

TEKNISKE DATA FOR SG-JERN ANVENDT I ALMINDELIGE MASKINKONSTRUKTIONER

SG-JERN ANVENDT I ALMINDELIGE KONSTRUKTIONER

Støbejern fremstilles i en lang række kvaliteter, som kan inddeles i 3 kategorier:

- * støbejern med flage- eller lamelgrafit (gråjern)
- * støbejern med kuglegrafit (SG-jern)
- * en gruppe bestående af særlige jerntyper, som egner sig til konstruktioner med krav til varme-, slid- og korrosionsbestandighed.

Dette datablad omhandler udelukkende SG-jerns typerne. Brochuren er udarbejdet for at hjælpe konstruktører, ingeniører og indkøbere til at vælge den bedst egnede type til en given konstruktion. For at sikre sig et korrekt valg skal der tages hensyn til de krævede fysiske og mekaniske egenskaber.

Metallurgi – SG-jern

SG-jerns typerne er kendt under flere navne, som f.eks. nodulært jern, SG-jern, sejt jern eller kuglegrafitjern. Disse materialer adskiller sig fra gråjern med hensyn til styrke og sejhed, selv om bearbejdningsegenskaberne kan sammenlignes. SG-jern tilbyder mekaniske egenskaber, som er nært beslægtede med dem, man kender fra støbt stål eller tempergods, men giver hverken de samme støbemæssige problemer eller de kastninger og formforandringer, som ofte forekommer ved langvarig varmebehandling ved høj temperatur. Eftersom SG-jern kan støbes ved meget lavere temperaturer end stål, betyder det en væsentlig forbedring af både overfladebesskaffenhed og dimensionsnøjagtighed.

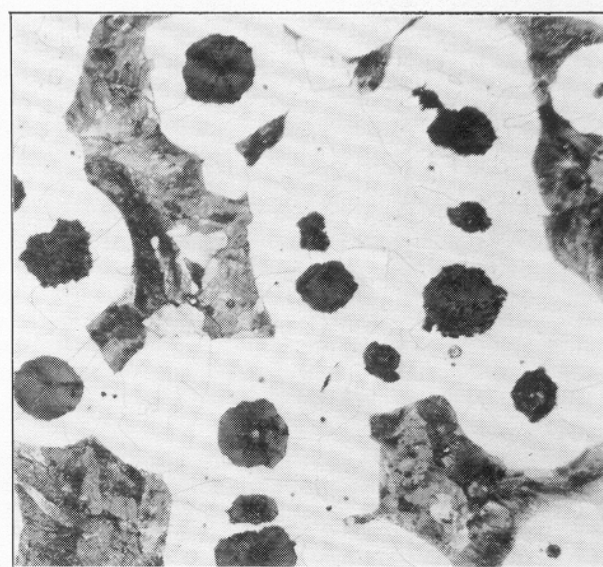
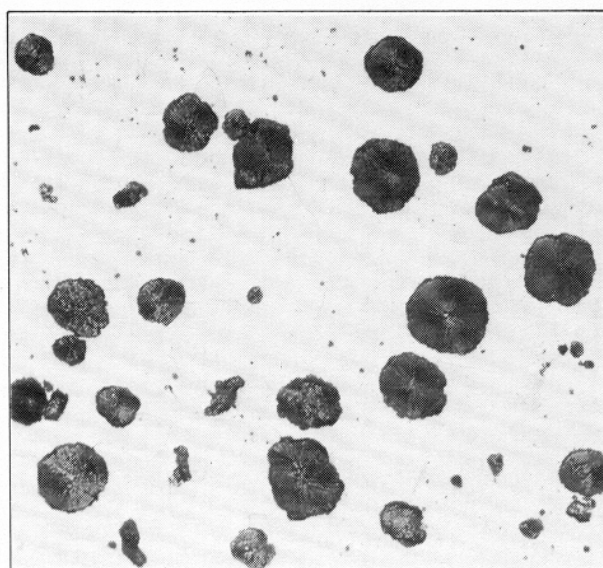
Værdierne for trækbrudstyrke og sejhed svarer til værdierne for stål, hvorimod 0,2-spændingen er væsentlig højere. Selv om de forskellige typer SG-jern grundlæggende består af samme materiale, kan der med en passende ændring af basissammensætningen, og med eller uden efterfølgende varmebehandling fremstilles en komplet serie SG-jern med ferritiske, perlitiske, martensitiske eller andre grundmassestrukturer, som er bestemmende for materialets mekaniske egenskaber.

Tilstedeværelsen af kulstof i form af grafitnoder i grundmassen, gør det velegnet for varmebehandling, idet kulstoffet kan tilføres eller fjernes fra grundmassen ved hjælp af passende varmebehandling. SG-jern klassificeres på basis af mikrostrukturer i en række typer, som ved nøje styrede støberitekniske processer resulterer i mekaniske egenskaber, som overstiger de nationale eller internationale minimumskrav.

Processtyring

Bag produktionen af de forskellige SG-jerns typer ligger en omhyggelig udvælgelse af materialer samt en nøje processtyring. Et lavt svovlindhold i det smeltede jern kombineret med gennemprøvede nodulariseringsteknikker giver konstruktører og indkøbere af støbninger i SG-jern den nødvendige sikkerhed. Der er udviklet en lang række procesteknikker og den valgte metode afhænger af den aktuelle produktion.

Typiske mikrostrukturer for SG-jern



TYPE	Vejledende værdier i forhold til godstykkelse				
	Gods- tykkelse mm fra til		Forventede mindsteværdier i godset		
			Trækbrudstyrke N/mm ²	0,2-spænding N/mm ²	Brudforlængelse %
EN-GJS-350-22	Op til 50		350	220	22
	50	80	340	210	19
	80	120	330	200	16
	120	200	320	190	12
EN-GJS-400-18	Op til 50		400	250	20
	50	80	380	240	17
	80	120	370	230	14
	120	200	360	220	10
EN-GJS-400-15	Op til 50		400	250	17
	50	80	380	240	15
	80	120	370	230	12
	120	200	360	230	8
EN-GJS-500-7	Op til 50		500	320	8
	50	80	450	300	7
	80	120	440	290	6
	120	200	430	280	5
EN-GJS-600-3	Op til 50		600	380	3
	50	80	520	340	2
	80	120	470	320	1
	120	200	450	320	1
EN-GJS-700-2	Op til 50		700	400	2
	50	80	600	380	1
	80	120	570	370	1
	120	200	520	360	1

For yderligere specifikation henvises til standard EN-1563.

Bemærkninger:

1. Tabelværdierne er baseret på faktiske måleresultater og offentliggjorte data.
2. Ligesom hos andre ferro- og non-ferro materialer påvirkes mange af SG-jernets egenskaber af støbningens afkølingshastighed, som er proportional med godsets tykkelse eller modul. Dette gælder især trækbrudstyrke- og brudforlængelsesværdierne, samt i mindre grad 0,2-spændingsværdierne.
3. De opgivne værdier for trækbrudstyrke og brudforlængelse gælder fejlfrie tværsnit, og påvirkes i negativ retning af mikroporøsiteter, selv om 0,2-spændingsværdierne forbliver relativt uforandrede.
4. På samme måde vil der ved en øget godstykkelse eller ved tilstedeværelse af mikroporøsiteter ske en værdiforringelse af de egenskaber, som står i direkte forbindelse med trækbrudstyrken, som f.eks. udmattelsesstyrken. De egenskaber, som kan relateres til 0,2-spændingen, som f.eks. Poisson's forhold og elasticitetsmodul, forbliver derimod relativt upåvirkede.
5. De faktiske værdier i en hvilken som helst del af støbningen kan kun garanteres under særlige forudsætninger, selv om der kan opnås højere værdier end de angivne ved at iværksætte specielle foranstaltninger under produktionen, som f.eks. ekstra kontrol af råmaterialer, proces- og støbeteknikker.

Konstruktionsoplysninger	
Egenskab	Højst tilladelige konstruktionsspændinger
Direkte træk {	55% af 0,1-spænding for ferritiske kvaliteter 45% af 0,1-spænding for ferritiske kvaliteter
Direkte tryk	60% af 0,1-spænding ved tryk
Udmattelse	33% af udmattelsesstyrke

Typiske mekaniske og fysiske egenskaber

TYPE	Sym-bol	Enhed	GJS-350-22	GJS-400-18	GJS-400-15	GJS-500-7	GJS-600-3	GJS-700-2
Trækbrudstyrke (min)	R_m	N/mm ²	350	400	400	500	600	700
0,2-spænding (min) ved træk	$R_{p0,2}$	N/mm ²	220	250	250	320	380	440
0,1-spænding ved træk	$R_{p0,1}$	N/mm ²	210	240	240	310	360	410
Brudforlængelse	A_5	%	24	20	17	8	4	3
Brinellhårdhed	HB 30		110-150	120-160	140-190	170-220	200-250	230-280
Slagstyrke (med kærnv) ved -40 °C (min.) ⁽²⁾	A_v	J	14					
-20 °C	A_v	J		14				
+20 °C	A_v	J	20	17	14			
Slagstyrke (uden kærnv) ved +20 °C (min.) ⁽³⁾	A_b	J/cm ²	120	100	80	60	40	30
Udmattelsesstyrke								
Roterende bøjning (u/kærnv) ⁽⁴⁾	σ_{bw}	N/mm ²	±180	±200	±200	±225	±250	±280
Roterende bøjning (m/kærnv) ⁽⁵⁾	σ_{bw}	N/mm ²	±115	±120	±120	±135	±150	±170
Tryk - træk	σ_{zdW}	N/mm ²	±100	±110	±110	±150	±175	±200
0,2-spænding ved tryk	$\sigma_{d0,2}$	N/mm ²	230	275	275	350	380	425
0,1-spænding ved tryk	$\sigma_{d0,1}$	N/mm ²	225	270	270	340	360	390
Poisson's forhold	ν		0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
Elasticitetsmodul	E_0	kN/mm ²	170	170	170	173	175	175
Stivhedsmodul	G	kN/mm ²	68	68	68	69	70	70
Længdeudvidelseskoefficient 20-100°C	α	10 ⁻⁶ /K	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5
Varmeledningsevne α 200 °C	λ	W/mK	39	39	39	35	32	31
Svindmål ⁽⁶⁾	s	%	0-0,5	0-0,5	0,2-0,8	0,2-0,8	0,5-1,0	0,5-1,0
Massefylde	ρ	g/cm ³	7,1	7,1	7,1	7,1	7,2	7,2

Fra separat støbte prøver⁽¹⁾

For påstøbte prøver^{(6), (7)}

TYPE	Sym-bol	Enhed	Dominerende godstykkelse mm	Tykkelse af påstøbt prøve mm	GJS-400-18	GJS-400-15	GJS-500-7	GJS-600-3	GJS-700-2
Trækbrudstyrke (min)	R_m	N/mm ²	30- 60 60-200	40 70	390 370	390 370	450 420	600 550	700 650
0,2-spænding (min.)	$R_{p0,2}$	N/mm ²	30- 60 60-200	40 70	250 240	250 240	300 290	360 340	400 380
Brudforlængelse (min.)	A_5	%	30- 60 60-200	40 70	18 14	17 14	8 6	3 2	3 2
Slagstyrke (med kærnv) ved -20°C	A_v	J	30- 60 60-200	40 70	14 12	- -	- -	- -	- -

Bemærkninger:

- Medmindre andet er angivet dækker denne materialespecifikation kun Ø25 mm prøvestykker fra separat støbte prøver, kontrolleret ved en rumtemperatur på 20 °C. De egenskaber, der står med fede typer, angiver specifikationens mindsteværdier.
- 2 mm dyb U-kærnv 10x10 mm DVM prøve, gennemsnit af 3 prøver
- DVM prøve udført på et 10x10 mm prøvestykke uden kærnv.
- Wöhler udmattelsesprøve, roterende bøjning, udført på et Ø 10,6 mm prøvestykke uden kærnv.
- Tilsvarende pkt. 4, men med ringformet 45° V-kærnv med en radius på 0,25 mm.
- Afhænger af form og vægt samt eventuelt anvendt varmebehandling.
- Tabellen er især gældende for støbninger, der vejer mere end 2.000 kg og/eller med godstykkelser på 50 til 200 mm. Der skal derfor på forhånd træffes aftale om placering af prøven.
- Anvendelse af denne standard for støbevægte og godstykkelser, som ligger uden for de i punkt 7 angivne grænser, kan kun finde sted ved særlig aftale.

Kort beskrivelse af SG-jerns typerne og deres anvendelse

Som allerede nævnt kan der ved en omhyggelig justering af den kemiske sammensætning – med eller uden efterfølgende varmebehandling – fremstilles en lang række grundmassestrukturer, som danner grundlag for de specificerede mekaniske egenskaber.

Den bløde helferritiske grundmasse med lave specificerede trækbrudstyrker giver brudforlængelsesværdier på op til 25%, trækslagstyrker på mindst 350 N/mm² samt en garanteret kærslagstyrke. I takt med den øgede perlitandel i grundmassen hærder strukturen, med det resultat at trækbrudstyrkeværdierne stiger, brudforlængelsesværdierne falder og kærslagstyrkeværdierne minimeres, eftersom omslagstemperaturen på dette tidspunkt (fra skørt til sejt brud) ligger over den omgivende temperatur.

Klassificering af SG-jern

Type GJS-350-22

Denne type fremstilles af specielt udvalgte og rene materialer, hvor alle uønskede elementer er holdt på et meget lavt niveau, og godset gennemgår efterfølgende en lang varmebehandling. Disse foranstaltninger resulterer i et materiale med helt ferritisk grundstruktur med fremragende kærslagstyrke ved temperaturer under 0, garanteret ned til -40°C. Faktisk kan en yderligere justering af sammensætningen og en udvidet varmebehandling sænke omslagstemperaturen til under -55°C.

Typisk anvendelse

Dele til kølere, kompressorer, pumper, ventiler, etc. som skal anvendes ved lave temperaturforhold. Komponenter til køretøjer, f.eks. hydraulikventiler, til brug i arktiske egne. Komponenter til flådefartøjer, hvor stor sejhed og slagstyrke er et absolut krav som værn mod eksplosioner.

Type GJS-400-18

Grundstrukturen i dette materiale er fuldt ferritisk, selvom kravene til sammensætning ikke er helt så skrappe som for GJS-350-22. Omslagstemperaturen for slagsejhed er lidt højere. Varmebehandling ved høj temperatur er også her en del af fremstillingsprocessen. Karakteristisk for dette materiale er stor sejhed og en garanteret kærslagstyrke ned til -20°C.

Typisk anvendelse

Ventiler, bremses, koblinger, konsoller, trykbeholdere, huse til højtryks hydraulikudstyr, kølekomponenter og generelt til brug ved temperaturer ned til -20°C, hvor kravet om garanteret slagsejhed er vigtigt.

Type GJS-400-15

Denne type, som anvendes til mere almindelige formål, har stor sejhed og garanteret slagstyrke ved normale temperaturer. Grundstrukturen er helt ferritisk, hvilket normalt opnås gennem varmebehandling, hvorved perlitandelen opløses. Sammenlignet med støbt stål af samme styrke er det muligt at reducere bearbejdningstiden med op til 25%.

Typisk anvendelse

Erstatning for svejste og smedede komponenter i biler og traktorer, såsom hjulnav, hydrauliske arme, differentialhuse og holdere, lejhuse, calipere til skivebremser, skiver til parkeringsbremser, vippearne, etc. skrabetænder til renovationsværker og landbrugsmaskiner, højtydende medium-speed motorer i skibe: motorfundament, cylinderdæksler og svinghjul, store tryklejer til propelleraksler i skibe, store huse til ventilatorer med variabel stigning, store turbinehuse, koblingshuse og plader til pneumatisk styrede koblinger i industri og marine, etc.

Type GJS-500-7

Som betegnelsen antyder, har dette materiale en blandet struktur, bestående af ferrit og perlit, med ferrit som dominerende. Denne type udgør således et kompromis mellem det relativt bløde, meget smidige ferritiske jern med lav trækstyrke og det hårdere og mindre seje perlitiske jern med højere trækstyrke. Det er et godt all-round materiale med god sejhed kombineret med større trækstyrke, og det bruges as-cast, altså uden varmebehandling.

Typisk anvendelse

Højtryks hydraulikventiler, komponenter til lastvogne og entreprenørmaskiner, store dieselmotorer, såsom guideplaner for krydshovedstyr, lejubuk for vippearne, huse til brændstofpumper, lejedæksel for krydshoved, rullelejhuse for styraksel.

Type GJS-600-3

Grundstrukturen er overvejende perlitisk, selvom materialet stadig besidder nogen sejhed og en højere trækstyrke. Dette forhold gør materialet generelt anvendeligt indenfor mange tekniske områder. Materialet er velegnet som erstatning for kulstofstål.

Typisk anvendelse

Højtrykspumpehuse, koblingshuse, kardanled, huse til hydraulikmotorer, spidshjul til turngear for supertanker dieselmotorer, smeltedigler til zink- og blylegeringer, tandhjulsemner, hydraulikcylindre, rørbukningsværktøj, etc.

Type GJS-700-2

Denne type fremstilles med en meget stor perlitandel og dermed ekstra høj trækstyrke og hårdhed. Typen er især egnet til maskinkomponenter, som udsættes for hårde belastninger, specielt i dieselmotorer og værktøjsmaskiner. Den større hårdhed og slidbestandighed er kombineret med en rimelig bearbejdighed. Ved slutbearbejdning af f.eks. glideskinner til værktøjsmaskiner er materialet ideelt at håndbearbejde til meget præcise mål. Hertil kommer at den perlitiske mikrostruktur er let at hærde ved varmebehandling, såvel ved gennemhærdning som overfladehærdning (flamme- el. induktionshærdning).

Typisk anvendelse

Stempler til medium-speed dieselmotorer, krumtappe til biler, små og store medium-speed dieselmotorer, cylinderblokke til medium-speed dieselmotorer, maskinkomponenter og værktøjsmaskiner, som er udsat for stor dynamisk og statisk belastning.

Øvrige tekniske data

De opgivne mindsteværdier i standarden er for visse af egenskaberne obligatoriske, som f.eks. trækbrudstyrke, 0,2-spænding, brudforlængelse samt i nogle tilfælde kærslagstyrke.

De øvrige værdier for de nævnte egenskaber er kun vejledende. I det følgende behandles nogle af SG-jerns mere usædvanlige fysiske egenskaber:

Dimensionstolerancer

En tommelfingerregel siger, at dimensionstolerancen skal være ca. halvt så stor som den pågældende kvalitet maksimalt må krympe. Denne regel bør anvendes med yderste forsigtighed, da den ikke omfatter store og komplekse støbninger, og desuden afhænger af en lang række faktorer, som f.eks. støbningens størrelse, konstruktionens kompleksitet, forholdet mellem jern og kærner, varierende godstykkelse, jerntype, støbetemperatur og formmateriale. Anvendelse af stabile furan- eller cementsandsforme i stabile formkasser resulterer i, at emnet kan blive væsentlig mindre end modellen, således at svind- og bearbejdningstillæg må øges ud over, hvad der normalt kan accepteres. SG-jern udvider sig så kraftigt under gratitdannelsen, at der som regel ikke er behov for efterfødnings, når der samtidig anvendes stabile forme.

Varmebehandling påvirker også dimensionerne. Hærdning, dvs. overgang fra perlit til martensit, resulterer i en negativ volumenforandring. Omvendt resulterer ferritglødning, dvs. overgang fra perlit til ferrit, i en positiv volumenforandring. Nogle støberier anvender ferritvarmebehandling til fremstilling af ferritisk SG-jern, andre opnår en ferritisk struktur ved passende ændring af den kemiske sammensætning. Det er derfor særdeles vanskeligt at udtale sig om godsets slutdimensioner, med mindre man har fuldstændig kendskab til fremstillingsprocessen.

Dæmpningsevne

Dæmpningsevnen er den egenskab, som tillader et materiale at absorbere vibrationer. Der findes mange forskellige metoder til måling af dæmpningsevnen. Ved samtlige metoder anvendes en kendt spænding, ud fra hvilken spændingsreduktionen ved en eller flere cykler eller vibrationer måles. SG-jerns dæmpningsevne er meget mindre end hos gråjern. Som det vil fremgå af de efterfølgende typiske værdier ligger SG-jerns dæmpningsevne tættere på stål. Dæmpningsevnen udtrykkes som procent af den energi, der tabes under første prøvningscyklus ved en torsionsbrudspænding på 150 N/mm².

Blødt gråjern	40
GJS-400-15, as-cast	14
GJS-600-3, as-cast	12
0,23% kulstofstål	8

Elektriske og mekaniske egenskaber

P.g.a. grafitindholdet ligger SG-jerns magnetiske og elektriske egenskaber tættere på gråjern end på stål. Men som følge af kontrolleret tilvirkning samt ensartethed og tæthed i strukturen er disse værdier mere konstante og pålidelige end ved gråjern. Nedenfor ses typiske værdier:

Egenskab		SG-jerns typer		
Kun ca-værdier	Enheder	Grundmassestrukturer		
		Ferritisk	Ferritisk/perlitisk	Perlitisk
Max.magnetisk permeabilitet	mH/m	2,1	1,6-0,8	0,5
Remanent magnetisme	T	0,56	0,58-0,60	0,62
Koerciv kraft	A/m	160	450-790	875
Hysterese tab (B=1T)	kJ/m ³	0,6	1,3-2,2	2,7
Elektrisk modstand	μΩm	0,50	0,51-0,53	0,54

Varmebehandling

De forskellige strukturer og fysiske egenskaber, som kan opnås i as-cast jern, kan ændres væsentligt ved at anvende varmebehandling. Dette faktum udnyttes i vid udstrækning til at forbedre nogle af de egenskaber, som anses for nødvendige for at imødekomme specifikke driftskrav. Det skal her anføres, at en dårlig støbning ikke kan gøres bedre ved hjælp af varmebehandling. Ligeledes kan der kun opnås fuld udbytte af en given varmebehandling, hvis støbningen er fremstillet i korrekt smeltet og behandlet jern. Det må derfor anbefales at rådføre sig med støberiet for at sikre et korrekt valg af jernkvalitet set i forhold til godstykkelse, konstruktion, varmebehandling og driftsbetingelser. I forbindelse med varmebehandling er støbningens konstruktion særdeles vigtig. Den hurtige vekslen mellem opvarmning og afkøling, især ved flamme- og induktionshærdning, betyder, at der opstår store indre spændinger i støbningen. Hvis disse inducerede spændinger på et tidspunkt overstiger materialets trækbrudstyrke, vil der ske et brud, der hvor spændingskoncentrationen er størst, dvs. hvor godset er tyndest, eller hvor man kan forvente en kritisk kærsvirkende effekt, f.eks. i spidse vinkler. Der kan desuden opstå kastninger i de tilfælde, hvor spændingerne overstiger 0,2-spændingen, uden at overstige trækbrudstyrken. De væsentligste årsager til at varmebehandle SG-jern er:

1. Forøget sejhed og slagstyrke, især for kryogene anlæg, ved hjælp af højtemperaturglødning (ferritisering).
2. Forbedret styrke, især udmattelsesstyrke, ved hjælp af normalisering.
3. Øget hårdhed, styrke og sejhed ved hjælp af hærdning og anløbning. Bainithærdning vinder i denne sammenhæng mere og mere frem.
4. Forbedret slidbestandighed ved hjælp af overfladebehandling.

Svejsning af støbegods

Støbejern kan svejses både ved gas- og lysbue-svejsning. Ved svejsning af både gråjern og SG-jern opstår der samme slags problemer, nemlig:

- (i) Opløsning af kulstof i tilsatsmaterialet samt cementitdannelse.
- (ii) Hærdning af den varmpåvirkede zone – martensitisk struktur.
- (iii) Revnedannelser i de svejste eller varmpåvirkede områder.

Disse problemer imødegås enten ved forvarmning og langsom afkøling af støbningen og/eller ved at anvende svejsemetoder med lavt varmeinput, sm f.eks. kortbue MIG svejsning.