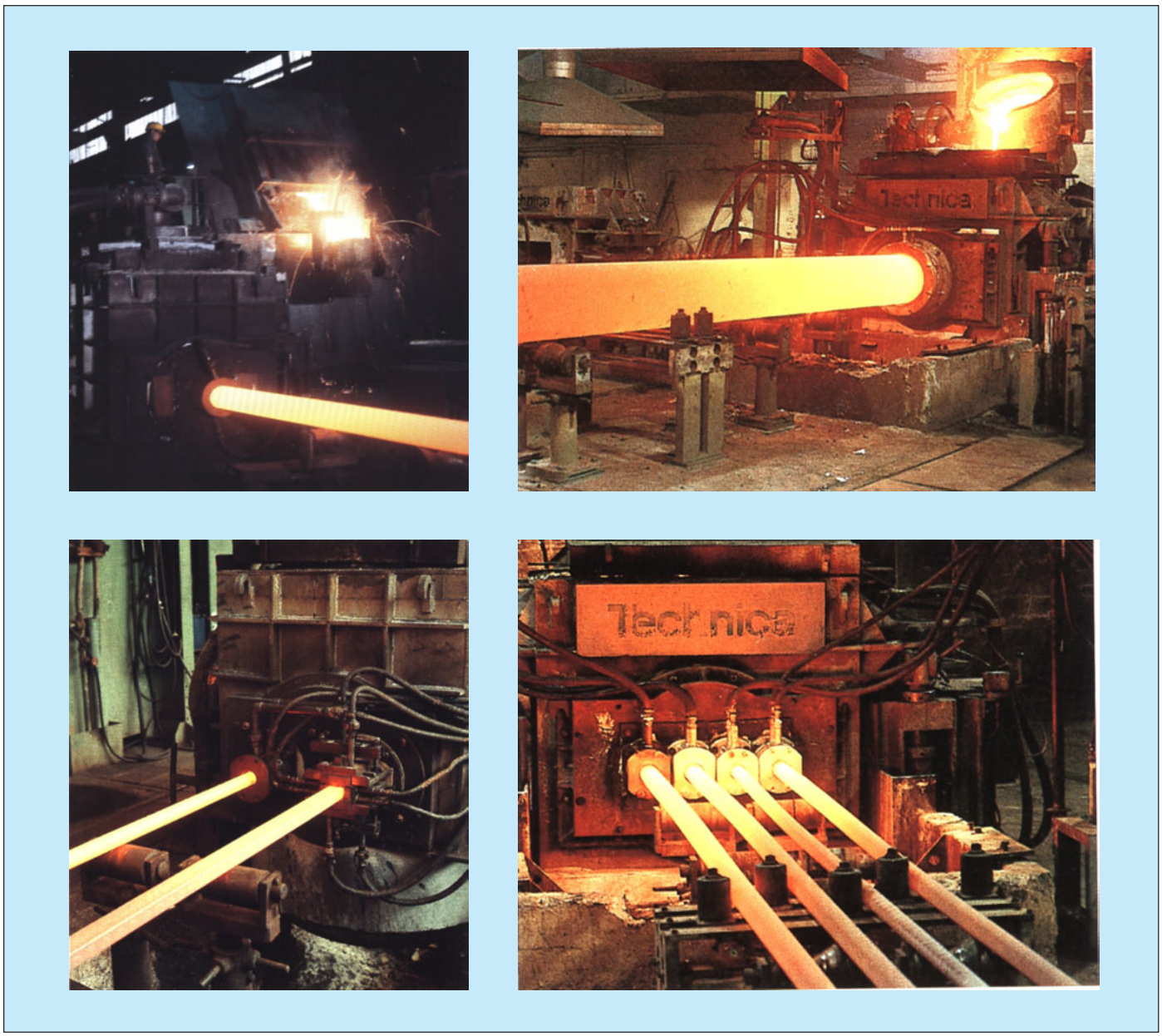


Bild 2: Verschiedene Stranggießanlagen

a) Stranggießanlage für einen Strang mit Füllung des Gießgefäßes im Hintergrund (Bild: Contifonte, Saverne (F))
b) Stranggießanlage für einen Strang (Bild: TASSO, Odense (DK))
c) Stranggießanlage für zwei Stränge (Bild: Contifonte, Saverne (F))
d) Stranggießanlage für vier Stränge (Bild: TASSO, Odense (DK))

Strangguss ein lunker- und porenfreies, besonders dichtes und homogenes Gefüge.

Gezogen wird der Strang durch ein Treibaggregat, das zusammen mit der elek tronischen Steuerung das intermittierende Abziehen des Strangs bei ortsfester Durchlaufkokille übernimmt. Der Abziehzyklus setzt sich in der Regel aus einer Bewegungs- und einer Ruhephase (Wartezeit) zusammen. Die Strangbewegung, die sich aus einer Folge von Zieh- und Ruhephasen zusammensetzt, ist beim Stranggießen von Gusseisen sehr ausgeprägt. Die Ziehlänge kann in Abhängigkeit von Strangabmessung und Gusseisensorte zwischen 30 und 80 mm liegen. Vor Beginn des Gießprozesses ist die Strangguss-

Bild 3: Ein Stranggusslager mit einer Vielzahl vorgehaltener verschiedener Profile, Größen und Längen (Bild: K. Vollrath, Rees)

kokille auf der Austrittsseite durch einen Anfahrstrang verschlossen. Dem Treibaggregat sind Einrichtungen zum Zerteilen des Stranges in einzelne Strangabschnitte nachgeschaltet. Der sich bewegende Strang wird mit einer Trenneinrichtung (Säge oder Brennschneidvorrichtung), die sich parallel zum Strang bewegt, teilweise durchtrennt. Der entstehende Strangabschnitt wird anschließend mit einer Abdrückeinrichtung abgebrochen.

Im **Bild 2** werden Ansichten von Stranggießanlagen im Betrieb mit Gießgefäß, Stranggießkokille und dem Austritt von einem, zwei und vier Strängen gezeigt.

Oft wird Gusseisen-Stranggussmaterial sehr kurzfristig angefordert. Vom Lieferanten muss deshalb der Kunde oder Zwischenhändler eine hohe Lieferbereitschaft und schnelle, termingerechte Anlieferung des Materials einfordern. Um trotz der Vielzahl von Gusseisensorten und Strangabmessungen immer lieferfähig zu sein, unterhalten die Gießereien ein ständiges Präsenzlager (**Bild 3**). Der Strangquerschnitt ist vorwiegend kreisförmig, quadratisch oder rechteckig. Es entstehen so Rundstangen, Vierkantstangen und Flachstangen, die in verschiedenen Abmessungen und Längen angeboten werden.

Der Fertigungsablauf beim Gusseisen-Strangguss ist im **Bild 4** in zwei verschiedenen Varianten dargestellt. Die Variante 1 stellt den bisher häufigsten Fall dar: Die Gießerei liefert den Strangabschnitt in den geforderten Abmessungen und mit bestimmten mechanischen Eigenschaften an den Besteller, der die Teilefertigung durch spanendes Bearbeiten realisiert. Auf eine weitere Verbesserung der Werkstoffeigenschaften und der Gebrauchseigenschaften des Bauteils wird dabei verzichtet.

Bild 5 zeigt links den Fertigungsablauf der Variante 1 nochmals in optischer Darstellung. Dabei ist eine Wärmebehandlung

Bild 4: Fertigungsfolgen bei der Teileherstellung aus Gusseisen-Strangguss

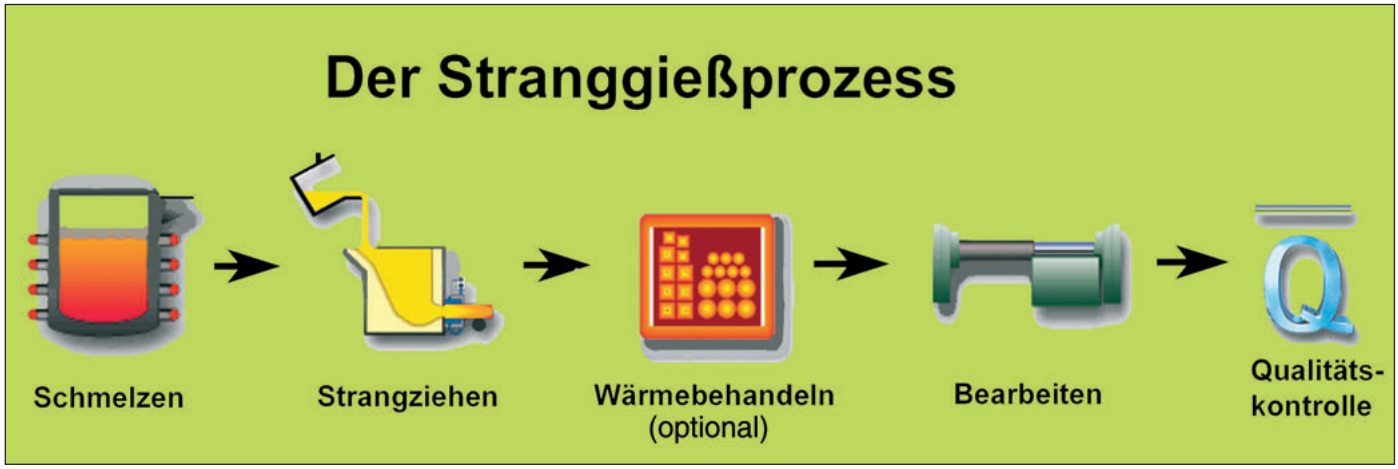


Bild 5: Fertigungsfolge beim Gusseisen-Stranggießen (Bild: Gontermann-Peipers, Siegen (D))

Tabelle 1: Ausgewählte Prüfverfahren bei Gusseisen-Strangguss

Prüfverfahren	Bearbeitungs-zustand	Gusseisensorte		Normen	
		GJL	GJS		
Sicht-Prüfung	roh	x	x	DIN EN 1559-1, 1559-3	
	bearbeitet	x	x	DIN EN 1559-1, 1559-3	
Maß-Prüfung	roh	x	x	DIN ISO 8062	
	bearbeitet	x	x		
Härte-Prüfung	roh	x	x	EN 10003-1	DIN EN 1561, 1563, 13835
	bearbeitet	x	x	EN 10003-1	DIN EN 1561, 1563, 13835
Gefüge	roh	x	x	EN ISO 945	
	bearbeitet	x	x	EN ISO 945	
Analyse	roh	x	x		
	bearbeitet	x	x		
Mechanische Kennwerte	roh	x	x	EN 10002-1, 10045-1	DIN EN 1561, 1563, 13835
	bearbeitet	x	x	EN 10002-1, 10045-1	DIN EN 1561, 1563, 13835
FE-Prüfung	roh	-	-	in Anlehnung an DIN-EN 571-1	in Anlehnung an DIN EN 1371-1
	bearbeitet	x	x	DIN-EN 571-1	DIN EN 1371-1
US-Prüfung	roh	-	-	in Anlehnung an DIN-EN 583	in Anlehnung an DIN EN 12680-3
	bearbeitet	-	x	DIN-EN 583-1	DIN EN 12680-3
MP-Prüfung	roh	-	-		
	bearbeitet	x	x		DIN EN 1369

nach dem Stranggießen mit einbezogen, die in einigen Fällen auch erforderlich sein kann. Eine umfassende Qualitätskontrolle am Ende des gießereitechnischen Fertigungsablaufs ist in heutiger Zeit eine Selbstverständlichkeit. Während des ganzen Produktionsprozesses erfolgt eine umfangreiche Prozesskontrolle.

Bei der Variante 2 (**Bild 4**, rechts) wird dagegen nach dem spanenden Vorbearbeiten eine Verbesserung der Werkstoffeigenschaften in Richtung höherer Festigkeiten und anderer Gebrauchseigenschaften durch gezielte Wärmebehandlungsverfahren und durch Beschichten oder Oberflächenumformen angestrebt und realisiert.

In der **Tabelle 1** sind die verschiedenen Prüfverfahren für die Qualitätskontrolle bei den Herstellern von Gusseisen-Strangguss angeführt. Zu diesen Prüfverfahren gehören Sicht- und Maßprüfungen, eine Bewertung des Mikrogefüges, das Bestimmen der chemischen Analyse, das Ermitteln der mechanischen Eigenschaften mit dem Zugversuch und der Härteprüfung nach Brinell und die zerstörungsfreien Prüfungen: Farbeindringprüfung, Ultraschallprüfung, Magnetpulverprüfung.

Stranggussabschnitte (auch Strangguss-Stangen genannt) bestimmter Länge werden traditionell entweder unbearbeitet oder bearbeitet vom Hersteller ausgeliefert. Auch eine spanende allseitige Bearbeitung auf Fertigmaße nach Kundenwünschen wird von den Herstellern angeboten (**Bilder 6 und 7**). Dadurch werden zusätzliche Arbeitsgänge bei den Kunden vermieden. Bei Quadrat- und Rechteckstangen erfolgt eine 6-Seiten-Bearbeitung. Ausgeführt werden dabei Winkelgenauigkeiten von < 0,05 mm auf 100 mm, gleiche Werte für die Planparallelität und Längentoleranzen von < 0,04 mm auf 100 mm.

Auch Haltebohrungen oder genaue Vorzentrierungen der Bohrpositionen sind lieferbar. Rundstangen können genau auf ein gewünschtes Maß spanend bearbeitet werden [2].

Bild 8: Ein interessanter und bedeutender Anwendungsbereich für Strangguss ist der Glasformenbau. (Bild: ACO Guss, Kaiserslautern (D))

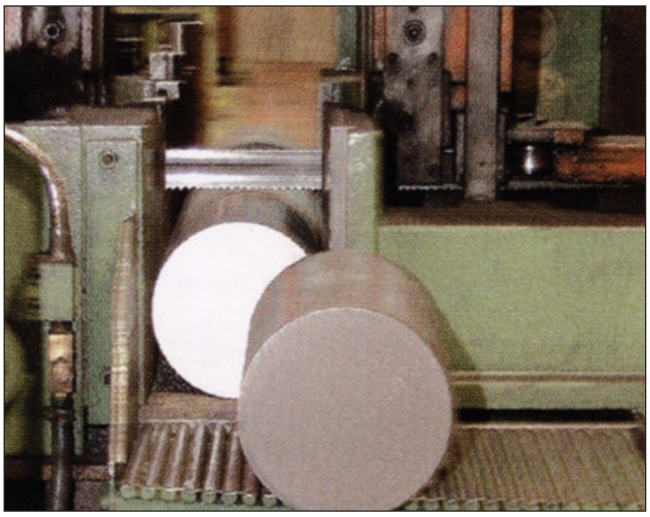


Bild 6: Vorbearbeitung der Stranggussabschnitte als Dienstleistung für den Kunden (Bild: ACO Guss, Kaiserslautern (D))

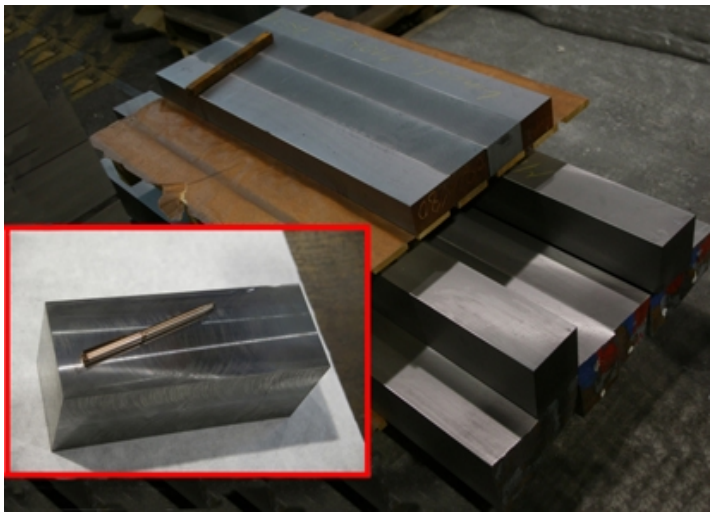


Bild 7: Bei den auf Außenmaß vorbearbeiteten Blöcken kann sofort mit der Feinbearbeitung begonnen werden. (Bild: K. Vollrath, Rees)

3 Die Gusseisenwerkstoffe

Die Gusswerkstoffe umfassen mehrere Gusseisen-Gruppen. Zu diesen Gusseisenwerkstoffen gehören:

- das Gusseisen mit Lamellengraphit – GJL (DIN EN 1561) [3],
- das Gusseisen mit Vermiculargraphit GJV (VDG-Merkblatt W 50, März 2002) [4],
- das Gusseisen mit Kugelgraphit – GJS (DIN EN 1563) [5],
- das Bainitische Gusseisen (DIN EN 1564) - international als ADI (Austempered Ductile Iron) bekannt [6, 7, 8], in Zukunft wahrscheinlich als austenitisch-ferritisches (ausferritisches) Gusseisen mit Kugelgraphit bezeichnet,
- der Temperguss - GJMB/GJMW (DIN EN 1562) [9],
- das austenitische Gusseisen – GJLA-X/GJSA-X (DIN EN 13835) [10, 11],
- das verschleißbeständige Gusseisen – GJN (DIN EN 12513) [12].

In der angegebenen Fachliteratur [3 bis 13] werden die für die Gusseisenwerkstoffe wichtigen metallkundlichen Grundlagen, die Eigenschaften, die Werkstoffnormung und die Anwendungsgebiete detailliert beschrieben.

Die Unterscheidung der Werkstoffe erfolgt dabei nach der Form der ausgeschiedenen Graphitkristalle, nach der Ausbildung eines speziellen Grundgefüges durch Legieren oder Wärmebehandeln oder nach der Ausscheidung des Graphits durch Wärmebehandlung aus dem weißerstarrten Gefüge beim Temperguss.

Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich nur auf das Gusseisen mit Lamellengraphit und das Gusseisen mit Kugelgraphit. Diese Gusseisen sind Eisen-Kohlenstoff-Silicium-Werkstoffe mit einem Kohlenstoffgehalt von 2 bis 4 % und einem Siliciumgehalt von 2 bis 3 %. Wenn zu diesen Werkstoffen keine weiteren Legierungselemente zugesetzt werden, bezeichnet man sie trotz des hohen Siliciumgehalts als unlegierte Werkstoffe. Die metallische Grundmasse dieser Gusseisenwerkstoffe entspricht einem eutektoidem Stahl mit einem Kohlenstoffgehalt von etwa 0,7 % und einem Siliciumgehalt von 2 bis 3 %, in die Graphitkristalle unterschiedlicher Form eingelagert sind.

Die Phasen- und Gefügeumwandlungen, die beim Herstellen oder Wärmebehandeln ablaufen, müssen deshalb mit den Zustandsdiagrammen für Dreistoffsysteme (Fe-C-Si) beschrieben werden. Diese Zustandsdiagramme haben damit vier Veränderliche, so dass sie normalerweise nur räumlich darstellbar sind. Wird darin jedoch ein Schnitt bei einem konstanten Wert einer der Variablen geführt, entsteht wieder ein zweidimensionales Diagramm. Ein solcher quasibinärer Schnitt durch das Fe-C-Si-Dreistoffsystem bei 2,4 % Silicium reicht zur Beschreibung der ablaufenden Umwandlungsprozesse aus (**Bild 9**).

Bei der Gefügebildung aus der Schmelze beziehungsweise der Gefügeumwandlung im festen Aggregatzustand werden zwei Umwandlungsstufen (Graphitisierungsstufen) unterschieden. Die erste Graphitisierungsstufe liegt zwischen der Liquidustemperatur und der eutektoiden Umwandlung. Hier entscheidet sich, ob bei der Erstarrung des Gusseisens Graphitkristalle entstehen (Grauerstarrung) oder nicht (Weißerstarrung). Ob ein Gusseisen weiß oder grau erstarrt, ist abhängig von seiner chemischen Zusammensetzung und von der Abkühlungsgeschwindigkeit bei der Erstarrung. Die zweite Graphitisierungsstufe liegt im Bereich der eutektoiden Umwandlung. Je nach Prozessbedingungen entscheidet sich hier, ob eine perlitische oder ferritische Grundmasse entsteht. Eine dritte Einflussmöglichkeit ist d as Impfen der Schmelze, das die Grauerstarrung fördert.

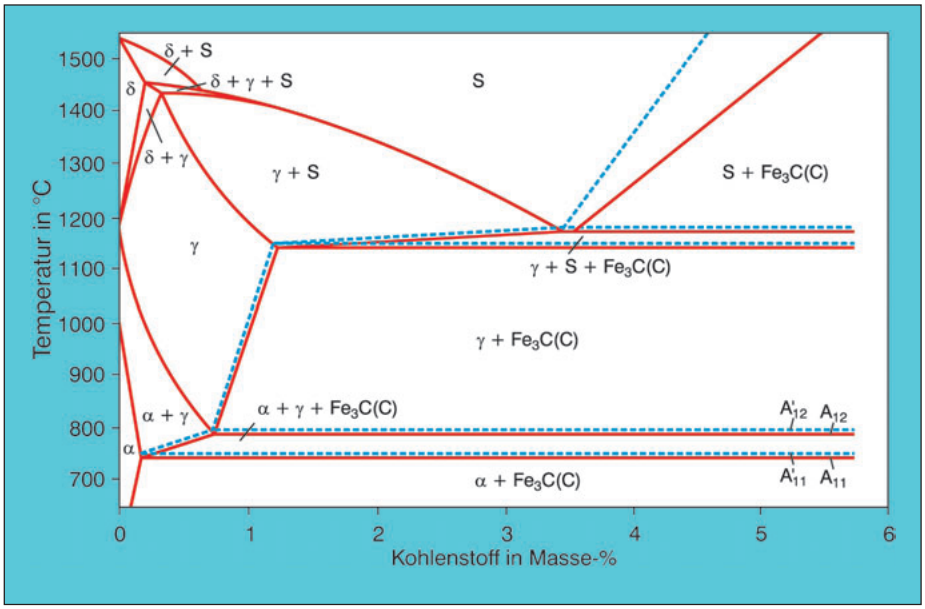


Bild 9: Fe-C-Si-Diagramm (quasibinärer Schnitt bei 2,4 % Silicium) [13]

Bild 10: Der große Abmessungsbereich und die verschiedenen vorgegossenen Strangprofile erlauben die Herstellung der verschiedensten Bauteile mit geringem spanenden Aufwand. (Bild: TASSO, Odense (DK))

Die mechanischen Eigenschaften des Gusseisens sind bei gleicher chemischer Zusammensetzung von der Abkühlungsgeschwindigkeit abhängig. Diese Gegebenheit wird in der Praxis dadurch ausgedrückt, dass die mechanischen Eigenschaften von der Gussteilwanddicke abhängig sind - sie sind wanddickenempfindlich. Dabei entspricht eine kleine Wanddicke einer hohen und eine große Wanddicke einer kleinen Abkühlungsgeschwindigkeit. Diese Wanddickenempfindlichkeit der mechanischen Eigenschaften ist bei Gusseisen mit Lamellengraphit größer als bei Gusseisen mit Kugelgraphit.

Die Härte (meist die Brinellhärte) ist bei den Gusseisenwerkstoffen immer eine Mischhärte. Diese Werkstoffe haben eine harte, stahlähnliche metallische Grundmasse, in der Graphitkristalle mit geringer Härte eingelagert sind. Nur Mikrohärtemessungen erlauben die Härteermittlung der metallischen Grundmasse.

Die Dichte der Gusseisenwerkstoffe ist um rund 10 % geringer als die der Stähle, weil in der stahlähnlichen metallischen Grundmasse Graphitkristalle mit sehr geringer Dichte (etwa 10 Volumen-%) eingelagert sind. Dieser Dichteunterschied führt bei gleicher Bauteilgeometrie bei Anwendung von Gusseisen anstelle von Stahl zu einer Gewichtseinsparung und damit zu einem Leichtbaueffekt.

Die Zerspanbarkeit der Gusseisenwerkstoffe ist besser als die der Stähle. Es sind beim Gusseisen höhere Schnittgeschwindigkeiten und größere Vorschübe oder höhere Werkzeugstandzeiten möglich. Die Graphitkristalle im Gusseisen wirken sowohl als Spanbrecher wie auch als Schmierstoff. Die Ausbildungsform des Graphits und dessen Menge sind dabei von untergeordneter Bedeutung. Wichtiger ist hier die Art der metallischen Grundmasse. Ferritische Sorten lassen sich besser bearbeiten als perlitische Sorten.

Für Gleit- und Wälzverschleiß, also für Verschleißbeanspruchungen die bei sich gegeneinander bewegenden Maschinenelementen auftreten, sind Gusseisenwerkstoffe gut geeignet. Die Graphitkristalle dienen als zusätzliches Schmiermittel. Durch das Herausreißen von Graphitkristallen in der Randschicht entstehen kleine „Taschen“, in denen sich Schmiermittel sammelt. Dadurch entstehen gute Notlaufeigenschaften. Den relativ besten Verschleißwiderstand haben bei den Normalsorten Gusseisensorten mit einer perlitischen Grundmasse. Der Verschleißwiderstand kann durch ein Oberflächenhärten, ein thermochemisches Behandeln oder ein isothermisches Austenitumwandeln wesentlich erhöht werden.

Zunehmende Bedeutung gewinnen die Argumente einer ökologisch sinnvollen und damit nachhaltigen Produktion. Die Gusseisenwerkstoffe werden aus Gusseisenschrott, Stahlschrott und Roheisen hergestellt. Der Anteil des Roheisens, zu dessen Herstellung viel Energie gebraucht wird, lag in Deutschland im Jahr 2003 bei 8,7 % der verwendeten Gesamtmenge der genannten Einsatzstoffe. Damit stammen über 90 % dieser metallischen Einsatzstoffe aus dem Sekundärkreislauf. Gusseisenwerkstoffe sind demnach Sekundärwerkstoffe und Gusseisen-Strangguss ist ein Sekundärprodukt. Die Gusseisen sind als Werkstoffe unter diesem Aspekt nahezu unschlagbar. Sie sind auch in der Herstellung und Anwendung umweltverträglich. Eine nahezu vollständige und rückstandlose Wiederverwendbarkeit ist gegeben. Die Recyclingrate ist seit vielen Jahrzehnten sehr hoch und kann kaum noch gesteigert werden. Produktions- und Produktabfall wurden schon immer dem Werkstoffkreislauf wieder zugeführt. Es tritt bei der Wiederverwendung keine Minderung der Qualität auf - das heißt, es gibt kein Down-Cycling. Aber eine Verbesserung der Qualität, ein Up-Cycling, ist ohne Schwierigkeiten möglich. So kann zum Beispiel aus Schrott eines Gusseisens mit Lamellengraphit mit einer Festigkeit von 150 N/mm^2 ein Gusseisen mit Lamellengraphit mit einer Festigkeit von 200 oder 250 N/mm^2 hergestellt werden.

3.1 Gusseisen mit Lamellengraphit (GJL)

Der traditionelle Werkstoff Gusseisen mit Lamellengraphit (GJL) ist auch heute noch sehr erfolgreich: Seine Jahresproduktion ist weltweit größer als die aller anderen Gusswerkstoffe zusammen. Nach wie vor ist die Wirtschaftlichkeit als Summe der Werkstoff-, Herstell-, Betriebs- und Entsorgungskosten sehr günstig. Hervorzuheben sind die guten mechanischen, physikalischen und technologischen sowie auch gießtechnischen Eigenschaften.

Gusseisen mit Lamellengraphit ist nach EN 1561 ein Eisen-Kohlenstoff-Gusswerkstoff, in welchem der freie Kohlenstoff als Graphit im Wesentlichen in lamellarer Form (Lamellengraphit) vorliegt. Die Werkstoffbezeichnung ist GJL (EN 1560). Für Sandguss werden in der genannten Norm Werkstoffsorten mit Zugfestigkeiten von 100 bis 350 N/mm^2 und Brinellhärten von 155 bis 265 Einheiten angeboten.

Die Graphitlamellen bilden in einer eutektischen Zelle ein zusammenhängendes Gebilde aus blattartigen Bestandteilen (**Bild 11**). Die Anordnung der Graphitlamellen kann mannigfaltig sein. Sie hängt ab von der chemischen Zusammensetzung des Gusseisens, von den Abkühlungsbedingungen und im starken Maße auch vom Keimhaushalt der Schmelze, der durch Impfen stark beeinflusst werden kann. Bei entsprechender Zusammensetzung und an das Gießverfahren angepasster Impfung entsteht Lamellengraphit mit einer gleichmäßigen Anordnung nach Typ A der Gefügerichtreihe (EN ISO 945). Beim Gusseisen-Strangguss entsteht verfahrensbedingt nicht nur A-Graphit, sondern es tritt auch B-Graphit auf.

Menge und Art der Graphitlamellen bestimmen beim Gusseisen mit Lamellengraphit maßgeblich die mechanischen Eigenschaften. Die Art der an sich stahlähnlichen metallischen Grundmasse kommt nur eingeschränkt zur Geltung. Die Graphitlamellen schwächen den tragenden Querschnitt und bewirken eine Spannungskonzentration an den Graphitlamellenspitzen, die wie innere Kerben wirken. Diese beiden Sachverhalte sind Ursache für die relativ geringen Festigkeitswerte und die geringe Plastizität.

Bild 11: Räumliche Ausbildung von Lamellengraphit [13]

Bild 12: Aus den auf Kundenmaß in der Gießerei vorbearbeiteten Stangen (oben) können beim Kundenwirtschaftlich und schnell die Endprodukte (unten) gefertigt werden. (Bild: K.Vollrath, Rees)

Die mechanischen Eigenschaften von Gusseisen mit Lamellengraphit sind deutlich von der Abkühlungsgeschwindigkeit - für praktische Verhältnisse von der Gussteilwanddicke - abhängig. Diese Wanddickenabhängigkeit der mechanischen Eigenschaften ist in EN 1561 enthalten und muss bei der Werkstoffwahl berücksichtigt werden.

Gusseisen mit Lamellengraphit hat ein hohes Dämpfungsvermögen, das heißt die Fähigkeit, von außen aufgezwungene mechanische Schwingungen abzubauen. Die mechanischen Schwingungen klingen schnell ab. Die Abklingzeit einer Schwingung bei Gusseisen mit Lamellengraphit verglichen mit der von Stahl verhält sich wie 1:4,3.

Eine ausführliche Beschreibung der Eigenschaften von Gusseisen mit Lamellengraphit mit Angaben zu den mechanischen Eigenschaften bei zyklischer Beanspruchung, zu den mechanischen Eigenschaften bei erhöhten und bei niedrigen Temperaturen, zu den bruchmechanischen Eigenschaften, zu den physikalischen Eigenschaften (Dichte, thermischer Längenausdehnungskoeffizient, Wärmeleitfähigkeit, spezifische Wärmekapazität, Koerzitivfeldstärke, Hystereseverluste, spezifischer elektrischer Widerstand) und zu den tribologischen Eigenschaften (Reibung und Verschleiß) ist in [3] enthalten.

3.2 Gusseisen mit Kugelgraphit (GJS)

Gussteile aus Gusseisen mit Kugelgraphit (GJS) werden seit 60 Jahren industriell hergestellt. Im Vergleich zum Gusseisen mit Lamellengraphit handelt es sich beim Gusseisen mit Kugelgraphit um einen relativ „jungen" Werkstoff. Weltweit beobachtete man erstmalig 1937 im Gießerei-Institut der RWTH Aachen im Gusseisen Graphitkugeln. Etwa zeitgleich gelang am British Cast Iron Research Institute die Herstellung von Gusseisen mit Kugelgraphit durch den Zusatz von Cer zur Gusseisenschmelze. Aber erst mit der Entdeckung durch die International Nickel Inc. in den USA, dass durch Zusatz einer Nickel-Magnesium-Vorlegierung Gusseisen mit Kugelgraphit entsteht, war der Grundstein für die industrielle Produktion dieser Werkstoffgruppe gelegt. Damit begann der Siegeszug des stahlähnlichen Gusseisens mit Kugelgraphit. In der Folgezeit gab es deshalb zahlreiche, wirtschaftlich erfolgreiche Substitutionen von Stahl und Stahlguss durch Gusseisen mit Kugelgraphit. Dieser Substitutionsprozess ist auch gegenwärtig noch nicht abgeschlossen.

Gusseisen mit Kugelgraphit ist nach EN 1563 und EN 1564 ein Eisen-Kohlenstoff-Werkstoff, in welchem der freie Kohlenstoff überwiegend in kugeliger Form (Kugelgraphit) entsprechend der Form V und VI nach EN ISO 945 vorliegt (**Bild 13**). Die Werkstoffbezeichnung ist GJS (EN 1569). Für Sandguss sind in den Europäischen Normen die mechanischen Eigenschaften wie folgt festgelegt:

- Normalsorten: Zugfestigkeit 350 bis 900 N/mm^2, 0,2 %-Dehngrenze 220 bis 600 N/mm^2, Bruchdehnung 2 bis 22 %, Brinellhärte 130 bis 330 Einheiten.
- Hochfeste Sorten: Zugfestigkeit 800 bis 1400 N/mm^2, 0,2 %-Dehngrenze 500 bis 1000 N/mm^2, Bruchdehnung 1 bis 8 %, Brinellhärte 130 bis 330 Einheiten.

Die hochfesten Sorten heißen nach EN 1564 noch „Bainitisches Gusseisen". Sie werden in Zukunft aber als „Austenitisch-ferritisches (ausferritisches) Gusseisen mit Kugelgraphit" bezeichnet werden.

Durch das Vorliegen von Graphitkugeln in einer stahlähnlichen metallischen Grundmasse entfällt die geschilderte innere Kerbwirkung der Graphitlamellen, und die Unterbrechung der metallischen Grundmasse wurde minimiert. Die Eigenschaften der metallischen Grundmasse kommen wie beim Stahl voll zur Geltung. Das Streckgrenzen/Zugfestigkeits-Verhältnis

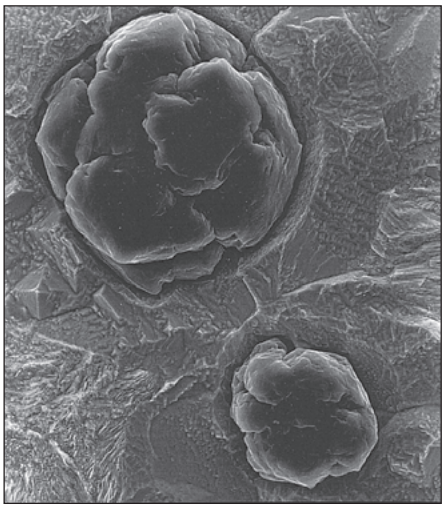


Bild 13: Räumliche Ausbildung von Kugelgraphit [13]

ist bei Gusseisen mit Kugelgraphit meist günstiger als bei den Stählen. Dieses Verhältnis liegt bei den Stählen bei 0,44 bis 0,53, bei Gusseisen mit Kugelgraphit dagegen bei 0,6 bis 0,7. Seit mehr als 60 Jahren wird Gusseisen mit Kugelgraphit nun schon mit wirtschaftlichem Vorteil anstelle von Stahl (Stahlguss, Schmiedestahl, Walzstahl) eingesetzt, und dieser Trend setzt sich weiter fort.

Bei den Stählen ist bei vergleichbar hoher Festigkeit die Bruchdehnung höher als beim Gusseisen mit Kugelgraphit. Das ist jedoch, wie sich in zahlreichen Fällen gezeigt hat, kein Nachteil für diese Gusseisensorten. In diesem Zusammenhang sei auf ein Beispiel aus der Vergangenheit, auf die PKW-Kurbelwelle, hingewiesen. In den sechziger Jahren begann die Umstellung dieser Kurbelwellen von Schmiedestahl zu Gusseisen mit Kugelgraphit. Bei gleicher Zugfestigkeit und gleicher Streckgrenze (Dehngrenze) von Schmiedestahl und von Gusseisen mit Kugelgraphit war die Bruchdehnung der verwendeten Gusseisensorte um eine Größenordnung kleiner als die der Stahlsorte (3 % statt 20 %). Heute fahren über 90 % aller PKW und Kleintransporter mit Kurbelwellen aus Gusseisen mit Kugelgraphit, die völlig ausreichende Dauerfestigkeiten für Biegung und Torsion aufweisen.

Die Bruchdehnung beschreibt in erster Näherung das Umformverhalten (zum Beispiel die Schmiedbarkeit) und ist damit eher eine Verarbeitungs- als Gebrauchseigenschaft. Da Gussteile direkt nach dem Erstarren und Abkühlen endkonturnah entstehen, ist kein Umformprozess notwendig. Ungefähr 90 % der Bruchschäden an Maschinenelementen sind Dauerbrüche infolge einer Werkstoffermüdung. Der Restbruch bei Dauerbrüchen ist immer ein Sprödbruch, auch bei Stählen mit sehr hohen Bruchdehnungen.

Die Dauerfestigkeit (Biegewechselfestigkeit) bei ungekerbter Probe liegt beim Gusseisen mit Kugelgraphit, einschließlich des Bainitischen Gusseisens, im Bereich von 180 bis 320 N/mm^2. Gusseisen mit Kugelgraphit ist weniger kerbempfindlich als Stahl. Hinsichtlich des Dämpfungsvermögens für mechanische Schwingungen liegt das Gusseisen mit Kugelgraphit zwischen den Werten für Stahl und Gusseisen mit Lamellengraphit. Die Vorteile gegenüber Stahl sind in der **Tabelle 2** zusammengefasst.

Informationen über weitere statische mechanische Eigenschaften, die Dauerfestigkeit, die Eigenschaften bei höheren und tieferen Temperaturen, die spanende Bearbeitung, das Schweißen und das Verschleißverhalten sind in [5] enthalten.

Tabelle 2: Die Trümpfe des Gusseisens mit Kugelgraphit im Vergleich zu Stahl

Die Festigkeiten (Zugfestigkeit, Dehngrenze) reichen weit in das Gebiet des Stahls.
Das Streckgrenzen/Zugfestigkeits-Verhältnis ist besser als bei Stahl.
Die geringere Bruchdehnung (Brucheinschnürung) ist kein Nachteil.
Die Härte genügt vielen Ansprüchen.
Die Dauerfestigkeiten reichen weit in das Gebiet des Stahls.
Die Dichte ist um etwa 10 % geringer.
Das Festigkeits-/Gewichts-Verhältnis ist höher.
Mit Gusseisen ist Leichtbau möglich.
Das Dämpfungsvermögen für mechanische Schwingungen ist besser.
Die Zerspanbarkeit ist besser.
Die tribologischen Eigenschaften sind günstig.
Die Wiederverwertung (Recycling) ist fast vollständig.
Gusseisen ist ein Recycling-Werkstoff - Gusseisenteile sind Recyclingprodukte.
Es gibt kein Down-Cycling, aber Up-Cycling ist jederzeit möglich.
Der Energieaufwand zum Schmelzen ist kleiner.
Gusseisen ist nicht giftig.
Der Einsatz von Gusseisen anstelle von Stahl führt zu Kosteneinsparungen.

4 Gusseisen-Strangguss

Für den Gusseisen-Strangguss sind im Vergleich zum Sandguss einige Besonderheiten zu beachten, auf die im Folgenden näher eingegangen wird.

4.1 Mechanische Eigenschaften von Gusseisen-Strangguss

Die mechanischen Eigenschaften von Gusseisen mit Lamellengraphit (GJL) und Gusseisen mit Kugelgraphit (GJS) können entsprechend den Europäischen Normen (EN 1561, EN 1563 und EN 1564 für Sandguss) entweder nach der kennzeichnenden Eigenschaft Zugfestigkeit oder nach der kennzeichnenden Eigenschaft Härte (Brinellhärte) bestellt werden. Die Verfahren zum Herstellen der einzelnen Gusseisensorten, deren chemische Zusammensetzung, die Art der Schmelzebehandlung und die Wärmebehandlungsverfahren liegen, sofern der Käufer nichts anderes festgelegt hat, im Ermessen des Herstellers.

In der **Tabelle 3** werden zur Information chemische Analysen für Gusseisen-Strangguss angegeben. Diese Analysenwerte haben aber keinen verbindlichen Charakter, denn für Gusseisen-Strangguss gibt es gegenwärtig keine nationalen Norm, keine Europäische Norm (EN) und keine internationale Norm (ISO). Die mechanischen Eigenschaften von Gusseisen-Strangguss werden von den liefernden Gießereien in Firmenprospekten angeboten. Die metallische Grundmasse kann ferritisch, ferritisch-perlitisch und perlitisch eingestellt werden (**Bild 14**).

In der Normung von Gusseisen mit Lamellengraphit und Gusseisen mit Kugelgraphit gibt es seit langer Zeit eine Reihe von Festlegungen, die sich auch in den Europäischen Normen (EN 1561, EN 1563 und EN 1564) widerspiegeln. Für die Beschreibung der mechanischen Eigenschaften von Gusseisen-Strangguss, die von denen des Gusseisen-Sandgusses verfahrensbedingt aber abweichen, werden in Anlehnung an die Europäischen Normen für Gusseisen-Sandguss traditionelle Festlegungen übernommen und an die verfahrensbedingten Besonderheiten wie folgt angepasst:

- Die Bezeichnung der Sorten des Gusseisen-Stranggusses erfolgt nach EN 1560.
- Beim Gusseisen mit Kugelgraphit muss die Graphitausbildung überwiegend der Form V und VI nach EN ISO 945 entsprechen.
- Die Verfahren zum Herstellen von Gusseisen mit Lamellengraphit und von Gusseisen mit Kugelgraphit, deren

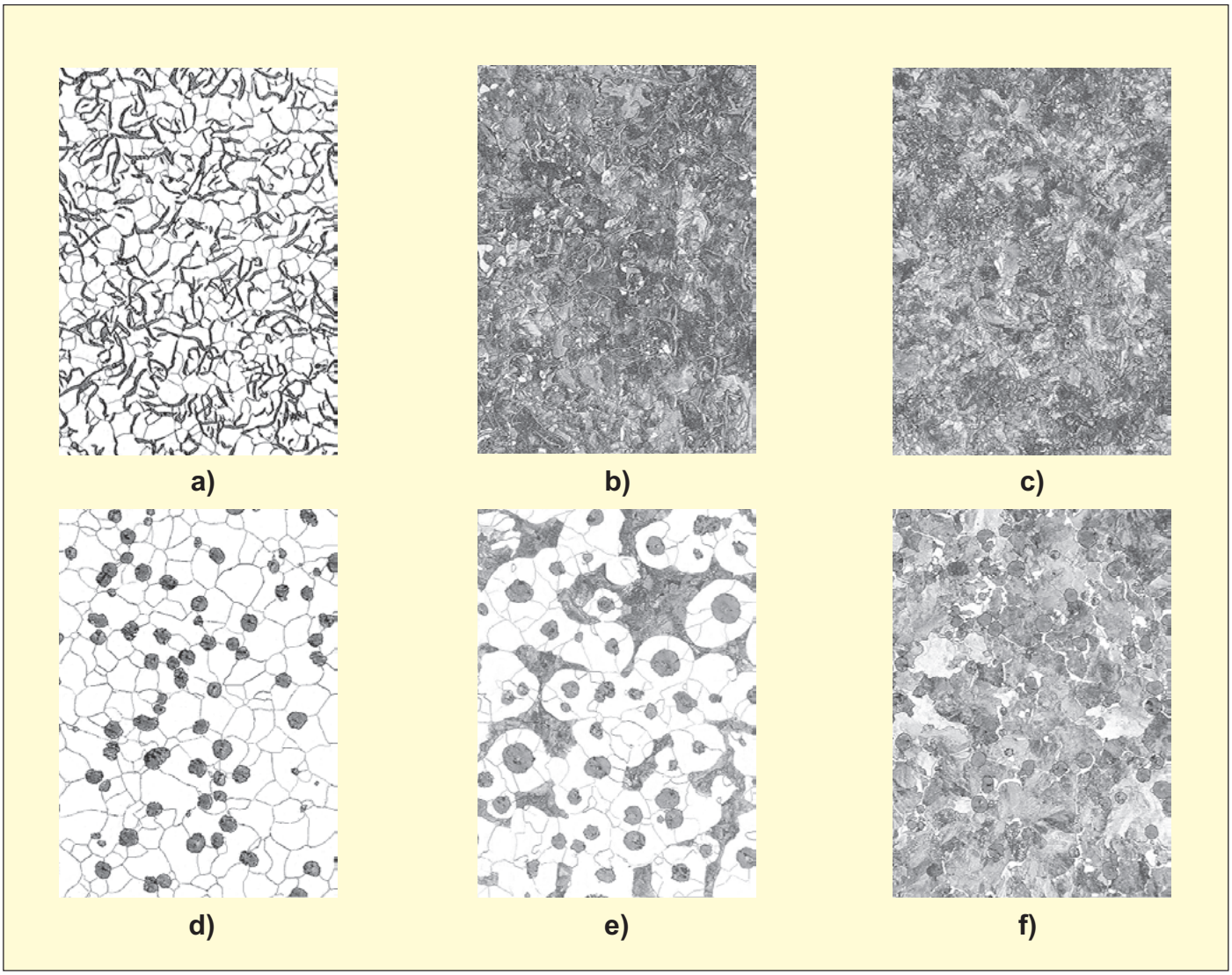


Bild 14: Mikrogefüge von Stranggusslegierungen (Bilder: Gontermann-Peipers, Siegen (D))
a) GJL-150C b) GJL-250C c) GJL-300C
d) GJS-400-15C e) GJS-500-7C f) GJS-600-3C

Schmelzebehandlung, chemische Zusammensetzung und Wärmebehandlung liegen im Ermessen des Herstellers. Für Gusseisen mit Lamellengraphit und für Gusseisen mit Kugelgraphit sind in der **Tabelle 4** chemische Analysen angegeben, die allerdings nicht genormt und damit nicht verbindlich sind.

- Die Gusseisensorten können sowohl nach den kennzeichnenden Eigenschaften Zugfestigkeit oder Härte bestellt werden.
- Die mechanischen Eigenschaften werden nach der maßgebenden Wanddicke gegliedert. Die maßgebende Wanddicke beträgt das Doppelte des Moduls oder des Verhältnisses Volumen/Oberfläche. Für eine vereinfachte Übersicht werden die mechanischen Eigenschaften für Gusseisen-Strangguss auch noch in Abhängigkeit vom Durchmesser des Stranggusses bei Rundstangen angegeben.
- Bei der Probenahme gibt es traditionell drei Varianten:
  - Getrennt gegossene Probestücke (Kennzeichnung S),
  - angegossene Probestücke (Kennzeichnung U),
  - aus dem Gussstück entnommene Probestücke (Kennzeichnung C).

  Diese Kennzeichnungen sind in EN 1560 festgelegt. Getrennt gegossene Probestücke werden beim Gusseisen-Strangguss in der Praxis nicht verwendet. Angegossene Probestücke sind verfahrensbedingt nicht möglich. Beim Gusseisen-Strangguss werden deshalb die Probestücke aus dem Strang entnommen und für die mechanischen Eigenschaften folgerichtig die Erwartungswerte im Gussstück (Strang) als Grundlage genommen.
- Für den Zugversuch, die Härteprüfung und Wiederholungsprüfungen gelten die Festlegungen in EN 1561, EN 1563 und EN 1564.

Um reale Werte für die mechanischen Eigenschaften beim Gusseisen-Strangguss festzulegen, wurden von den vier beteiligten Firmen umfangreiche statistische Untersuchungen durchgeführt (siehe **Anhang**). Im Ergebnis dieser statistischen Erfassung konnten die erwähnten Erwartungswerte als Mindestwerte der Zugfestigkeit beziehungsweise der Brinellhärte ausgewiesen werden.

Die mechanischen Eigenschaften für Gusseisen-Strangguss sind in den **Tabellen 4** bis **7** festgelegt. Für Gusseisen mit Lamellengraphit werden vier Gusseisensorten angeboten, die einen Bereich der Zugfestigkeit von 80 bis 220 N/mm² abdecken. Die Brinellhärte liegt im Bereich von 110 bis 290

Tabelle 3: Chemische Zusammensetzung von Gusseisen-Strangguss, Anhaltswerte

Chemisches Element	Gusseisen mit Lamellengraphit GJL [%]	Gusseisen mit Kugelgraphit GJS [%]
C	2,80 – 3,70	3,00 – 3,85
Si	2,25 – 3,99	2,00 – 3,00
Mn	0,40 – 1,00	0,10 – 0,80
P	0,08 – 0,25	< 0,04
S	> 0,03	< 0,01
Cr	0,05 – 0,50	< 0,01
Cu	0,05 – 0,60	0,05 – 1,20
Ni	0,05 – 0,80	0,05 – 1,00
Mg		0,025 – 0,080

Einheiten. Beim Gusseisen mit Kugelgraphit umfassen die vier angebotenen Sorten einen Zugfestigkeitsbereich von 370 bis 600 N/mm². Die Zugfestigkeit, Dehngrenze, Bruchdehnung und Härte sind vom Strangdurchmesser beziehungsweise der maßgebenden Wanddicke abhängig. Diese Wanddickenabhängigkeit der mechanischen Eigenschaften ist beim Gusseisen mit Lamellengraphit deutlicher ausgeprägt als beim Gusseisen mit Kugelgraphit.

In der **Tabelle 8** wurden für die genannten Gusseisensorten mit den an die Europäische Normung angeglichenen Werkstoffbezeichnungen die bisherigen Strangguss-Gusseisenwerkstoffe der vier beteiligten Firmen (Firmenbezeichnungen, eingetragene Handelsnamen) gegenübergestellt. Damit haben die Kunden eine Orientierungsmöglichkeit, die im Markt bekannten bisherigen Bezeichnungen gehen nicht verloren und die Rechte der Hersteller sind gewahrt. Aus **Bild 15** ist die Lage der dem Strang entnommenen Probestücke für einen kreisförmigen, quadratischen und rechteckigen Strangquerschnitt ersichtlich.

Verfahrensbedingte Besonderheiten liegen beim Gusseisen mit Lamellengraphit in der Randschicht vor. Durch den Einfluss der wassergekühlten Durchlaufkokille tritt eine sehr hohe Abkühlungsgeschwindigkeit bei der Erstarrung der Randschicht auf. Dadurch entsteht ein Gusseisen mit Lamellengraphit mit der Graphitanordnung Typ D sowie teilweise auch Typ E nach EN ISO 945. Durch diesen sehr fein verästelten, interdendritisch angeordneten Graphit ergibt sich infolge sehr kurzer Diffusionswege eine rein ferritische metallische Grundmasse (**Bild 16**). Die Dicke der Randschicht mit den Graphitanordnungen Typ D und Typ E ist vom Strangdurchmesser abhängig und beträgt bei 25 bis 50 mm über 25 %, über 50 bis 200 mm etwa 15 % und bei über 200 bis 350 mm etwa 10 %. Diese Angaben zur Dicke dieser Randschicht sind nicht verbindlich, sie dienen nur zur Orientierung. Auch freie Carbide sind in dieser Randschicht vorhanden.

Bei Gusseisen mit Kugelgraphit führt diese hohe Abkühlungsgeschwindigkeit in der Randschicht zu einer deutlich erhöhten Kugelzahl im Vergleich zur der im Zentrum eines Gusseisen-Stranges (**Bild 17**). Y. S. Lerner [14] gibt für eine als Strangguss hergestellte Rundstange mit einem Durchmesser von 110 mm aus Gusseisen mit Kugelgraphit die Verteilung der Kugelzahl über dem Querschnitt an (**Bild 18**). Die Kugelzahl in der Nähe der Oberfläche von 450/mm² verringert sich in Richtung Strangmitte. Sie erreicht bei etwa 30 mm Abstand von der Oberfläche den Wert von 115/mm² und bleibt bis zur Strangmitte konstant.

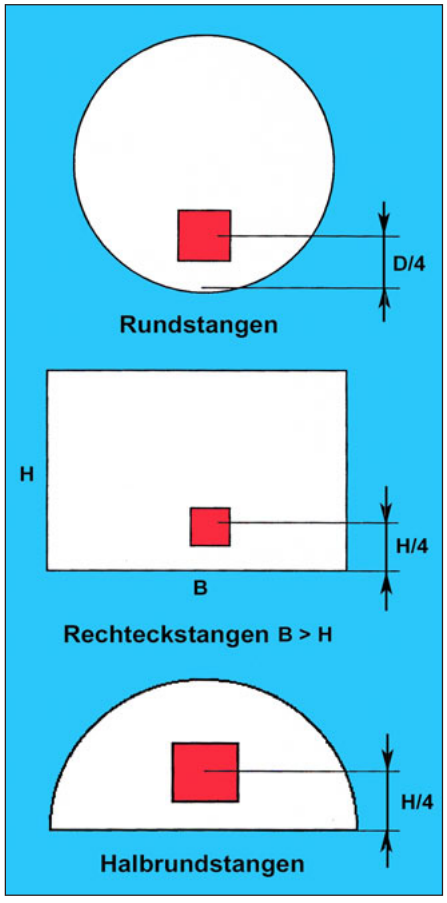


Bild 15: Lage der Probestücke beim Gusseisen-Strangguss

Tabelle 4: Gusseisen-Strangguss, GJL, kennzeichnende Eigenschaft: Zugfestigkeit

Strangdurchmesser [mm]	maßgebende Wanddicke [mm]	Zugfestigkeit Richtwert mind. [N/mm²]
GJL-150C, ferritisch, geglüht		
30 - > 40	15 - > 20	110
40 - > 160	20 - > 80	95
160 - > 300	80 - > 150	80
GJL-200C, vorwiegend ferritisch		
30 - > 40	15 - > 20	155
40 - > 160	20 - > 80	130
160 - > 300	80 - > 150	115
GJL-250C, ferritisch-perlitisch		
30 - > 40	15 - > 20	195
40 - > 160	20 - > 80	170
160 - > 300	80 - > 150	155
GJL-300C, vorwiegend perlitisch		
30 - > 40	15 - > 20	220
40 - > 160	20 - > 80	200
160 - > 300	80 - > 100	185

C - einem Gussstück entnommenes Probestück (DIN EN 1560)

Tabelle 5: Gusseisen-Strangguss, GJS, kennzeichnende Eigenschaft: Zugfestigkeit

Strangdurchmesser [mm]	maßgebende Wanddicke [mm]	Zugfestigkeit mind. [N/mm²]	Dehngrenze mind. [N/mm²]	Bruchdehung mind. [%]
GJS-400-15C, ferritisch, geglüht				
30 - > 60	15 - > 30	400	250	18
60 - > 200	30 - > 100	390	250	15
200 - > 370	100 - > 200	370	240	12
GJS-400-7C, ferritisch-perlitisch [1]				
30 - > 60	15 - > 30	400	250	7
60 - > 200	30 - > 100	390	250	7
200 - > 400	100 - > 200	370	240	11
GJS-500-7C, perlitisch-ferritisch				
30 - > 60	15 - > 30	500	320	7
60 - > 200	30 - > 100	450	300	7
200 - > 400	100 - > 200	420	290	5
GJS-600-3C, vorwiegend perlitisch				
30 - > 60	15 - > 30	600	360	3
60 - > 200	30 - > 100	550	340	1
200 - > 400	100 - > 200	550	340	1

[1] Diese Werkstoffsorte enthält verfahrensbedingt kleinere Mengen freier Carbide, die durch eine Wärmebehandlung besietigt werden können
C - einem Gussstück entnommenes Probestück (DIN EN 1560)

Tabelle 6: Gusseisen-Strangguss, GJL, kennzeichnende Eigenschaft: Härte

Strangdurchmesser [mm]	maßgebende Wanddicke [mm]	Brinellhärte [Einheiten]
GJL-HB145C, ferritisch geglüht		
30 - > 40	15 - > 20	110 - 180
40 - > 160	20 - > 80	
160 - > 300	80 - > 150	
GJL-HB175C, vorwiegend ferritisch		
30 - > 40	15 - > 20	140 - 210
40 - > 160	20 - > 80	
160 - > 300	80 - > 150	
GJL-HB205C, ferritisch-perlitisch		
30 - > 40	15 - > 20	170 - 240
40 - > 160	20 - > 80	
160 - > 300	80 - > 150	
GJL-HB255C, vorwiegend perlitisch		
30 - > 40	15 - > 20	220 - 290
40 - > 160	20 - > 80	
160 - > 300	80 - > 150	

C - einem Gussstück entnommenes Probestück (DIN EN 1560)

Tabelle 7: Gusseisen-Strangguss: GJS, kennzeichnende Eigenschaft: Härte

Strangdurchmesser [mm]	maßgebende Wanddicke [mm]	Brinellhärte [Einheiten]
GJS-HB155C, ferritisch geglüht		
30 - > 60	15 - > 30	130 - 180
60 - > 200	30 - > 100	
200 - > 370	100 - > 200	
GJS-HB160C, ferritisch-perlitisch		
30 - > 60	15 - > 30	130 - 190
60 - > 200	30 - > 100	
200 - > 400	100 - > 200	
GJS-HB205C, perlitisch-ferritisch		
30 - > 60	15 - > 30	170 - 240
60 - > 200	30 - > 100	
200 - > 400	100 - > 200	
GJS-HB245, vorwiegend perlitisch		
30 - > 60	15 - > 30	200 - 290
60 - > 200	30 - > 100	
200 - > 400	100 - > 200	

C - einem Gussstück entnommenes Probestück (DIN EN 1560)

4.2 Bearbeitungszugaben, Durchbiegung

Für der Herstellung von Formguss nach den Sandformverfahren sind die Allgemeintoleranzen und die Bearbeitungszugaben in Abhängigkeit von den Längenmaßen für Gusseisen mit Lamellengraphit und Gusseisen mit Kugelgraphit genormt (vergleiche DIN 1685-1 und DIN ISO 8062). Für den Gusseisen-Strangguss gibt es eine solche Normung bis heute nicht.

Die an dieser Ausarbeitung beteiligten Firmen haben für die Bearbeitungszugaben und für die Geradheit der Strangabschnitte in Abhängigkeit von den Strangabmessungen für Gusseisen mit Lamellengraphit und für Gusseisen mit Kugelgraphit die in den **Tabellen 9** und **10** enthaltenen Werte vorgeschlagen. Die **Bilder 19** und **20** erläutern die Bearbeitungszugaben und die Geradheit.

Tabelle 8: Gegenüberstellung der Strangguss-Sorten mit den Firmenbezeichnungen

Gusseisen mit Lamellengraphit			
GJL-150C	ACO Eurobar® GG-F	CONTIFONTE® CF 15	TASSO GG-F-Schwarz
GJL-200C		CONTIFONTE® CF 20	TASSO GG-FFP-Grün
GJL-250C	ACO Eurobar® GG-FP	CONTIFONTE® CF 25	TASSO GG-FP-Rot
GJL-300C	ACO Eurobar® GG-P	CONTIFONTE® CFP	TASSO GG-P-Gelb
Gusseisen mit Kugelgraphit			
GJS-400-15C	ACO Eurobar® GGG-40	CONTIFONTE® CFS 40	TASSO GJS-400-15
GJS-400-7C	ACO Eurobar® GGG-40/50		
GJS-500-7C	ACO Eurobar® GGG-50	CONTIFONTE® CFS 50	TASSO GJS-500-7
GJS-600-3C	ACO Eurobar® GGG-60	CONTIFONTE® CFS 60	TASSO GJS-600-3

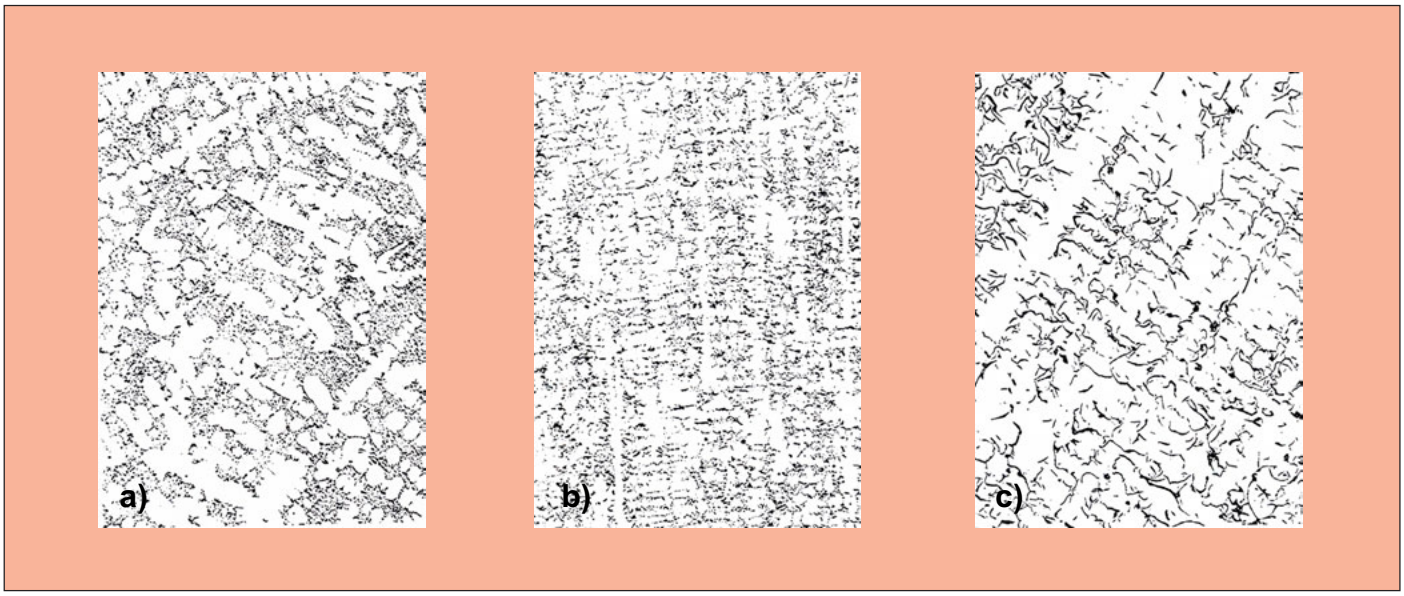


Bild 16: Mikrogefüge von GJL in der Randzone (Bild: Gontermann-Peipers, Siegen)
a) feiner D-Graphit, außen b) Übergang von D- zum E-Graphit c) überwiegend E-Graphit innen

5 Wärmebehandlung von Gusseisen

Die Wärmebehandlung metallischer Werkstoffe gliedert sich in die
- thermische Behandlung,
- thermochemische Behandlung,
- thermomechanische Behandlung.

Mit den thermischen und thermochemischen Wärmebehandlungsverfahren können beim Gusseisen die Eigenschaften in einem weiten Bereich positiv beeinflusst werden. Thermomechanische Behandlungen haben beim Gusseisen keine Bedeutung, weil mit Ausnahme des Oberflächenumformens ein Umformen nicht zur Fertigungsfolge gehört.

Die möglichen Gefügeumwandlungen durch eine Wärmebehandlung und die damit verbundenen Eigenschaftsänderungen sind bei den Gusseisenwerkstoffen umfangreicher und vielfältiger als bei den Stählen. So wird zum Beispiel durch den in den unlegierten Werkstoffsorten immer vorhandenen höheren Siliciumgehalt von 2,0 bis 3,5 % die eutektoide Temperatur im Fe-C-Diagramm zu einem eutektoiden Bereich im Fe-C-Si-Diagramm. Naturgemäß ist eine „innere" Kohlenstoffquelle durch die Graphitkristalle vorhanden, die immer ein Aufkohlen des Austenits bis zur Sättigung mit Kohlenstoff erlaubt. Das vorhandene Silicium verzögert wie beim Erstarren das Entstehen von Eisencarbiden. Zudem können die Wechselwirkungen zwischen dem stabilen und metastabilen Fe-C-Si gut ausgenutzt werden.

5.1 Thermische Behandlungen

Mit den thermischen Wärmebehandlungen können grundlegende Veränderungen des Mikrogefüges und damit verbunden der Eigenschaften erreicht werden. Im **Bild 21** sind die Temperatur-Zeit-Folgen wichtiger Wärmebehandlungsvarianten schematisch dargestellt.

5.1.1 Spannungsarmglühen

Ein gegossenes Produkt ohne innere Spannungen (Eigenspannungen) herzustellen, ist wegen der unterschiedlichen Abkühlungsgeschwindigkeiten innerhalb des Produktes praktisch nicht möglich. Die Höhe und Richtung dieser Eigenspannungen sind von der Geometrie der gegossenen Bauteile, ihrer Konstruktion und von den Verfahrensbedingungen beim Gießen abhängig. Das Spannungsarmglühen ist eine Wärmebehandlung, die gezielt zum Abbau der inneren Spannungen eingesetzt wird. Die Glühtemperaturen zwischen 500 und 550 °C liegen unter dem Bereich der eutektoiden Umwandlung, wodurch eine unerwünschte Gefügeänderung und damit eine Änderung der mechanischen Eigenschaften während des Glühprozesses vermieden wird. Um zu verhindern, dass neue Eigenspannungen beim Spannungsarmglühen durch das Aufheizen und Abkühlen entstehen, müssen Aufheizgeschwindigkeiten zwischen 10 und 50 K/h und Abkühlungsgeschwindigkeiten zwischen 25 und 35 K/h bis auf mindestens 300 °C eingehalten werden. Beim Gusseisen-Strangguss wird ein Spannungsarmglühen nur in speziellen Fällen durchgeführt.

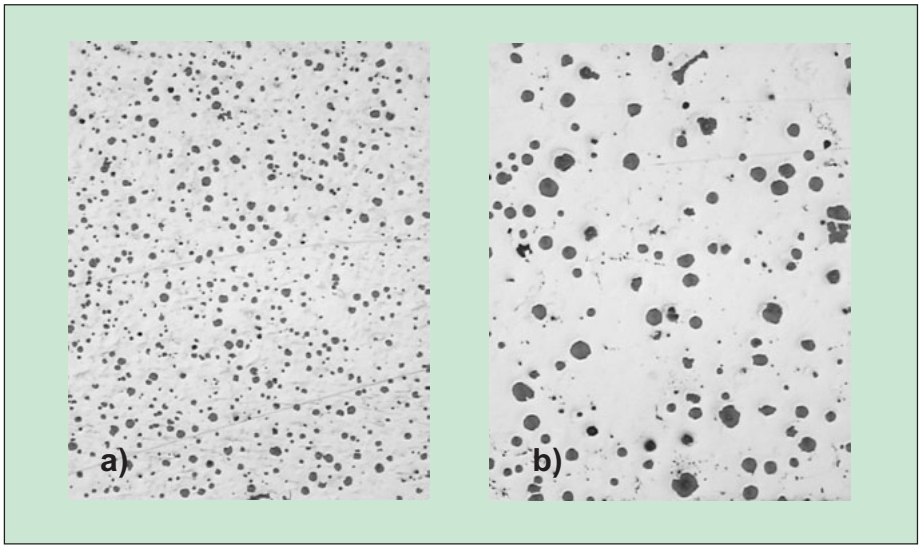


Bild 17: Kugelzahl bei GJS-Strangguss (Bild: ACO Guss, Kaiserslautern (D))
a) - in der Randzone b) - im Zentrum

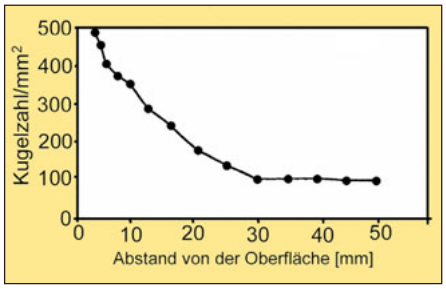


Bild 18: Variation der Kugelzahl bei GJS über dem Querschnitt eines Strangs [14]

5.1.2 Weichglühen bei hoher Temperatur

Gegossene Teile aus grau erstarrtem Gusseisen dürfen zur Gewährleistung ihrer typischen mechanischen Eigenschaften in der Regel keine weiß erstarrten Gefügeanteile aufweisen. Liegen beim Gießen und Erstarren Anteile von eutektischen (ledeburitischen) Carbiden oder gar Primärcarbide vor, so muss zu deren Beseitigung eine Glühtemperatur deutlich oberhalb des eutektoiden Intervalls zwischen 900 und 950 °C gewählt werden. Die Wahl der Abkühlungsgeschwindigkeit ist davon abhängig, ob ein perlitisches oder ferritisches Grundgefüge erreicht werden soll.

5.1.3 Weichglühen bei niedriger Temperatur

Diese Wärmebehandlung dient dem Umwandeln von Perlit in Ferrit. Während beim Weichglühen von Stahl nur ein Einformen des streifigen Perlits im körnigen Perlit erreicht werden kann, führt das Weichglühen von Gusseisen zu einem rein ferritischen Grundgefüge ohne Anteile von eutektoidem Eisencarbid. Die Glühtemperatur liegt dabei knapp unterhalb des eutektoiden Intervalls bei etwa 700 °C. Abgekühlt wird mit einer Geschwindigkeit um 50 K/h. Beim Herstellen der Gusseisen-Stranggusssorten GJL-150C und GJS-400-15C ist die Wärmebehandlung in der Regel Bestandteil der Fertigungskette in der Gießerei.

5.1.4 Zweistufiges Weichglühen

Sind beim Gusseisen mit Kugelgraphit höchste Zähigkeitsanforderungen zu erfüllen, können die gewünschten Eigenschaften bei unlegierten Sorten nur durch eine zweistufige Wärmebehandlung erfüllt werden. Sie besteht aus einem Austenitisieren bei 850 bis 920 °C, anschließendem Abkühlen im Ofen oder an Luft und nachfolgendem Halten (5 bis 10 h) am eutektoiden Intervall zwischen 650 und 740 °C. Nach dem Abschrecken folgt ein Anlassen in einem Kühlmittel.

5.1.5 Perlitglühen

Ziel des Perlitglühens ist es, ein voll- oder teilperlitisches Gefüge einzustellen, um bestimmte Festigkeitseigenschaften zu erzielen oder das Gefüge in unterschiedlichen Wanddickenbereichen zu vergleichmäßigen. In Anlehnung an die Wärmebehandlung von Stahl wird diese auch als Normalisieren oder Perlitisieren bezeichnet. Beim Perlitglühen wird das Bauteil auf Temperaturen zwischen 900 und 920 °C aufgeheizt, wodurch das Austenitgebiet oberhalb des eutektoiden Intervalls erreicht wird. Anschließend erfolgt eine beschleunigte Abkühlung, um eine Ferritbildung zu unterdrücken. Die optimale Abkühlungsgeschwindigkeit wird je nach Bauteilgröße mit Hilfe ruhender Luft oder durch Wassersprühnebel eingestellt. Diese Wärmebehandlungvariante kommt auch beim Gusseisen-Strangguss in der Fetrigungskette Gießerei zur Anwendung.

5.1.6 Härten

Als Eisen-Kohlenstoff-Silicium-Werkstoff kann Gusseisen ebenso gehärtet werden wie Stahl. Das Härten von Gusseisen zielt entweder auf die Bildung einer verschleißbeständigen Randschicht (Oberflächenhärten) ab, oder es dient als Vorstufe für

Tabelle 9: Bearbeitungszugaben für Gusseisen-Strangguss

Format	Strangabmessung [mm]	Bearbeitungszugabe z [mm]	
		Gusseisen mit Lamellengraphit GJL	Gusseisen mit Kugelgraphit GJS
Rundstangen	30 – 100 > 100 – 200 > 200 – 440	8 12 16	10 14 18
Quadratstangen	40 – 60 > 60 – 150 > 150 – 200 > 200 – 300	8 10 12 16	10 12 16 18

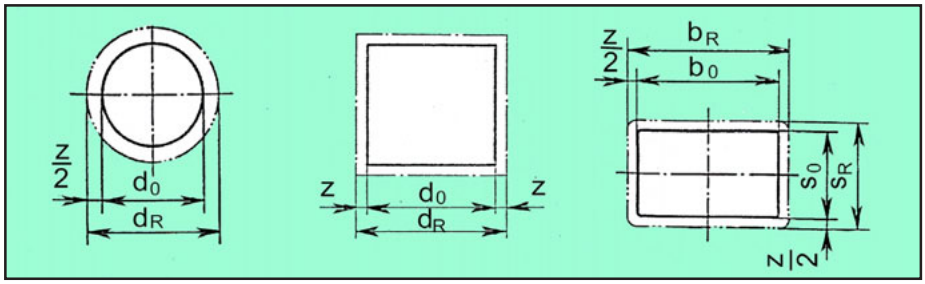


Bild 19: Bearbeitungszugabe für Gusseisen-Strangguss

Legende Bild links: d_o **– größter bearbeiteter Durchmesser am Fertigteil**
z – Bearbeitungszugabe
d_R **– theoretischer Rohteildurchmesser** $D_R = d_0 + z$

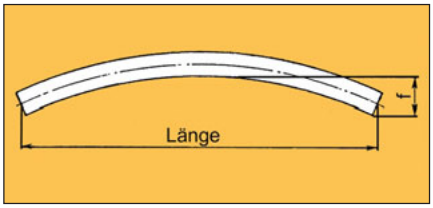
Legende Bild Mitte: a_0 **– größte bearbeitete Kantenlänge am Fertigteil**
z – Bearbeitungszugabe
a_R **– theoretische Rohteilkantenlänge** $a_R = a_0 + 2z$

Legende Bild rechts: b_0, s_0 **– größte bearbeitete Breite bzw. Dicke am Fertigteil**
z– Bearbeitungszugabe
b_R, s_R **– theoretische Rohteilbreite bzw. Dicke** $b_R = b_0 + z$, $s_R = s_0 + z$

Tabelle 10: Geradheit (Abweichung von der Geraden) für Gusseisen-Strangguss

Abmessung [mm]	Abweichung von der Geraden [mm/1000 mm]		
	Gusseisen mit Lamellengraphit GJL		Gusseisen mit Kugelgraphit GJS
	ungeglüht	geglüht	
30 – 100	4	6	6
> 100 – 200	3	5	5
> 200 – 440	3	4	4

Bild 20: Durchbiegung beim Gusseisen-Strangguss



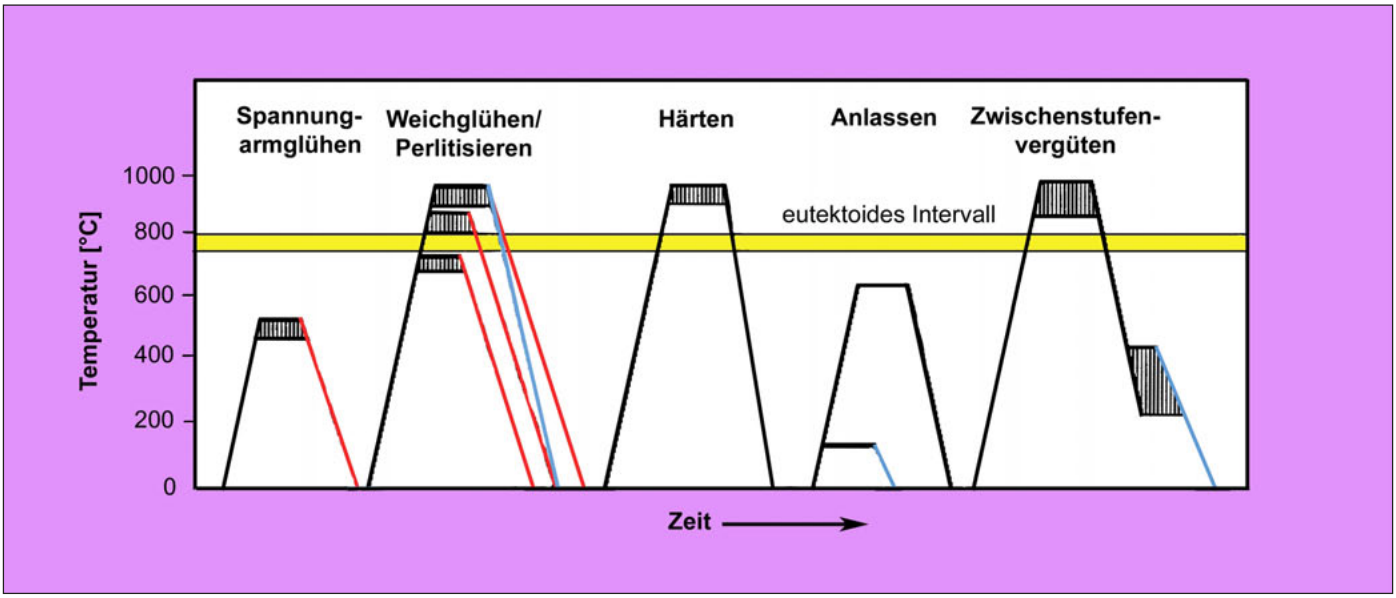


Bild 21: Varianten der Wärmebehandlung
Legende: Rot - Abkühlung im Ofen, Blau - Abkühlung an Luft, Schwarz - Abschreckung in Öl

das Vergüten. Dadurch erreicht das Gusseisen hohe Härtewerte von 45 bis 60 HRC und damit einen hohen Verschleißwiderstand.

Beim Härten wird das Bauteil bei Temperaturen zwischen 850 und 950 °C oberhalb des eutektoiden Intervalls erwärmt. Während der Austenitisierung wird das Austenit bis zur Sättigung aufgekohlt. Kohlenstoffquellen sind dabei das eutektoide Carbid des Perlits und die Graphitkristalle. Das sich anschließende schnelle Abkühlen (Abschrecken) verhindert eine Ferrit- oder Perlitbildung und führt zu Umwandlung in Martensit und Restaustenit. Die erforderlichen hohen Abkühlungsgeschwindigkeiten werden durch Eintauchen des Bauteils in Öl, Emulsionen oder Wasser eingestellt. Das Härten des ganzen Bauteilvolumens ist die erste Stufe des Vergütens.

Mit speziellen Technologien kann auch nur eine dünne Randschicht eines Bauteils gehärtet werden, um den Verschleißwiderstand zu erhöhen. Bei diesem Oberflächenhärten wird die Randschicht durch eine Flamme, einen Induktionsstrom oder mit einem Laserstrahl auf eine Temperatur im Austenitgebiet erwärmt und schnell abgeschreckt.

Ein spezielles Verfahren zum Verändern der Randschicht mit dem Ziel, den Verschleißwiderstand oder die Korrosionsbeständigkeit zu verbessern, ist das Laserstrahlumschmelzen. Dabei wird die Randschicht mit dem Laserstrahl aufgeschmolzen. Infolge der hohen Wärmeleitfähigkeit des unter der Randschicht liegenden Werkstoffs erfolgt die Erstarrung mit einer hohen Abkühlungsgeschwindigkeit. Bei Gusseisen entsteht dadurch eine weiß erstarrte Randschicht mit hoher Härte. Bei dieser Umschmelztechnologie können auch noch Legierungselemente der Schmelze zugesetzt werden, um spezielle Eigenschaften in der Randschicht zu erreichen.

5.1.7 Vergüten

Das Vergüten ist eine Kombination von Härten und anschließendem Anlassen (Wiedererwärmen). Das Anlassen führt dabei zur weiteren Eigenschaftsoptimieung.Beim Gusseisen mit Kugelgraphit können durch das Vergüten mechanische Eigenschaften wie bei den Vergütungsstählen erreich t werden, jedoch bleiben dabei die Plastizität und die Zähigkeit unter den erreichbaren Werten der Stähle. Beim Anlassen wird das Abschreckgefüge des Härtens (Martensit und Restaustenit) abgebaut. Die Anlasstemperatur liegt abhängig von den zu erzielenden Eigenschaften zwischen 150 und 650 °C. Mit zunehmender Anlasstemperatur nehmen die erreichbare Zugfestigkeit, 0,2 %-Dehngrenze und Härte ab, während Bruchdehnung und Kerbschlagzähigkeit zunehmen. Bis zu höheren Anlasstemperaturen werden mehrere Anlassstufen durchlaufen, die beim Gusseisen wegen des vorhandenen Siliciumgehalts im Gegensatz zu den Stählen bis zu einem carbidfreien Zustand führen.

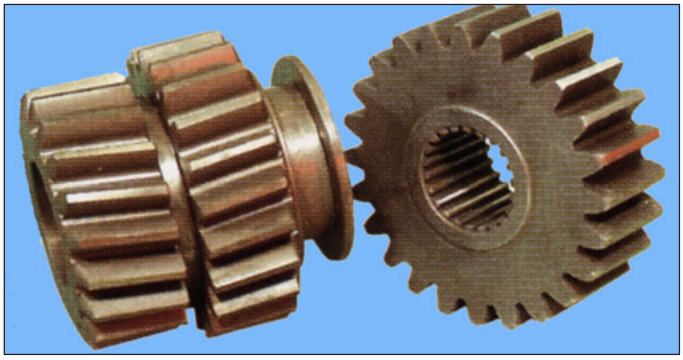


Bild 22: Zahnräder und Zahnkränze aus Gusseisen sind typische Strangguss-Endprodukte, die sich durch hohe und gleichmäßige Härte und gute Bearbeitbarkeit auszeichnen. (Bild: Contifonte, Saverne (F))

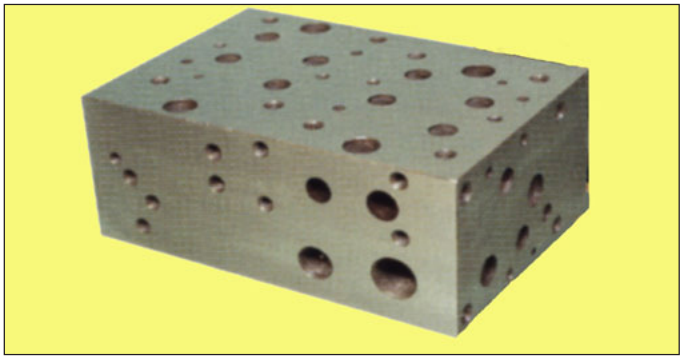


Bild 23: Das feine und kompakte Gefüge vom Strangguss eignet sich ideal zur Herstellung von druck- und gasdichten Hydraulikkomponenten. (Bild: Contifonte, Saverne (F))

Beim Anlassen bei höheren Temperaturen wird in einem ferritischen Grundgefüge auch Sekundärgraphit gebildet.

Das Vergüten kann bei Gusseisen mit Kugelgraphit zur Steigerung der Festigkeitswerte in manchen Fällen sinnvoll sein. Es werden damit aber keine sehr guten Werte für die Plastizität und Zähigkeit erreicht.

5.1.8 Isothermisches Austenitumwandeln

Das isothermische Austenitumwandeln bei Temperaturen unterhalb der Perlitstufe und oberhalb der Martensitstufe, traditionell als Zwischenstufenvergüten bezeichnet, wird heute isothermisches Bainitumwandeln genannt (DIN 17014). Beim Gusseisen hat diese Wärmebehandlung mit vollständiger Bainitisierung nicht zu besonders guten Eigenschaften geführt. Jedoch ergab sich auf diesem Gebiet eine spezielle Wärmebehandlungsvariante mit einer unvollständigen isothermischen Austenitumwandlung, die eine vorzügliche Kombination der mechanischen Eigenschaften bewirkt.

Beim isothermischen Austenitumwandeln wird das Gusseisen zunächst bei 875 bis 920 °C vollständig austenitisiert. Werden die Gusseisenteile dann schnell in ein Salzbad mit Temperaturen zwischen 300 und 400 °C umgesetzt, beginnt die Austenitumwandlung mit der Bildung von Ferritnadeln und einer Sättigung der verbleibenden Austenitanteile mit Kohlenstoff, die zu einer Stabilisierung dieses Restaustenits führen. Die Carbidbildung unterbleibt und die Austenitumwandlung kommt nahezu zum Stillstand. Es handelt sich um eine unvollständige isothermische Austenitumwandlung. Nach dem Abkühlen auf Raumtemperatur liegt dann ein Grundgefüge aus nadligem Ferrit und hohem Restaustenitanteil von bis zu 40 % vor.

Das isothermische Austenitumwandeln hat beim Gusseisen mit Kugelgraphit an Bedeutung gewonnen. Es führt im Rahmen der Teilefertigung zu hohen Festigkeitswerten bei gleichzeitig günstigen Werten für Plastizität und Zähigkeit [6 bis 8]. Damit wird eine Substitution von Vergütungsstählen möglich.

5.2 Thermochemische Behandlungen

Thermochemische Behandlungen sind Wärmebehandlungen, bei denen die chemische Zusammensetzung eines Werkstoffs durch Ein- oder Ausdiffundieren eines oder mehrerer Elemente absichtlich geändert wird. Zu diesen thermochemischen Behandlungen gehören das Nitrieren, das Aluminieren, das Silicieren, das Borieren und das Chromieren, die nicht nur bei Stahl, sondern auch bei Gusseisen zu positiven Eigenschaftsänderungen führen.

5.2.1 Nitrieren

Nitrieren ist eine chemisch-thermische Behandlung zur Diffusionssättigung der Oberflächenschicht einer Stahl- oder Gusseisensorte mit Stickstoff beim Erwärmen in einem entsprechenden Medium. Das Nitrieren verfolgt den Zweck, durch Aufnahme von Stickstoff in die Oberfläche eines Werkstücks die Härte, den Verschleißwiderstand, die Dauerfestigkeit und auch die Korrosionsbeständigkeit zu erhöhen.

Die Vorgänge beim Nitrieren basieren auf dem Zustandsdiagramm Eisen-Stickstoff. Beim Nitrieren unterhalb der eutektoiden Temperatur sättigt sich zunächst der α-Mischkristall an Stickstoff. Dann bildet sich das Nitrid Fe_4N (γ'-Phase). Nach deren Sättigung entsteht als weitere Phase das Nitrid Fe_2N, die sogenannte ε-Phase. Als Ergebnis einer längeren Einwirkung von atomarem Stickstoff an der Oberfläche eines Stahl- oder Gusseisenteils entstehen vom Rand zum Kern hin also folgende Schichten: ε-Phase, γ'-Phase, α-Mischkristall. Wird das nitrierte Bauteil langsam auf Raumtemperatur abgekühlt, sinkt die Löslichkeit der ε- und der α-Phase an Stickstoff und es scheidet sich in diesen Schichten die γ'-Phase aus.

5.2.2 Nitrieren und andere Legierungselemente

Beim Nitrieren von Eisenwerkstoffen mit Legierungselementen, die besondere Nitride bilden, ist der Aufbau der Nitridschicht komplizierter. Legierungselemente, wie Cr, Al, Mo oder V, die eine größere Affinität zu Stickstoff haben, bilden sehr harte Sondernitride. Gusseisen enthält immer höhere Siliciumgehalte, die zu einer Härtesteigerung führen, was auf die Anwesenheit von Aluminium im verwendeten Ferrosilicium zurückgeführt wird.

Bei einem nitrierten Bauteil unterscheidet man die Verbindungsschicht und die Diffusionsschicht. Der Härteverlauf von der Oberfläche zum Kern des nitrierten Bauteils wird im **Bild 24** gezeigt. An diesem Verlauf, der die Härte im Abstand von der Oberfläche zeigt, wird die Nitrierhärtetiefe ermittelt. Die Nitrierhärtetiefe ist der senkrechte Abstand von der Oberfläche eines nitrierten Werkstücks bis zu dem Punkt,

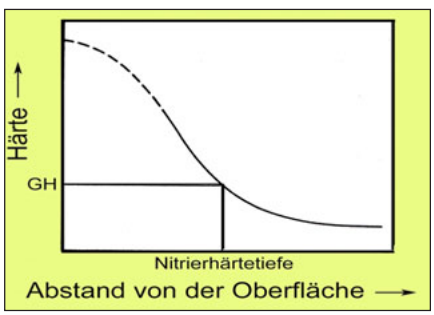


Bild 24: Nitrierkurve (nach DIN 50190)

an dem die Härte einem zweckentsprechend festgelegten Grenzwert entspricht. Der Grenzwert im Sinne dieser Norm ist der Härtewert, der als Grenzhärte GH bezeichnet wird. Die Grenzhärte bezieht sich auf den in den Fertigungsunterlagen für das nitrierte Bauteil angegebenen Zustand. Die Grenzhärte GH soll als Vickershärte HV festgelegt werden:

GH = (Ist-Kernhärte + 50) HV (1)
(jeweils auf 10 HV gerundet)

Als Kernhärte ist die in etwa im Abstand der dreifachen Nitrierhärtetiefe gemessene Härte $HV_{0.5}$ einzusetzen. Die Grenzhärte GH wird im Regelfall als Vickershärte $HV_{0.5}$ angegeben.

5.2.3 Der Nitrierprozess

Das Nitrieren wird in Salzbädern oder in der Gasphase durchgeführt. Das Badnitrieren erfolgt in Zyansalzbädern und ist wegen der gleichzeitig ablaufenden Aufkohlung eigentlich ein Carbonitrieren. Die verwendeten Salzbäder bestehen entweder aus Natrium- oder Calciumzyanid mit geringen Zusätzen an Chloriden.

Das Gasnitrieren basiert auf der Verwendung von Ammoniak, der bei den angewendeten Temperaturen zwischen 500 und 560 °C thermisch dissoziiert. Damit steht der benötigte atomare Stickstoff an der Bauteiloberfläche zur Verfügung. Der Dissoziationsgrad des Ammoniaks hängt vom Druck und der Temperatur im Nitrierofen ab. Die Nitrierdauer ist relativ lang. Für einen normalen Nitrierstahl und eine Nitriertiefe von 0,6 mm beträgt sie beispielsweise 100 Stunden. Eine Verringerung der Nitrierdauer ist durch Nutzung von Glimmentladungen und Zusatz oxidierender Gase (insbesondere Sauerstoff zum Ammoniak) möglich.

Im vorliegenden Fall wurde Gusseisen mit Kugelgraphit im Ammoniakgasstrom nitriert. Die entsprechenden Härteverlaufskurven sind für die Werkstoffsorte GJS-400-15C im **Bild 25** dargestellt. Bei einer Nitriertemperatur von 510 °C und -dauer von 36 Stunden wurde eine Nitrierhärtetiefe von 0,2 mm (Kurve a) und bei einer Nitirertemperatur von 580°C und -dauer von 5 Stunden eine Nitrierhärtetiefe von 0,1 mm (Kurve b) erreicht.

Diese Voruntersuchungen zeigen, dass Gusseisen mit Kugelgraphit genau so wie Stahl erfolgreich nitriert werden kann. Angewendet wurde das Gasnitrieren bei einem Zahnkranz aus Gusseisen mit Kugelgraphit der Sorte GJS-400-15C (**Bild 26**). Dieser Zahnkranz hat folgende Merkmale: Modul 3.5, 20 Zähne, Grundkreis 63 mm, 44 Einheiten Mindesthärte auf den nitrierten Zahnflanken (Nitrierhärtetiefe 400 $HV_{0.1}$), Innen- und Außendurchmesser sowie Seiten nach dem Nitrieren geschliffen. Die Anforderungen an das Nitrieren des Zahnkranzes konnten wie bei einem Stahlzahnkranz voll erfüllt werden.

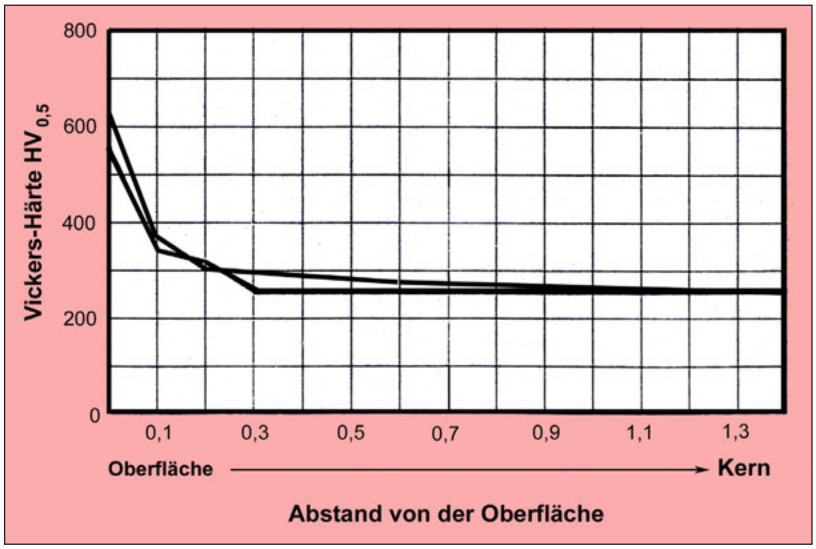


Bild 25: Nitrierkurven für GJS-400-15C (Bild: Carl Gommann, Remscheid-Hasten)

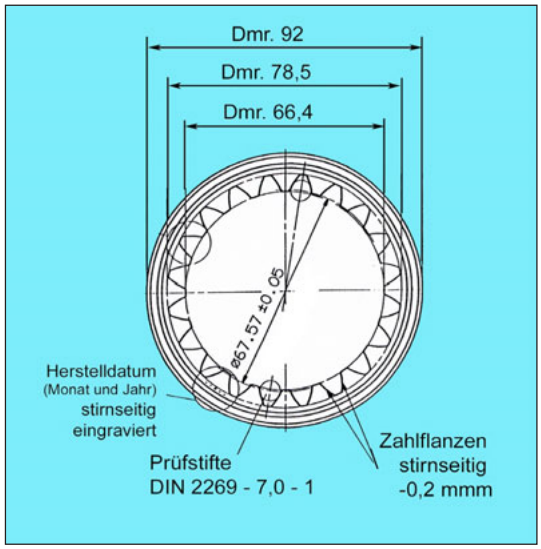


Bild 26: Zahnkranz (Bild: Bucher Maschinenbau, Klettgau (D))

6 Beschichten von Stranggussteilen

Beschichten ist ein bewusstes Erzeugen von gebrauchfähigen Schichten auf vorbehandelten Oberflächen ohne wesentliche Veränderung der Grobgestalt des Bauteils. Zum Beschichten gehören das Aufbringen von formlosen und folienartigen Stoffen sowie das chemische oder elektrolytische Aufbringen von Schichten. Die zahlreichen Beschichtungsverfahren haben zum Ziel, Bauteile vor Korrosion und Verschleiß zu schützen oder eine dekorative Wirkung zu erreichen.

Auch bei Gusseisen wird das Beschichten in vielfältiger Form angewendet. Hier sollen nur das Anstreichen, Emaillieren, Verchromen und Vernickeln angeführt werden.

7 Oberflächenumformen (Festwalzen, Festrollen, Kugelstrahlen)

Beim Oberflächenumformen wird mit einem Kugel- oder Rollenwerkzeug, das mit einer bestimmten, senkrecht anliegenden Kraft und einer definierten Geschwindigkeit über eine Oberfläche geführt wird, oder durch Strahlen mit einem kugeligen Strahlmittel (Kugelstrahlen) nur die Randschicht eines Bauteils verfestigt. Dadurch entstehen Druckspannungen.

Ein solches Oberflächenumformen wurde beispielsweise mit Erfolg an Übergangsradien von Kurbelwellen-Gussteilen aus Gusseisen mit Kugelgraphit eingesetzt. Die dabei eingebrachten Druckeigenspannungen erhöhten die Dauerfestigkeit spürbar.

8 Anwendung von Gusseisen-Strangguss

Gusseisen-Strangguss ist im Gegensatz zum Gusseisen-Formguss, bei dem der Verwendungszweck durch die Herstellung von endabmessungsnahen gegossenen Bauteilen eindeutig feststeht, ein gegossenes Halbzeug für die vielfältigsten Anwendungen. Gusseisen-Strangguss lässt sich deshalb außerordentlich vielseitig einsetzen. Aus ihm können sehr unterschiedliche Bauteile für alle Industriezweige gefertigt werden.

Wichtige Anwendungsbereiche werden beispielhaft in den **Bilder 8, 10, 12, 22, 23, und 27** gezeigt. Diese Bilder lassen die mögliche Vielfalt der Nutzung erkennen.

9 Schlussbemerkung

Von einer ad-hoc-Arbeitsgruppe im Deutschen Giessereiverband (DGV), Düsseldorf, wurde der gegenwärtige Stand zur Herstellung von Gusseisen-Strangguss aus Gusseisen mit Lamellengraphit und aus Gusseisen mit Kugelgraphit erfasst und dargestellt. In diesem Zusammenhang wird auch ein erster Ansatz für eine spätere Normung vorgestellt.

Den beteiligten Firmen sei an dieser Stelle für die fachkundige und konstruktive Zusammenarbeit Dank gesagt. Dieser Dank gilt insbesondere folgenden Herren: Dipl.-Ing. Klaus Reif (Leiter der ad-hoc-Arbeitsgruppe (DK)), Marco Antes und Dipl-Ing. Wolfgang Giese (ACO guss (D)), Dipl.-Ing. Christophe Ancel, Bernard Linder , Dipl.-Ing. Hans Sattel und Dipl.-Ing. Franck Kootz (Contifonte (F)), Dipl.-Ing. Klaus Beute (Gontermann-Peipers (D)) sowie Dipl.-Ing. Henrik Elmkvist (TASSO (DK)).

Schrifttum

[1] ACO Eurobar® - ein Qualitätsstrangguss aus Gusseisen. konstruieren + giessen 29 (2004) H. 2, S. 41 – 42.

[2] Vollrath, K.: Hydraulikguss –Zusatznutzen durch Dienstleistungen nach Maß. konstruieren + giessen 29 (2004) H. 3, S. 25 – 26.

[3] Werning, H., u. a.: Gusseisen mit Lamellengraphit . konstruieren + giessen 25 (2000) H. 2, S. 1 – 82 (Sonderdruck).

[4] Steller, I.: Das neue VDG-Merkblatt W 50: Gusseisen mit Vermiculargraphit konstruieren + giessen 28 (2003) H. 2, S. 22 – 24.

[5] Werning, H., u. a.: Gusseisen mit Kugelgraphit. konstruieren + giessen 13 (1988) H. 1, S. 1 – 98 (Sonderdruck).

[6] Röhrig, K.: 2. Europäische ADI-Entwicklungskonferenz – Eigenschaften, Bauteilentwicklung und Anwendungen. konstruieren + giessen 28 (2003) H. 1, S. 2 – 14.

[7] Herfurth, K: Austenitisch-ferritisches Gusseisen mit Kugelgraphit, Teil 1: Austenitisierung. Giesserei-Praxis (2003) H. 3, S. 99 – 106.

[8] Herfurth, K.: Austenitisch-ferritisches Gusseisen mit Kugelgraphit, Teil 2: Unvollständige isothermische Austenitumwandlung. Giesserei-Praxis (2003) H. 4, S. 137 – 142.

[9] Werning, H.: Schwarzer Temperguss – Herstellung, Eigenschaften, Anwendungen. konstruieren + giessen 25 (2000) H. 1, S. 27 – 42.

[10] Röhrig, K.: Die neue Norm für Austenitische Gusseisen. konstruieren + giessen 28 (2003) Nr. 3, S. 31 – 32.

[11] Röhrig, K.: Austenitische Gusseisen. konstruieren + giessen 29 (2004) H. 2, S. 2 – 33.

[12] Röhrig, K.: Verschleißbeständige weiße Gusseisenwerkstoffe. konstruieren + giessen 24 (1999) H. 1 (Sonderdruck).

[13] Herfurth, K., Ketscher, N., Köhler, M.: Giessereitechnik kompakt - Werkstoffe, Verfahren, Anwendungen. Giesserei-Verlag GmbH, Düsseldorf 2003.

[14] Lerner, Y. S.: Microstructure and properties of continuous cast ductile cast iron. AFS Transactions , S. 349 – 354.

Anhang: Statistische Auswertung für die mechanischen Eigenschaften

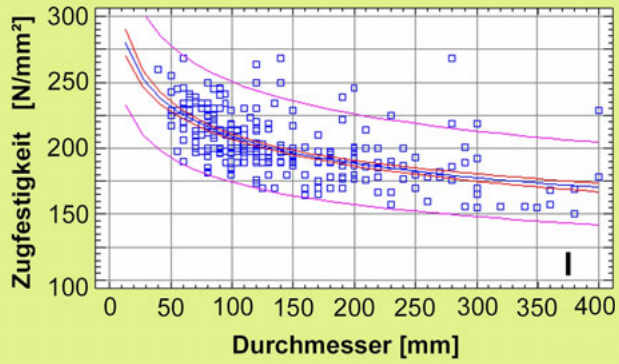
Die an dieser Ausarbeitung beteiligten Firmen haben für einen längeren Produktionszeitraum die mechanischen Eigenschaften in Abhängigkeit vom Strangdurchmesser beziehungsweise Modul ermittelt und statistisch ausgewertet.

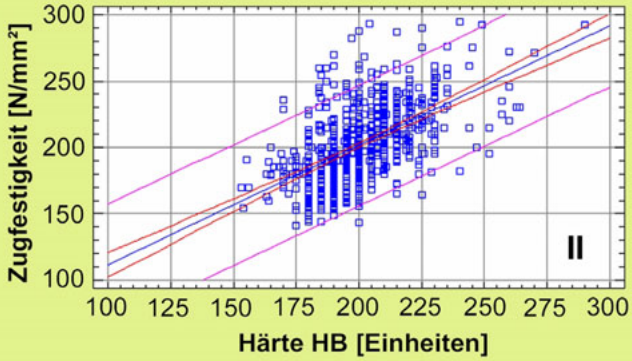
Für Gusseisen mit Lamellengraphit wurde die Zugfestigkeit und die Brinellhärte und für Gusseisen mit Kugelgraphit die Zugfestigkeit, die 0,2-%-Dehngrenze, die Bruchdehnung und die Brinellhärte erfasst. Deutlich zeigt sich auch bei Gusseisen-Stranguss die bekannte Wanddickenabhängigkeit der mechanischen Eigenschaften. Diese ist beim Gusseisen mit Lamellengraphit deutlicher ausgeprägt als beim Gusseisen mit Kugelgraphit.

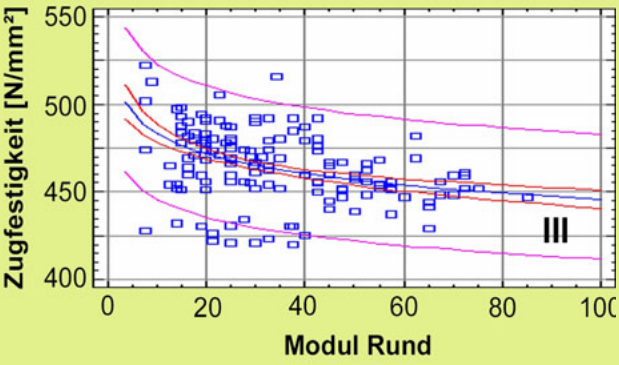
Bild 27 : Diverse Bauteile aus Gusseisen mit Lamellen- und Kugelgraphit, die die vielseitige Annwendung des Stranggusses anschaulich demonstrieren. (Bild: ACO Guss, Kaiserslautern (D))

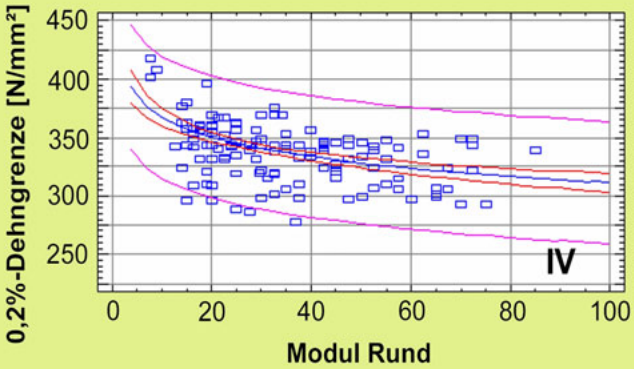
*Auf der Grundlage der dabei gewonnenen Ergebnisse wurden die Angaben in den **Tabellen 5** bis **8** zusammengestellt. Einige ausgewählte Beispiele der statistischen Auswertung sind für die Werkstoffsorten GJL-250C und GJS-400-15C in den **Bildern I** und **III** bis **V** dargestellt.*

***Bild II** stellt den Zusammenhang zwischen Zugfestigkeit und Brinellhärte für Gusseisen mit Lamellengraphit dar. In Anlehnung an die Prüfung der mechanischen Eigenschaften von Gusseisen mit Lamellengraphit, bei der beim Sandformguss meist getrennt gegossene Probestücke (Rundproben mit 30 mm Durchmesser) Verwendung finden, wurde für den Strangguss die mögliche Zugfestigkeit bei einem Strangdurchmesser von 30 mm als Bezugsgröße festgelegt. Dabei ist zu beachten, dass die Zugfestigkeitswerte für Probestücke gelten, die dem Gusstück entnommen werden.*









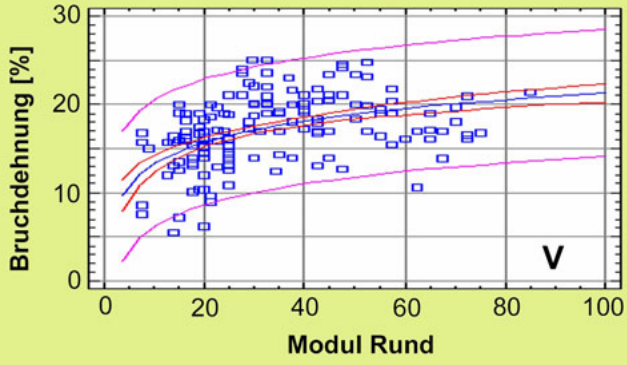


Bild I: Abhängigkeit der Zugfestigkeit vom Strangdurchmesser für den GJL-250C, Rundstangen, Probenlage D/4

Bild II: Abhängigkeit von Zugfestigkeit und Härte für GJL, Zugfestigkeit = f(Härte) für Probeanlage D/4

Bild III: Abhängigkeit der Zugfestigkeit vom Strangdurchmesser für den GJS-400-7C über Modul (D/4), ungeglüht

Bild IV: Abhängigkeit der 0,2 %-Dehngrenze vom Strangdurchmesser für den GJS-400-7C über Modul (D/4), ungeglüht

Bild V: Abhängigkeit der Bruchdehnung vom Strangdurchmesser für den GJS-400-7C über Modul (D/4), ungeglüht

ACO Guss GmbH

Postfach 25 60
67663 Kaiserslautern
Am Gusswerk 8
67663 Kaiserslautern
Tel. 0631 2011-208
Fax 0631 2011-235

Werk Michelbacher Hütte
65322 Aarbergen
Tel. 06120 28-6111
Fax 06120 28-6610

ACO Guss S.P.A.
Via Bergamo N. 4
Mozzanica BG

e-mail: info@aco-guss.com
www.aco-guss.com

ACO Guss 11/2005 Technische Änderungen vorbehalten.