**Gjutjärn.**

Författare**: *Bengt Högrelius***

**Produktionshistoria**.

Föremål gjorda av gjutjärn har tillverkats i mer än 2000 år i Kina. Detta gjutjärn tillverkades i primitiva masugnar. Hur denna teknik överfördes till Europa är inte känt men i Sverige producerades grått gjutjärn redan på medeltiden i en mindre industriell skala. Detta skedde i masugnar byggda omkring år 900 – 1000.



Fullskalerekonstruktion av medeltida masugn. Nya Lapphyttan

Foto av Kenneth Sundh, Fagersta ©

Tillförlitlig statistik som visar siffror rörande gjutjärnstillverkning från denna tid saknas i räkenskaperna. I en beskrivning av tackjärnsproduktionen vid Kroppa hytta i Värmland från år 1610 framgår att produktion av tackjärn pågick i 28 veckor och 4 dagar och då tillverkades följande:

Tackjärn 15466 skpd

Stekpannor 31 skpd

Grytor 16,5 skpd

Städ 6 skpd

Kamindetaljer 2,5 skpd

Vikter 2 skpd

Ugnsdetaljer 4,5 skpd

Härdplåtar 3203 skpd

1 skeppund tackjärnsvikt = 194,5 kg.

Fram till början av 1700-talet användes huvuddelen av det tillverkade gjutjärnet bestående av hushållsgods, kaminer och spishällar. Även om lokalt gjutet järn var en stor del av produktionen, så var det dock bara en biprodukt till det mer betydelsefulla tackjärnet.

Brist på trä – och därmed träkol – ledde i slutet av 1600-talet i England till försök att ersätta träkolet mot stenkol i masugnarna. År 1709 lyckades en engelsk masugnsägare vid namn Abraham Darby att tillverka koks. Därigenom lade han grunden till järntillverkning med fossila bränslen. I början hölls metoden hemlig, för att det tillverkade tackjärnet var fullständigt oanvändbart som råmaterial för tillverkning av smidbart järn. I början var den enda användningen av detta stenkolstackjärn att framställa gjutgods av allehanda slag. Det fick till följd att gjutgodskonsumtionen ökade mycket snabbt. Billigt gjutgods började användas i en lång räcka av produkter, som tidigare hade tillverkats av dyrt smide

Nästa stora steg framåt för gjutjärn kom med industrialismen under 1800-talet. Maskiner och maskindelar började produceras av gjutjärn. Med framväxten av bilindustrin i början av 1900-talet kom sedan den verkligt stora expansionen.

Även om antalet gjuterier har minskat under några årtionden, så har gjutjärnsproduktionen fortsatt att öka, så att den totala produktionsvolymen i dag (1999) ligger på dryga 50 miljoner ton.

**Gjutgodsvarianter.**

**Grått gjutjärn.**

Gjutjärn som stelnar under utskiljande av grafit kallas för gråjärn beroende på att brottytan ser grå ut vilket orsakas av att man ser den fria grafiten. Typisk struktur framgår av bilden nedan.



GG25 Grafitflak i en perlitisk matris 100 x

Inom gråjärnsområdet finns ett stort antal sorter. Nomenklaturen för dessa sorter skiljer sig från land till land. I varje enskilt fall är standarden baserad på styrka och hårdhet, som är relaterad till järnets mikrostruktur. Denna är i sin tur relaterad till den kemiska sammansättningen. Sålunda, kunskap om sammansättningen medför kunskap om mikrostruktur eller de mekaniska egenskaperna. För att kunna göra ett sådant antagande måste man också veta något om orenheter, dimensioner i olika sektioner hos komponenten men även svalningshastighet och värmebehandling.

I all gråjärnssorter finns fri grafit i form av flak i olika storlek och fördelning. Snabbt stelnande ger ett gråjärn med för mycket cementit. Upp till en eller två procent cementit finns i alla gråjärn. Långsamt stelnande av ett gråjärn med hög halt av kol och kisel resulterar i en matris som innehåller stora mängder med fri ferrit och stora grafitflak. I nedanstående tabell beskrivs mikrostrukturen för en gjuten provstav med diameter 30 mm. Provstaven har fått svalna i formen till en temperatur strax under 500 °C och därefter fritt.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **SS** | **DIN** | **ASTM** | **CE** | **C** | **Si** | **Mn** | **P** | **S** | **Mikro-** | **Rm** | **HB** |
|  | **1691** | **A48-76** | **%** | **%** | **%** | **%** | **%** | **%** | **struktur** | **MPa** |  |
| 01 00 | GG00 | - |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 01 10 | GG10 | 20B | 4,3-4,7 | 3,5-3,8 | 2,8-2,2 | 0,4-0,8 |  |  | Ferr/Perl | (100) | (100-180) |
| 01 15 | GG15 | 25B | 4,1-4,5 | 3,4-3,7 | 2,6-2,0 | 0,5-0,8 | <0,50 | <0,15 | Ferr/Perl | 150-250 | (130)-190 |
| 01 20 | GG20 | 30B | 3,9-4,2 | 3,3-3,6 | 2,4-1,8 | 0,6-0,8 | <0,35 | <0,15 | Ferr/Perl | 200-300 | (160)-210 |
| 01 25 | GG25 | 35B/40B | 3,7-4,0 | 3,2-3,5 | 2,1-1,5 | 0,6-0,8 | <0,25 | <0,15 | Perlit | 250-350 | (180)-230 |
| 01 30 | GG30 | 45B | 3,5-3,7 | 3,1-3,3 | 1,8-1,3 | 0,7-0,9 | <0,15 | <0,10 | Perlit | 300-400 | (200)-250 |
| 01 35 | GG35 | 50B | 3,3-3,5 | 3,0-3,2 | 1,5-1,1 | 0,8-1,0 | <0,10 | <0,10 | Perlit | 350-450 | (220)-260 |
| 01 40 | GG40 | 60B |  |  |  |  |  |  | Perlit | 400-500 |  |

Kolekvivalent *CE* = 

C= kol, Si= kisel, Mn= mangan, P= fosfor, S= svavel

Styrkan och hårdheten kan förbättras genom att tillsätta Mn, Cr, Ni, V eller Cu.

Ur bearbetbarhetssynpunkt är mikrostrukturen, som nästan är helt i överensstämmelse med hårdheten, helt dominant.

Det är mängden, storleken och fördelningen av grafitflaken och den lamellära perliten, som bestämmer gråjärnets styrka och hårdhet. Legeringsämnen såsom C, Mn, S och Si/Mn förbättrar bearbetbarheten. Elementen Mo, Mn, Cr och P har motsatt effekt med Mo som det värsta och P som det bästa. Om mängden fri ferrit är under 5 % kan CBN användas vid bearbetningen. CBN= kubisk bornitrid

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Struktur-** | **% C** | **Rm** |  **Hårdhet** |
| **beståndsdel** |  | **MPa** |  |
| Cementit | 6,67 | - |  > 67 Rc |
| Ferrit | <0,06 | ≈ 295 |  ≈ 90 HB |
| Lamellär perlit | 0,85 | ≈ 930 |  ≈ 275 HB |
| Sfäroidiserad cementit | Varierar | - |  100-200 HB |
| Austenit | 0-1,7 | - |  - |
| Martensit | Varierar | - |  ≤ 67 Rc |
| Bainit | Varierar | - |  40-60 Rc |
| Grafit | 100 | - |  < 30 HB |

I ovanstående tabell kan man utläsa att hårdheten hos ett olegerat gråjärn ska ha en hårdhet mellan 90 och 275 HB

**Segjärn.**

Segjärn (nodulärt gjutjärn) består i huvudsak av samma innehåll som grått gjutjärn. Kravet på renhet är högre i synnerhet vad beträffar svavelinnehållet, som måste hållas lågt. Grafiten i segjärn uppträder som små noduler.

För att nodulisera grafiten tillsätts en liten men bestämd mängd magnesium och/eller cerium till smältan alldeles före gjutningen. Som fallet med grått gjutjärn finns många nationella standarder för segjärn. Klassifikationen utgår från hållfastheten, som är relaterad till mikrostrukturen.

**Olegerat segjärn.**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **ISO****1083-1976** | **DIN****1693** | **ASTM****A536-80** | **SS** |  **Sfäroid.** **grafit** | **Ferrit-****innehållt** |  **Perlit-** **innehåll** | **Fri****cementit** | RmN/mm2 | HB |
| 370-17 | GGG 40 | 60-40-18 | 0717-02 | > 80 % | > 95 % | < 5 % | < 1 % | min 400 | min 135 |
| 500-7 | GGG 50 | 80-55-06 | 0727-02 | > 80 % | ≈ 50 % | ≈ 50 % | < 1 % | 500-720 | 170-230 |
| 600-3 | GGG 60 | 80-55-06 | 0732-03 | > 80 % | ≈ 35 % | ≈ 65 % | < 1 % | 600-820 | 200-260 |
| 700-2 | GGG 70 | 100-70-03 | 0737-01 | > 80 % | < 5 % | > 95 % | < 1 % | 700-960 | 230-300 |
| 800-2 | GGG 80 | 120-90-02 | - | > 80 % | Martensitiskt, släckt i olja, anlöpt | min 800 | min 245 |
| - | GGG 100 | - | 0747 | ≈ 100 % | Bainitiskt | n.a. | n.a. |
|  |  | Grade 1 |  | ≈ 100 % | Bainitiskt (ADI) | > 900 | 280-310 |
|  |  | Grade 2 |  | ≈ 100 % | Bainitiskt (ADI) | > 1000 | 300-350 |
|  |  | Grade 3/4 |  | ≈ 100 % | Bainitiskt (ADI) | > 1200 | 380-430 |



ADI Grade1 Kolnoduler i en bainitisk matris. 200 x



GGG60 Feritnoduler i en perlitisk matris. 100 x

I tabellen ovan kan man t. ex. se i ISO-specifikationen att draghållfastheten på min. 500 MPa och ett förlängningsvärde på minimum 7 %.

**Legerade segjärn.**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **ISO** | **DIN** | **ASTM** | **SS** | **Sfärroid.** | **Mikrostruktur** |
| **2892-73** | **1694** | **A439-80** |  | **grafit** |  |
| S-NiMn 13  | GGG NiMn 13 7 | - | 0772 | ≈ 100 % | Austenitiskt |
| S-NiCr 20 2 | GGG NiCr 20 2 | Type D-2 | 0776 | ≈ 100 % | Austenitiskt |

Bearbetbarheten hos segjärn är inte direkt relaterad till hårdheten. Hårdheten är bl. a. beroende av ingående legeringsämnen. För olegerade segjärn finns det ett direkt samband mellan hårdhet och perlitinnehåll. I detta fall är hårdheten en bra indikator på bearbetbarheten.

**Vitt gjutjärn.**

Gjutjärn där cementit skiljs ut istället för grafit under stelnandet kommer att uppvisa en vit brottyta istället för grå. Därför kallas gjutjärnet för vitt. Matrisen består av perlit och cementit. I stort sett alla kommersiellt gångbara varianter av vitt gjutjärn innehåller ganska höga halter av krom och/eller nickel.

**Legerat vitt gjutjärn**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **DIN** | **ASTM** | **SS** | **Mikrostruktur** |
| **1695** | **A439-80** |  |  |
| G-X 300 CrNiSi 9 5 2 | (Alloy 1 D) | 0457 | Järn-/kromkarbid i en martensitisk matris. |
| G-X 260 Cr 27 | (Alloy 111 A) | 0466 |  -”- |
| G-X 260 NiCr 42 |  Alloy 1 B | 0512 |  -”- |
| G-X 330 NiCr 42 |  Alloy 1 A | 0513 |  -”- |



 Vitt gjutjärn. Pearlit och cementit . 100 x

Beroende på hög hårdhet (>500 HB) bearbetas vitt gjutjärn med CBN eller keramiska verktyg.

Några allmänna noteringar om inflytandet av legeringselement på vitt gjutjärn.

Si Verkar som grafitbildare.

Mn Förbättrar mekaniska egenskaper. Minskar segheten och bearbetbarheten. Stabiliserar perlit.

Ni Förbättrar de mekaniska egenskaperna och härdbarheten. Reducerar perlitens kornstorlek.

Cu Perlitbildare. Förbättrar hållfastheten.

Mo Stabiliserar mikrostrukturen vid högre temperaturer.

Cr, Mo, Reducerar grafitseparation genom sina

W, V egenskaper som karbidbildare.

CE Kolekvivalenten för att bedöma stelningsegenskaperna.

 Gjutjärn med KE > 4,3 % har en tendens att skilja ut fri grafit.

 Gjutjärn med KE < 4,3 % har en tendens att bilda vitjärn dvs.

 gjutjärn utan fri grafit.

**Mikrostruktur**.

För att kunna studera mikrostrukturen i gjutjärn väljs en lämplig provbit som poleras och etsas. Det är nödvändigt att studera flera ställen på provbiten, eftersom det kan vara stora skillnader i olika delar. Både yta och centrala delar av provbiten måste undersökas

I mikroskopet ser man flera av beståndsdelarna, som kan vara grafit, perlit, kulgrafit, bainit, martensit och cementit.

I några fall kan man även hitta restaustenit.

**Grafit.**

Med undantag för vitt gjutjärn finns alltid fritt kol (grafit) i gjutjärn. Kolet kan uppträda i många olika former. Den vanligaste är som flak i grått gjutjärn, noduler i s.k. segjärn och som täta konglomerat /temperkol) i aducergods.

Grafitpartiklarnas storlek beror på svalningshastigheten, Långsam svalning medför korntillväxt, vilket resulterar i stora partiklar.

**Ferrit.**

Ferrit är mer eller mindre rent järn. Kisel, mangan och fosfor finns i form av fast lösning i ferritfasen. Ferrit är den mjukaste och segaste metalliska beståndsdelen i gjutjärn.

I mikroskopet ser ferriten silvervit ut.

Ett verktygs livslängd är vanligtvis bra i ferritiska material, dock kan ytbeskaffenheten vara mindre bra.

**Perlit.**

Perliten (pearlite) som fått sitt namn för sitt pärlemorliknande utseende i mikroskopet, består av omväxlande lameller av ferrit och cementit. Lamellernas storlek är beroende av svalningshastigheten. Långsam svalning ger korntillväxt och därmed grövre lameller.

I mikroskopet ser perliten mörk ut. Med högre förstoring kan man tydligt se lamellerna.

Bearbetbarheten hos perlitiskt gjutjärn är normalt bra, men påverkas av perlithalten och kornstorleken. Nötningen ökar med ökande perlithalt.

**Bainit.**

Med värmebehandling av ett normalt segjärn kan det ges en bainitisk struktur. Bainit har fått sitt namn av den amerikanske vetenskapsmannen Edgar Bain. Mikrostrukturen består mycket fina ferritnålar och cementit. Kommersiellt kallas detta gjutjärn för ADI vilket star för Austempered Ductile Iron. Jämfört med vanligt segjärn har det den dubbla styrkan vid jämförbara förlängningsvärden.

I mikroskopet ser bainit ut som grå filt. Vid högre förstoring kan man tydligt se ferritnålarna.

Bearbetbarheten är försämrad beroende på högre hällfasthet och finkornig struktur.

**Martensit**.

Perlitiskt segjärn kan ges martensitisk mikrostruktur med lämplig värmebehandling. Martensiten har fått sitt namn efter den tyske metallurgen Adolf Martens. Martensiten kan bildas i järn-kollegeringar med hög kolhalt och har formen av mycket små tetragonala stavar. En viss mängd restaustenit finns alltid kvar efter värmebehandlingen. Genom anlöpning kan hållfastheten varieras inom vida gränser.

I mikroskopet ser martensiten gråaktig ut. I stor förstoring kan man tydligt se kristallstrukturen.

Bearbetbarheten hos martensitiskt gjutjärn är ungefär densamma som hos martensitiska stål.

Fagersta juni 1999

Bengt Högrelius

-------------------------------------------------------------

**Tillägg, några använda akronymer och faktauttryck**

ASTM = American Society for Testing and Materials

DIN = Deutsches Institut für Normung

ISO = International Organization for Standardization

SS = svensk standard

Rm = brottgräns

MPa= megapascal, enhet för tryck eller mekanisk spänning

HB = brinellhårdhet

Skpd= skålpund, cirka 0,425 kg i Sverige

Austenit = järn med fast mellanrumslösning av kol upp till 2,06 %. Stabil vid hög temperatur

Cementit = järnkarbid, Fe3C, ca 6,7 % kol