

3.4 Segjärn

Segjärn är ett material inom gjutjärnsgruppen som funnits sedan 1948 och som fått en allt större användning i kvalificerade konstruktioner. Inom exempelvis fordonsindustrin tillverkas många högt belastade komponenter i segjärn.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

3.4.1 Segjärn

3.4.2 Konventionella och lösningshärdade ferritiska segjärn

3.4.3 Låglegerade ferritiska segjärn för högttemperaturtillämpningar

3.4.4 Ausferritiskt segjärn

3.4.5 Seghärdat segjärn

3.4.6 Segjärnsbehandling

3.4.1 Segjärn

Segjärn har i många fall ersatt svetsade eller smidda stålkonstruktioner. Det ger ofta stora kostnadsbesparingar då det behövs ett färre antal delkomponenter. Segjärn har liksom gråjärn goda glidegenskaper eftersom materialet innehåller fri grafit. En annan fördel är att segjärn kan användas i gjutet tillstånd ("as-cast") utan värmebehandling.

Det finns ett flertal olika typer av segjärn:

- Konventionella segjärn inklusive lösningshärdat segjärn, SS-EN 1563:2012
- Låglegerade, ferritiska segjärn för högttemperaturlämpningar, SS-EN 16124:2011
- Ausferritiskt segjärn, SS-EN 1564:2011
- Austenitiskt gjutjärn, SS-EN 13835:2012

De olika segjärnstyperna beskrivs närmare i respektive kapitel.

Vissa segjärnskvaliteter kan användas för tryckbärande konstruktioner, se närmare i standarden SS-EN 13445-6:2009 + C4:2012 "Tryckkärl (ej eldberörda) – Del 6: Konstruktions- och tillverkningskrav för tryckkärl och tryckbärande komponenter av segjärn". Bilaga ZA till SS-EN 1563:2012 ger upplysningar om överensstämmelse över tillåtna segjärn till direktivet om tryckbärande anordningar 97/23/EG

I gällande svensk standard och EN-standard för de ovan nämnda segjärnstyperna klassificeras materialet i enlighet med de mekaniska egenskaperna hos materialet.

De mekaniska egenskaperna utvärderas med provstavar uttagna från ämnen som är:

- separatgjutna
- gjutna i formen intill godset
- vidgjutna (cast-on)
- eller bearbetade ur gjutgodset

Om hårdheten är viktig för produkten och ett krav från köparen så finns möjlighet att efter överenskommelse mäta den i vald provstav eller på gjutgodset (på Brinellvärta, "cast-on knob", om det inte går att mäta på godset).

3.4.2 Konventionella och lösningshärdade ferritiska segjärn

De segjärn som ingår i denna del är indelade i två grupper:

1 konventionella ferritiska, ferrit/perlitiska och perlitiska segjärn

2 lösningshärdade ferritiska segjärn

Standard för dessa segjärn är SS-EN 1563:2012.

De två grupperna representerar var för sig särskilda egenskaper, exempelvis:

- De ferritiska materialen i grupp 1 har den högsta slagsegheten.
- De perlitiska och ferrit/perlitiska materialen i grupp 1 är mer lämpade för produkter med högre hållfasthetskrav och slitstyrka.
- De lösningshärdade ferritiska segjärnen har vid motsvarande brottgräns en högre sträckgräns och högre töjning än den hos de ferritiska och perlitiska segjärnen.
- En väsentlig egenskap hos de lösningshärdade ferritiska segjärnen är den låga spridningen i hårdhet som resulterar i en förbättrad skärbarhet.

Standarden omfattar tretton konventionella segjärn och tre lösningshärdade ferritiska segjärn baserade på draghållfasthet (se tabeller nedan). Materialbeteckningen bygger på minimum för de mekaniska egenskaper som erhålls i gjutna prover med en tjocklek eller diameter av 25 mm. Beteckningen är oberoende av den typ av gjutet ämne som valts. De mekaniska egenskaperna är tjockleksberoende.

Tabell 12. Mekaniska egenskaper hos de konventionella ferritiska och ferrit/perlitiska segjärnen enligt SS-EN 1563:2012.

Material-beteckning	Rp _{0,2} (MPa)	R _m (MPa)	A (%)
	Min.	Min.	Min.
EN-GJS-350-22-LT	210	330	18
EN-GJS-350-22-RT	220	330	18
EN-GJS-350-22	220	330	18
EN-GJS-400-18-LT	230	380	15
EN-GJS-400-18-RT	250	390	15
EN-GJS-400-18	250	390	15
EN-GJS-400-15	250	390	14
EN-GJS-450-10	-1)	-1)	-1)
EN-GJS-500-7	300	450	7
EN-GJS-600-3	360	600	2
EN-GJS-700-2	400	700	2
EN-GJS-800-2	-1)	-1)	-1)
EN-GJS-900-2	-1)	-1)	-1)

EN-GJS-900-2	-''	-''	-''
--------------	-----	-----	-----

Mätningarna är utförda på provstavar bearbetade från gjutna provstavsämnen. Storleken på provstavsämnet skall vara i överensstämmelse med den aktuella väggjocklek på gjutgodset för vilket de mekaniska egenskaperna gäller.

Angivna värdena gäller endast för relevant väggjocklek $30 < t \leq 60$ mm. Med relevant väggjocklek avses den sektionen av gjutgodset till vilken de bestämda mekaniska egenskaperna ska tillämpas. Ytterligare relevanta tjockleksintervall är: $t \leq 30$ mm och $60 < t \leq 200$ mm

De material i tabellen om har tillägget RT (rumstemperatur) eller LT (låg temperatur) kan levereras med slagseghetskrav, men kräver särskild överenskommelse vid beställningen. Med RT menas provning vid 23 ± 5 °C och LT vid -20 ± 2 °C eller -40 ± 2 °C.

1) Värden efter överenskommelse mellan tillverkare och köpare.

Tabell 13. Mekaniska egenskaper hos lösningshärdade ferritiska segjärnen enligt SS-EN 1563:2012.

Material-beteckning	$R_{p0,2}$ (MPa)	R_m (MPa)	A (%)
	Min.	Min.	Min.
EN-GJS-450-18	340	430	14
EN-GJS-500-14	390	480	12
EN-GJS-600-10	450	580	8

Mätningarna är utförda på provstavar bearbetade från gjutna provstavsämnen. Storleken på provstavsämnet skall vara i överensstämmelse med den aktuella väggjocklek på gjutgodset för vilket de mekaniska egenskaperna gäller.

Angivna värdena gäller endast för relevant väggjocklek $30 < t \leq 60$ mm. Med relevant väggjocklek avses den sektionen av gjutgodset till vilken de bestämda mekaniska egenskaperna ska tillämpas. Ytterligare relevanta tjockleksintervall är: $t \leq 30$ och $t > 60$ mm. I standarden finns även riktvärden för hållfasthetsegenskaper mätta på prover tagna ur gjutgodset för relevant väggjocklek $t \leq 30$, $30 < t \leq 60$ och $60 < t \leq 200$ mm.

Då hårdheten är av intresse finns riktvärden till hjälp, se tabellen nedan. Detta gäller främst för serieproduktion av gjutgods, där det är möjligt att uppnå önskat antal mätningar.

Tabell 14. Riktvärden för hårdheten hos segjärn enligt SS-EN 1563:2012 Annex C.

Material- beteckning	HBW	HBW
	t ≤ 60 mm	60 < t ≤ 200 mm
EN-GJS-350-22	< 160	< 160
EN-GJS-400-18	130 – 175 ¹⁾	130 – 175 ¹⁾
EN-GJS-400-15	135 - 180 ¹⁾	135 - 180 ¹⁾
EN-GJS-450-18	170 - 200	160 - 190
EN-GJS-450-10	160 - 210 ¹⁾	160 - 210 ¹⁾
EN-GJS-500-14	185 - 215	170 - 200
EN-GJS-500-7	170 - 230 ¹⁾	150 - 230 ¹⁾
EN-GJS-600-10	200 - 230	190 - 220
EN-GJS-600-3	190 - 270 ¹⁾	180 - 270 ¹⁾
EN-GJS-700-2	225 - 305 ¹⁾	210 - 305 ¹⁾
EN-GJS-800-2	245 - 335 ¹⁾	240 - 335 ¹⁾
EN-GJS-900-2	270 - 360 ¹⁾	270 - 360 ¹⁾

Mäts på provstavar bearbetade från gjutna provstavsämnen eller på gjutgodset. Storleken på provstavsämnet skall vara i överensstämmelse med den aktuella väggjocklek på gjutgodset för vilket de mekaniska egenskaperna gäller.

I tabellen ges Brinellhårdheten (HBW) för två relevanta väggjockleksintervall. Med relevant väggjocklek avses den sektionen av gjutgodset till vilken de bestämda mekaniska egenskaperna ska tillämpas.

1) Genom överenskommelse mellan tillverkaren och köparen kan ett snävare intervall väljas, ett toleransintervall på mellan 30 och 40 Brinell är allmänt acceptabelt. Detta hårdhetsområde kan vara bredare för kvaliteter med en ferrit-perlitisk grundmassa.

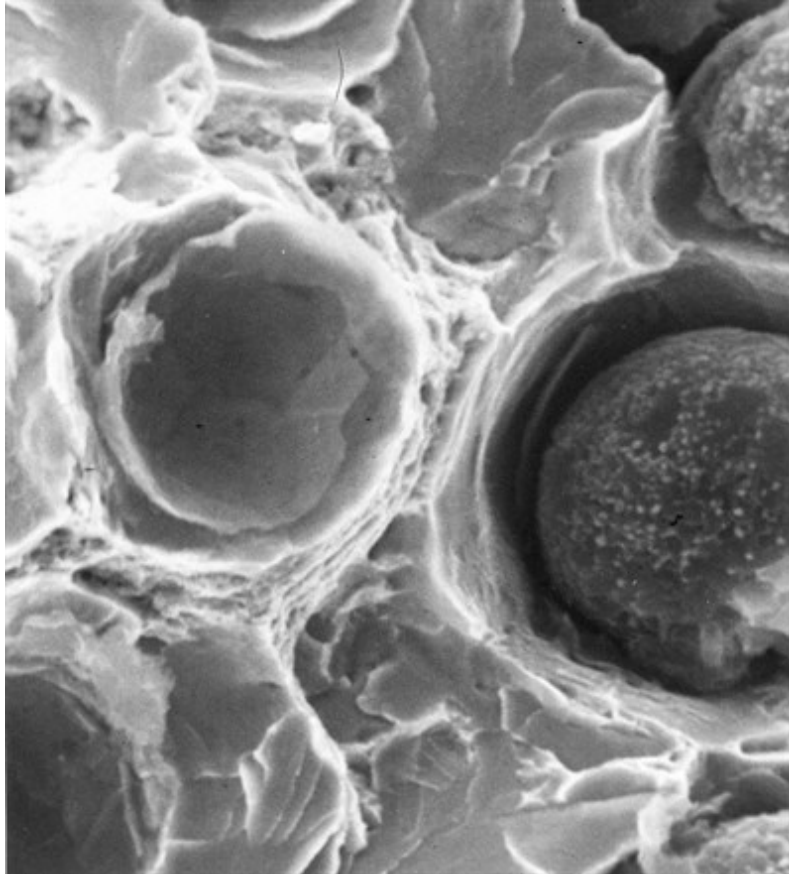
Då hårdheten krävs i tillägg till draghållfastheten rekommenderas att använda en utvärderingsprocedur som finns i SS-EN 1563:2012, Annex C. Den används för att bestämma maximal och minimal hårdhet för det material som anges av dess hållfasthetsegenskaper i enlighet med tabell för materialegenskaper enligt ovan.



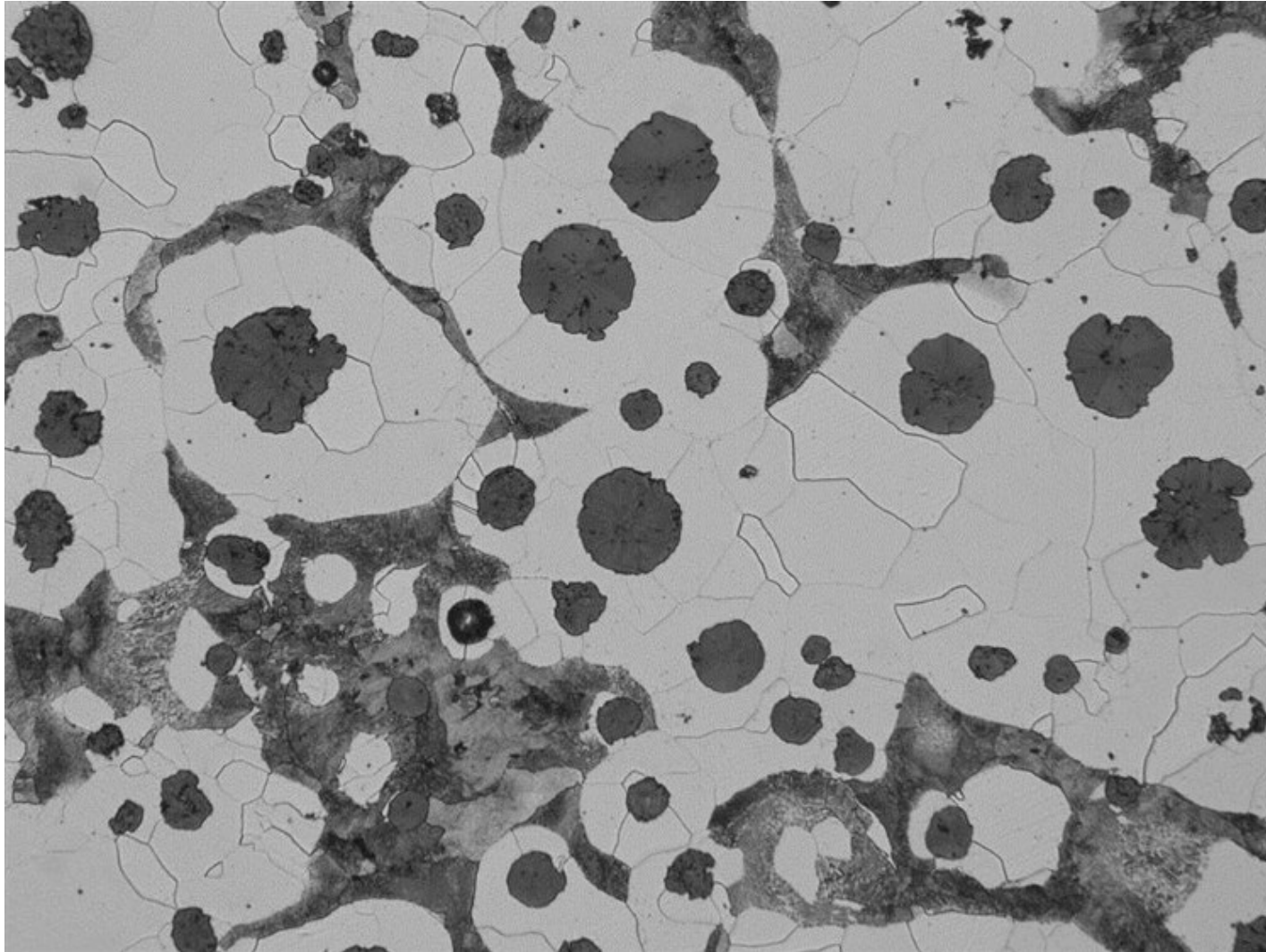
Figur 36. Axelkåpa till anläggningsmaskin, vikt 450 kg. Tillverkad i ferritiskt lösningshärdat segjärn EN-GJS-500-14.

Allmänna egenskaper

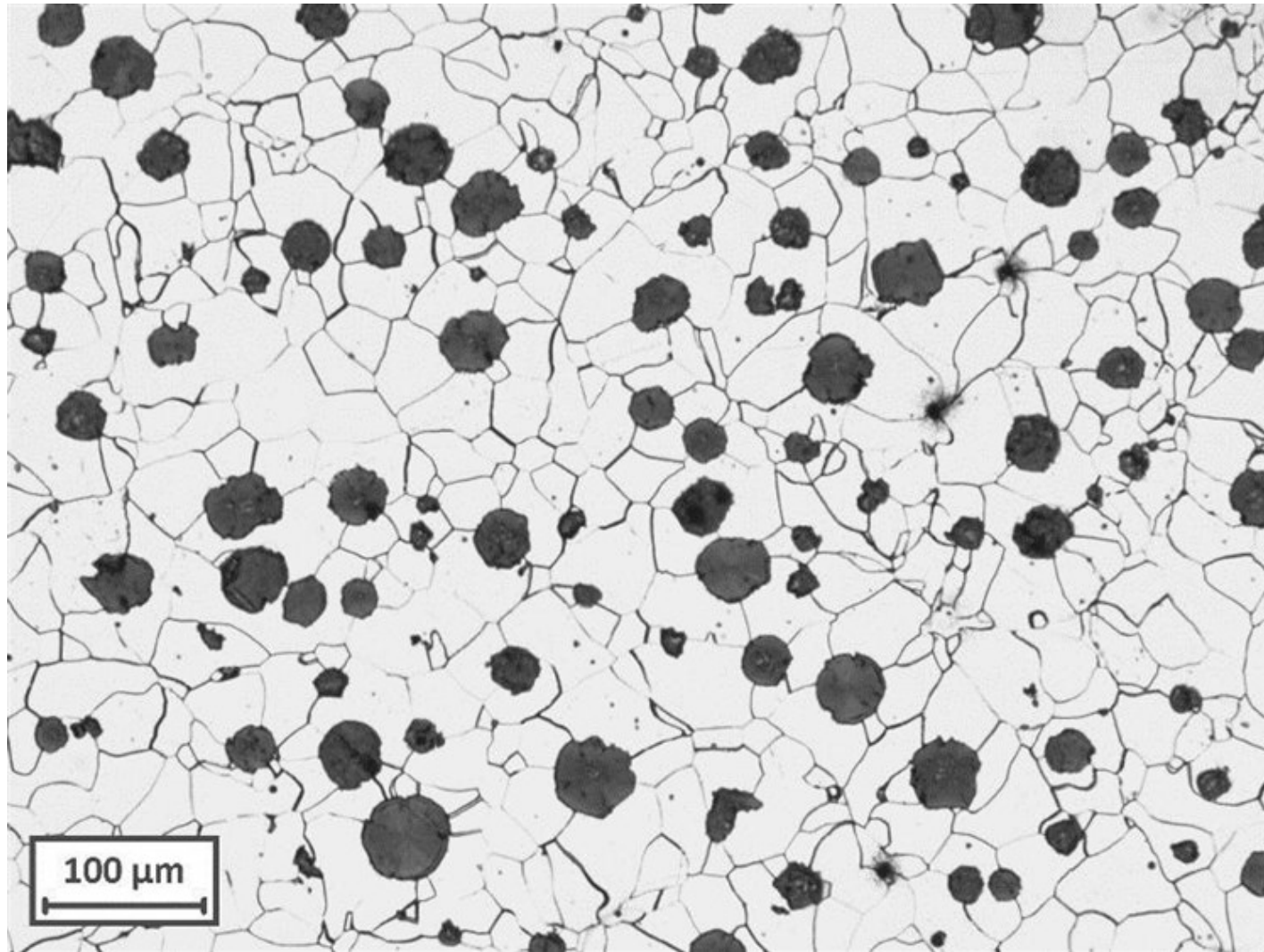
I samtliga segjärnstyper (inklusive låglegerade ferritiska segjärn för högttemperaturlämpningar, ausferritiskt segjärn och austenitiskt segjärn) föreligger grafiten i form av kulor (noduler) i materialets grundmassa, se följande bilder.



Figur 37. Grafitnoduler i ferritiskt segjärn, SS-EN GJS 400-15. Grafiten ligger i en brottyta och har delvis fallit ur.



Figur 38. Ferrit/perlitiskt segjärn, SS-EN GJS 500-7. Grafiten föreligger i kulform (noduler) i en grundmassa av ferrit (vitt) och perlit (grått).



Figur 39. Lösningshärdat ferritiskt segjärn, SS-EN GJS 600-10. C_{ekv} = 4,3 % och Si = 4,2 %. Grafiten föreligger i kulform (noduler) i en grundmassa av ferrit.

Jämfört med den spetsiga fjällgrafiten i gråjärn ger den runda grafitformen i segjärn en obetydlig spänningskoncentration och därför betydligt högre hållfasthet och seghet. Grafiten formas genom tillsats av små mängder magnesium till basjärnet. I gällande standarder för segjärn föreskrivs att grafitstrukturen huvudsakligen skall vara form V och VI i enlighet med SS-EN ISO 945-1:2008. En noggrannare angivelse kan överenskommas vid beställningen. De flesta företag föreskriver i egna specifikationer ≥ 80 procent nodularitet.

En brottförlängning på upp till över 20 procent kan erhållas i segjärn med ferritisk grundmassa. Generellt gäller liksom för andra gjutna material att segheten sjunker med ökad hållfasthet.

Segjärnets hållfasthet styrs med grundmassans sammansättning och hårdhet. I det konventionella segjärnet ger en hög perlithalt ett mer höghållfast segjärn på bekostnad av segheten. En låg perlithalt ger ett segt material med lägre hållfasthet. Perlithalten styrs i huvudsak genom den kemiska sammansättningen, vanligen med kopparhalten (läs mer under rubriken koppar längre ner).

I det lösningshärdade ferritiska segjärnet styrs hållfastheten med kiselhalten (läs mer under rubriken kisel). Fördelen med detta är förbättrad skärbarhet vid samma hållfasthet och hårdhet som de konventionella ferrit/perlitiska segjärnen. Då grundmassan är helt ferritisk uppnår man en mycket liten hårdhetsspridning. Den mindre spridningen kan ge en reduktion av bearbetningskostnaderna med upp till 10 procent vid serieproduktion. Vid kortare serier av grövre gods har praktiska prov (fräsning/borrning) visat att bearbetningstiden kan minska avsevärt, upp mot 20 procent.

Olika processparametrars inverkan på egenskaper i konventionellt segjärn

De olika hållfasthetsklasserna i konventionellt segjärn styrs som nämnts ovan främst av mikrostrukturen. Denna styrs i sin tur av följande tre grundfaktorer:

- Legeringsämnen
- Svalningshastighet
- Grafitens täthet/fördelning

Inverkan av legeringsämnen

Tabellen nedan visar typiska riktvärden för kemisk sammansättning för två konventionella segjärnslegeringar. Överstigs legeringshalterna behöver smältan spädas.

Tabell 15. Riktvärden för kemisk sammansättning (i procent) för två konventionella segjärnslegeringar.

Material	Kol ¹⁾	Kisel	Mangan	Fosfor	Svavel	Magnesium	Koppar
EN-GJS-400-15	3,3-3,9	2,2-2,7	≤ 0,2	0,06	0,02	0,03-0,06	≤ 0,2
EN-GJS-700-2	3,3-3,9	2,1-2,6	0,1-1,0	0,06	0,02	0,03-0,06	0,1-1,5

De legeringsämnen som påverkar grundmassan i första hand framgår av följande tabell.

Tabell 16. Några vanliga legeringsämnen som ökar mängden ferrit respektive perlit i segjärn.

Ökar ferrithalten	Ökar perlithalten
Kol	Mangan
Kisel	Koppar
	Nickel
	Molybden

Kol

Med ökande kolhalt vid oförändrad kolekvivalent minskar hållfasthet och hårdhet. Erfarenhet visar samtidigt att en sänkt kolhalt i flera fall har förbättrat slagsegheten något i segjärn. Eftersom flytbarheten och grafitexpansionen ökar med ökande kolhalt hålls denna normalt så hög som möjligt.

Kisel

Ökande kiselhalt ger ökad ferrithalt och därmed sänkt hållfasthet. I ett helferritiskt material ger ökad kiselhalt en lösningshärdning av ferriten och därmed en relativ hållfasthetsökning. Med ökande kiselhalt minskar risken för cementitbildning vid stelandet (vitt stelande). För att nå goda slagseghetsegenskaper i exempelvis GJS-350-22-LT och GJS-400-18-LT måste kiselhalten hållas låg.

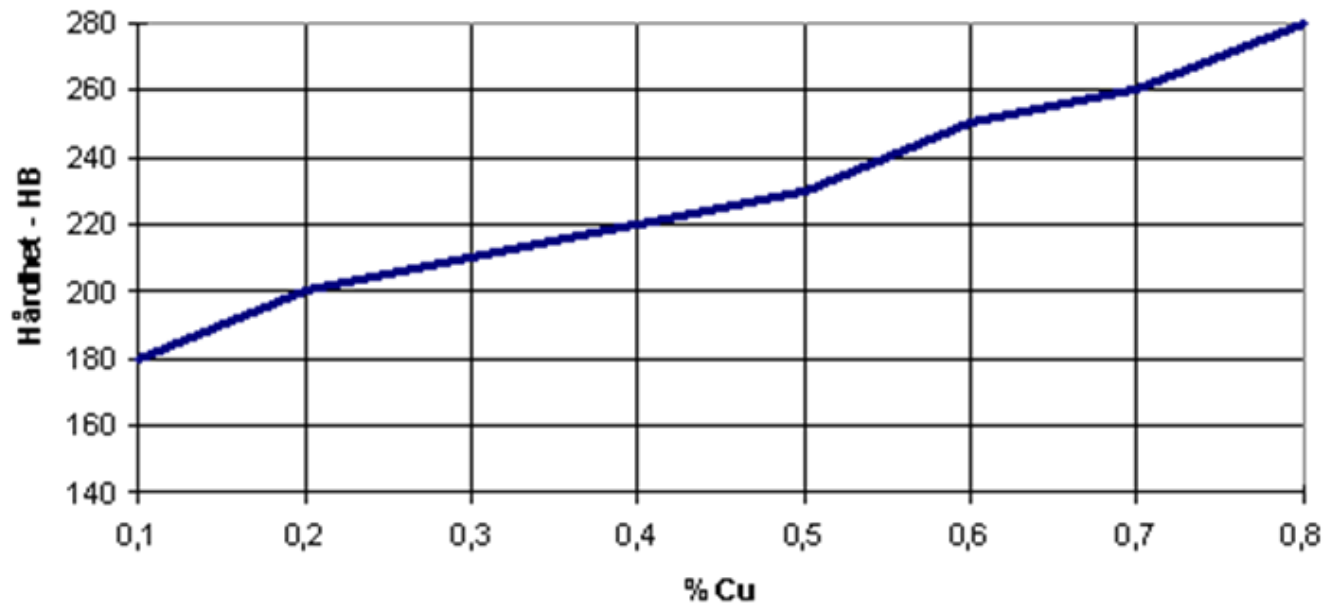
Mangan

Ökad manganhalt ger en hållfasthetsökning och sänkning av segheten genom ökad perlithalt. Tillsammans med koppar utgör mangan det viktigaste legeringsämnet för att styra hållfastheten via perlitbildning i segjärn. Man bör dock se upp med risken för cementitbildning med ökande manganhalt för speciellt tjockväggigt gjutgods som stelnar långsamt. Mangan har även en viss lösningshärdande effekt på ferriten.

Koppar

Ökad kopparhalt ger en hållfasthetsökning genom ökad perlithalt. Även perlitens lamellavstånd (perlittäthet) minskar, vilket ökar hållfasthet och hårdhet ytterligare. Jämfört med mangan har koppar den fördelen att även grafitbildning gynnas vid stelning och risken för cementitbildning minskar. Till viss del kan därigenom den negativa inverkan som mangan har i detta avseende motverkas.

I ferritiskt segjärn lösningshärdar koppar ferriten och påverkar därigenom hållfastheten något. Halten av koppar och mangan är låg i ferritiskt segjärn och effekten är därför marginell.



Figur 40. Exempel på kopparhaltens inverkan på hårdheten i konventionellt segjärn. Nivån kan variera beroende på gjuteriets övriga analys.

Nickel

Nickel ger liknande effekt som koppar vad avser perlitstabilisering, perlittäthet och lösningshärdning av ferriten.

Molybden

Ökande molybdenhalt ger liknande effekt som koppar och nickel vad avser perlitstabilisering, perlittäthet och lösningshärdning av ferriten. Molybden används ofta i ausferritiskt segjärn med grövre sektioner eftersom härdbarheten ökar.

Fosfor

Fosforhalten skall vara så låg som möjligt och får inte överstiga 0,06 procent eftersom det har en negativ inverkan på seghet och slagseghet. I praktiken ligger halten oftast under 0,02 procent.

Övrigt

Flera av de ovan angivna legeringsämnen ökar härdbarheten och används därför vid ausferritisk värmebehandling och seghärdning. Svalningshastighetens inverkan på grundmassa och hållfasthet hos konventionellt segjärn

Vid ökande svalningshastighet från austenitområdet ner till avslutad perlitomvandling ökar perlithalten i segjärn. Grövre segjärnsgjutgoods svalnar naturligt långsammare, vilket medför att ferrithalten ökar i grovt gods.

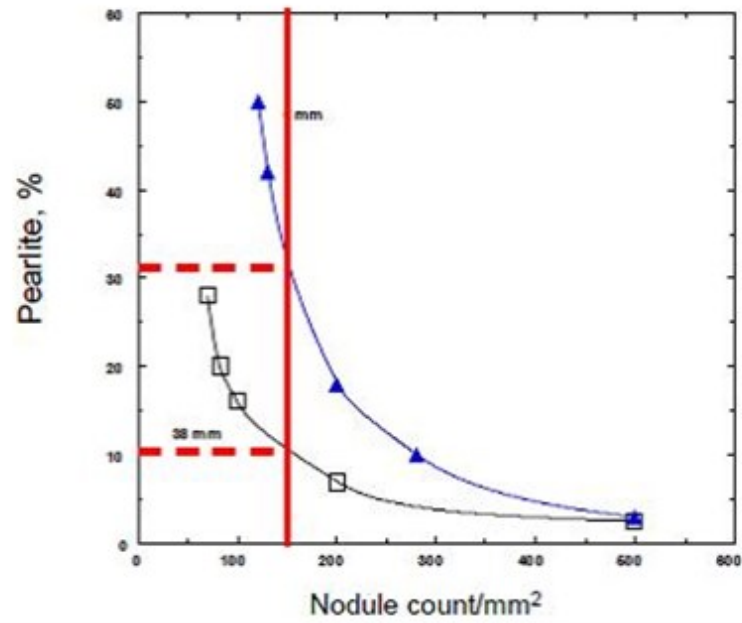
Om för höga hållfasthetsnivåer uppstår kan en för tidig uppslagning av formarna, det vill säga att det görs vid för hög temperatur, vara orsaken. En högre svalningshastighet uppstår och en ökad perlithalt erhålls.

Inverkan av grafitens täthet/fördelning på grundmassan och hållfasthet hos konventionellt segjärn

I samband med stelnandet bildas grafitnoduler vars storlek och fördelning påverkas av ympning, godstjocklek, gjuttemperatur och formens kylförmåga. Ju snabbare stelnandet sker utan karbidbildning och ju mer välympat järnet är, desto mindre blir storleken på grafitnodulerna, som dessutom ligger tätare ihop.

Ju tätare grafitnodulerna ligger, desto större är förutsättningarna för att erhålla ett ferritiskt segjärn. Figuren nedan visar exempel på effekten av varierande godstjocklek på perlithalten och därmed också på de mekaniska egenskaperna.

Vid gjutning av grovt segjärnsgjutgods med enstaka tunna godssektioner blir grafitpartiklarna små i dessa partier och ligger tätt. Omgivande grövre gods ger en kraftig värmepåverkan på formmaterialet och på de stelnade tunna sektionerna, vilket medför att svalningshastigheten blir låg. Detta kan resultera i att de tunna sektionerna blir helferritiska och mjuka medan de grövre innehåller inslag av perlit och därmed blir något hårdare.



Figur 41. Inverkan av nodultätheten (st/mm²) på perlithalten för två olika väggjocklekar. 3,5 %C, 2,45 %Si, =,3 %Mn och 0,04 %Mg.

Legeringsämnnens inverkan på egenskaperna i ferritiskt lösningshärdat segjärn

Tabellen nedan visar typiska riktvärden för kemisk sammansättning för tre ferritiska lösningshärdade segjärnslegeringar.

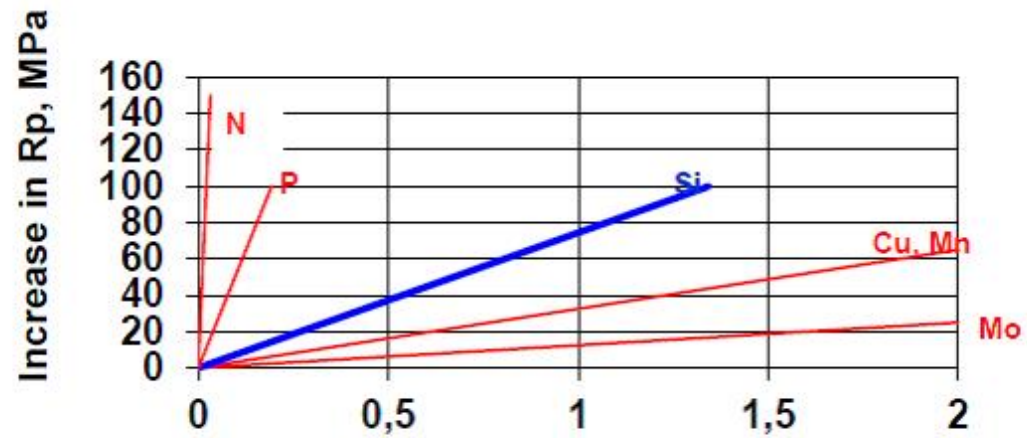
Tabell 17. Riktvärden för kemisk sammansättning i procent för de tre standardiserade ferritiska lösningshärdade segjärnen.

Material	Kol	Kisel	Mangan max	Forsfor max
EN-GJS-450-18	¹⁾	3,20	0,50	0,05
EN-GJS-500-14	¹⁾	3,80	<0,50	0,05
EN-GJS-600-10	¹⁾	4,30	<0,50	0,05

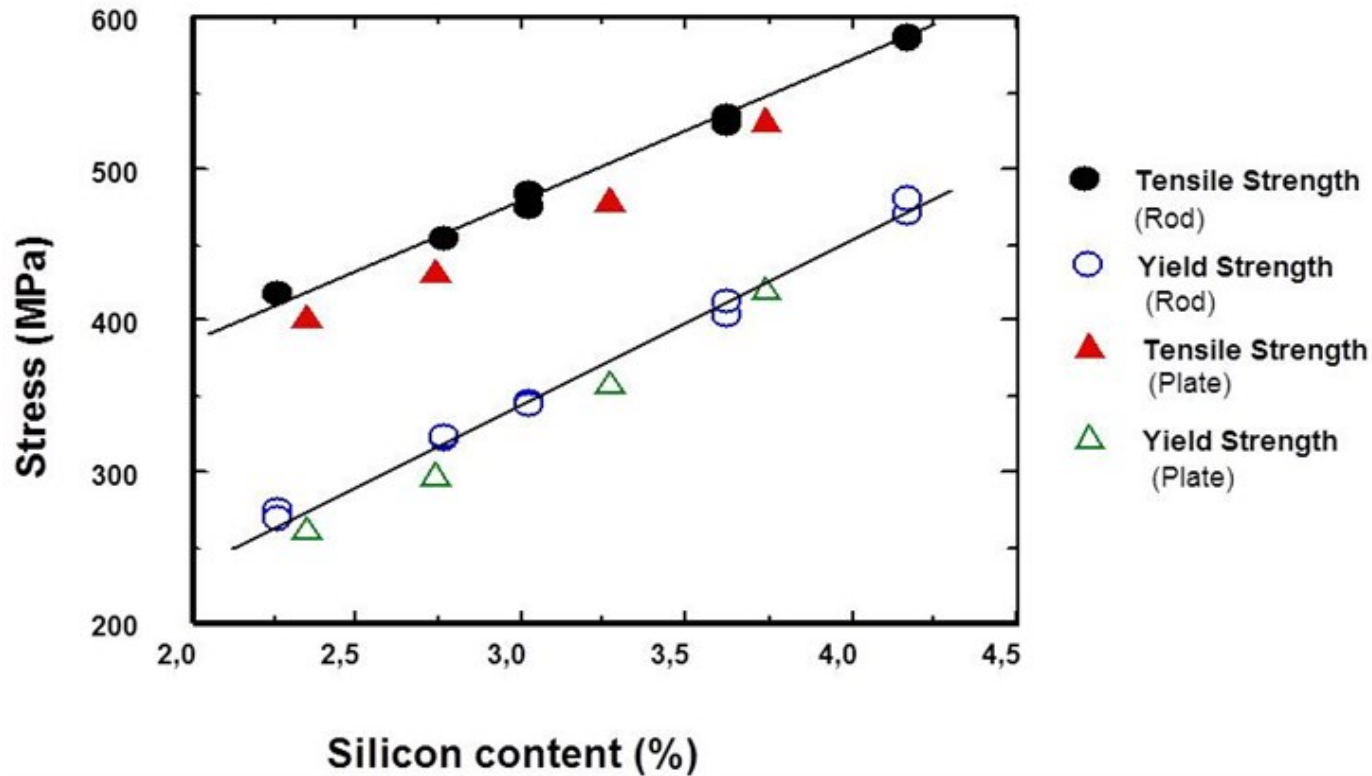
¹⁾% C beräknas med hjälp av där C_{ekv} normalt är < 4,3%

Fördelen med denna segjärnstyp är en avsevärt förbättrad skärbarhet vid samma hållfasthet och hårdhet som i motsvarande konventionella ferrit/perlitiska segjärn. Detta beror på att grundmassan är helt ferritisk och mer eller mindre oberoende av godstjockleken, det vill säga att materialet är mer homogent. Därmed uppnår man en mycket liten hårdhetsspridning. Med de konventionella ferrit/perlitiska segjärnen fås med en varierande godstjocklek olika svalningsheter och därför stor variation i perlithalt och hårdhet.

I figuren nedan visas olika legeringsämnenens lösningshärdande effekt på ferrit. För denna nya typ av segjärn är kisel det ämne som är bäst lämpat för att styra hållfastheten.

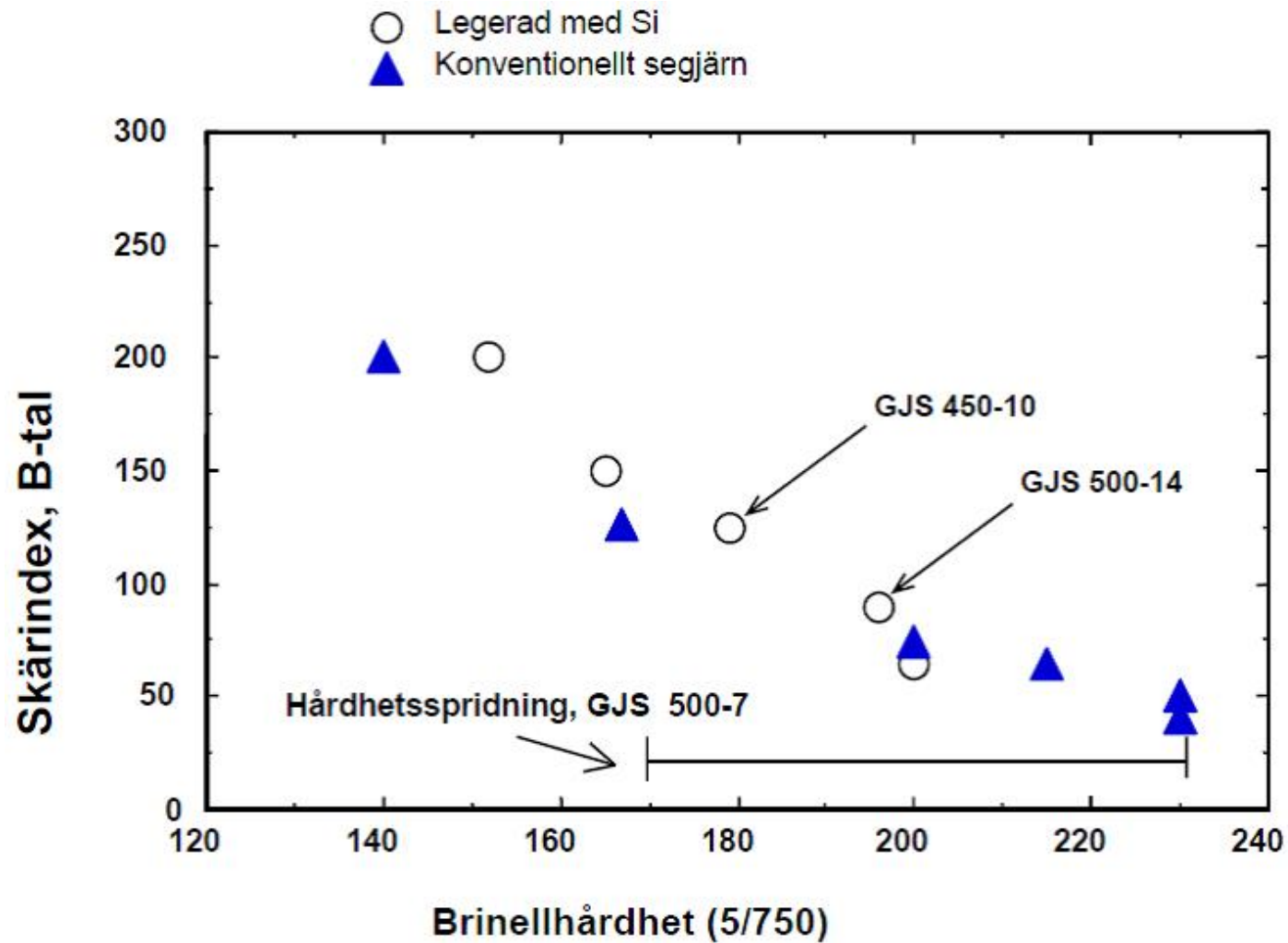


Figur 42. Effekt av lösningshärdning i ferritiskt stål på undre på sträckgränsen.



Figur 43. Hållfastheten styrs med kiselhalten. I detta exempel visar diagrammet att det krävs cirka 3,7 procent kisel för att erhålla > 500 MPa i brottgräns.

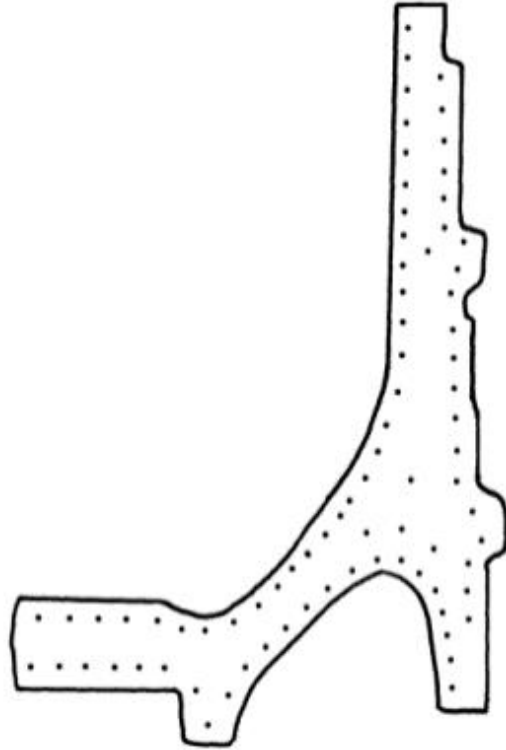
Skärbarheten är minst lika bra som för konventionellt segjärn. Hårdheten i det konventionella GJS-500-7 kan variera från 170 till 230 HBW medan hårdhetsspridningen i motsvarande ferritiskt lösningshärdade segjärnet GJS-500-14 är avsevärt lägre. Den mindre spridningen har beräknats ge en reduktion av bearbetningskostnaderna med upp till tio procent vid serieproduktion. Verifierande försök visar på 5 – 20 procent kortare bearbetningstider och upp till 30 procent längre verktyglivslängd.



Figur 44. B-tal som funktion av hårdheten för ferritiskt lösningshärdat segjärn, konventionellt segjärn och kompaktgrafitjärn.

Tabell 18. Resultat av HBW-mätning hos lastbilsnav (figuren under tabellen), i konventionellt segjärn, GJS-500-4 och ferritiskt lösningshärdat segjärn GJS-500-14.

	GJS-500-7		GJS-500-14	
	Nav H	Nav L	Nav H	Nav L
Medelvärde	±210	215	205	207
Standardavvikelse, 2s	±24	±18	±4,7	±2,7
Minvärde	172	197	200	202
Maxvärde	222	231	207	209
Max - Min	50	34	7	7
Antal mätpunkter	61	59	75	73



Figur 45. Snitt från lastbilsnav. Punkterna visar läge för hårdhetsmätning, HBW. Resultatet redovisas i tabellen ovan.

3.4.3 Låglegerade ferritiska segjärn för högttemperaturlämpningar

Denna typ av segjärn används huvudsakligen för deras värme- och oxidationsbeständighet och distorsionsstabilitet. De kallas ofta för SiMo eftersom de är legerade med kisel (Si) och molybden (Mo). Det är också dessa legeringsämnen som ger materialet högttemperaturegenskaper.

Standarden för denna typ av segjärn är **SS-EN 16124:2011**.

Det finns nio standardiserade segjärn med olika kisel- och molybdennivåer i intervallet cirka 2,5 – 5 procent kisel och cirka 0,5 – 1 procent molybden, se tabellen nedan. Typiska användningsområden för de tre första kvaliteterna i tabellen är medelstort till tyngre gjutgods, exempelvis turbinhus och kompressordelar. De övriga sex kvaliteterna används huvudsakligen för avgasgrenrör och turbodelar till bilar.

Tabell 19. Mekaniska egenskaper hos ferritiska låglegerade segjärn enligt SS-EN 16124:2011.

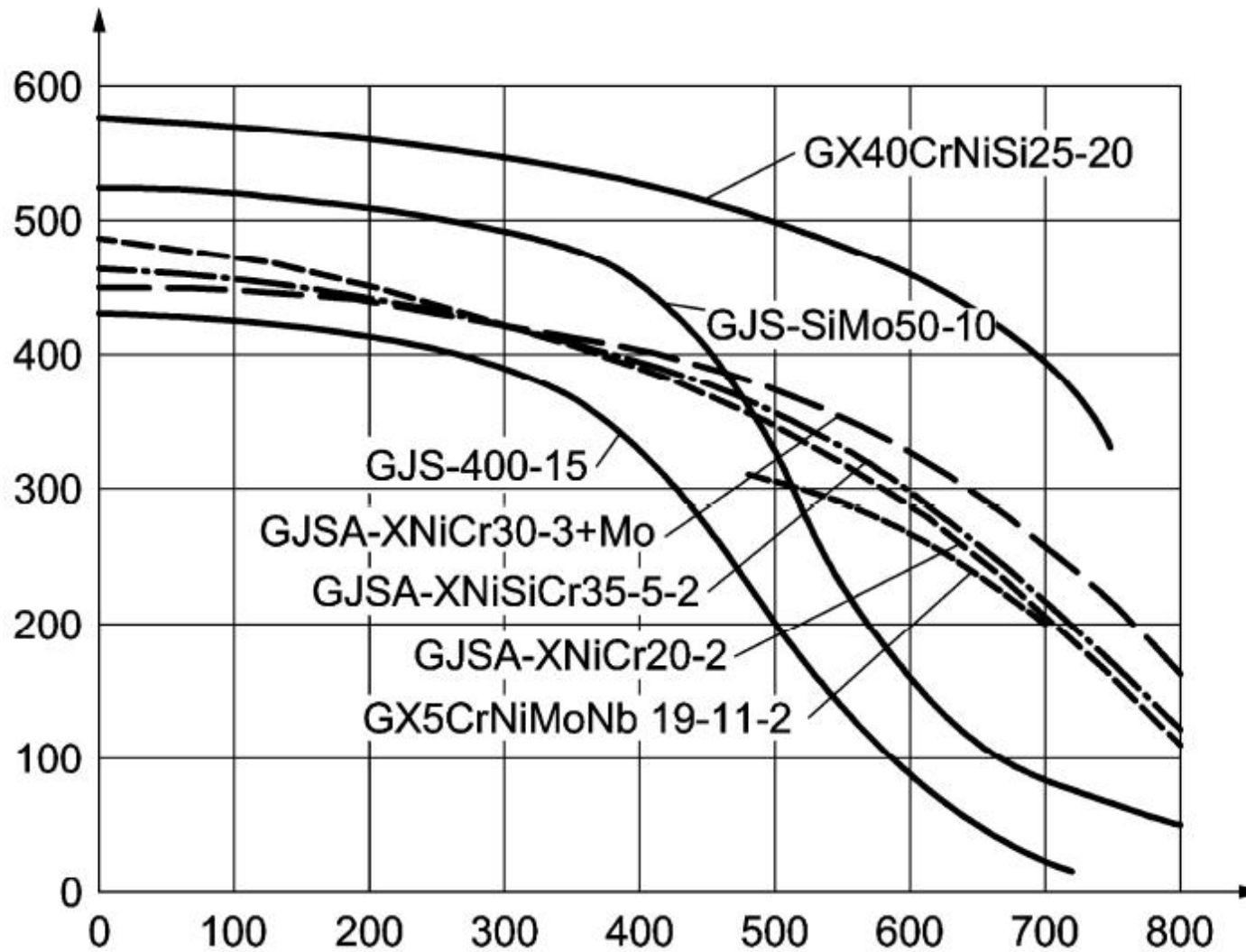
Material-beteckning	Rp _{0,2} (MPa)	R _m (MPa)	A (%)	HBW
	Min.	Min.	Min.	1)
EN-GJS-SiMo25-5	2)	2)	2)	140-210 ²⁾
EN-GJS- SiMo30-7	2)	2)	2)	150-220 ²⁾
EN-GJS- SiMo35-5	2)	2)	2)	160-230 ²⁾
EN-GJS- SiMo40-6	380	480	8	190-240
EN-GJS- SiMo40-10	400	510	6	190-240
EN-GJS- SiMo45-6	420	520	7	200-250
EN-GJS- SiMo45-10	460	550	5	200-250
EN-GJS- SiMo50-6	480	580	4	210-260
EN-GJS- SiMo50-10	500	600	3	210-260

Mätningar är utförda vid rumstemperatur på provstavar bearbetade från gjutna provstavsämnen. Storleken på provstavsämnet skall vara ≤ 30 mm. Andra krav och storlek på provstavsämne eller prov från gjutgodset kräver särskild överenskommelse.

Endast värden för information och för relevant vägg tjocklek $30 < t \leq 60$ mm. Med relevant vägg tjocklek avses den sektionen av gjutgodset till vilken de bestämda mekaniska egenskaperna ska tillämpas.

1) Värden för information, mätt på gjutgodset

I figuren nedan jämförs ett SiMo-material (GJS-SiMo50-10) med konventionellt ferritiskt segjärn (GJS-400-15), austenitiskt segjärn och två stål. Austenitiskt segjärn och stål har den bästa hållfastheten vid de höga temperaturerna.



Figur 46. Inverkan av temperaturen på brottgränsen för olika ferritiska lålegerade och austenitiska segjärn samt två stål. Y-axeln visar R_m (MPa) och x-axeln temperaturen.

3.4.4 Ausferritiskt segjärn

Ausferritiskt segjärn (tidigare benämnt bainitiskt segjärn) är mest känt under beteckningen ADI (Austempered Ductile Iron).

Standarden för ausferritiskt segjärn är **SS-EN 1564:2011**.

Materialet kännetecknas av hög hållfasthet, som överstiger egenskaperna i perlitiskt segjärn. Speciellt gäller detta för utmattningshållfastheten, som är i det närmaste dubbelt så hög som i konventionellt segjärn (gäller oanvisade provstavar). Anmärkningsvärd är även brottsegheten, K_{IC} , hos ausferritiskt segjärn, som vid samma draghållfasthet är dubbelt så hög som i konventionellt segjärn.

Ausferritiskt segjärn har en god nötningsbeständighet, som är väsentligt bättre än hos konventionellt segjärn. Genom den smörjande verkan som grafiten ger är skärbarheten hos ausferritiskt segjärn väsentligt bättre än för seghärdat stål.

I den svenska standarden SS-EN 1564:2011 ingår fem ausferritiska segjärn (se tabellen), som är definierade av de mekaniska egenskaperna uppmätta på provstavar bearbetade från gjutna provstavsämnen. I standarden ingår även två nötningsbeständiga segjärn, som är definierade av Brinellhårddheten. Dessa segjärn används i produkter där högt nötningsmotstånd krävs. Exempel på detta är inom gruvindustrin och vid markarbeten.

Tabell 20. Mekaniska egenskaper hos ausferritiskt segjärn enligt SS-EN 1564:2011.

Material-beteckning	R _{p0,2} (MPa)	R _m (MPa)	A (%)	HBW
	Min.	Min.	Min.	1)
EN-GJS-800-10	500	750	6	250-310
EN-GJS-900-8	600	850	5	280-340
EN-GJS-1050-6	700	1000	4	320-380
EN-GJS-1200-3	850	1170	2	340-320
EN-GJS-1400-1	1100	-	-	380-480

Mätningarna är utförda på provstavar bearbetade från gjutna provstavsämnen. Storleken på provstavsämnet skall vara i överensstämmelse med den aktuella väggjocklek på gjutgodset för vilket de mekaniska egenskaperna gäller.

Angivna värdena gäller endast för relevant väggjocklek $30 < t \leq 60$ mm. Med relevant väggjocklek avses den sektionen av gjutgodset till vilken de bestämda mekaniska egenskaperna ska tillämpas. Ytterligare relevanta tjockleksintervall är: $t \leq 30$ och $60 \leq t < 100$ mm.

1) Hårdhetsintervall för information.

Tabell 21. Hårdhetskrav hos nötningsbeständig ausferritiskt segjärn enligt SS-EN 1564:2011. Hårdheten mätt på gjutgodset eller efter särskild överenskommelse på en Brinellvärta eller vidgjutet block.

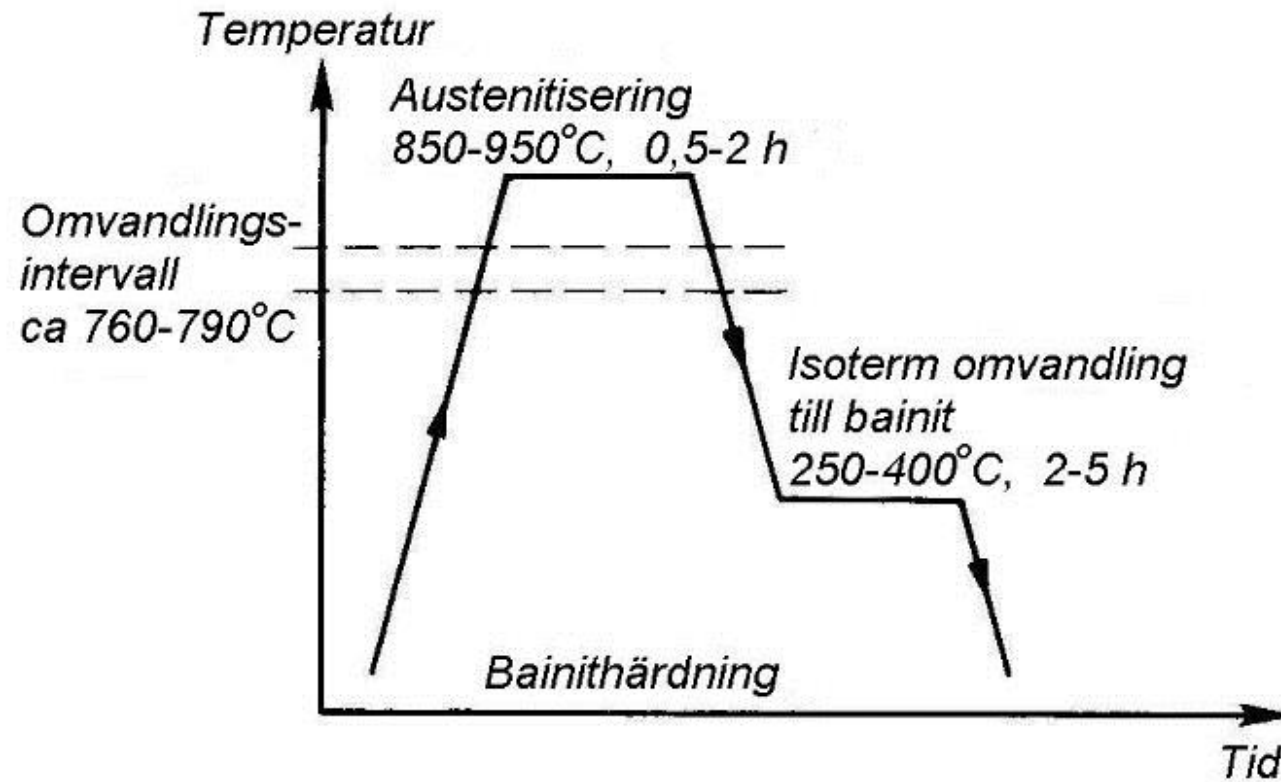
Material- beteckning	HBW Min. ¹⁾	Övriga egenskaper ²⁾		
		R _{p0,2} (MPa)	R _m (MPa)	A (%)
EN-GJS-HB400	400	1100	1400	1
EN-GJS-HB450	450	1300	1600	-

¹⁾ Tillverkare och köpare kan komma överens om maximum Brinellhårdhet.

²⁾ Endast för information.

Framställning av ausferritiskt segjärn

De mekaniska egenskaperna hos ausferritiskt segjärn styrs av grundmassans typ och sammansättning, som nås genom en särskild värmebehandlingsoperation/härdningsprocess. Först hålls materialet vid 850 – 950 °C (austenisering) under så lång tid så att austeniten mättas på kol. Vid denna temperatur skall en fullständig austenisering av grundmassan ske. Från austeniseringstemperaturen kyls materialet (svalningshastigheten måste vara tillräckligt hög för att undvika att perlit bildas). Kylning sker till 250 – 400 °C, där det normalt hålls – i två till fem timmar beroende på önskade egenskaper. Austeniten omvandlas då helt eller delvis till ausferrit. Efter denna s.k. isoterma omvandling, som vanligen utförs i saltbad eller vid låga temperaturer i varm olja, sker svalning till rumstemperatur.

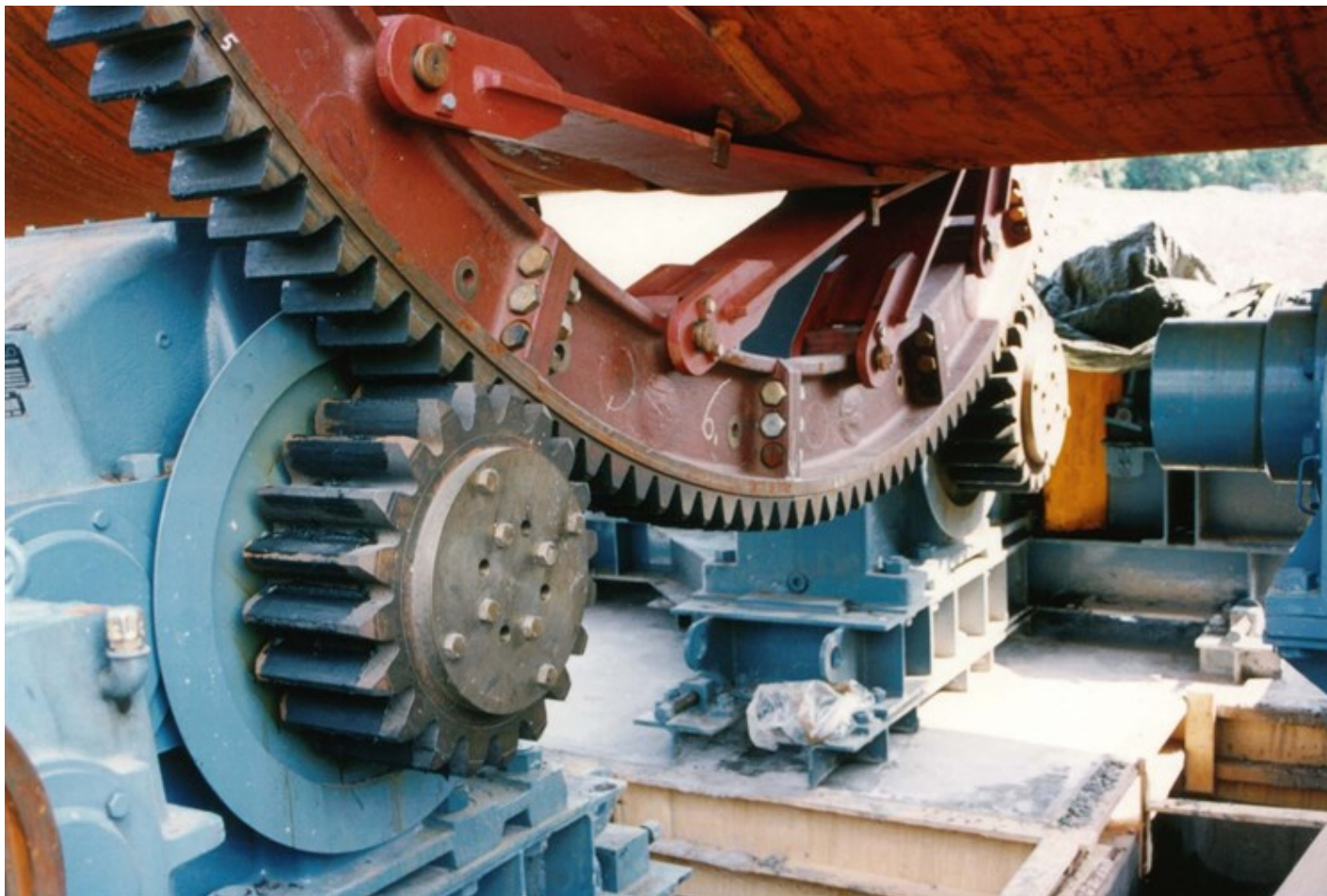


Figur 47. Exempel på värmebehandlingscykel för ausferritiskt segjärn.

Ett ausferritiskt segjärn kan även erhållas i gjuttillståndet, det vill säga utan värmebehandling. Därvid krävs dock relativt stor legeringstillsats av molybden och/eller nickel, speciellt vid gjutgods med grova godstjocklekar. Vidare krävs att svalningsbetingelserna är lika från gång till gång för att erhålla jämna egenskaper.

Ausferritiskt segjärn kan inte användas vid förhöjda temperaturer, eftersom ej omvandlad austenit i strukturen bildar ferrit och järnkarbid. Materialet försprödas vid temperaturer över 300 – 350°C. Materialet bör därför inte användas vid temperaturer över 200 – 250°C vid högre belastning. Ausferritiskt segjärn behåller sin seghet ner till -40°C, under kortare tid ner till -100°C.

De goda hållfasthetsegenskaperna hos ausferritiskt segjärn tillsammans med goda buller- och vibrationsdämpande egenskaper jämfört med stål innebär att det i flera avseenden kan mäta sig med kvalificerat konstruktionsstål. Typiska användningsområden för ausferritiskt segjärn är kugghjul, snäckhjul, kranhjul, pumphus och pumphjul. Sammanfattningsvis handlar det om detaljer som utsätts för höga krav med avseende på dynamisk hållfasthet och nötningsbeständighet. Denna typ av maskinelement kan bearbetas i värmebehandlat tillstånd och behöver ej ythärdas efter bearbetning. I figurerna nedan ges några exempel.



Figur 48. Kugghjul tillverkade i ausferritiskt segjärn GJS-1050-6. Godsvikter: De små kugghjulen väger 200 – 900 kg beroende på storlek. Det stora segmentdelade kugghjulet väger 400 – 900 kg per segment (Componenta).

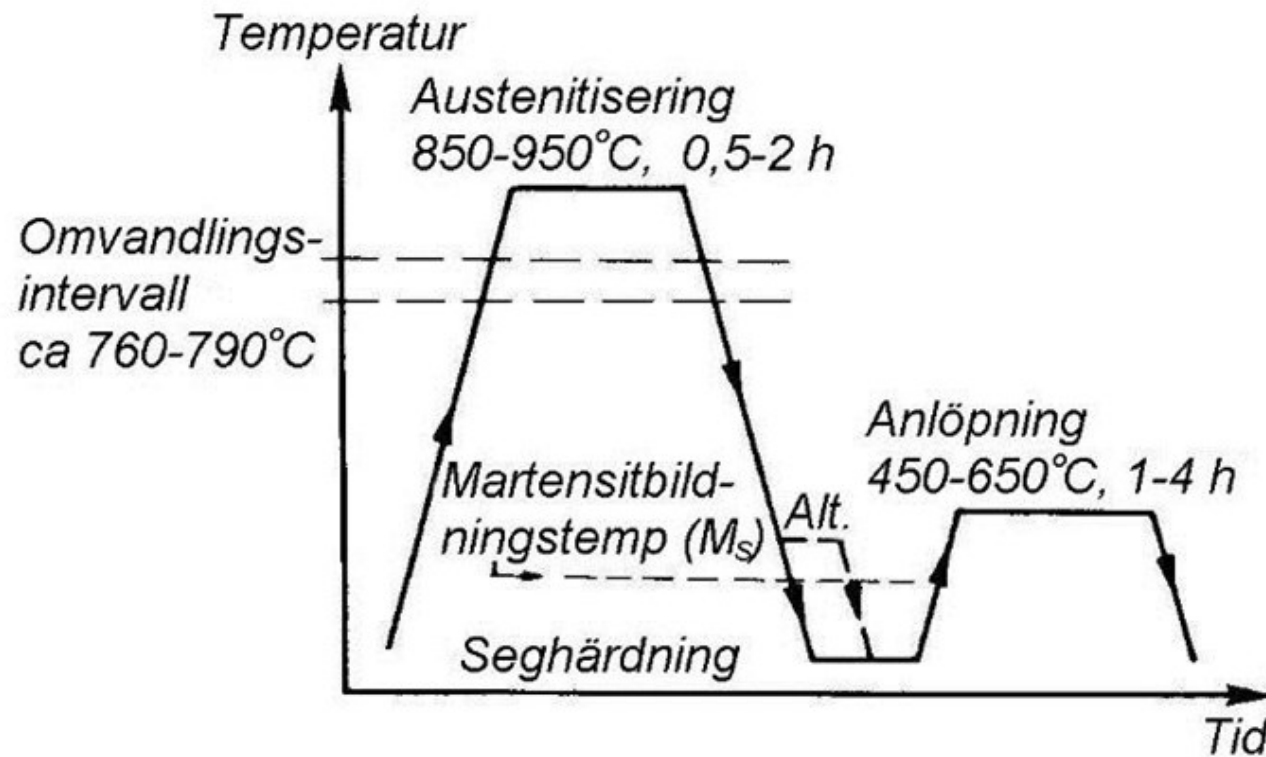


Figur 49. Trämatarhjul tillverkat i koppar- och molybdenlegerat ausferritiskt segjärn GJS-1050-6. Godsvikt: 13 kg (Componenta).

3.4.5 Seghärdat segjärn

Användningsområdet för seghärdat segjärn är till stor del detsamma som för ausferritiskt segjärn, men tillverkningsprocessen skiljer sig åt.

Vid framställning av seghärdat segjärn får materialet på samma sätt som vid framställning av ausferritiskt segjärn genomgå en austenitisering vid 850 – 950°C. Materialet snabbkyls därefter vanligen i vatten eller olja till rumstemperatur eller något förhöjd temperatur. Austeniten omvandlas härvid till martensit med inslag av restaustenit. I detta tillstånd är segjärnet hårt och sprött (500 – 550 HB). För att ett segare material skall åstadkommas görs en anlöpning. Denna innebär att segjärnet under några timmar hålls i temperaturintervallet 450 – 650°C beroende på önskade egenskaper.



Figur 50. Värmebehandlingscykel för seghårdning.

För att reducera sprickrisken och formförändringar förekommer ibland kylning i flera etapper, så kallad etapphårdning. Därigenom utjämnas de spänningar som uppkommer vid kylning och strukturomvandling. Motsvarande sprickrisk föreligger ej vid bainithårdning i samband med framställning av bainitiskt segjärn.

3.4.6 Segjärnsbehandling

Som nämnts tidigare framställs segjärn genom inlegering av låga halter av magnesium i gjutjärnsmältan.

Vanligaste magnesiumbaslegeringen i Sverige är **FeSiMg** med ungefär fem till sex procent magnesium och mindre mängder kalcium och aluminium. Vissa legeringar kan erhållas med mindre mängder cerium och andra sällsynta jordartsmetaller.

För att undvika oönskade reaktionsprodukter med magnesium, till exempel magnesiumsulfid (MgS), skall svavelhalten i basjärnet vid segjärnsbehandlingen vara så låg som möjligt.

Normalt ligger den eftersträvade magnesiumhalten i det färdiga gjutgodset i intervallet 0,03 – 0,06 procent. Det lägsta värdet gäller för snabbt stelnade tunna sektioner. Slutmagnesiumhalten är beroende av den avklingning som sker från avslutad magnesiumbehandling till dess att detaljen gjutits. Om magnesiumhalten blir för hög kan smältan bli trögflytande samt ge karbider.

För magnesiumtillsatsen och själva segjärnsbehandlingen, finns flera olika metoder tillgängliga. I Sverige är idag de vanligaste metoderna sandwichmetoden och skänklöcksmetoden. Vid tillverkning av kompaktgrafitjärn är trådinjektionsmetoden vanligast. Tabellen nedan ger en översikt över vanliga metoder som finns tillgängliga och som förekommer i olika länder.

Tabell 22. Segjärnsbehandlingsmetoder

Metod	Mg-legering (% Mg)	Utbyte i procent	Fördelar	Nackdelar
<p>Sandwichmetoden</p> <p>Smälta hålls i en öppen skänk, i vilken magnesiumlegeringen placerats i en fördjupning i botten skyddad med ståklipp</p>	FeSiMg (5 - 6)	40 - 50	Enkel. Användbar för olika skänkstorlekar	Livlig reaktion. Kraftig rökutveckling. Fordrar basjärn med låg kiselhalt.
<p>Skänklöcksmetoden</p> <p>Som Sandwich men med speciellt lock.</p>	FeSiMg (5 - 6)	50-70	Högt utbyte Mindre slagg Mindre temperaturförluster. Bra ur arbetsmiljösynpunkt.	Locket kräver extra hantering Fordrar basjärn med låg Si-halt.
Gasomröring				

Mg-legeringen tillförs badytan. Omrörning sker via porös plugg med Ar eller N (vanligast)	FeSiMg (3 - 10)	40-50	Användbar för avsvavling och uppkolning	Stor temperaturförlust Fordrar basjärn med låg S-halt
Dykklocka Mg-legeringen trycks ner i smältan med hjälp av en dykklocka	FeSiMg (3-10) Mg-koks ¹⁾ (45) MgSi(10-30) ²⁾ Mg	50-60 35-50 40-50 40-50	Flera olika noduliseringsmedel kan användas Ingen begränsning i basjärnets Si-halt då Mg-koks och Mg används	Stora underhållskostnader
Genomströmning (Flotret, Imconod, Sigmat) Behandling sker då basjärnet strömmar förbi Mg-legeringen i en speciellt utformad box	FeSiMg (3-5)	40-50	Bra arbetsmiljö	Licenskostnad. Fordrar basjärn med låg Si-halt

<p>Konverter</p> <p>Behandling sker med rent magnesium (+GF+) eller FeSiMg (INITEK)</p>	<p>+GF+:</p> <p>100 % Mg</p> <p>INITEK:</p> <p>FeSiMg</p> <p>(5-10)</p>	<p>50-70</p> <p>80-95</p>	<p>Basjärn med hög Si-halt och S-halt kan användas (+GF+)</p>	<p>Långsam.</p> <p>Kraftig reaktion (+GF+)</p>
<p>Inmold</p> <p>Behandling sker då basjärnet strömmar förbi noduliseringsmedlet i en kammare i gjutformen</p>	<p>FeSiMg</p> <p>(5-10)</p>	<p>70-85</p>	<p>Bra arbetsmiljö</p> <p>Ingen efterrympning</p> <p>Liten temperaturförlust</p> <p>Kan automatiseras</p>	<p>Kräver noggrann övervakning av S-halt och struktur.</p> <p>Godsutbytet kan bli lågt.</p>
<p>Lansinjektion</p> <p>Mg-legering i form av pulver tillförs smältan med hjälp av en bärgas (N₂) och en lans</p>	<p>FeSiMg</p> <p>(5-15)</p> <p>Mg+grafit</p>	<p>50-65</p> <p>50-65</p>	<p>Kan kombineras med avsvavling, uppkolning etc.</p> <p>Flexibel för olika behandlingsstorlekar</p>	<p>Långsam</p> <p>Kraftig reaktion</p> <p>Kostnaden beror på lanslivslängd och pris. Ökade temperaturförluster.</p> <p>Kostnad för utrustning</p>
<p>Trådinjektion</p>				

Noduliseringsmedlet tillförs smältan via en Mg- innehållande tråd	FeSiMg	ca 70	Segjärn och kompaktgrafitjärn kan framställas direkt vid gjutning. Hög reproducerbarhet. Bra arbetsmiljö	Kraftig reaktion Extra kostnad för utrustning
	(5-15) MgFe (15)	ca 70		

1) Mg-impregnerad koks

2) Järnbriketter med Mg och Si

De viktigaste faktorerna som påverkar behandlingsresultatet är:

- Svavelhalten i basjärnet
- Typ av kvalitet i tråden (gäller trådmatning)
- Geometrin hos behandlingsskänken
- Behandlingstemperatur
- Matningshastighet/Behandlingstid (gäller trådmatning)
- Utformning och placering av behandlingsenheten

Vid val av behandlingsmetod bör bland annat följande beaktas:

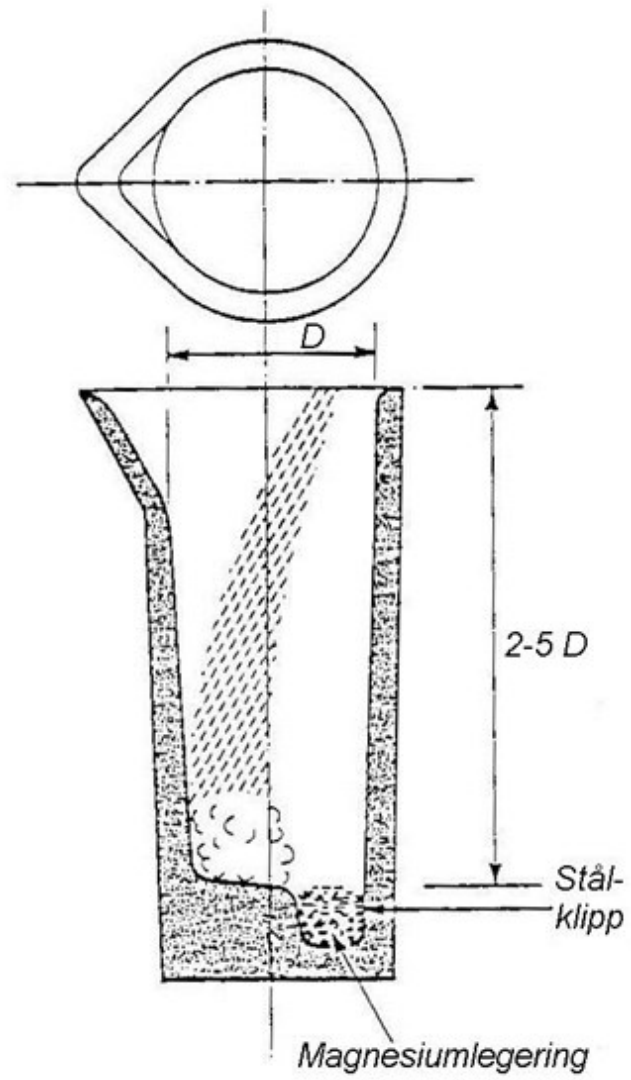
- Vikt och antal detaljer som skall produceras
- Behandlingsstorlek
- Tillgängligt golvutrymme
- Kapacitetsbehov
- Automatiseringsbehov
- Smält- och varmhållningsugnar
- Fordringar och specifikationer på tillverkad produkt
- Miljökrav
- Kostnader

De vanligaste metoderna beskrivs i det följande.

Sandwichmetoden

Vid tillverkning av stora tonnage segjärn är Sandwichmetoden (**Figur 50**) den vanligaste.

Magnesiumlegeringen placeras i botten av skänken och skyddas med fint ståklipp för att fördröja starten på reaktionen. Ståklippsandelen är ungefär två procent av behandlingsmängden. En del av ympmedlet brukar läggas tillsammans med magnesiumlegeringen. Vanligen används magnesiumlegeringar med fem till sex procentmagnesium och resten järn och kisel. Skänkens höjd är vanligen två gånger diametern eller högre.

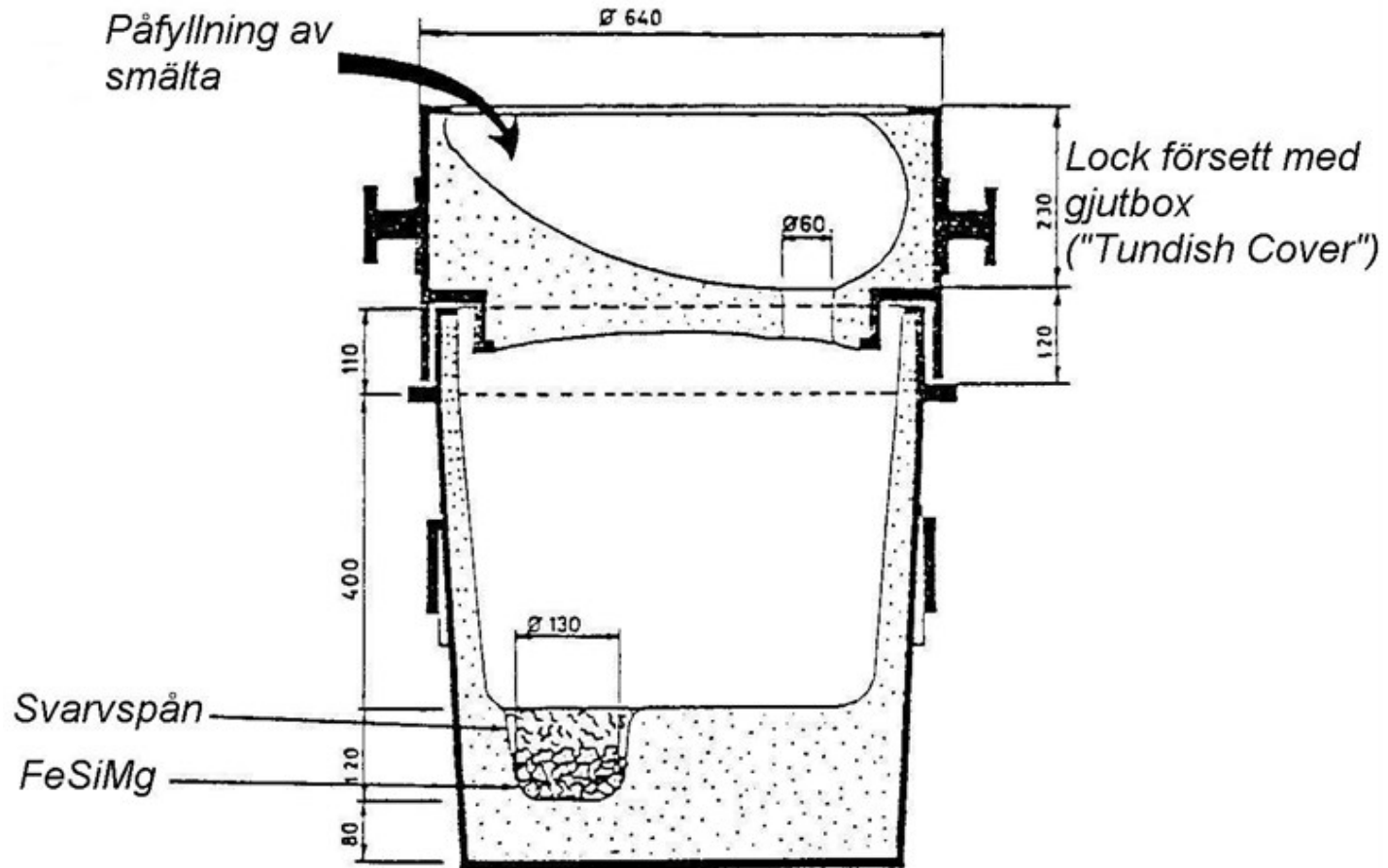


Figur 51. Sandwichmetoden.

Skänklöcksmetoden (Tundish Cover)

Skänklöcksmetoden innebär att behandlingen utförs i en skänk med ett speciellt utformat lock. Denna metod är den mest använda vid behandling av segjärn i skänk. Metoden beskrevs första gången 1976 i en QIT bok "Ductile Iron I Production". Jämfört med sandwichmetoden ger den följande fördelar:

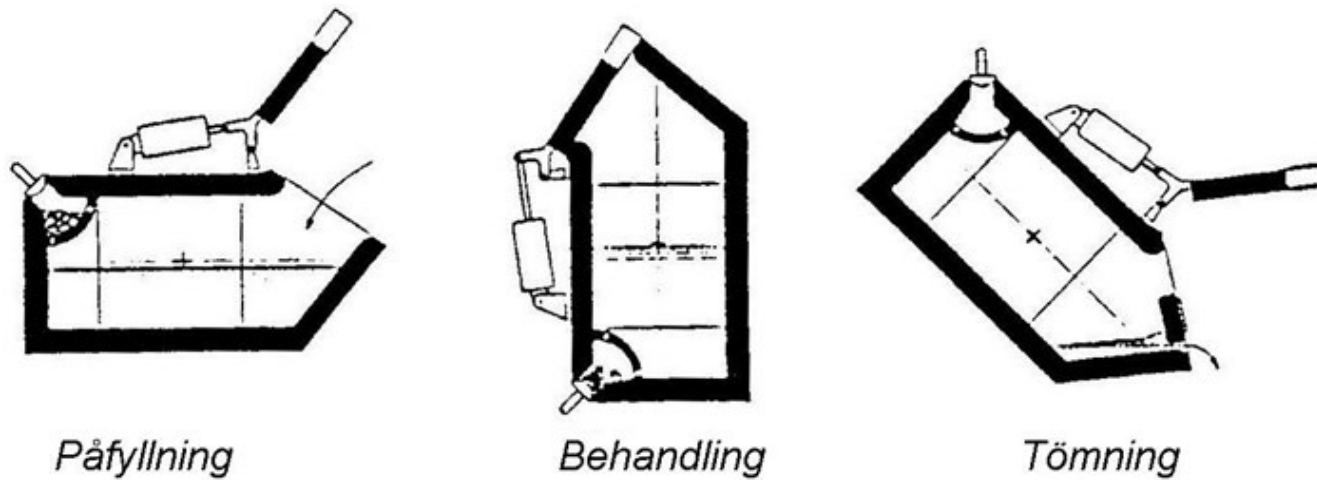
- Högre magnesiumutbyte
- Jämnare magnesiumutbyte
- Reducerad slaggbildning
- Mindre temperaturförluster
- Mindre rök- och ljusutveckling från magnesiumoxid.
- Bättre arbetsmiljö



Figur 52. Behandlingskänk typ "Tundish Cover" med 500 kg behandlingstorlek.

Konverter

Behandlingskärlet (konvertern) har en cylindrisk form och är vridbart kring en axel (**Figur 52**). I botten mot sidoväggen finns en reaktionskammare, som har en öppning genom konverterväggen. I kammaren placeras tackor innehållande 100 procent magnesium. Reaktionen med smältan sker genom de hål som finns i kammaren då konvertern är i vertikalt läge. Relativt höga magnesiumutbyten erhålls. Bassmältan kan tillåtas hålla förhållandevis hög svavel- och kiselhalt.

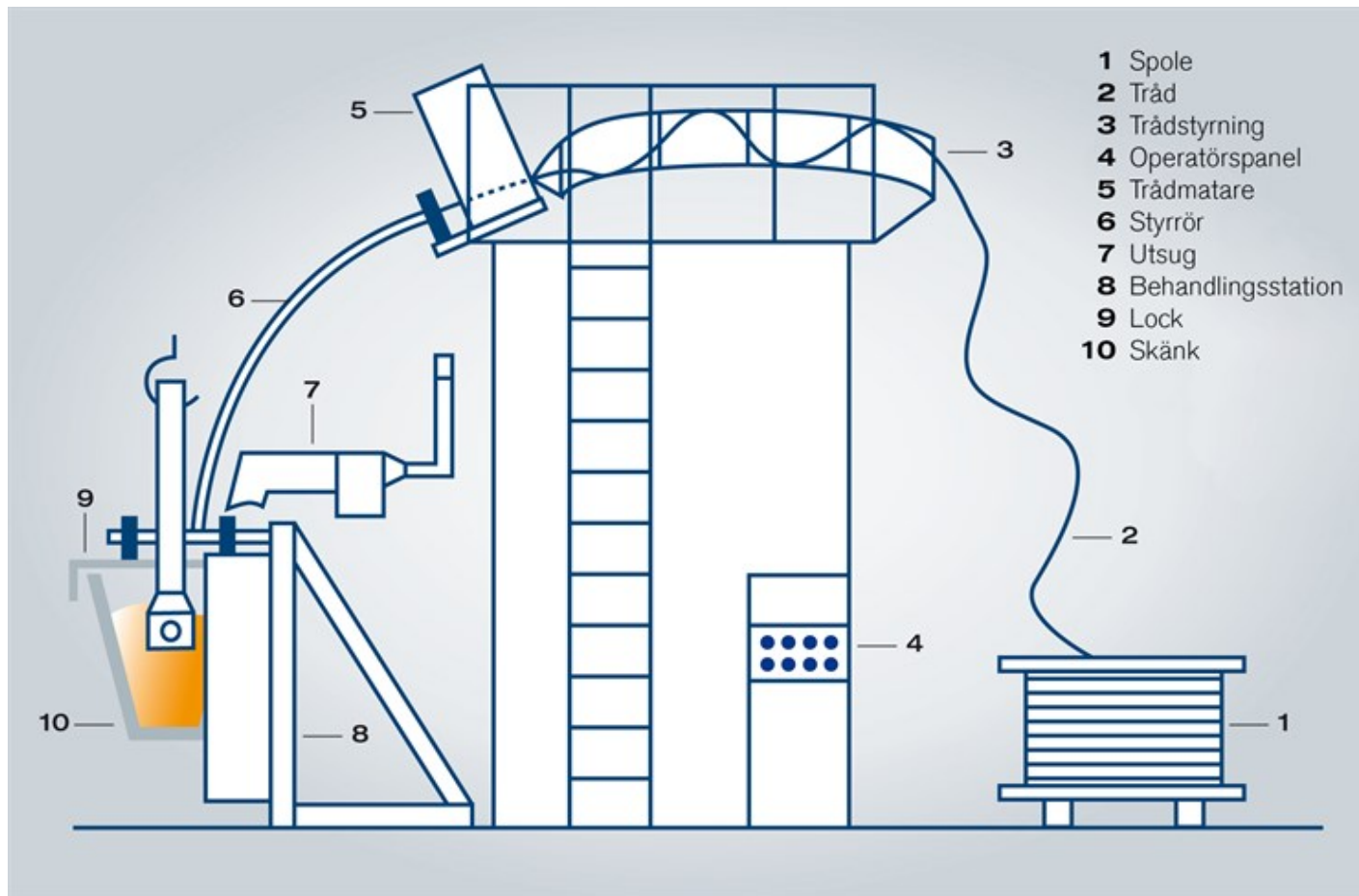


Figur 53. Konvertermetoden enligt +GF+.

Figur 54. Segjärnsbehandling enligt INITEK-metoden i tre steg (Roseco).

Trådinjektion

Vid trådinjektion är Mg-legeringen innesluten i en tråd i form av ett rör. Typiska rördiametrar är 9 till 13 millimeter. Tråden levereras fylld med legeringen i rullar ofta innehållande flera tusen meter tråd. Tråden matas med drivna rullar ner i smältan med en styrd hastighet. Leverantörer av tråd för segjärnsbehandling erbjuder normalt en rad olika legeringar, vanligtvis uppbyggda av finkornigt granulat av magnesium eller magnesiumlegeringar. Denna teknik är vanlig vid tillverkning av kompaktgrafitjärn och kombineras då ofta med trådympning.



- 1 Spole
- 2 Tråd
- 3 Trådstyrning
- 4 Operatörspanel
- 5 Trådmatare
- 6 Styrrör
- 7 Utsug
- 8 Behandlingsstation
- 9 Lock
- 10 Skänk

Figur 55. *Segjärnsbehandling med tråd.*

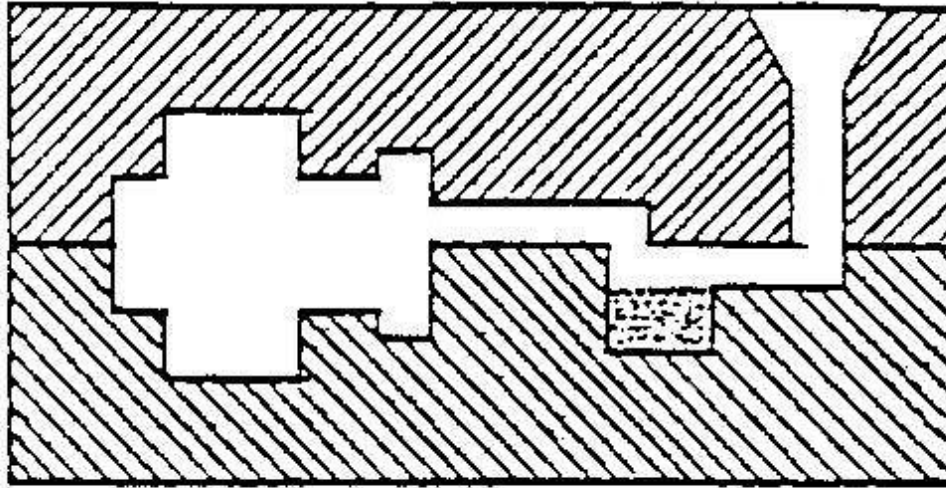
Inmold

Inmoldmetoden skiljer sig från de tidigare beskrivna metoderna genom att behandlingen sker i gjutformen (**Figur 55**). Metoden används främst i gjuterier som tillverkar segjärnsgjutgods i långa serier.

En FeSiMg-legering placeras i en reaktionskammare i formen. Att så sker kontrolleras vanligtvis med en fotocell. Metoden uppges ge följande fördelar jämfört med konventionella metoder:

- Bättre magnesiumutbyte.
- Ingen avklingningseffekt.
- Mindre tendens till cementitbildning.
- Magnesiumhalten kan styras för att passa ett visst gjutstycke.
- Bättre arbetsmiljö genom reducerad mängd magnesiumrök.

För att fullgott resultat skall uppnås med metoden krävs bland annat korrekt utformat gjutsystem samt en väl avpassad gjuthastighet.



Figur 56. *Inmoldmetoden.*

Injektionsmetoden

Ytterligare en teknik för att föra in magnesium i smältan är genom injektion. Detta sker genom att ett pulver som innehåller magnesium förs in i smältan via en speciellt utformad lans. Bärgas är vanligtvis kväve. Metodens användning är okänd.