

SiMo - niedriglegiertes ferritisches Gusseisen mit Kugelgraphit für Anwendungen bei höheren Temperaturen nach DIN EN 16124:2011

Gusseisenwerkstoffe, vorgesehen zum Einsatz bei höheren Temperaturen, müssen sowohl die notwendige Warmfestigkeit als auch hinreichende Beständigkeit gegen Verzunderung und Volumenänderung aufweisen. Für diesen Zweck wurde SiMo-Gusseisen entwickelt, bei dem der Kohlenstoff hauptsächlich in Form von kugeligen Graphitpartikeln vorliegt, und der mit Silizium, um eine vorwiegend ferritische Matrix zu erhalten und mit Molybdän, um die mechanischen Eigenschaften bei erhöhten Temperaturen zu verbessern, legiert wird. Während Silizium eine schützende Oxidationsschicht ausbildet, ist das am besten geeignete Element zur Steigerung der Warmzugfestigkeit, der Warmstreckgrenze und vor allem der Zeitstandfestigkeit Molybdän in Gehalten von 0,5% bis 3% (in Sonderfällen auch mehr). Anwendungsgebiete in einem Temperaturbereich bis 700 °C sind Gehäuse für Turbolader und Gasturbinen, Abgaskrümmen, aber auch Glaspressformen, Halterungen in Glühöfen oder Gesenke zur Warmumformung von Titanlegierungen und hochlegierten Stählen. Für höhere Einsatztemperaturen wurden die austenitischen Gusseisenqualitäten entwickelt, die den Einsatz in Temperaturbereichen bis zu 1000° C (vgl. Technische Information No. 6) erlauben.



Abgasverteilung Lkw-Motor



Gasgemischführung



Abgaskrümmen Eisenbahnmotor



Abgaskrümmen Schiffsmotor

Chemische Zusammensetzung

Bei Gusseisen mit Kugelgraphit erbringen Siliziumgehalte zwischen 4% und 5% die günstigste Kombination zwischen Oxidationsbeständigkeit, Festigkeits- und Zähigkeits-eigenschaften. Qualitäten mit noch höheren Siliziumgehalten bis zu 6% besitzen zwar eine weiter verbesserte Oxidationsbeständigkeit und könnten bei höheren Einsatztemperaturen verwendet werden, sind jedoch auch wesentlich spröder.

Die Warmfestigkeit wird durch Molybdänzusätze erreicht, wobei 0,5% bis 2,0% das Optimum in bezug auf Warmfestigkeit, Zähigkeit und Kosten darstellt. Molybdängehalte in dieser Größenordnung führen zu Carbiden, welche auch im geglühten Zustand noch stabil sind, wodurch die Härte auf über 250 HB gesteigert und die Dehnung und Schlagbiege-zähigkeit bei Raumtemperatur vermindert werden. Unter diesen Umständen stellt ein Werkstoff mit knapp 5% Silizium und 1,5% Molybdän eine für die meisten Anwendungsfälle günstige Lösung dar.

Der Kohlenstoffgehalt liegt für alle SiMo-Sorten zwischen 2,9% und 3,8%. Niedrigere Kohlenstoffgehalte erhöhen Festigkeit, Härte und Zähigkeit. Der Mangengehalt soll 0,5% nicht übersteigen (besser sind max. 0,3%), um eine Versprödung im Gusszustand zu verhindern. Die Gehalte an Phosphor und Schwefel entsprechen denen des normalen Gusseisens mit Kugelgraphit (vgl. Techn. Info. No. 1).

Oxidationsverhalten

Der Oxidationsangriff kann sowohl in Form der äußeren als auch der inneren Oxidation stattfinden. Die äußere Oxidation erfolgt flächmässig, wobei es zu einer langsam weiterwachsenden Zunderschicht kommt. Bei der inneren Oxidation dringen oxidierende Gase an Fehlstellen und Mikrorissen in das Werkstückinnere ein und führen dort zu einem Oxidationsangriff. Aus dem Mechanismus der inneren Oxidation ergibt sich, dass Gusseisen mit Kugelgraphit im Vergleich zu dem mit Lamellengraphit wesentlich beständiger ist, da kein Eindringen über Lamellen erfolgen kann.

Die Verbesserung der Oxidationsbeständigkeit durch Silizium beruht auf der Bildung einer siliziumoxidreichen Deckschicht, die den weiteren Oxidationsangriff hemmt und schliesslich zum Stillstand bringt.

Mechanische Eigenschaften

Molybdänlegierte Gusseisen mit Kugelgraphit und mit Siliziumgehalten bis 5% haben eine deutlich höhere Warmzugfestigkeit und Warmstreckgrenze als gewöhnliche ferritische Gusseisen mit Kugelgraphit. Bereits ein auf 4% erhöhter Siliziumgehalt bringt gegenüber normalem Gusseisen mit Kugelgraphit eine Steigerung der Festigkeit, die dann durch Molybdänzusatz vor allem bei höheren Temperaturen weiter verstärkt wird. Mit steigendem Molybdängehalt nimmt die Zeitstandfestigkeit für 100 und 1000 Stunden bei Temperaturen von 650 °C bis 815 °C für Molybdängehalte zwischen 0% und 3% erheblich zu, wobei der grösste Anstieg bei Molybdängehalten bis etwa 1% auftritt.

Normung

Die zitierte Europäische Norm DIN EN 16124 klassifiziert 9 niedriglegierte ferritische Gusseisensorten mit Kugelgraphit, die vorwiegend wegen ihrer Warmfestigkeit und Oxidationsbeständigkeit eingesetzt werden. Es gelten zusätzlich die gängigen Gusseisennormen :

- DIN EN ISO 8062 Toleranzen und Bearbeitungszugaben
- EN 10204:2004, Metallische Erzeugnisse - Arten von Prüfbescheinigungen
- EN ISO 148-1:2010, Kerbschlagbiegeversuch nach Charpy - Teil 1: Prüfverfahren (ISO 148-1:2009)
- EN ISO 945-1:2008, Mikrostruktur von Gusseisen - Teil 1: Graphitklassifizierung durch visuelle Auswertung (ISO 945-1:2008)
- EN ISO 6506-1, Härteprüfung nach Brinell - Teil 1: Prüfverfahren (ISO 6506-1:2005)
- EN ISO 6892-1:2009, Zugversuch Teil 1: Prüfverfahren bei Raumtemperatur (ISO 6892-1:2009)

Genormte Werkstoffqualitäten nach DIN EN 16124 : 2011

Werkstoffbezeichnung		Silizium	Molybdän
Kurzzeichen	Nummer	% (Massenanteil)	% (Massenanteil)
EN-GJS-SiMo25-5	5.3111	2,3 bis 2,7	0,4 bis 0,6
EN-GJS-SiMo30-7	5.3112	2,8 bis 3,2	0,6 bis 0,8
EN-GJS-SiMo35-5	5.3113	3,3 bis 3,7	0,4 bis 0,6
EN-GJS-SiMo40-6	5.3114	3,8 bis 4,2	0,5 bis 0,7
EN-GJS-SiMo40-10	5.3115		0,8 bis 1,1
EN-GJS-SiMo45-6	5.3116	4,3 bis 4,7	0,5 bis 0,7
EN-GJS-SiMo45-10	5.3117		0,8 bis 1,1
EN-GJS-SiMo50-6	5.3118	4,8 bis 5,2	0,5 bis 0,7
EN-GJS-SiMo50-10	5.3119		0,8 bis 1,1

Mechanische Eigenschaften bei Raumtemperatur

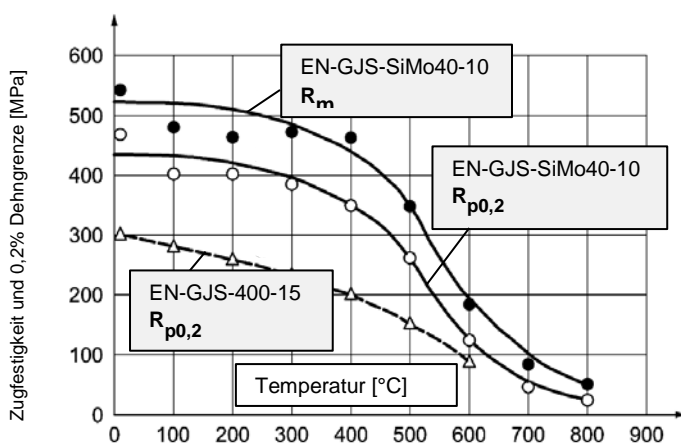
Werkstoffbezeichnung		0,2 %-Dehngrenze	Zugfestigkeit	Dehnung	Brinellhärtebereich	Maßgebende Wanddicke
Kurzzeichen	Nummer	$R_{p0,2}$ MPa min.	R_m MPa min.	A % min.	HBW ^a	mm
EN-GJS-SiMo25-5 *	5.3111	260	420	12	140 bis 210	30 < t ≤ 60
		250	400	12	130 bis 200	60 < t ≤ 200
EN-GJS-SiMo30-7 *	5.3112	310	440	10	150 bis 220	30 < t ≤ 60
		300	420	10	140 bis 210	60 < t ≤ 200
EN-GJS-SiMo35-5 *	5.3113	330	440	8	160 bis 230	30 < t ≤ 60
		320	440	8	150 bis 220	60 < t ≤ 200
EN-GJS-SiMo40-6	5.3114	380	480	8	190 bis 240	
EN-GJS-SiMo40-10	5.3115	400	510	6	190 bis 240	
EN-GJS-SiMo45-6	5.3116	420	520	7	200 bis 250	
EN-GJS-SiMo45-10	5.3117	460	550	5	200 bis 250	
EN-GJS-SiMo50-6	5.3118	480	580	4	210 bis 260	
EN-GJS-SiMo50-10	5.3119	500	600	3	210 bis 260	

^a Werte nur zur Information, gemessen am Gussstück

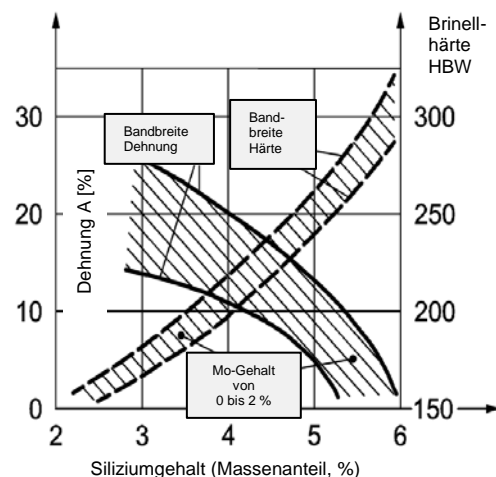
* Richtwerte aus Anhang A, DIN EN 16124

Mechanische und physikalische Eigenschaften (informativ)

Eigenschaft	Symbol	Einheit	Typische Werte
Dichte	ρ	g/cm ³	6,8 bis 7,1
Thermischer Längenausdehnungskoeffizient, von 20 °C bis 200 °C	α	µm/(m·K)	11 bis 13
Wärmeleitfähigkeit bei 100 °C	λ	W/(m·K)	22 bis 26
Wärmeleitfähigkeit bei 400 °C			25 bis 30
Spezifische Wärmekapazität bei 20 °C bis 100 °C	c	J/kg·K	500 bis 720
Elastizitätsmodul bei 20 °C	E	GP _a	160 bis 180
Poisson-Zahl	ν		0,28 bis 0,35



Zugeigenschaften von EN-GJS-400-15 und EN-GJS-SiMo-40-10 im Vergleich



Einfluss des Siliziumgehalts auf Dehnung A und Härte HBW bei SiMo-Gusseisen, das mehr als 2,5% Si und 0 bis 2% Molybdän enthält