



2011-007

Gjutna material – en kort översikt

Sten Farre

Swerea SWECAST AB
Box 2033, 550 02 Jönköping
Telefon 036 - 30 12 00
Telefax 036 - 16 68 66
swecast@swerea.se
<http://www.swereastwecast.se>

© 2018, Swerea SWECAST AB

Reviderat 2014-10-30

Reviderat 2014-05-12.

Reviderat 2013-10-01.

Reviderat 2012-03-01.

Innehållsförteckning

1	INLEDNING.....	4
2	MATERIALINDELNING AV GJUTNA MATERIAL.....	5
3	JÄMFÖRELSE AV GJUTNA MATERIAL.....	6
4	TILLVERKNINGSMETODER FÖR GJUTNA PRODUKTER.....	10
5	LEGERINGAR MED JÄRN OCH KOL SOM BAS.....	13
5.1	GJUTJÄRN.....	13
5.1.1	<i>Beteckningssystem för gjutjärn</i>	15
5.1.2	<i>Gråjärn</i>	16
5.1.2.1	Historia.....	16
5.1.2.2	Standardbeteckningar.....	17
5.1.2.3	Egenskaper.....	18
5.1.2.4	Användningsområden.....	18
5.1.3	<i>Aducerjärn</i>	19
5.1.3.1	Historia.....	19
5.1.3.2	Standardbeteckningar.....	19
5.1.3.3	Egenskaper.....	20
5.1.3.4	Användningsområden.....	20
5.1.4	<i>Segjärn</i>	21
5.1.4.1	Historia.....	21
5.1.4.2	Standardbeteckningar.....	21
5.1.4.3	Egenskaper.....	23
5.1.4.4	Användningsområden.....	24
5.1.5	<i>Kompaktgrafitjärn</i>	25
5.1.5.1	Historia.....	25
5.1.5.2	standardbeteckningar.....	26
5.1.5.3	Egenskaper.....	26
5.1.5.4	Användningsområden.....	27
5.1.6	<i>Vitjärn, legerat gjutjärn eller slitgods.</i>	27
5.1.6.1	Historia.....	27
5.1.6.2	Materialbeteckningar.....	28
5.1.6.3	Egenskaper.....	28
5.1.6.4	Användningsområden.....	29
5.2	STÅL.....	29
5.2.1	<i>Historia</i>	29
5.2.2	<i>Beteckningssystemet för stål</i>	31
5.2.3	<i>Materialbeteckningar och mekaniska egenskaper</i>	32
5.2.4	<i>Egenskaper</i>	37

5.2.5	<i>Användningsområden</i>	38
6	ICKE-JÄRNLEGERINGAR	39
6.1	TUNGMETALLER	39
6.1.1	<i>Koppar</i>	39
6.1.1.1	Historia	39
6.1.1.2	Beteckningssystemet för kopparlegeringar	42
6.1.1.3	Standardbeteckningar	43
6.1.1.4	Egenskaper	44
6.1.1.5	Användningsområden	44
6.1.2	<i>Zink</i>	45
6.1.2.1	Historia	45
6.1.2.2	Beteckningssystemet för zinklegeringar	45
6.1.2.3	Standardbeteckningar	46
6.1.2.4	Egenskaper	46
6.1.2.5	Användningsområden	47
6.1.3	<i>Bly</i>	47
6.1.3.1	Historia	47
6.1.3.2	Beteckningssystemet för blylegeringar	48
6.1.3.3	Egenskaper	48
6.1.3.4	Användningsområden	48
6.2	LÄTTMETALLER	48
6.2.1	<i>Aluminium</i>	48
6.2.1.1	Historia	48
6.2.1.2	Beteckningssystemet för aluminiumlegeringar	50
6.2.1.3	Standardbeteckningar	51
6.2.1.4	Egenskaper	52
6.2.1.5	Användningsområden	52
6.2.2	<i>Magnesium</i>	53
6.2.2.1	Historia	53
6.2.2.2	Beteckningssystemet för magnesiumlegeringar	53
6.2.2.3	Standardbeteckningar	54
6.2.2.4	Egenskaper	54
6.2.2.5	Användningsområden	55
6.2.3	<i>Titan</i>	55
6.2.3.1	Historia	55
6.2.3.2	Egenskaper	56
6.2.3.3	Typiska legeringar	56
6.2.3.4	Användningsområden	56

1 Inledning

Få produkter har så stor betydelse i det industriella samhället och i det dagliga livet som gjutgods. I avancerade produkter som exempelvis person- och lastbilar ingår gjutgods i viktiga komponenter. Kraven på dessa blir allt högre genom önskemål om högre prestanda hos motorerna och samtidigt lägre vikt och reducerad CO₂-påverkan av miljön. Bättre materialegenskaper och gjutteknik gör det möjligt att framställa detaljer med tunnare sektioner och samtidigt möta de allt högre ställda kraven för mekaniska egenskaper.

Motorblock är en avancerad produkt inom bilindustrin, där ingen annan tillverkningsmetod än gjutning är möjlig med de krav som ställs idag. Många andra delar i en bil är gjutna, till exempel avgasgrenrör, cylinderhuvudet, bromsskivor och växellådshus. En utvecklingstrend är att även delar till karossen gjuts. Hela ramar till dörrar och stolar, ramar för upphängning av hjul och motor gjuts idag i ett eller flera stycken som sedan sammanfogas.

Ett annat viktigt användningsområde för gjutna produkter är telekom- och IT-industrin där gjutna komponenter ingår i mobiltelefoner, i datorer med stommar och bottenplattor. Ramarna till bildskärmar är ofta gjutna.

Inom industrin ingår gjutgods som viktiga komponenter i många avancerade utrustningar och maskiner. Stativen till verktygsmaskinerna är gjutna liksom robotarmarna oftast är det. Även i handhållna maskiner och verktyg som trycklufts- och eldrivna maskiner utgör gjutgods viktiga komponenter.

Vindkraftsindustrin är sedan länge ett tillverkningsområde för gjutgods. Kraven på gjutgodset i rotnaven till vindkraftsaggregaten är extremt höga då det skall klara stora påkänningar under lång tid. Gjutgodset genomgår omfattande tester med förstörande och oförstörande provning för att säkra att egenskaperna är uppfyllda.

I hemmet används många produkter där gjutgods ingår, exempelvis vattenkranar, kokplattor, stekpannor, möbeldetaljer, motorer till gräsklippare och stommar till symaskiner och matberedare i lite större modell.

2 Materialindelning av gjutna material

Gjutna material brukar normalt delas in i två grupper

- Järn-kollegeringar (ofta omnämnt som järn-stållegeringar)
- Icke-järnlegeringar (ofta lite felaktigt omnämnt som metallegeringar)

Utöver detta så finns det specialmaterial som går under beteckningen eldfasta metaller eller legeringar, men de är så unika och speciella att de inte tas upp här.

Järn-kollegeringar delas sedan in i vanligtvis två grupper men det finns en tredje grupp som förekommer i olika omfattning.

- Järn-kol-legeringar
 - Gjutjärn:
 - Gråjärn, segjärn, kompaktgrafitjärn, aducerjärn, vitjärn
 - Gjutstål:
 - Olegerat stål, låglegerat stål, rostfritt stål, höglegerat stål, manganstål
 - Superlegeringar:
 - Nickelbaserade och koboltbaserade legeringar

Icke-järnlegeringar delas in i tungmetaller och lättmetaller utifrån densiteten

- Icke-järn-legeringar:
 - Tungmetaller:
 - Koppar-, bronser, mässing, rödmetall, zinklegeringar, blylegeringar.
 - Lättmetaller:
 - Aluminiumlegeringar, magnesiumlegeringar, titan och titanlegeringar.

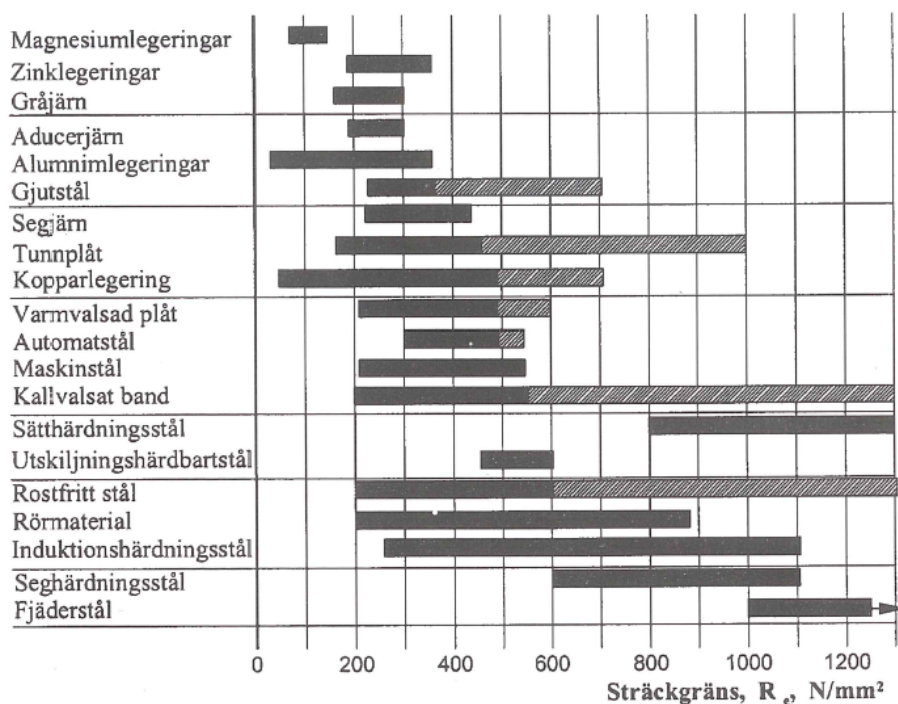
Kopparlegeringar förutom de som har egna materialnamn är material som är något udda i framställningen av produkter. Det är legeringselement som Beryllium och krom och större mängder av Nickel även om legeringar med Nickel ibland betecknas som mässingslegeringar.

Titan finns som ren metall >99% Ti och legerat med upp till ca 25 % ämnen som Vanadin, Krom och Tenn. Titanlegeringar är stort inom flygindustrin och medicin där det används till proteser i höftkolor, tandimplantat m.m.

3 Jämförelse av gjutna material

Ofta när det skall väljas material så sker utifrån vanan och kunskapen man har om en viss materialgrupp. Möjligheterna att byta tillverkningsmetod och även material är i de flesta fall goda med stora fördelar både vad gäller framställningskostnader och design av detaljen.

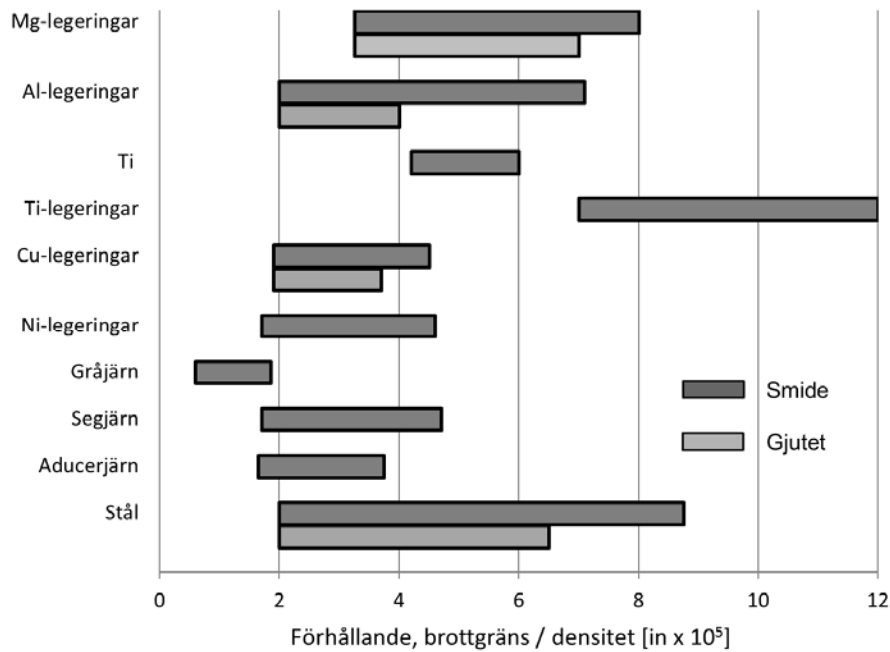
Följande sammanställning visar sträckgränsen för några vanliga material som används inom svensk verkstads- och fordonsindustri. I bilden har även plastiskt bearbetade material tagits med som en jämförelse mot de gjutna materialen.



Figur 1 Jämförelse av sträckgränsen för olika material [1]

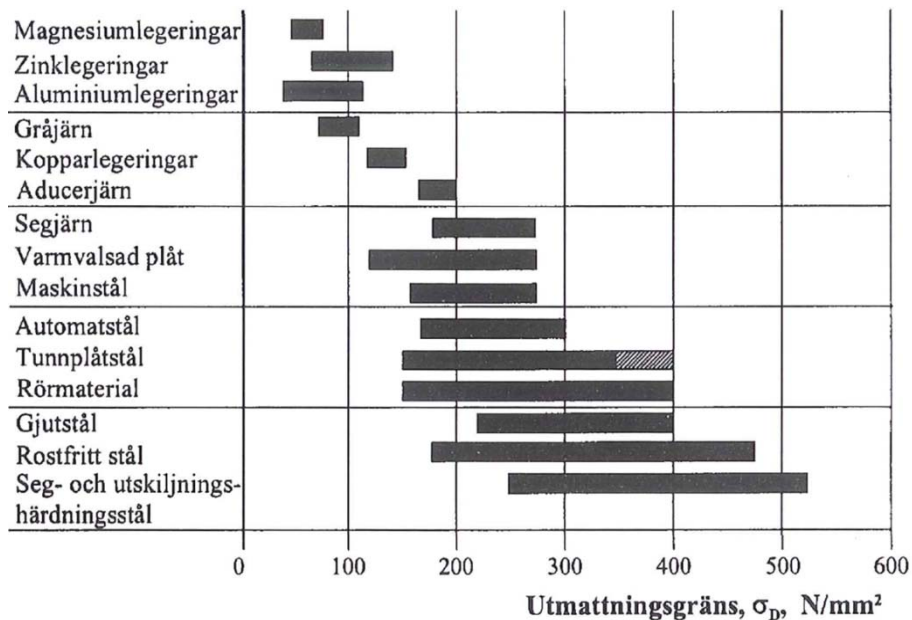
Sträckgränsen är den mekaniska egenskap som oftast eftersöks när ett nytt projekt startar för att ta fram detaljer i gjutet utförande eller göra en ny design på befintliga komponenter.

En intressant aspekt är förhållandet mellan vikten av en detalj och styrkan för valt material. Ofta är det möjligt att konstruera i lättare material och trots det uppnå samma brottgräns som materialet med högre densitet. Figur 2 visar förhållandet mellan brottgräns och densitet för några material. Det är från en äldre amerikansk undersökning så enheterna är "ksi" och "lb/in³", därför enheten [$\text{in} \times 10^5$]. Notera att smide är ett anisotrop material varför sträckgränsen ofta skiljer sig avsevärt i två olika riktningar.



Figur 2 Jämförelse av material med brottgräns/densitetsförhållande [2]

Ett materials utmattningsegenskaper är viktigt att ta med när detaljer med dynamiska påkänningar skall dimensioneras (Figur 3.)



Figur 3 Jämförelse av utmattningsgränsen för några konstruktionsmaterial [1]

I Tabell 1 visas en sammanställning över några materialparametrar som kan vara av intresse vid val av lämpligt gjutet material för en given detalj.

Tabell 1 Några egenskaper hos gjutna material. [1 - 18]

Egenskaper	Densitet, [g/cm ³]	Sträckgräns [N/mm ²]	Brötgräns, R _m [N/mm ²]	Förlängning, A [%]	E-modul, [Gpa]	Hårdhet, [HB]	Lämplighet för svetsning 1)	Skärbarhet 2)	Max arbetstemperatur, [°C]
Gjutet material									
Gråjärn	7,1 - 7,4	98 - 285	150 - 450	0,3 - 0,8	80 - 145	100 - 255	nej	BC	500
Segjärn	7,1 - 7,2	220 - 600	350 - 900	2 - 22	160 - 175	130 - 360	nej	BC	800
ADI	7,0 - 7,1	500 - 1100	800 - 1400	1 - 8	155 - 163	260 - 480	nej	BC	800
Kompaktgrafitjärn	7,1 - 7,2	220 - 380	260 - 600	0,5 - 1,5	140 - 170	140 - 260	nej	BC	500
Austenitiskt gjutjärn	7,3 - 7,7	140 - 240	170 - 500	0,5 - 45	70 - 150	120 - 255	nej	BC	1000
Vitjärn	7,6 - 7,8		250 - 590			350 - 900	nej	DE	1000
Kolstål	7,75 - 8,0	230 - 360	380 - 850	15 - 40	210	115 - 225	ja	BC	300
Låglegerat stål	7,75 - 8,0	360 - 750	520 - 1050	10 - 18	205 - 210	140 - 260	ja	BC	500
Höglegerat stål	7,75 - 8,0	220 - 240	400 - 440	10 - 15	205 - 210	150 - 280	ja	BC	1000
Rostfria stål	7,8 - 8,0	175 - 1000	430 - 1100	5 - 30	200 - 225	185 - 220	ja	BC	850
Superlegeringar	8,4 - 9,2	220 - 600	300 - 900	1 - 4	185 - 200	100 - 450	ja	CD	1150
Mässing	8,2 - 8,5	70 - 480	160 - 750	3 - 30	80 - 110	45 - 190	ja	BC	
Tennbrons	8,7 - 8,95	60 - 180	150 - 350	2 - 18	60 - 100	55 - 95	ja	BC	
Aluminiumbrons	7,5 - 7,6	160 - 380	450 - 750	5 - 20	110 - 120	100 - 185	ja	BC	
Rödgoods	8,8	85 - 130	180 - 270	6 - 15	80 - 100	60 - 70	nej	B	225
Zinklegeringar	5,0 - 7,2	200 - 370	220 - 425	0,2 - 10	78 - 86	83 - 120	nej	AB	120
Aluminiumleg.	2,65 - 2,8	70 - 310	135 - 410	0,5 - 12	70 - 75	45 - 125	ja	AB	200
Magnesiumleg.	1,75 - 1,8	80 - 175	140 - 260	1 - 18	40 - 45	40 - 90	Ja	A	170
Titanlegeringar	4,4 - 4,9	280 - 830	350 - 900	5 - 15	100 - 120	250 - 400	ja	BC	700

A = utmärkt, B = bra, C = ganska bra, D = dåligt, E = ej att rekommendera

1) Lämplighet för flera förekommande svetsmetoder.

2) Relativ jämförelse mellan materialen

Andra mindre handgripliga egenskaper som svetsning och skärbarhet är beroende av olika parametrar vid jämförelse mellan materialen och är därför aldrig rakt av jämförbara mellan de olika legeringarna. Inom varje huvudgrupp av metaller kan det vara värt att ha data som beskriver dessa egenskaper. I Tabell 1 är de medtagna som kvalitativa värden.

ADI är en förkortning av ”Ausferritic Ductile Iron”, vilket är segjärn framställt genom extra värmebehandling. Austenitiska gjutjärn är gråjärn och segjärn legerat med nickel, koppar, mangan, krom och i vissa fall förhöjd innehåll av kisel.

Skärbarheten är även den en egenskap som är svår att jämföra i exakta termer mellan olika material. Dock kan ett relativt förhållande ställas upp. Åsikterna om hur enkelt det är att bearbeta en given detalj är olika för olika företag. Skärbarheten är starkt beroende av spånbarheten hos materialet, värmeledningsförmågan, skäreleggens material, skärvinkel, skärdjup och hastighet på det bearbetande verktyget.

Att tala om svetsbarhet är inte helt korrekt då alla material kan svetsas men är beroende av vilken metod och hur proceduren är vid svetsningen. Vissa material kan endast svetsas med en metod och med noga värmebehandling som efterföljande procedur för att eliminera risk för sprickbildning runt det svetsade området. Märkningen ”ja” i tabellen indikerar att det är möjligt att använda flera olika svetsmetoder för materialet i fråga.

För konstruktionsstål finns det sedan länge flera samband som anger hur känsligt ett material är för sprödbrott efter svetsning av olika legeringar. Den enklaste är följande med elementen angivna i procent:

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + 0,05 \quad \{1\}$$

Är värdet under 0,4, är risken för sprödbrott obefintlig medan ett värde över 0,6, gör att detaljer måste ha en förhöjd arbetstemperatur eller att glödning tillämpas efter svetsningen.

Egenskaper som hållfasthet och hårdhet är beroende av vilken formningsmetod/gjutmetod som används vid framställningen samt efterföljande värmebehandling. Ett seghärtningsstål med samma kemiska sammansättning kan ha varierande hållfasthet beroende av hur hela värmebehandlingsförloppet utförs.

4 Tillverkningsmetoder för gjutna produkter

Gjutgods framställs genom att smält metall hålls i ett hålrum som formar den färdiga eller nästan färdiga detaljen. Smält metall innebär temperaturer från ca 300°C till ca 1900°C som ett formmaterial skall kunna motstå utan att kollapsa.

Inom gjuterierna skiljer man på permanenta formar och engångsformer. Permanenta formar framställs normalt i verktygsstål. De flesta legeringar som gjuts i permanenta formar finns i gruppen av lättmetaller där gjuttemperaturen hålls mellan 420°C till 735°C. Det gjuts armaturer i mässing och rödgods med temperaturer upp till 1180°C.

Engångsformen används som namnet säger endast en gång. Sand är det vanligaste materialet för formningen. Sand med olika mineralsammansättning används. Inom gjuterierna talas det om kvarts-, kromit-, olivin- eller zirkonsand. För att få sanden att hålla ihop används vatten och bentonit (lera) vid s.k. råsandformning eller olika kemiska tillsatser som får härda genom kemisk reaktion mellan två komponenter eller genom att en gas leds genom formen. Metoden omnämns som kallhårdande eller självhårdande.

Sand vars enskilda korn har preparerats med ett harts som formas genom uppvärmning mot ett varmt verktyg, bilda ett skall, kallas därför följaktligen för skalformning och sanden benämns som skalsand.

Vid formning med vakuum används torr sand som hålls på plats av en plastfilm mot modellen och mot övre ytan. Ett undertryck (vakuum) i formen gör att sanden stannar mellan ytorna.

Formning med polystyrenmodell använder en torr sand där polystyrenmodellen är kvar vid gjutningen och förgasas av den flytande metallen, eller en härdad formsand där modellen är borttagen innan gjutningen. Metoden används ofta vid enklare utformning på gjutgodset och vid kortare serier.

Den keramiska formningen sker genom att t.ex. en vaxmodell doppas i en flytande eldfast massa (slurry) och torrt eldfast material om vart annat till dess formväggen har uppnått den tjocklek som eftersträvas. Torkning och bränning ger sedan ett keramiskt skal med hög måttnoggrannhet och ytfinish för det färdiga gjutgodset.

Kommande tabell visar några av de vanligaste formningsmetoder i Skandinavien som används för att gjuta angivna materialgrupper.

Tabell 2 Vanligaste formningsmetoder för framställning av gjutgods

Formningsmetod		Engångsformning							Permanenta formar									
		Råsandformning	Kallhårdande metoder	Skalformning	Vakuumformning	Fullformsmetoder	Keramisk form	Gipsform	3D-printing sandformar	3D-printing av verktygsinsatser	Gravitation, statisk	Gravitation, vagg	Lågtrycksgjutning	Lågtrycksgjutning, Rheo/Thixo	Pressgjutning, kall kammar	Pressgjutning, varm kammar	Centrifugaljutning	Stränggjutning
Gjutlegering																		
Gjutjärn	Gråjärn	•	•	•	•	•	•	x		x							•	•
	Segjärn	•	•	•	•	•	•	o		•							•	•
	Kompaktgrafitjärn	•	•	•	•	•	•	x										
	Aducerjärn	x	x	x	x	x	x	x									x	
	Vitjärn	•	•	•	x	x	o	•		x								
Gjutstål	Olegerat	•	•	•	•	o	•	x									•	x
	Låglegerat	•	•	•	•	o	•	x									•	x
	Rostfritt	•	•	•	•	o	•	•		x							•	x
	Höglegerat	•	•	•	•	o	•	•		x							•	
	Manganstål	•	•	•	•	o	o	x									•	
	Superlegeringar		o	•			•	o									x	
Tungmetall	Rödmetall	•	•	•	x	o	•	x		•	o	o		•		•	•	
	Bronser	•	•	•	x	o	•	x		•	o	o		•		•	•	
	Mässing	•	•	•	x	o	•	x	x	•	o	•		•		•	•	
	Zinklegeringar							x		x			o	o	•			
	Blylegeringar	•	•							•								
Lättmetall	Aluminiumleg.	•	•	o	•	o	•	•	o	x	•	•	•	o	•			•
	Magnesiumleg.	•	o	x			x	•	o	x	•			o	•	•		
	Titanlegeringar			x			x		x	x								

Uppdaterat 20140512

- Anger att formningsmetoden används för denna gjutlegering vid gjuterier i Skandinavien
- o Anger att formningsmetoden är möjlig men ej används i nämnvärd omfattning i Skandinavien
- x Anger att formningsmetoden är möjlig men förekommer ej i Skandinavien

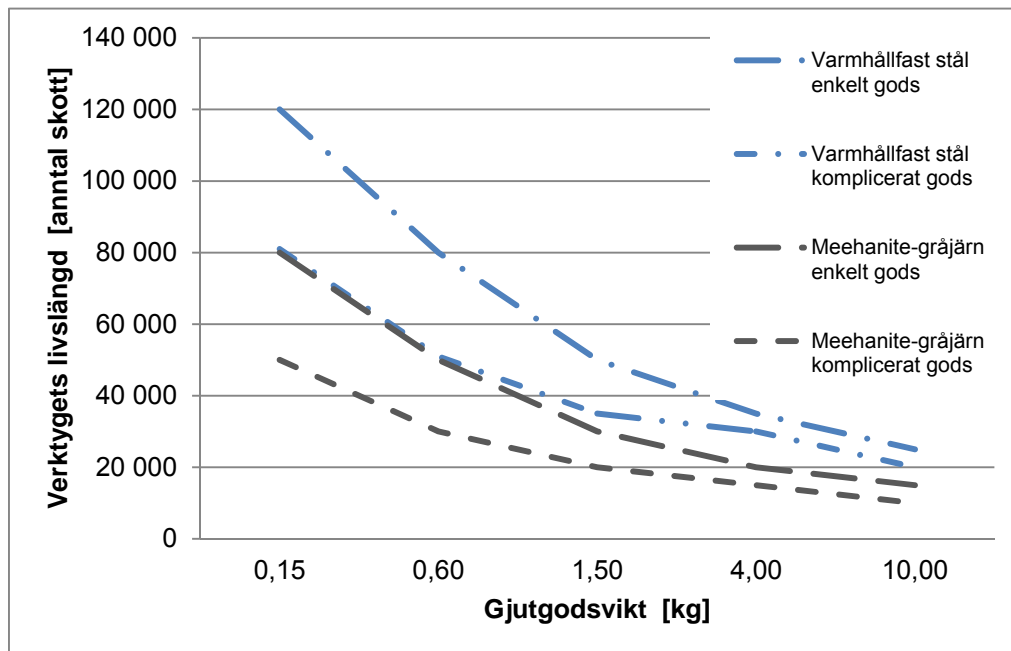
Olika seriestorlekar påverkar valet av formningsmetod liksom valet av material. Korta serier av max 100 detaljer bör gutas i sandform, gipsform eller enklare kokiller. Ofta är prototyper gjutna med dessa metoder även om Rapid Prototyping, är allt mer förekommande. Vid den metoden bygger man antingen en form genom att sintra något mineral eller metall. I båda fallen är det laser som härdar/smälter konturen av detaljen.

En ny metod som vinner fram för produktion av kärnor och formar är 3D-printning, en liknande process som ovan, men där lasern har ersätts av en skrivare som printar bindemedel/härdare. Används både vid nollserie och serieproduktion av t.ex. komplicerade kärnor.

Tabell 3 visar de vanligaste formningsmetoderna. Här visas på ett ungefär hur stora serier som är lönsamma för både kund och gjuteri. Notera att seriestorleken endast gäller om en metod kan vara lönsam inte om det är möjligt att tillverka mycket långa serier av en komponent.

Tabell 3 Seriestorlekar vid olika framställningsmetoder [2, 3, 5, 6, 7, 13, 14]

	Sandformning, handformning	Sandformning, maskinformning	Skalformning	Fullformsmetoder	Keramisk form	Kokillgjutning	Pressgjutning
Seriestorlek, min	1	~100	~250	1	10	~1000	5 000
Seriestorlek, max	~100	–	25 000	1 000	(100 000)	50 000	–
Gjutvikt, max (kg)	270 000	500	250	15 000	50	125	15

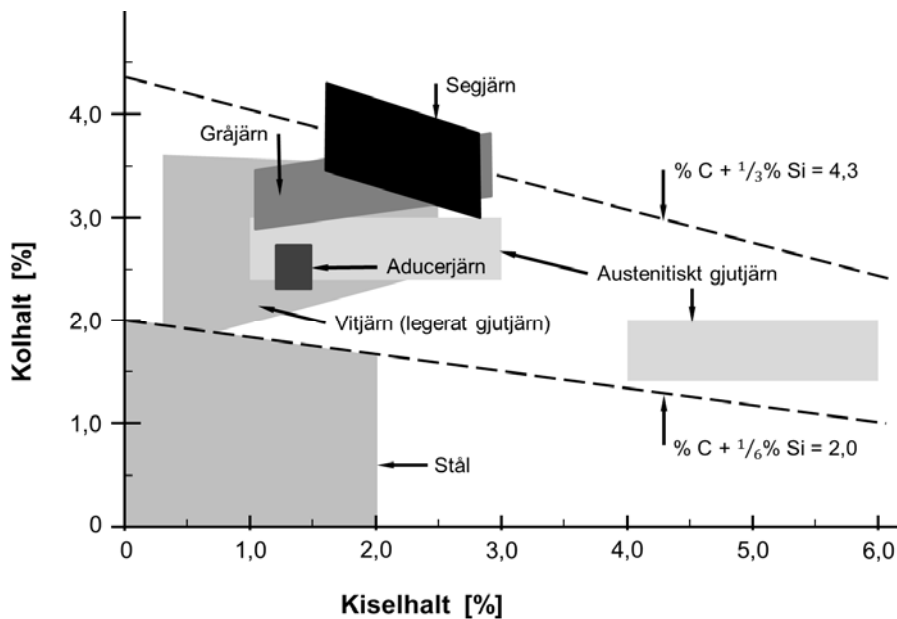


Figur 4 Exempel på verktyglivslängd vid kokillgjutning av aluminium [6, 7]

Figur 4 visar en undersökning av kokillgjutet aluminium med olika gjuten vikt hur det påverkar livslängden på verktyget. Två olika kokillmaterial har jämförts. Merparten av det gjutgods som tillverkas med denna metod väger mer än 1,0 kg.

5 Legeringar med järn och kol som bas

Stål är normalt de material där kolhalten är lägre än 2 %. Det finns enstaka stål med kiselhalter över 2 % men de är inte omfattade av någon standard ännu. Gjutjärn är gruppen med gråjärn, segjärn, kompaktgrafitjärn (ej med i figur 5), aducerjärn (blackheart), vitjärn eller slitgods, austenitiskt gjutjärn som hamnar under legerade gjutjärn. I gruppen finns även ADI eller bainitiskt segjärn men sammansättningen ligger inom segjärn






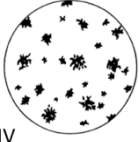
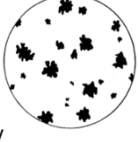
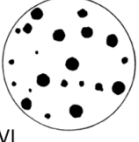
Figur 5 Kvalitativ sammansättningen av legeringar med Fe som bas

5.1 Gjutjärn

Gjutjärn är benämningen på järn-kol-kisel legeringar med kolhalter på 2,5 – 4,0 % och kiselhalter på 2 – 4 %. Familjen gjutjärn omfattar följande materialgrupper:

- ✓ Gjutjärn med fjällgrafit, gråjärn (EN-beteckning GJL)
- ✓ Gjutjärn med vermikulärgrafit, kompaktgrafitjärn (EN-beteckning GJV)
- ✓ Gjutjärn med kulgrafit, segjärn (EN-beteckning GJS)
- ✓ Aducerjärn, (EN-beteckning (GJMB och GJMW)
- ✓ Ausferritiskt gjutjärn med kulgrafit (ADI), (EN-beteckning GJS)
- ✓ Austenitiskt gjutjärn med fjällgrafit eller kulgrafit, (EN-beteckning GJSA)
- ✓ Nöttningsbeständigt olegerat och legerat gjutjärn, (EN-beteckning GJN)

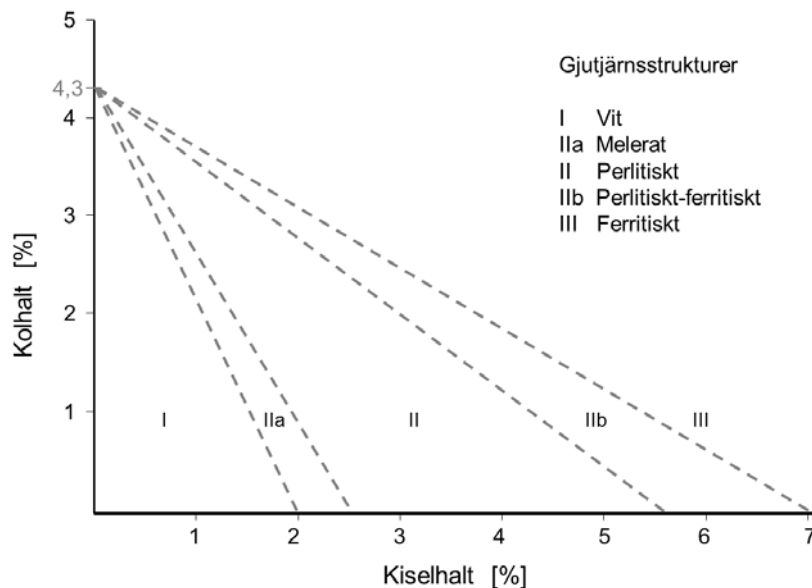
Skillnaden mellan materialen finns i olika form på den urskilda grafiten i grundmassan eller speciell struktur av grundmassan framtagna genom värmebehandling eller legeringstillsatser. Figur 6 visar en översikt av de grafitstrukturer som vanligtvis förekommer och vilka strukturformer som önskas inom varje material.

Form	Gjutjärn	Grafitform
	Gråjärn	I
	Kompaktgrafitjärn	III
	Aducerjärn	IV
		
	Segjärn	V, VI
		

Figur 6 Grafitformen enligt SS-EN-ISO945 Beteckning av grafitstruktur [1, 4]

Grafitutformningen beskrivs med två ytterligare skalor, där fördelningen av grafiten har en skala från A – E och storleken på grafiten har en skala från 1 – 8 (se SS-EN-ISO 945 Gjutjärn-Beteckning av grafitstruktur.)

Runt om grafiten finns en grundmassa som skapas under stelningen. När gjutgods får svalna utan påverkan av extra kylning bildas de strukturer som framgår av figuren nedan.



Figur 7 Grundmassans struktur beroende av kol och kiselhalten [6, 7]

Därför har olika gjutjärn olika kol- och kiselhalt i sina grundsamansättningar med legering av ytterligare grundämnen som flyttar gränserna för hur grundmassan blir efter svalning till rumstemperatur. Genom att låta materialet värmas upp under kontrollerade omständigheter så får man fram nya egenskaper via värmebehandling.

5.1.1 Beteckningssystem för gjutjärn

De nya europeiska standarderna är uppbyggda med olika beskrivningar av samma material. Det kan vara egenskaper i form av styrka eller hårdhet som avgör vilken beteckning som väljs för gjutjärnsmaterialet. Materialen är angivna med symboler eller nummer.

Exempel med materialsymboler:

$$\begin{array}{ccccccccc} & 1 & & 2 & 3 & 4 & & & 5 \\ & \underbrace{\hspace{1.5em}} & & \underbrace{\hspace{1.5em}} & \underbrace{\hspace{1.5em}} & \underbrace{\hspace{1.5em}} & & & \underbrace{\hspace{4.5em}} \\ \text{EN} - & \text{GJ} & \text{a} & \text{b} & - & \text{c} & - & \text{d} & - & \text{e} \end{array}$$

Beteckningen består av 5 positioner där

- 1 anger att det är en europeisk standard
- 2 anger att det är ett gjutet material (G) och järn (J)
- 3 (a) anger vilket material, t.ex. L för gråjärn och S för segjärn
- 4 (b) anger om nödvändigt en struktur, t.ex. F för ferrit och P för perlit.
- 5 (c) anger brottgränsen i MPa, 400
- 5 (d) anger en minimum förlängning vid dragprovningen i procent.
- 5 (e) anger temperatur för dragprovningen, t.ex. RT för rumstemperatur.

Exempel: EN-GJS-400-18-RT.

Exempel med nummersymboler:

5.abcc

Beteckningen består av 6 positioner med siffror (n) där:

- 5 anger att det är gjutjärn.
- a anger grafitens utformning, t.ex. 1 för gråjärn och 3 för segjärn.
- b anger grundmassans struktur, t.ex. 1 för ferrit och 3 för perlit.
- c anger ett nummer från 00 till 99 som bestäms av olika standarder.

Exempel: 5.3104

Det beskrivs utförligt i standarden SS-EN 1560:2011 Gjutna material–Beteckningssystem för gjutjärn–Materialsymboler och materialnummer.

5.1.2 Gråjärn

5.1.2.1 Historia

Järn har varit känt i ca 5300 år. Det finns fynd från gravar i Egypten där knivar av järn med hög nickelhalt har påträffats. Materialet har relaterats till meteoriter då det materialet har kunnat bearbetas vid ca 1100°C. Endast ett fåtal objekt har hittats. Användning i större utsträckning börjar först runt ca år 1700 f.Kr. Det tillverkades utsmyckningar och exklusiva vapen. Järn var värdefullt vilket framgår av ett brev – Kizzuwatna-brevet – [19, 20] skickat av Hettiternas konung, Hattusils III 1289 – 1265 f.Kr., till en Assyrisk kung med ursäkt om uppskov med en leverans av bra järn. Hettiterna höll till i Anatolien, nuvarande Turkiet, med delar av Libanon och norra Syrien.

Än var inget gjutet utan det var smide och uttrycket ”smida medan järnet är varmt” lär ha tillkommit under denna period som en urskiljning av de smeder som kunde och de som inte kunde smida järnet till önskvärda former.

Pyrometallurgin utvecklades i sydvästra Asien och i Persernas heliga skrift Avesta omtalas en tidig järntillverkning [20]. Om järnmalmen reduceras vid en bra temperatur, lägre än 1150°C bildas ett mjukt formbart järn. Drivs temperaturen högre upp uppstår en lättsmält produkt, med mera kol och helt osmidbar, våra dagars gjutjärn, tackjärn eller råjärn. I Kina utnyttjade man detta ”misstag” för att tillverka gjutjärn [19]. Från 600-talet f.Kr. finns information om det äldsta dokumenterade gjutgodset av gjutjärn i Kina, ett gjutet stativ på ca 300 kg [19,20,21]. Det tillverkades redskap, vapen och utsmyckningar till templen. Gjutning av plogskär finns omnämnt år 233 f.Kr. och utvecklingen av tackjärn tillkom i Kinas hyttor vid denna tid [19, 20, 21]. Från samma tidsperiod omtalas att gjutningen skedde i sandformar [21]. Första kända järnframställning i Sverige är från Riddarhyttan i Västmanland från 400-talet f.Kr. där man funnit rester av stenhällar vid vilka den ”röda jorden” rostats till järnklumpar [20].

I Europa är det först efter grundandet av klostret i Clairvaux år 1115 som järnhanteringen tar fart. Cisterciensermunkarna drog ut i Europa och anlade kloster med hyttor och smedjor. Vid Olsbenning i Västmanland visar arkeologiska fynd att redan vid 1100-talets början fanns en masugnsdrift [22]. Vid Nydala kloster, grundat 1143, startades produktionsenheten Järnboda [20]. Det är dock först under 1400-talet som gjutjärn ökar i användning då tackjärn raffinerats vid masugnar för framställning av styckegods, kanoner och kulor. Sedermera blir det allt större och mera komplicerade detaljer när processen för att framställa gjutjärn förfinas. Från Wasaskeppet som sjönk 1628 finns det t.ex. ett gjutjärnskar vilket rymmer ca 190 liter [21].

Under 1700-talets början utvecklade Abraham Darby vid Coalbrookdale en ny formningsteknik och ett förbättrat smältförfarande av gjutjärn som ledde till patent 1707 [21]. Formen bestod av sand i stället för lera och smältans temperatur höjdes med användning av bläster, vilket ledde till tunnare gjutgods och därmed ökad lönsamhet. Han utvecklade något senare tekniken genom att ersätta träkol med koks som bränsle och ytterligare höjning av temperaturen i ugnen [20, 21].

Det är under slutet av 1700-talet som kupolugnen vidareutvecklas i England, vilket leder till att England blir ledande nation då det gällde att framställa gjutjärn för civilt bruk.

Coalbrookdale ligger ungefär 2 mil väster om Wolverhampton nära Telford, orten, där Darby verkade. Här invigdes den första gjutjärnsbron 1779 -The Iron Bridge-. Bron korsar floden Severn och är, som så ofta senare i utvecklingen, ett resultat av att industrin ville ha bättre infrastruktur för att snabbare få ut sina varor till sina marknader. [23]



Figur 8 The Iron Bridge - öppnad 1779 [23]

5.1.2.2 Standardbeteckningar

Svensk standard är SS-EN 1561:2011 Gjutna material – Gråjärn, vilken omfattar 6 material med olika mekaniska egenskaper. Det föreligger inget likhetstecken mellan äldre svensk standard och nya SS-EN standarden då kraven kan variera avsevärt, utan de är endast ungefärligt jämförbara. Kontakt med Swerea SWECAST kan avgöra vilket material som är lämpligt att välja utifrån äldre benämning.

Tabell 4 Standardbeteckningar för gråjärn [4]

EN 1561:2011		EN 1561:1997		Äldre namn
Symbol	Nummer	Symbol	Nummer	
EN-GJL-100	5.1100	EN-GJL-100	EN-JL1010	0110
EN-GJL-150	5.1200	EN-GJL-150	EN-JL1020	0115
EN-GJL-200	5.1300	EN-GJL-200	EN-JL1030	0120
EN-GJL-250	5.1301	EN-GJL-250	EN-JL1040	0125
EN-GJL-300	5.1302	EN-GJL-300	EN-JL1050	0130
EN-GJL-350	5.1303	EN-GJL-350	EN-JL1060	0135

Sammansättningen är typisk:

%C: 3,0 – 3,8; %Si: 1,1 – 2,8; %Mn: 0,4 – 1,0; %P: 0,1 – 0,35; %S: 0,06 – 0,15.

Genom att variera mängden kol och kisel uppnås de olika hållfasthetsklasserna.

Gråjärn finns även som austenitiskt gjutjärn SS-EN 13835:2011 Gjutning – Austenitiska gjutjärn. Dessa är legerade med Ni, Cu och Cr eller Ni och Mn.

Tabell 5 Standardbeteckningar för austenitiska gråjärn [4]

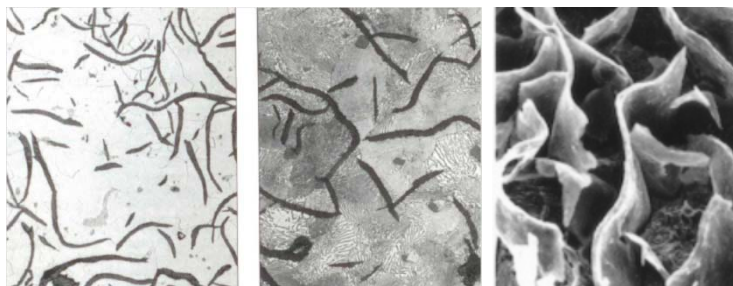
EN 13835:2011 Symbol	Nummer	EN 13835:2002 Nummer	Handelsnamn
EN-GJLA-XNiCuCr15-6-2	5.1500	EN-JL3011	Ni-Resist 1
EN-GJLA-XNiMn13-7	5.1501	EN-JL3021	Nomag

5.1.2.3 Egenskaper

- ✓ God gjutbarhet, flyter lätt ut även i tunna sektioner
- ✓ God skärbarhet, där fjällgrafiten dels är spånbrytande och dels är smörjande
- ✓ Dämpande egenskap för vibrationer och buller, pga. fjällgrafitens utbredning.
- ✓ Låg seghet pga. spetsiga grafitfjäll.
- ✓ God tryckhållfasthet
- ✓ Gynnsam kombination av E-modul och värmeledningsförmåga.
- ✓ Kännetecknas av fjällformig grafit
- ✓ Tonnagemässigt det mesta gjutgodsmaterialet.
- ✓ Relativt billigt att framställa.

Gråjärn har grafit i form av fjäll i en struktur bestående av ferrit och/eller perlit. Ju högre perlithalt desto hårdare gråjärn. Den fjällformiga grafiten fungerar som sprickanvisare och gör därför att materialet inte har speciellt bra brottförlängning. Däremot är strukturen en fördel när det gäller att dämpa vibrationer och ljud, även för att leda bort värme. Förekomsten av grafit i gjutjärn gör att det blir relativt lättbearbetat då grafiten underlättar spånbrytningen.

Figur 9 visar strukturen i gråjärn för ferritiskt och perlitiskt struktur. Bilden längst till höger visar en djupetsad bild av ett gråjärn som tydligt visar att fjällen är sammanhängande i alla riktningar i grundmassande olika utföranden.



Figur 9 Gråjärn, ferritiskt-, perlitiskt grundmassa, sammanhängande fjäll [5, 7]

5.1.2.4 Användningsområden

Gråjärn gjuts i detaljer från något hekto upp till flera hundra ton. Största gjutgodset i Sverige är en torkcylinder till pappersindustrin, s.k. Yankee-cylinder på ca 130 ton gjuten vid Heavy Cast i Karlstad. Största gjutna vikten är en detalj till en plåtpress, gjuten vid Siempelkamps gjuteri, där gjutgodsvikten är 285 ton.

Typiska detaljer som gjuts i gråjärn är:

- ✓ Köksredskap
- ✓ Dekorativa produkter
- ✓ Motorblock
- ✓ Cylinderhus
- ✓ Bromstrummor
- ✓ Lagerhus
- ✓ Maskinstativ
- ✓ Rördelar till avloppssystem

5.1.3 Aducerjärn

5.1.3.1 Historia

Engelsmannen David Ramsay tog 1630 patent på en metod att få hårt gjutjärn att bli segt och mjukt. Metoden var nog liknande den som hade använts i Kina redan 200 år f. Kr. [20]. 1671 patenterar Ruprecht von der Pfalz tekniken, at genom kontrollerad värmebehandling mjukgöra ett hårt gjutjärn. I en teknisk avhandling från 1722 [9, 20] beskriver René Réaumur metoden som nu blir tillgänglig och börjar användas för allt flera detaljer. Värmebehandlingen av det gjutna materialet ökade möjligheten att framställa ett material som var både segt och starkt. Två materialtyper utvecklades, Blackheart och Whiteheart. Vid 1800-talets slut så var metoden så utbredd att många nya produkter framkom på bekostnad av smidda detaljer.

Den växande fordonsindustrin i början av 1900-talet gav ytterligare nya produkter som tillverkades av aducerjärn. Så småningom upptäcktes möjligheten att svetsa ihop två detaljer och Whiteheart kom att öka i användning då ytan har låg halt av kol. Ett kol som ställer till problem vid svetsningen då grundmaterialet omvandlas till martensit vid snabbt stelning (se ekvation 1).

5.1.3.2 Standardbeteckningar

Svensk standard är SS-EN 1562:2012 Gjutna material – Aducerjärn som omfattar 9 material med olika mekaniska egenskaper.

Kontakt med Swecast kan avgöra vilket material som är lämpligt att välja utifrån äldre benämning.

Tabell 6 Standardbeteckningar för aducerjärn ur SS-EN 1562:2012 [4]

Symbol	Nummer	Äldre namn
EN-GJMB-300-6	EN-JM1110	0814 – Typ 300-06
EN-GJMB-350-10	EN-JM1130	0815 – Typ 320-12
EN-GJMB-450-6	EN-JM1140	0852 – Typ 400-07
EN-GJMB-500-5	EN-JM1150	0854 – Typ 500-05
EN-GJMB-550-4	EN-JM1160	–
EN-GJMB-600-3	EN-JM1170	0856 – Typ 600-04
EN-GJMB-650-2	EN-JM1180	–
EN-GJMB-700-2	EN-JM1190	0862 – Typ 700-03
EN-GJMB-800-1	EN-JM1200	0864 – Typ 800-02

Sammansättningen är typisk:

%C: 2,3 – 2,7; %Si: 1,2 – 1,5; %Mn: 0,4 – 0,6; %S: 0,12 – 0,18.

Genom att variera mängden kol och kisel samt styra tiden för de olika stegen vid värmebehandlingen uppnås de olika hållfasthetsklasserna.

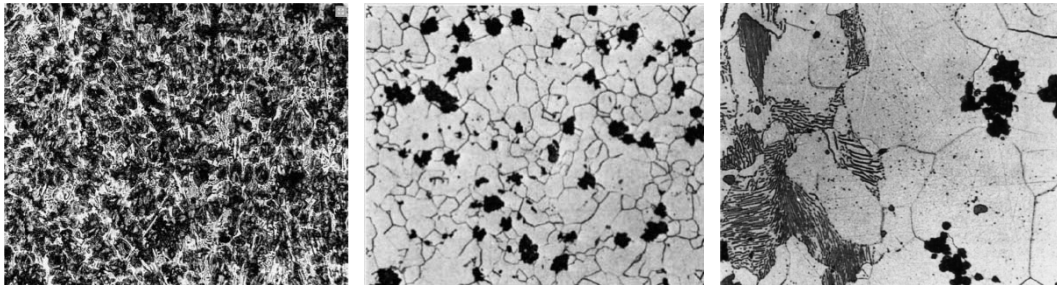
I den nya europastandarden EN 1562 har även införlivats whiteheart aducerjärn som aldrig har haft några stora tillverkningsvolymmer i Sverige.

Tabell 7 Standardbeteckningar för aducerjärn ur SS-EN 1562:2012 [4]

Symbol	Nummer	Äldre namn
EN-GJMW-300-4	EN-JM1010	-
EN-GJMW-360-12	EN-JM1020	-
EN-GJMW-400-5	EN-JM1030	-
EN-GJMW-450-7	EN-JM1040	-
EN-GJMW-550-4	EN-JM1050	-

5.1.3.3 Egenskaper

- ✓ God gjutbarhet, flyter lätt ut även i tunna sektioner
- ✓ Rimlig skärbarhet.
- ✓ Hög seghet då grafiten samlats i klumpar i en seg grundmassa.
- ✓ Relativt dyrt att framställa.
- ✓ God möjlighet till svetsning, gäller för s.k. vit aducerjärn.



Figur 10 Aducerjärn, gjutet och efter värmebehandling, svart- och vit-struktur [7]

5.1.3.4 Användningsområden

Aducerjärn var materialet som användes i mycket stor utsträckning innan segjärnet utvecklades. Det mesta har idag ersatts av segjärn, men en del detaljer är fortfarande endast tillverkade i aducerjärn pga. den goda segheten hos materialet.

- ✓ Fästelement
- ✓ Verktygsdelar
- ✓ Nycklar
- ✓ Rörskopplingar
- ✓ Vingmuttrar

5.1.4 Segjärn

5.1.4.1 Historia

Första patentet för framställning av segjärn lämnades in 1939 av Dr. Aday som vid denna tid jobbade på RWTH Aachen (Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule [5, 8, 24]. Han arbetade med att framställa duktilt gjutjärn genom att använda särskilda infordringar i sina smältugnar. Ungefär samtidigt arbetade Dr. Morrogh vid BCIRA (British Cast Iron Research Association) med att tillsätta små mängder Ce (Cerium) för att få runda kulor av fjällgrafiten [8, 24].

Det var dock Keith Millis [7, 8] vid INCO (The International Nickel Company) som 1942, i USA, lyckades framställa segjärn i en säker process med repeterbara resultat. Framställningen byggde på tillsatser av Ni-Mg. Första serieproduktionen var en vevaxel till Ford Motor 1948. I oktober 1949 beviljades patentet till INCO och medarbetarna Keith Millis, et. al. [8, 24].

Företaget tog ut stora licenspengar för att förmedla kunskapen om processen så det dröjde till en bit in på 1950-talet när alternativa framställningsprocesser med hjälp av FeSiMg gjorde tillverkningen mera lönsam [8]. Sedan dess är det ett stadig växande konstruktionsmaterial som genom olika legeringstillsatser och värmebehandlingsprocesser tar sig in på nya applikationsområden.

5.1.4.2 Standardbeteckningar

Svensk standard är SS-EN 1563:2012 Gjutna Material – Segjärn, som omfattar 16 material med olika mekaniska egenskaper.

Det föreligger inget likhetstecken mellan äldre svensk standard och nya SS-EN standarden då kraven kan variera, utan de är endast ungefärligt jämförbara.

Det gäller för beställaren av gjutgods att tydligt deklarerat vilka egenskaper som en komponent skall uppnå då den gamla svenska standarden i förekommande fall har en hårdare kravspecifikation på t.ex. antalet grafitnoder och utformningen av de samma.

Sammansättningen är typisk:

%C: 3,3 – 3,9; % Si: 2,1 – 4,3 % Mn: 0,1 – 1,0; % P: < 0,06; % S: < 0,02;

% Mg: 0,03 – 0,05.

Tabell 8 Standardbeteckningar för segjärn [4]

EN 1563:2012		EN 1563:1997		Äldre namn
Symbol	Nummer	Symbol	Nummer	
EN-GJS-350-22-LT	5.3100	EN-GJS-350-22-LT	EN-JS1015	0717-15
EN-GJS-350-22-RT	5.3101	EN-GJS-350-22-RT	EN-JS1014	-
EN-GJS-350-22	5.3102	EN-GJS-350-22	EN-JS1010	-
EN-GJS-400-18-LT	5.3103	EN-GJS-400-18-LT	EN-JS1025	0717-02
EN-GJS-400-18-RT	5.3104	EN-GJS-400-18-RT	EN-JS1024	-
EN-GJS-400-18	5.3105	EN-GJS-400-18	EN-JS1020	0717-02
EN-GJS-400-15	5.3106	EN-GJS-400-15	EN-JS1030	0717-00
EN-GJS-400-18	5.3108	---	---	0720-00
EN-GJS-450-10	5.3107	EN-GJS-450-10	EN-JS1040	0722-00
EN-GJS-500-14	5.3109	---	---	0725-00
EN-GJS-500-7	5.3200	EN-GJS-500-7	EN-JS1050	0727-02
EN-GJS-600-10	5.3110	---	---	---
EN-GJS-600-3	5.3201	EN-GJS-600-3	EN-JS1060	0732-03
EN-GJS-700-2	5.3300	EN-GJS-700-2	EN JS1070	0737-01
EN-GJS-800-2	5.3301	EN-GJS-800-2	EN-JS1080	---
EN-GJS-900-2	5.3302	EN-GJS-900-2	EN-JS1090	---

Segjärn förekommer även som austenitiskt gjutjärn, SS-EN 13835:2012 Gjutning – Austenitiska gjutjärn eller ADI, SS-EN 1564:2011 Gjutna material – Ausferritiskt segjärn.

Tabell 9 Standardbeteckningar för ausferritiska segjärn [4]

EN 1564:2011		EN 1564:1997		Äldre namn
Symbol	Nummer	Symbol	Nummer	
EN-GJS-800-10	5.3400	---	---	0747-02
EN-GJS-800-10-RT	5.3401	EN-GJS-800-8	EN-JS1100	0747-03
EN-GJS-900-8	5.3402	EN-GJS-1000-5	EN-JS1110	---
EN-GJS-1050-6	5.3403	---	---	---
EN-GJS-1200-3	5.3404	EN-GJS-1200-2	EN-JS1120	-
EN-GJS-1400-1	5.3405	EN-GJS-1400-1	EN-JS1130	0747-04

Tabell 10 Standardbeteckningar för austenitiska segjärn [4]

EN 13835:2011		EN 13835:2002		Handelsnamn
Symbol	Nummer	Symbol	Nummer	
EN-GJSA-XNiCr20-2	5.3500	EN-JS3011		Ni-Resist D-2
EN-GJSA-XNiMn23-4	5.3501	EN-JS3021		Ni-Resist D-2M
EN-GJSA-XNiCrNb20-2	5.3502	EN-JS3031		-
EN-GJSA-XNi22	5.3503	EN-JS3041		Ni-Resist D-2C
EN-GJSA-XNi35	5.3504	EN-JS3051		Ni-Resist D-5
EN-GJSA-XNiSiCr35-5-2	5.3505	EN-JS3061		Ni-Resist D-5S
EN-GJSA-XNiMn13-7	5.3506	EN-JS3071		Nodumag
EN-GJSA-XNiCr30-3	5.3507	EN-JS3081		Ni-Resist D-3
EN-GJSA-XNiSiCr30-5-5	5.3508	EN-JS3091		Ni-Resist D-4
EN-GJSA-XNiCr35-3	5.3509	EN-JS3101		Ni-Resist D-5B

Det föreligger inget likhetstecken mellan äldre svensk standard och nya SS-EN standarden då kraven kan variera avsevärt, utan de är endast ungefärligt jämförbara. Kontakt med Swerea SWECAST kan avgöra vilket material som är lämpligt att välja utifrån äldre benämning.

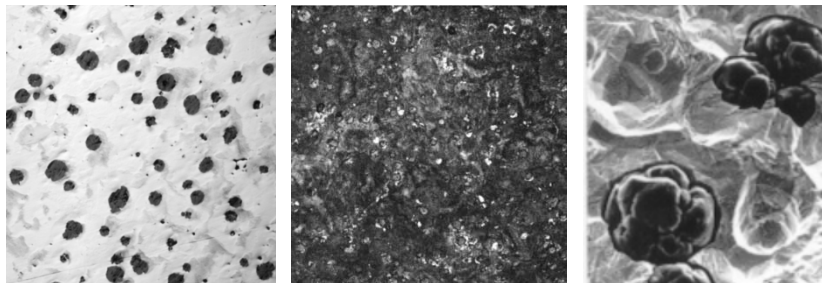
Ett material som har ökat i användning är materialgruppen av ferritiska segjärn som omfattar de s.k. SiMo-legerade gjutjärnen. De finns beskrivna i standarden SS-EN 16124:2011.

De går under beteckningen EN-GJS SiMoA-B, där A och B anges i sifferform som beskriver en sammansättningen av Si och Mo i tiondelar.

A varierar mellan 25 och 50 vilket anger nominellt 2,5 % och 5,0 % Si. B varierar mellan 5 till 10 vilket anger nominellt 0,5 % och 1 % Mo.

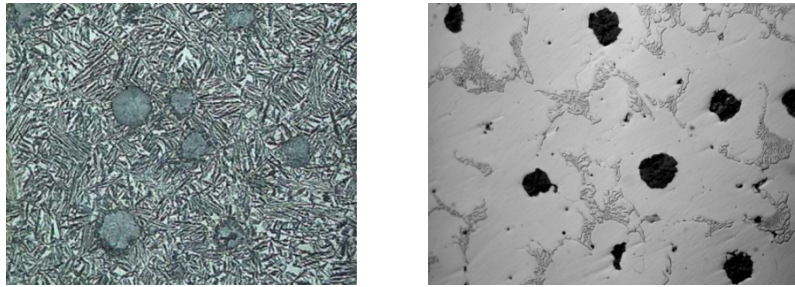
5.1.4.3 Egenskaper

- ✓ God gjutbarhet.
- ✓ Rimlig skärbarhet.
- ✓ Hög hållfasthet i förhållande till vikt
- ✓ Mycket höga sträckgränsvärden för ausferritiska segjärn
- ✓ Bra värmemotstånd mot höga temperaturer för austenitiska segjärn
- ✓ God seghet vid låga temperaturer för austenitiska segjärn
- ✓ Hög seghet då grafiten samlats i kulor i en seg grundmassa.
- ✓ Sämre värmeledningsförmåga än gråjärn
- ✓ Sämre dämpningsförmåga än gråjärn



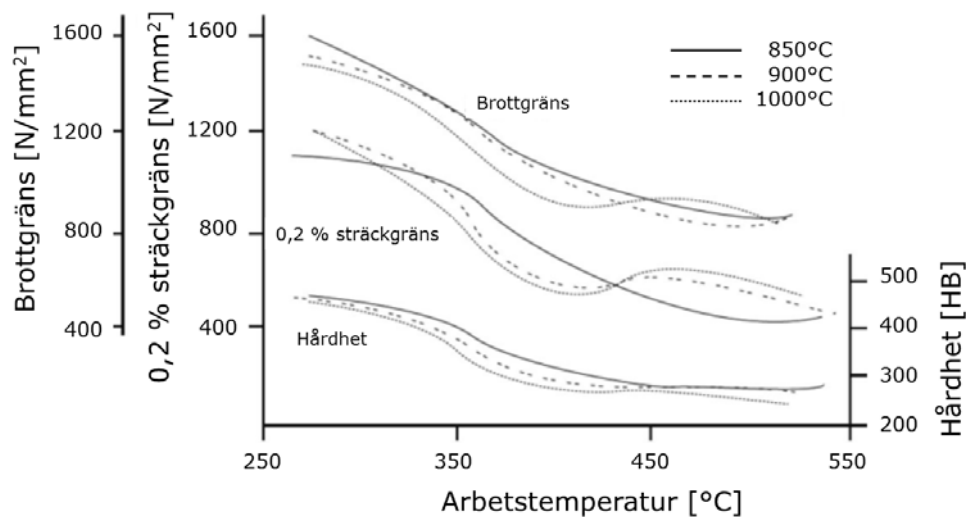
Figur 11 Segjärn, grundmassa av ferrit, perlit och SEM-bild av grafitformen [7]

Segjärnets egenskaper har utökats med material som austenitiska segjärn och ausferritiska segjärn. Austenitiska Material är legerade med Ni, Cu och Cr eller Ni och Mn och några med ökad mängd Si. Standarden är uppdelat enligt material för generella konstruktioner och material för speciella applikationer som t.ex. pumphus för arbetstemperaturer vid -196°C . Figur 12 t.h, visar en typisk struktur för ett austenitiskt segjärn med ca 20 % Ni och 2 % Cr. Figur 12 t.v. visar strukturen hos ett ADI-segjärn efter värmebehandling.



Figur 12 Strukturbild ADI och austenitiskt segjärn EN-GJSA-XNiCr20-2 [7]

Ausferritiskt segjärn, även kallat ADI (Ausferritic Ductile Iron), tillverkas genom en speciell värmebehandlingscykel. Materialet genomgår en omvandling till ”nålstruktur” med kulgrafit och uppnår höga brottgränser, upp till 1650 MPa [8]. Genom värmebehandling i olika cykler och vid olika temperaturer kan skilda egenskaper uppnås för samma kemiska sammansättning hos segjärnet Figur 13



Figur 13 Egenskaper för ADI framställt vid olika behandlingstemperaturer [7]

5.1.4.4 Användningsområden

Segjärn används till en mångfald av detaljer inom fordonsindustrin både lätta och tunga. Materialet har genom de senaste 30 år ersatt flera detaljer som tidigare var smidda i stål.

Största segjärnsdetaljen som hittills har tillverkats var ett ramverk till en riktpress. Gjutgodsets gjutna vikt var 272 ton och den färdiga detaljen vägde 254 ton. Detaljen har gjutits vid Siempelkamps gjuteri i Krefeld.

Genom att legera segjärnen så kan användningsområdena vidgas radikalt. Gjutna detaljer används i pumphus från -196°C till 1000°C i avgasgrenrör som har arbetstemperaturer vid 700°C. Några typiska användningsområden är listat i det följande:

- ✓ Vevaxlar
- ✓ Bromsskivor
- ✓ Växellådor
- ✓ Hjulåpor
- ✓ Kamaxlar
- ✓ Avgasgrenrör
- ✓ Pumphus
- ✓ Maskindetaljer
- ✓ Nav för vindmöllor
- ✓ Stativ för pressar.

5.1.5 Kompaktgrafitjärn

5.1.5.1 Historia

Kompaktgrafitjärn tillkom i slutet av 1940-talet under utvecklingen av segjärn som ett misslyckat material och det togs inte mycket notis av materialets egenskaper då man var på jakt efter andra egenskaper. Det förekom redovisning i litteraturen av kontrollerad tillverkning av kompaktgrafitjärn under 1950-talet men inget i kommersiell skala då tillverkningsmetoden krävde noga kontroll av en rad parametrar, där den aktiva syrehalten var det största problemet att kontrollera. Ett patent för framställning av kompaktgrafitjärn beviljades R.D Schelleng 1965 [3, 25]. Vid den här tiden hade bruket i Guldsmedshyttan, nu mera Vestas Castings, tillverkat kokiller för göt gjutning till stålverken under flera år.

Guldsmedshyttan var bland de första att tillverka kompaktgrafitjärn, härefter benämnd som CGI, på kommersiell basis. Järnmalm från närliggande Strossa gruva reducerades i masugnen till ett repeterbart basjärn med kontrollerade mängder av C, Si, S och O, vilket gav en smälta med bra sammansättning. Särskilt den låga S-halten gav en gynnsam utgångspunkt för framställning av vermiculär grafit som Grängesberg-Oxelösund omnämner det i sitt patent från 1967. En Mg-haltig legering användes för behandling av smältan och gav ett tillfredsställande CGI vida överlägset gråjärnet som använts i tidigare kokiller [25].

Det var grovt gjutgods vilket gjorde det enklare att kontrollera den färdiga strukturen. Under 1970-talet experimenterades det på flera håll med att ta fram en tillförlitlig metod för att tillverka CGI. Prof. Lennart Bäckerud fick en idé 1974 att använda termisk analys för kontroll av smältans beskaffenhet Ett arbete han sysslat med för aluminium! Han tog tekniken med sig till gjutjärn och i 1983 beviljades ett patent åt SinterCast med säte i Katrineholm. Att det heter SinterCast när det gäller gjutning är förvirrande men det beror på att Bäckeruds affärspartner kom från sintermetallbranschen [25].

Ungefär tio år senare är Bäckerud i farten igen nu i samarbete med Fritz Winters gjuteri i Tyskland och NovaCast i Ronneby. Bäckerud ansåg att det måste till en enkel processkontroll av smältan för att volymen CGI skulle öka vid framställning av gjutgods. Vid GIFA 1999 visades ett motorblock för en V8 ur BMW's lyxbilssegment gjuten vid Fritz Winters gjuteri med NovaCast:s processkontroll [25].

Det skulle dock dröja fram till mitten av 2000-talet innan serieproduktion av fordonsdetaljer blev vanligt och idag finns materialet som internationell standard.

Som kuriosas kan då nämnas att det finns fyra till fem metoder som idag används för att framställa CGI av dessa är tre med noggrann mätning av smältans egenskaper före behandling enligt termisk analys eller syreaktivitet av smältan. Två svenska företag, SinterCast och NovaCast tillämpar termisk analys som kontroll av smältan.

5.1.5.2 standardbeteckningar

Det numera finns en Europeisk standard SS-EN 16079:2011. Sedan flera år har det funnits internationella standarder som ISO 16112 liksom ASTM A842-85 och SAE J1887 JUL2002 vilka beskriver egenskaper och sammansättning.

Tabell 11 Standardbeteckningar för kompaktgrafitjärn [4]

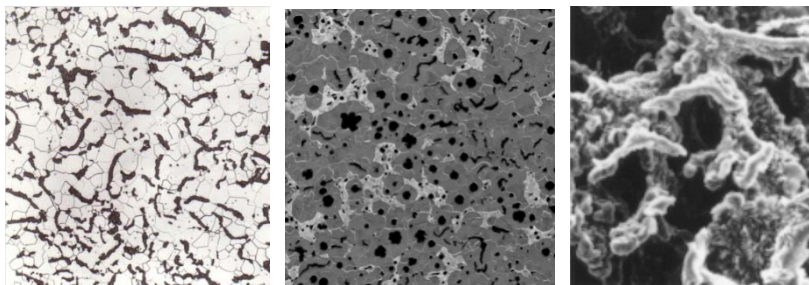
EN 16079:2011		ISO 16112:2006	
Symbol	Nummer	Symbol	Nummer
EN-GJV-300	5.2100	ISO 16112/JV/300/S	ISO 16112/JV/300/S
EN-GJV-350	5.2200	ISO 16112/JV/350/S	ISO 16112/JV/350/S
EN-GJV-400	5.2201	ISO 16112/JV/400/S	ISO 16112/JV/400/S
EN-GJV-450	5.2300	ISO 16112/JV/450/S	ISO 16112/JV/450/S
EN-GJV-500	5.2301	ISO 16112/JV/500/S	ISO 16112/JV/500/S

Sammansättningen är typisk:

%C: 3,2 – 4,0, % Si: 1,5 – 2,5; % Mn: 0,1 – 0,8; % P: < 0,05; % S: < 0,02;
% Mg: 0,01 – 0,025.

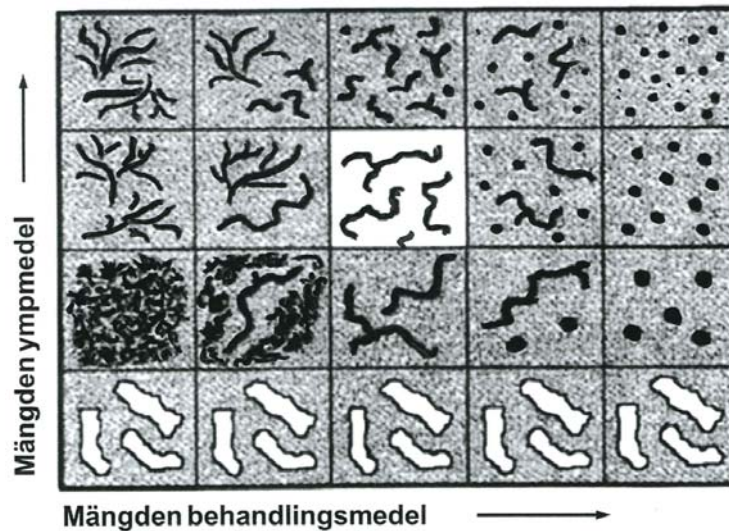
5.1.5.3 Egenskaper

- ✓ Egenskaper mitt emellan gråjärn och segjärn
- ✓ God gjutbarhet.
- ✓ Rimlig skärbarhet.
- ✓ Hög hållfasthet i förhållande till vikt
- ✓ Gynnsam kombination av E-modul och värmeledningsförmåga.
- ✓ Bättre värmeledningsförmåga än segjärn
- ✓ Bättre dämpningsförmåga än segjärn



Figur 14 Kompaktgrafitjärn, ferritiskt-, perlitiskt grundmassa, SEM bild av grafitutformningen.[7]

Framställningen av CGI kräver stor noggrannhet och det talas om ett s.k. fönster där mängden behandlingsmedel och mängden ympmedel (kärnbildare) måste vara optimalt. I andra fall får man vid för små mängder behandlingsmedel gråjärn och vid för stor mängd behandlingsmedel och ympmedel uppnås strukturen för segjärn. Figur 15 är en enkel kvalitativ förklaring till hur grafitstrukturen ser ut vid olika mängder av behandlingsmedel och ympmedel.



Figur 15 "Fönstret" där optimal CGI uppnås vid tillverkningen. [25]

5.1.5.4 Användningsområden

CGI har ännu så länge ett fokus på ersättning av gråjärnskomponenter och att tillverka detaljer där segjärn inte räcker till. Än så länge är den största volymen av gjutgods i Europa till följd av att CGI används för motorblock och cylinderhuvudet i fordon som är dieseldrivna.

- ✓ Motorblock för fartyg
- ✓ Cylinderhuvuden för fartyg
- ✓ Motorblock för tunga fordon
- ✓ Cylinderhuvuden för tunga fordon
- ✓ Motorblock för automobiler
- ✓ Bromsskivor för höghastighetståg
- ✓ Kokiller för götjutning

5.1.6 Vitjärn, legerat gjutjärn eller slitgods.

5.1.6.1 Historia

Det är inte klagt när man började kontrollera smältans innehåll av framförallt krom. Upptäckten av att krom gav ökad slitstyrka till gjutjärnet utnyttjades i den växande gruvindustrin världen över från mitten av 1800-talet. Andra upptäckter var att legerades järn med nickel så stod det bättre emot värme samtidigt som det var lättare att härda. Succesivt så har dagens material av vitjärn eller legerat gjutjärn fått sina olika användningsområden.

5.1.6.2 Materialbeteckningar

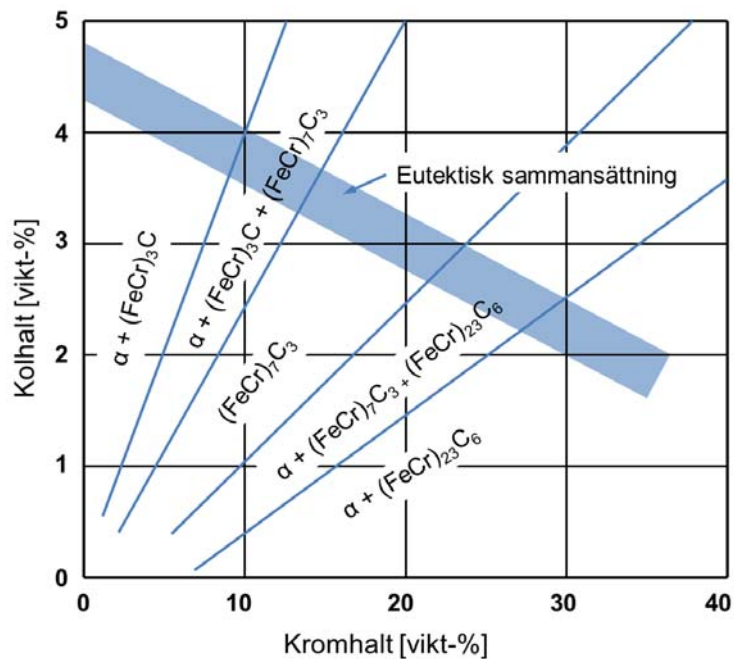
Svensk standard är SS-EN 12513 och omfattar idag 11 olika material. I Tabell 12 är de viktigaste legeringsämnen angivna.

Tabell 12 Standardbeteckningar för vitjärn ur SS-EN 12513 [4]

Symbol	Nummer	Kommentar	Äldre
EN-GJN_HB340	5.5600	< 2,0 % Cr	
EN-GJN_HB400	5.5601	< 2,0 % Cr	
EN-GJN_HB480	5.5602	3 – 5 % Ni, 1,5 – 3 % Cr	
EN-GJN_HB500	5.5603	4 – 5,5 % Ni, 8 – 10 % Cr	
EN-GJN_HB510	5.5604	3 – 5,5 % Ni, 1,5 – 3 % Cr	0512
EN-GJN_HB555	5.5605	4,5 – 6,5 % Ni, 8 – 10 % Cr	0513
EN-GJN_HB630	5.5606	4 – 5,5 % Ni, 8 – 10 % Cr, < 3 % Mo	0457
EN-GJN_HB555(XCr11)	5.5607	< 2 % Ni, 11 - 14% Cr, < 3 % Mo	
EN-GJN_HB555(XCr14)	5.5608	< 2 % Ni, 14 - 18% Cr, < 3 % Mo	
EN-GJN_HB555(XCr18)	5.5609	< 2 % Ni, 18 - 23% Cr, < 3 % Mo	
EN-GJN_HB555(XCr23)	5.5610	< 2 % Ni, 23 - 30% Cr	0466

5.1.6.3 Egenskaper

Vitjärn är ett gjutjärn legerat med Cr, Ni och Mo i varierande mängder. Beroende av hur mycket legeringselement upp till ca 35 % så får vitjärnet eller legerat gjutjärn egenskaper olika egenskaper. Figuren nedan visar de olika strukturer som förekommer när krom och kolhalt varierar.



Figur 16 Strukturerna i vitjärn, α -ferrit är övriga järn-krom-karbider [10]

Egenskaperna som kan tas fram baserat på detta är bl.a. följande:

- ✓ Utmärkt nötningsförmåga
- ✓ Slitstarkt vid höga temperaturer
- ✓ Utmärkt motstånd mot korrosion
- ✓ Utmärkt varmhållfasthet

5.1.6.4 Användningsområden

Vitjärn har ett stort användningsområde inom bygg- och anläggningsindustrin. Gjutna komponenter sitter i förbränningsanläggningar, asfaltkokare cementblandare, m.m.

- ✓ Pumphus för slitande och korrosiva media.
- ✓ Malsegment till pappersindustrin
- ✓ Rostar till förbränningsugnar
- ✓ Skrapor och blandararmar för cement och asfalt
- ✓ Slitdelar till valsar för stålverken
- ✓ Matarskruvar
- ✓ Impeller
- ✓ Turbinhus

Materialet har för vissa legeringar mycket god korrosionshårdighet och för andra legeringar är det möjligt att uppnå arbetstemperaturer på ca 1000 °C.

5.2 Stål

Stål är en övergripande benämning på järn legerat med kol och upp till 20 olika grundämnen med specificerat innehåll, Kolhalten är från 0,02 – 2,0 % och är typisk runt 0,2 % för konstruktionsstål och under 0,08 % för rostfria stål.

Gjutstålens egenskaper hänger starkt samman med hur materialet är legerat. Det är av den orsaken som stålen grovt delas in i följande grupper:

- ✓ Olegerat stål (>98% Fe)
- ✓ Låglegerat eller mikrolegerat stål (2 – 5 % legeringsämnen, resten Fe)
- ✓ Höglegerat stål (> 5 % av minst ett eller flera ämnen tillsammans, resten Fe)
- ✓ Rostfritt stål (> 12 % Cr och < 0,2 % C, plus andra legeringselement)
- ✓ Superlegerat material (Ni- och Co- baserat men även Fe- baserat)

5.2.1 Historia

Järn skiljer sig från ädelmetallerna markant genom att de skrivna vittnesbörderna från gammal tid är få. Yrkesfolket, kemisterna, som hanterade ädelmetaller kunde dokumentera och redogöra för hur de gått tillväga för att uppnå sina legeringars egenskaper. Det är normalt att järn med lite kol, kisel och mangan kallas för järn istället för stål, jämför med armeringsjärn. Detta kan leda till begreppsförvirring när man läser gamla dokument om järnframställning.

Stål som material betraktat har nog funnits på ytan av de järnföremål som framställts. Ett speciellt stål är Wootz-stålet som utvecklades i Indien. Det högkolhaltiga materialet framställdes genom en blandning av kolpulver och järnmalm och smältes i en degel. Första indikationer på detta är ca 1500 f.Kr. Järn på Sanskrit är *ayas*, ett ord som leder till iron, Eisen och järn [20, 27]. Det är dock först ca 300 år f.Kr. som det finns påtagliga bevis för att man framställt detta stål. Mycket av materialet exporterades till Damaskus där man framställde knivar och svärd i det så omtalade Damascenerstålet [20, 27].

Järn legerat med kol (stål) som handelsvara torde först ha uppkommit under senare delen av 1700-talet men det omnämns i en av de få källor som finns från 1540. 1786 utgav den franska vetenskapsakademien en publikation som anses vara en milsten inom den metallurgiska litteraturen [20]. En av författarna, G. Monge, var grundaren av *École polytechnique*. De konstaterade att rent järn som ”förorenats” med små mängder av kol i varierande mängd gav olika egenskaper liksom de konstaterade att om en tackjärnssmälta stelnar olika fort så får brottytor en grå nyans vid långsamt stelning och en vit nyans vid snabbt stelning.

Än så länge är det i form av stänger som stålet framställs genom en reverserande process där rent järn upphettas i en koksbädd och uppkolning av järnet sker. Det är först i mitten av 1800-talet som det riktigt tar fart med en smältprocess som utvecklats av Henry Bessemer även om flera var tekniken på spåret så är det han som fått äran av att ståltillverkningen tog fart med gjutning av ämnen för valsning och smidning, götgjutning.

Bessemerprocessen (patent 1855) [20, 22] baseras på en konverter där luft blåses in genom munstycket upp genom smältan från botten av konvertern. Det gick inte så bra i början trots flera sålda licenser på tillverkningen. Det kom helt enkelt inget flytande stål ur konvertern, utan en segflytande massa som knappt kunde formas.

Den 18 juli 1858 är historisk då bruket vid Edskens masugn som först i världen lyckades få flytande stål ur konvertern. Göran Fredrik Göransson lyckades med stöd från Jernkontoret förbättra processen så att framställningen av stål kunde ske under repeterbara former [20, 22].

Första dokumenterade gjutgodset i stål är från 1845 då tillverkaren Johan Conrad Fisher visar upp ståldetaljer framställda genom gjutning efter smältning i degel [2]. Processen hade tagit sin början redan 1805 (några källor anger att processen redan fanns i Indien och Turkmenistan vid denna tid) men den industriella storskaligheten började först 1877. Flera gjuterier var samtida, i USA hade Buffalo Steel Company grundats 1861 [2] och i Sverige var det 1862 vid Edskens masugn i Gästrikland som bruket under ledning av G. F. Göransson bildade Högsbo stål- och Jernverks AB. Företaget blev sedermera efter en konkurs 1868 Sandvikens Jernverk AB [20, 21, 22].

Bessemerprocessen hade sina begränsningar då infodringen var av SiO₂, s.k. sur infodring vilket gjorde att malmer med höga halter av S och P inte kunde fäskas. Merparten av malmen i Europa innehöll både S och P.

Processen utvecklades genom att göra infodringen basisk med hjälp av kalk i den s.k. Thomasprocessen som hade en basisk eldfast infodring varför järnmalm med höga fosforhalter kunde användas. Under samma period utvecklades en regenera-

tiv smältugn efter idé av Friedrich och Wilhelm Siemens. Först sedan Pierre-Émile Martin, en fransk metallurg, tagit ut licens på metoden och förbättrat den till att även kunna smälta skrot tillsammans med flytande tackjärn ökade användningen. Det ledde till att den svenska järnmalmsexporten sjönk

5.2.2 Beteckningssystemet för stål

Beteckningssystemet för stål baseras på den tidigare tyska DIN-standarden där varje material hade ett Werkstoffnummer. EN-standarden har kompletterats med materialbeteckningar där egenskaper och användningsområde har lagts till. Det innebär att samma material kan anges på två sätt men tillståndet är knutet till en standard som beskriver ändamålet för materialet.

Exempel med nummersymboler:

1 . a a b b (c c)

- 1** anger alltid att materialet är ur stålgruppen.
- aa** materialgrupp, t.ex. 43 för rostfritt stål, 03 för ett stål < 0,12% C.
- bb** är ett löpnummer.
- cc** är ett tilläggsnummer vid behov för speciella egenskaper m.m.

Exempel 1: 1.4408 är ett rostfritt stål med ca 19% Cr och 10% Ni.

Exempel 2: 1.0449 är ett konstruktionsstål med < 0,18% C, < 0,6% Si, <1,2% Mn enligt SS-EN 10293:2005.

SS-EN 10027-2 Stålbeteckningar – Del 2: numeriskt system innehåller hela listan av nummer för materialgrupper och löpnummer.

SS-EN 10027-1:2005 Beteckningssystem för stål-Del 1: stålnamn är ett annat sätt att benämna stållegeringar enligt ett alfanumeriskt system.

Här är stålen indelade efter användningsområden några exempel är:

- Ståls för konstruktions- och allmänna ändamål
- Gjutstål för tryckkärlsändamål
- Rostfria stål och andra legerade stål.

Exempel på alfanumerisk uppbyggnad 1, konstruktionsstål:

G S a a b b c c

- G** står för gjutgods.
- S** anger att det är ett konstruktionsstål.
- aaa** anger minimum sträckgräns i MPa i tunnaste sektionen
- bb** anger temperatur vid vilken provning/ värmebehandling skall ske.
- cc** anger ett specifikt grundämne med extra krav på att uppfyllas.

Exempel: GS200 är ett konstruktionsstål med $< 0,18\%$ C, $< 0,6\%$ Si, $< 1,2\%$ Mn enligt SS-EN 10293:2005

Exempel på alfanumerisk uppbyggnad, legeringsämne $< 5\%$

Stållegeringar där inget legeringsämne överstiger 5 % har en separat beskrivning av materialet i fråga.

G a a b ... c - c ...

- G** är gjutgods.
- aaa** anger 100 x kolhalt i procent (ett medelvärde)
- b** anger grundämnena som karakteriserar det angivna stålet följt av,
- c-c** angivna som av legeringsämnets mängd enligt en faktortabell.

Exempel: G20Mn5 enligt SS-EN 10293:2005. Siffran 20 anger ett medelvärde av 0,2% C och siffran 5 anger ett medelvärde av 1,25% Mn. ($5/4 = 1,25$).

Exempel på alfanumerisk uppbyggnad 3, legeringsämne $> 5\%$:

För legerade stålsorter där minst ett legeringsämne överstiger 5% så är det ett liknade upplägg som ovan med den skillnaden att beteckningen innehåller ett X.

G X a b b b c - c - c

- G** är gjutgods.
- X** anger att det är legerat stål, minst ett ämne $> 5\%$
- a** anger 100 x kolhalt i procent (ett medelvärde).
- b** anger viktiga legeringselement för det angivna stålet.
- c** anger legeringsämnets mängd i stålet (ett riktvärde).

Exempel: GX5CrNiMo19-11-2, där $C < 0,05\%$, $\sim 19\%$ Cr, $\sim 11\%$ Ni och $\sim 2\%$ Mo, enligt SS-EN 10283:2010.

SS-EN10027-1:2005 och SS-EN10027-2 beskriver utförligt hur definitionerna är skrivna för respektive stållegerings beteckningar.

5.2.3 Materialbeteckningar och mekaniska egenskaper

Som kund till ett stålgiuteri bör man välja att beskriva användningsområdet för sin produkt därefter kan gjuteriet välja lämpligt material. Det finns uppgifter på att det förekommer mer än 4000 olika legeringar av stål. De flesta av dessa är justerade från standardmaterial och är endast företagsspecifika. I det följande redovisas materialstandarder enligt applikationsområde.

SS-EN 10293:2005 - Stålgjutgods för konstruktions- och allmänna ändamål.

Standarden omfattar 30 legeringar med varierande innehåll av legeringselement och med mycket varierande mekaniska egenskaper. Tabell 13 visar materialen och tabell 14 visar en summering av de mekaniska egenskaperna.

Tabell 13 Standardbeteckningar för stållegeringar ur SS-EN 10293:2005 [4]

Namn	Nummer	Äldre beteckning
GE200	1.0420	
GS200	1.0449	SS1306
GE240	1.0446	SS1306
GS240	1.0455	SS1305
GE300	1.0558	(SS1606)
G17Mn5	1.1131	(SS2172)
G20Mn5	1.6220	SS2172
G24Mn6	1.1118	-
G28Mn6	1.1165	SS2120 1505
G20Mo5	1.5419	-
G10MnMoV6-3	1.5410	-
G15CrMoV6-9	1.7710	-
G17CrMo5-5	1.7357	SS2223
G17CrMo9-10	1.7379	-
G26CrMo4	1.7221	SS2225
G34CrMo4	1.7230	-
G42CrMo4	1.7231	-
G30CrMoV6-4	1.7725	-
G35CrNiMo6-6	1.6579	-
G9Ni14	1.5638	-
GX9Ni5	1.5681	-
G20NiMoCr4	1.6750	-
G32NiCrMo8-5-4	1.6570	-
G17NiCrMo13-6	1.6781	-
G30NiCrMo14	1.6771	-
GX3CrNi13-4	1.6982	-
GX4CrNi13-4	1.4317	-
GX4CrNi16-4	1.4421	-
GX4CrNiMo16-5-1	1.4405	-
GX23CrMoV12-1	1.4931	-

Tabell 14 Variationer i sträck-, brottgräns, förlängning och slagseghet enligt SS-EN 10293:2005 [4]

	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]	A [%]	KV [J]
Min	200 - 1000	380 - 1250	6 - 25	16 - 100

Värdena för slagseghet är endast vid rumstemperatur. Det föreligger några material som har slagseghetskrav vid -20°C °till – 120°C °Värden för dessa är inte redovisade i tabellen ovan.

SS-EN 10213:2007 - Gjutstål för tryckkärlsändamål.

Standarden omfattar 19 material av ferrit-martensitisk struktur och 12 material av austenitisk och austenit-ferritisk struktur. Tabell 15 visar materialen och tabell 16 visar en summering av de mekaniska egenskaperna..

Tabell 15 Standardbeteckningar för stållegeringar ur SS-EN 10213:2007 [4]

Namn	Nummer	Äldre beteckning
GP240GH	1.0619	
GP280GH	1.0625	
G17Mn5	1.1131	
G20Mn5	1.6220	SS2172
G18Mo5	1.5422	
G20Mo5	1.5419	
G17CrMo5-5	1.7357	SS2223
G17CrMo9-10	1.7379	SS2224
G12MoCrV5-2	1.7720	
G17CrMoV5-10	1.7706	
G9Ni10	1.5636	
G17NiCrMo13-6	1.6781	
G9Ni14	1.5638	
GX15CrMo5	1.7365	
GX8CrNi12	1.4107	
GX3CrNi13-4	1.6982	
GX4CrNi13-4	1.4317	
GX23CrMoV12-1	1.4931	
GX4CrNiMo16-5-1	1.4405	SS2387
GX2CrNi19-11	1.4309	(SS2323) ungefärligt
GX5CrNi19-10	1.4308	SS2333
GX5CrNiNb19-11	1.4552	
GX2CrNiMo19-11-2	1.4409	
GX5CrNiMo19-11-2	1.4408	(SS2343)
GX5CrNiMoNb19-11-2	1.4581	
GX2NiCrMo28-20-2	1.4458	
GX10NiCrSiNb32-20	1.4859	
GX2CrNiMoN22-5-3	1.4470	(2377)
GX2CrNiMoCuN25-6-3-3	1.4517	
GX2CrNiMoN25-7-3	1.4417	
GX2CrNiMoN26-7-4	1.4469	

Tabell 16 Variationer i sträck-, brottgräns, förlängning och slagseghet enligt SS-EN 10213:2007 [4]

	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]	A [%]	KV [J]
Min	180 - 600	420 - 960	15 - 30	27 - 60

Värdena för slagseghet är endast vid rumstemperatur. Det föreligger några material som har slagseghetskrav vid -40°C till -196°C. °CVärden för dessa är inte redovisade i tabellen ovan.

SS-EN 10283:2010 - Rostfritt gjutstål

Rostfritt material delas in i fyra grupper martensitiska stål, 6 stycken, austenitiska, 8 stycken, helaustenitiska, 8 stycken, och 7 stycken ferrit-austenitiska material. struktur och 12 material av austenitisk och austenit-ferritisk struktur. Tabell 17 visar en del material och 18 visar en summering av de mekaniska egenskaperna.

Tabell 17 Standardbeteckningar för stållegeringar ur SS-EN 10283:2010 [4]

Namn	Nummer	Äldre beteckning
GX12Cr12	1.4011	SS2302
GX7CrNiMo12-1	1.4008	
GX4CrNi13-4	1.4317	
GX4CrNiMo16-5-1	1.4405	SS2387
GX4CrNiMo16-5-2	1.4411	
GX5CrNiCu16-4	1.4525	
GX2CrNi19-11	1.4309	(SS2323) ungefärligt
GX5CrNi19-10	1.4308	SS2333
GX5CrNiNb19-11	1.4552	SS2338
GX2CrNiMo19-11-2	1.4409	
GX5CrNiMo19-11-2	1.4408	(SS2343)
GX5CrNiMoNb19-11-2	1.4581	
GX4CrNiMo19-11-3	1.4443	
GX5CrNiMo19-11-3	1.4412	SS2343
GX2CrNiMoN17-13-4	1.4446	SS2366
GX2NiCrMo28-20-2	1.4458	
GX4NiCrCuMo30-20-4	1.4527	
GX2NiCrMoCu25-20-5	1.4584	
GX2NiCrMoN25-20-5	1.4416	
GX2NiCrMoCuN29-25-5	1.4587	
GX2NiCrMoCuN25-20-6	1.4588	
GX2CrNiMoCuN20-18-6	1.4557	SS2378
GX4CrNiMoN26-5-2	1.4474	
GX4CrNiN26-7	1.4347	
GX2CrNiMoN22-5-3	1.4470	SS2377
GX2CrNiMoN25-6-3	1.4468	
GX2CrNiMoCuN25-6-3-3	1.4517	
GX2CrNiMoN25-7-3	1.4417	
GX2CrNiMoN26-7-4	1.4469	

Tabell 18 Variationer i sträck-, brottgräns, förlängning och slagseghet enligt SS-EN 10283:2010 [4]

	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]	A [%]	KV [J]
Min	165 - 1000	430 - 1100	5 - 35	20 - 80

EN 10295:2002 - Värmebeständigt ståljutgods

Standarden omfattar 29 material totalt. Av dessa är 8 ferritiska eller ferrit-austenitiska, 17 är austenitiska och 4 är Ni, eller Co baserade. Ur dessa grupper har 12 material mindre än 50 % Fe i legeringen. Dessa brukar normalt klassas som superlegeringar. Tabell 19 visar standardens materialbeteckningar och tabell 20 visar en summering av 29 materials mekaniska egenskaper.

Tabell 19 Standardbeteckningar för stållegeringar ur SS-EN 10295:2002 [4]

Namn	Nummer	Äldre beteckning
GX30CrSi7	1.4710	
GX40CrSi13	1.4729	
GX40CrSi17	1.4740	
GX40CrSi24	1.4745	
GX40CrSi28	1.4776	
GX130CrSi29	1.4777	
GX160CrSi18	1.4743	
GX40CrNiSi27-4	1.4823	
GX25CrNiSi18-9	1.4825	
GX40CrNiSi22-10	1.4826	
GX25CrNiSi20-14	1.4832	
GX40CrNiSi25-12	1.4837	
GX40CrNiSi25-20	1.4848	(SS2361)
GX40CrNiSiNb24-24	1.4855	
GX35NiCrSi25-21	1.4805	
GX40NiCrSi35-17	1.4806	
GX40NiCrSiNb35-18	1.4807	
GX40NiCrSi38-19	1.4865	
GX40NiCrSiNb38-19	1.4849	
GX10NiCrSiNb32-20	1.4859	
GX40NiCrSi35-26	1.4857	
GX40NiCrSiNb35-26	1.4852	
GX50NiCrCo20-20-20	1.4874	
GX50NiCrCoW35-25-15-5	1.4869	
GX40NiCrNb45-35	1.4889	
G-NiCr28W	2.4879	
G-CoCr28	2.4778	
G-NiCr50Nb	2.4680	
G-NiCr15	2.4815	

Tabell 20 Variationer i sträck-, brottgräns, förlängning och max arbetstemperatur enligt SS-EN 10295:2002 [4]

	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]	A [%]	Max arb. temp [°C]
Min	180 - 320	400 - 550	3 - 20	750 - 1200

Superlegeringar, normalt ett stål där halten av Fe är lägre än 50 %, har utvecklats för användning inom tillverkning av jetmotorer, petrokemisk industri m.m.

SS-EN 10349:2009 - Gjutstål - Gjutgods av austenitiskt manganstål

Manganstål är ett kallhårdande material och används därför i stor utsträckning som slitdelar inom gruv- och anläggningsindustrin.

Tabell 21 Standardbeteckningar enligt SS-EN 10349:2009 [4]

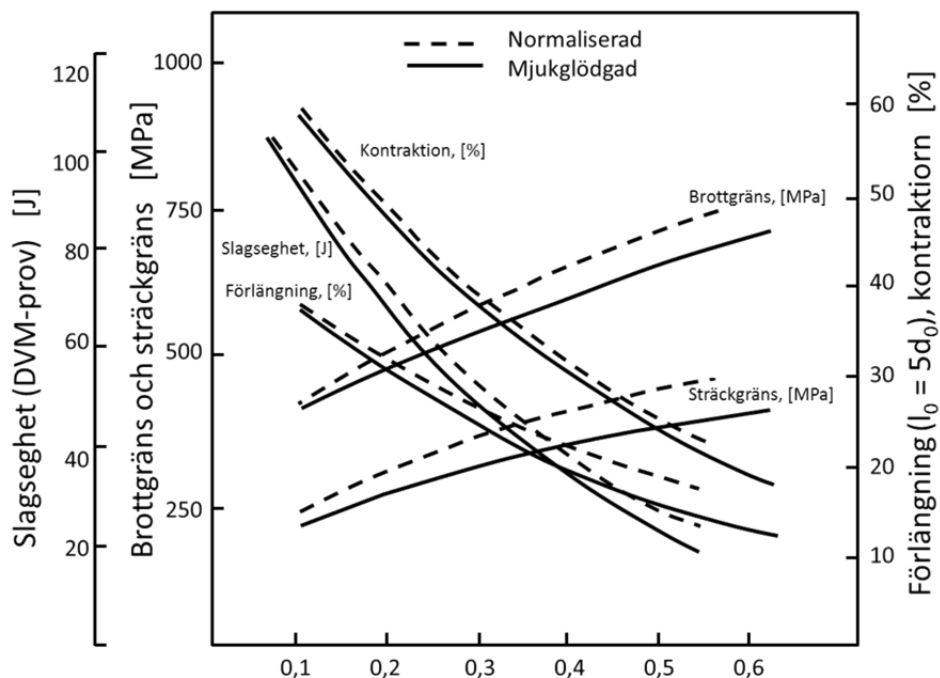
Namn	Nummer	Äldre beteckning
GX120MnMo7-1	1.3415	
GX110MnMo13-1	1.3416	
GX100Mn13	1.3406	
GX120Mn13	1.3802	SS2183
GX120MnCr13-2	1.3410	
GX120MnNi13-3	1.3425	
GX120Mn18	1.3407	
GX90MnMo14	1.3417	
GX120MnCr18-2	1.3411	

5.2.4 Egenskaper

Gjutstålen har många varierande egenskaper beroende av kemisk sammansättning.

- ✓ Bra svetsegenskaper
- ✓ Hög hållfasthet vid höga temperaturer
- ✓ Bra hållfasthet vid extremt låga temperaturer
- ✓ Mycket bra korrosionsmotstånd
- ✓ Bra nötningsegenskaper
- ✓ Värmebehandling kan enkelt förändra basegenskaper

Kol har stor inverkan på stål egenskaper. För normala konstruktionsstål är det helt avgörande för de mekaniska egenskaperna [11]. Kolhalten spelar en stor roll även vid olika typer av värmebehandling. Samma grundmaterial kan, med olika värmebehandlingar, ges olika egenskaper beroende av vilken applikation komponenten skall användas till.



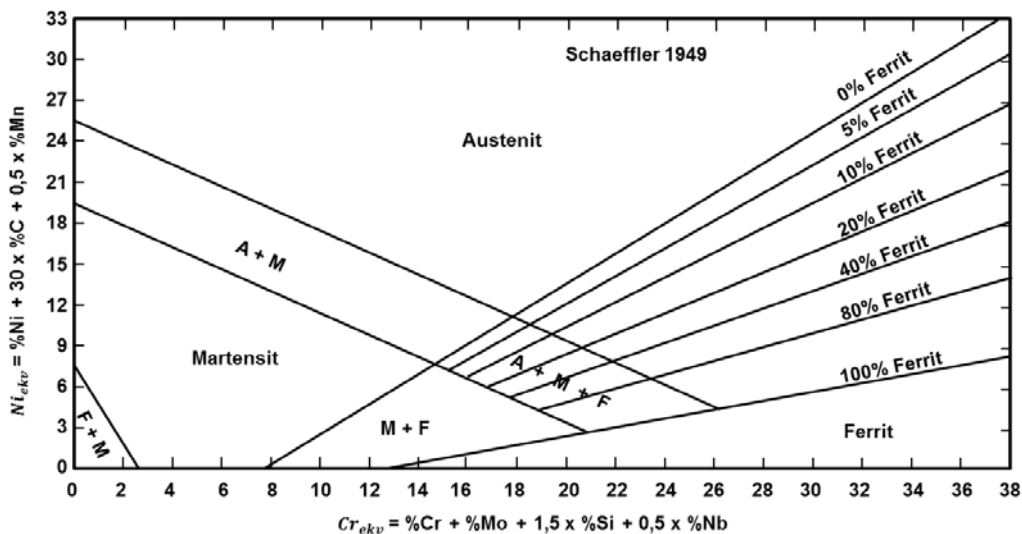
Figur 17 Kolhaltens inverkan på ståls mekaniska egenskaper [11]

De flesta gjutna stållegeringar går att svetsa utan större bekymmer. I formel {1} på sidan 8 så visas en enklare variant av koefficienten som man räknar på för att klassa om ett stål är lätt eller svårare att svetsa.

Konstruktionsstålens utveckling mot allt flera varianter av mikrolegerade stål gjorde att en mera detaljerad kolekvivalent togs fram enligt följande [4, 18, 22].

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Cr+Mo+V)}{5} + \frac{(Ni+Cu)}{15} \quad \{2\}$$

Om CE är lägre än 0,45 så anses stålet kunna svetsas vid rumstemperatur utan att efterföljande värmebehandling behöver tillgripas.



Figur 18 Schaeffler tillståndsdigram för svetsmaterial [4, 26]

För rostfria stål är det viktigt att δ -ferriten kontrolleras vid svetsningen då den har en stark inverkan på materialegenskaperna som t.ex. seghet, korrosion och termisk stabilitet. Diagrammet tidigare sammanställdes Schaeffler och Delong utvecklade ett komplement till detta under 1970-talet. Idag används avancerade simuleringsprogram att prediktera hur egenskaper och sammansättning påverkas i och runt om svetsfogen (HAZ = heat affected zone).

5.2.5 Användningsområden

Gjutstål av skiftande legeringar används inom en mängd områden:

- ✓ Pumphus för allahanda miljöer
- ✓ Turbinhus för vattenkraft
- ✓ Ventilhus för papper- & massaindusti och petrokemisk industri
- ✓ Kopplingar, ventilhus i trycksatta konstruktioner
- ✓ Slitgods i anläggningsindustrin och massaindusti
- ✓ Knutpunkter i bro- eller byggnadskonstruktioner
- ✓ Komponenter till tung Fordonsindustri
- ✓ Anläggningsmaskiner för gruvindustrin
- ✓ Komponenter för krossar inom gruvindustrin
- ✓ Flygindustrin

6 Icke-järnlegeringar

Gruppen icke-järnlegeringar eller metallegeringar består av tungmetallerna, med koppar, zink och bly som baser i respektive legeringar, och lättmetallerna som har aluminium, magnesium och titan som basmetall i legeringarna. Det förekommer lite tenngjutning men inte i någon stor omfattning.

6.1 Tungmetaller

Tungmetaller är som namnet anger metaller med högre densitet. Till gruppen hör vanligtvis legeringar baserade på koppar, zink och bly men även udda material baserade på legeringar av sällsynta metaller faller under denna grupp. De sistnämnda är dock inte beskrivna i texten.

6.1.1 Koppar

Begreppet kopparlegeringar nämns sällan utan det är de specifika legeringsnamnen som används. Kopparlegeringar kan delas in i olika materialgrupper efter vilka legeringselement det är legerat med. Följande är en ungefärlig indelning av alla kopparlegeringar:

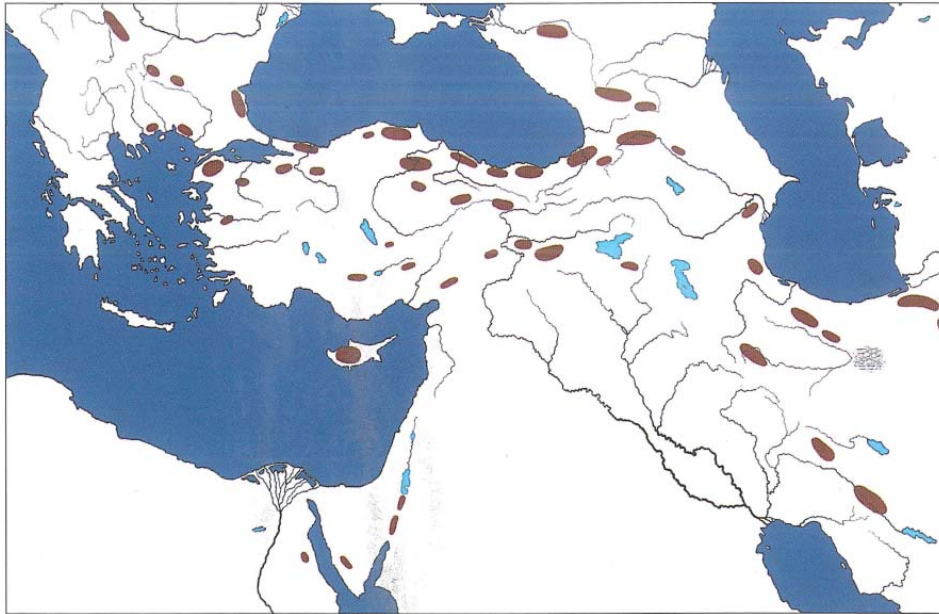
- ✓ Raffinerat koppar (>99,9% Cu)
- ✓ Mässing (~15 till 40 % Zn)
- ✓ Brons (12 % Sn)
 - Blybrons (eller tennblybrons 2 – 12 % Pb)
 - Aluminiumbrons (ca 10 % Al)
 - Nickelaluminiumbrons (ca 10 % Al, 3 – 6 % Ni)
 - Manganaluminiumbrons (ca 11 % Mn)
- ✓ Rödgods (är tennblybrons med 2 – 8 % Zn)
- ✓ Kopparnickel (10 – 30 % Ni)

De olika grupperingarna har många varierande egenskaper beroende av kemiska sammansättningen.

Det mesta av kopparen används som elektriska ledare, ca 65 %, medan ca 25 % används inom byggnadsindustrin och ca 7 % inom transportindustrin. Resten till övriga ändamål.

6.1.1.1 Historia

Koppar och guld var de första metaller, som människan använde. Namnet koppar, Cuprum, fick vi av romarna och betyder metall från Cypern [20]. I naturen förekommande gedigen koppar uthamrades till smycken i Persien och Anatolien (nuvarande Turkiet) kanske för 10 000 år sedan. Det finns tecken på att just Anatolien var metallurgins vagga för framställning av smält koppar och kopparlegeringar. Här i de nordöstra delarna av det som i dag är Turkiet och området öster om Svarta havet har man hittat tydliga spår efter smältning av koppar och det antas att enklare kopparmetallurgi utvecklades under det 6:e årtusendet f.Kr. [19, 28].



Figur 19 Kopparfyndigheter i Anatolien och kringliggande områden [28]

Tidigt användes enkla blåstrar för att ge hög temperatur och flytande material. Lergodsdeglar för kopparsmältning har påträffats i Iran och daterats till 4000 f Kr. Det första exemplet på smältning av koppar som är känt skedde 5500 f Kr på Balkanhalvön där arkeologerna har funnit en mejsel i Prokuplje i Serbien [33].



Figur 20 Degel för smältning av koppar, t.v. och gjutform för dubbelyxa t.h. [28]

Omkring 3500 f.Kr. hade kopparmetallurgi baserats på kopparmalm utvecklats i Anatolien och Mesopotamien [20, 28, 29]. Metallåldern hade börjat.

Materialet var för mjukt för verktyg och vapen. I strid och jakt fick man lita till de gamla goda verktygen av sten och flinta. Mellan slutet av den neolitiska stenåldern och början av bronsåldern har historiker infört kopparåldern. Det är svårt att ange kopparålderns längd. Den sammanfaller med senare delen av yngre stenåldern. I Sverige har ett antal kopparyxor påträffats från neolitisk tid.

Indianer i de stora sjöarnas område i Nordamerika använde gedigen koppar 2000 år f.Kr. Vid Lake Superior tror man att även kopparutvinning ägt rum ur malakit. I

Wisconsin och Illinois har man gjort fynd av armband och andra prydnadsföremål men även av verktyg och vapen, knivar, yxor, spjutspetsar [29].

La Tolitas indianer i det sydamerikanska guldlandet Esmeralda tillverkade också många föremål av koppar: synålar, klockor, små yxor, filigranarbeten av fin koppartråd [20].

I Wadi el-Jariyeh nära Döda havet fann man vid utgrävningar 1934 en kopparhaltig sandsten innehållande kuprit och malakit. På många ställen upptäcktes då ruiner av gamla smältugnar och slagghögar med hög kopparhalt. I Timnadalen, mellan Döda havet och Akabaviken, återupptäcktes Salomos koppargruvor [20].

Första kopparlegeringen var troligen arsenikkoppar, hårdare än ren koppar. Brons, koppar legerat med tenn, uppträdde också mycket tidigt i kopparhistorien. Legeringen var känd långt innan metallen tenn var känd. På olika platser i Anatolien, Mesopotamien, och Egypten gjöt man brons 3000 år f.Kr. [20, 28, 29].

Ismannen Ötzi, vilken påträffades 1991 i Sydtyrolen av tyska fotvandrare, blev en världssensation. Undersökningen av honom skulle få arkeologer att omvärdera utvecklingen av metallurgin för koppar och från vilka områden koppartillverkning har uppstått. Mannen hade legat 5300 år i isen, alltså sedan ungefär 3200 f.Kr.

I hans utrustning fanns en kopparyxa men också verktyg och vapen, en pilbåge och pilar med flintspetsar, en dolk med blad av flinta. Yxan analyserades och visade sig ha en förvånande renhet (99,7 % Cu, 0,2 % As och 0,1 % Ag) [20]. Just det att det fanns arsenik i kopparyxan tog man fasta på, då det skulle indikera att kopparyxan var framställt ur en arsenikhaltig kopparmalm. Under smältningen frigörs större delen av arseniken och kan andas in av smältaren/gjutaren. Det är därför troligt att Ötzi har varit en gjutare.

På Kreta var metallen tenn känd 2000 år f.Kr. Där sänkte man medvetet koppars smältpunkt genom tillsats av tenn. Spjutspetsar och yxor, framställda av brons, var klart överlägsna motsvarande vapen och verktyg av sten och ren koppar.

Liksom tillverkning av brons är äldre än tenntillverkningen, är tillverkning av mässingen äldre än zinktillverkningen. Mässingföremål, daterade till omkring 1000 f.Kr har upptäckts i Palestina. Aristoteles beskrev under fjärde århundradet f.Kr. att det finns folk vid Svarta havet som kan tillverka en ljus och briljant koppar [20, 29].

Under antiken, i det romerska imperiet, utvanns koppar i stor skala på Cypern, i Spanien och i Centraleuropa. Efter kejsare Augustus erövrade Anatolien och Mesopotamien, flyttas mycket konst till Rom och metallurgin kring kopparframställning utvecklas [28, 29].

Europa utvecklade en egen mässingtillverkning i takt med att kunskapen om zink och dess malmer ökade. I Sverige påbörjades mässingproduktion år 1607 vid Skultuna Messingbruk [20].

Falu gruva var under århundraden den rikaste kopparförekomsten i världen. Den hade sin allra största betydelse på 1600-talet, och dess storhetstid sammanföll med Sveriges stormaktstid. Gruvbrytningen kan ha påbörjats redan på 400-talet. Under vikingatiden var gruvan med stor sannolikhet i drift eftersom analys av bronsföremål, som hittats på Gotland och daterats till 800-900-talen, indikerar att den i bronzen ingående kopparn är från Falu gruva [20, 29].

Allmogedriften övergick till stordrift, och malmbrytningen började bedrivas i former som påminner om ett modernt bolag. Själva bolagsbildningen tycks ha sitt ursprung i en överens-kommelse från år 1288, bekräftad med kungens och åtta biskopars sigill [20].

Från den viktiga transaktionen räknar Stora Kopparbergs Bergslags AB, troligen världens äldsta aktiebolag, sin tillblivelse. Det ändrade sedan namn till Stora och heter numera Stora Enso.

6.1.1.2 Beteckningssystemet för kopparlegeringar

Det finns mer än 400 legeringar med koppar som bas. Var och en utvecklat för att ge en specifik egenskap eller anpassat till ett applikationsområde (26).

SS-EN 1982:2008 Koppar och kopparlegeringar – Tackor och gjutgods ger en beskrivning av hur beteckningen är sammansatt.

EN CCaaaB-CC

- CC** är koppargjutgods (Copper Castings)
- aaa** löpnummer för att identifiera legeringsgrupp
- B** är en bokstav som anger samma legeringsgrupp eller egenskap.
- CC** är gjutmetoden som används.

Tabell 22 Materialgrupper av kopparlegeringar [30]

Löpnummer (aaa)	Bokstav, (B)	Materialgrupp
000 – 099	A eller B	Koppar
100 – 199	C eller D	Kopparlegering, låglegerad < 5%
200 – 299	E eller F	Övriga legeringar > 5% legeringselement
300 – 349	G	Koppar-aluminiumlegeringar
350 – 399	H	Koppar-nickellegeringar
400 – 449	J	Koppar-nickel-zinklegeringar
450 – 499	K	Koppar-tennlegeringar
500 – 599	L eller M	Koppar-zinklegeringar, binära
600 – 699	N eller P	Koppar-zink-blylegeringar
700 – 799	R eller S	Koppar-zinklegeringar, komplexa

Exempel: CC491K enligt SS-EN 1412. CC är koppargjutgods, siffran 491 anger att det är fråga om en koppar-tenn-legering och K understryker detta.

Materialsymbol för kopparlegeringar finns även med hänvisning till ISO 1190-1 och beskrivs med ett alfanumeriskt namn enligt:

SS-EN-Cuanbncndn-C-DD

- Cu** är koppar
- a** är huvudlegeringsämnet, **n** är nominell mängd i %.
- b, c, d** är övriga legeringselement,
- n** anger nominell mängd i %.
- C** anger gjutgods (Castings).
- DD** anger gjutmetod

Är legeringsmängden lägre än 1% så anges ingen siffra. Legeringen CC491K ovan kan då även anges som CuSn5Zn5Pb5-C.

I materialspecifikationerna kan det stå ett litet suffix (**CC**) för gjutmetoden enligt:

- GS** = Gjutgods gjuten i sandform
- GM** = Gjutgods gjuten i kokill, gravitation och lågtryck
- GP** = Gjutgods gjuten i pressgjutmaskin
- GZ** = Gjutgods gjuten i centrifugalgjutmaskin
- GC** = Stränggjutet aluminium

Suffixen är nödvändiga för att särskilja olika formningsmetoder och gjutmetoder som påverkar de mekaniska egenskaperna i stor grad.

6.1.1.3 Standardbeteckningar

Det finns ungefär 400 kända legeringar med unika egenskaper. De flesta är anpassade efter specifika projekt. Mer information finns under [30]

Svensk standard omfattar 40 olika legeringar med koppar som bas. Tabellen nedan är en sammanfattning av dessa ur standarden SS-EN 1982:2008 Koppar och kopparlegeringar – Tackor och gjutgods

Tabell 23. Jämförelse av några typiska kopparlegeringars beteckningar [4]

SS-EN-1982:2008	Namn-ISO 1190-1	Äldre	Gjutmetod
EN CC140C	EN CC-CuCr1-C	5144	GS, GM
EN CC750S	EN CC-CuZn33Pb2	-	GS, GZ
-	-	5252	GP
EN CC754S	EN CC-CuZn39Pb1Al	5253	GS, GM, GP; GZ
EN CC765S	EN CC-CuZn35Mn2Al1Fe1	5256	GS, GM, GZ; GC
EN CC767S	EN CC-CuZn38Al	-	GM
EN CC480K	EN CC-CuSn10	5443	GS, GM, GC, GZ
EN CC482K	EN CC-CuSn11Pb2	5458	GS, GZ, GC
EN CC483K	EN CC-CuSn12	5465	GS, GM, GC, GZ
EN CC484K	EN CC-CuSn12Ni2	-	GS, GZ, GC
EN CC490K	EN CC-CuSn3Zn8Pb5	-	GS, GZ, GC
EN CC491K	EN CC-CuSn52Zn3Pb5	5204	GS, GM, GZ; GC
EN CC492K	EN CC-CuSn7Zn2Pb3	5444	GS, GM, GZ; GC
EN CC495K	EN CC-CuSn10Pb10	5640	GS, GM, GZ; GC
EN CC497K	EN CC-CuSn5Pb20	-	GS, GC, GZ
EN CC330G	EN CC-CuAl9	-	GM, GZ
EN CC331G	EN CC-CuAl10Fe2	5710	GS, GM, GZ; GC
EN CC333G	EN CC-CuAl10FeNi5	5716	GS, GM, GZ; GC
EN CC334G	EN CC-CuAl11Fe6Ni6	-	GS, GM, GZ
EN CC212E	EN CC-CuMn11Al8Fe3Ni3	-	GS
EN CC380H	EN CC-CuNi10Fe1Mn1	-	GS, GZ; GC
EN CC383H	EN CC-CuNi30Fe1Mn1NbSi	-	GS

6.1.1.4 Egenskaper

Egenskaperna hos kopparlegeringar kan styras med olika legeringselement. Av Tabell 24 framgår utan inbördes rangordning hur olika grundämnen påverkar egenskaperna hos en kopparlegering [30].

Tabell 24 Olika legeringselements inverkan på några egenskaper [30]

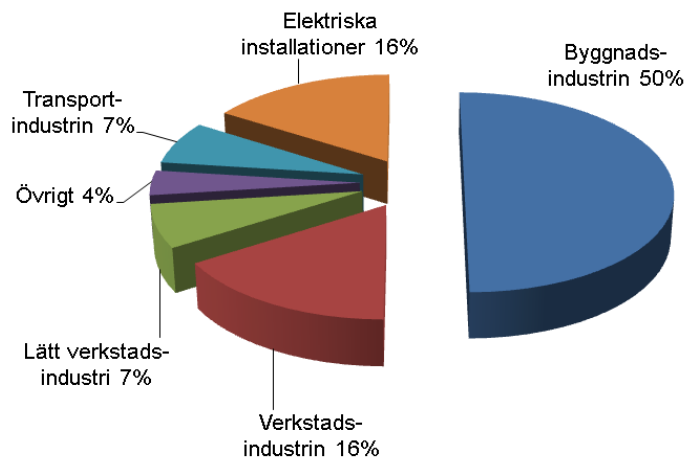
Mekaniska egenskaper	Zn, Sn, Be, Ni, Zr, P, Cr, Al, Fe, Si, Mn
Korrosionsmotstånd	Ni, Al, As, Sn, Mn, Si, Fe
Nötningsbeständighet	Ag, Al, Sn, Si, Cd
Skärbarhet	Pb, Te, S, Zn
Färg	Zn, Sn, Ni

- ✓ Bra flytbarhet vid gjutning
- ✓ Mycket bra korrosionsmotstånd
- ✓ Bra nötningsegenskaper och låg friktion
- ✓ Låg risk för gnistbildning
- ✓ Utmärkta skärbarhetsegenskaper

6.1.1.5 Användningsområden

Kopparlegeringar finns i artiklar inom inredning, marina industrin, motorer och glidlager. Några exempel på användningsområden.

- ✓ Armaturer
- ✓ Dekorativa ändamål
- ✓ Pumpar
- ✓ Propellrar
- ✓ Turbinskovlar
- ✓ Turbinhus
- ✓ Betningskrokar för ytbehandling av stål.
- ✓ Kokiller till stränggjutning av stål.



Figur 21 Procentuell fördelning av kopparlegeringars användning inom olika branschområden i Europa 2003 [33].

6.1.2 Zink

6.1.2.1 Historia

Grundämnet zink undgick länge upptäckt därför att det helt enkelt försvann då sulfidiska malmer rostades. Den vid rostningen bildade zinkoxiden är mycket flyktig och "gick bort i rök". Metod för att systematiskt kunna "fånga" zinkoxiden utvecklades i Persien och Indien före år 1000. Från 1100 blev metoderna kända i Kina och där utvecklades zinkframställningen [20].

År 1745 förläste Svenska Ostindiska Kompaniets fartyg Götheborg på hemväg från Kina. Fartyget sjönk med en traditionell och värdefull last av porslin, te och siden. I lasten ingick också metallen zink, en kuriositet och en typisk österländsk metallurgisk produkt. Delar av lasten kunde bärgas inom kort tid. Ett hundra år efter förlisningen blev det möjligt att bärga också en del av zinkmetallen. Den var då täckt av ett 1 mm tjockt skikt av zinkklorid och -hydroxid. Den metalliska kärnan var ej angripen och kunde analyseras. Sammansättningen var 99,0 % Zn, 0,77 % Fe, 0,25 % Sb [20]. Metallens renhet förvånade Europas metallurger.

Fr.o.m. 1600-talet var Kina världens huvudtillverkare av zink. I Europa blev man akterseglad på detta område. Om Europas kemister hade läst, och satt tilltro till, Marco Polos berättelser från slutet av 1200-talet, hade zinktillverkningen kunnat starta flera hundra år tidigare än vad som faktiskt skedde.

A. S. Marggraf provade lämpliga "malmer" från Böhmen, Polen, Ungern och England i en stor undersökning 1746 och visade att zink kunde framställas ur samtliga. Slutsatsen blev att Europa både hade naturtillgångar och metallurgisk kunskap för att göra sin egen zink.

En av zinkmetallurgins stora pionjärer var abboten Dony de Liege [20]. Under 1800-talets första decennium byggde han upp zinkverk i Liege. Abboten blev ruinerad på verksamheten, men verket gick vidare och en ägargrupp, som följde efter abboten, bildade 1837 Societe de la Vieille Montagne (gamla berget). Zinkgruvan i Sverige blev en del av denna industrigrupp [31]. Gruvan startades 1857 och ägs idag av Lundin Mining Cooperation.

1755 tillverkades den första mängden zink vid en testanläggning vid Hällefors Bruk [20]. Tillverkningen var dock för dyr så zink importerades från Kina under ytterligare hundra år.

Zink är viktig i världens gruvhantering, tonnagemässigt som nummer fyra bland metallerna, efter järn, aluminium och koppar. En zinklegering med ca 4 % Al är volymmässigt nästan lika stor som mässing men ej alls så känd. Den har mycket god gjutbarhet, som utnyttjas vid pressgjutning. Pressgjutlegeringar av zink har drabbats av plastens expansion. Att det trots detta används mycket zink hänger samman med unika egenskaper hos flera zinklegeringar.

6.1.2.2 Beteckningssystemet för zinklegeringar

Det finns 8 olika legeringar i nuvarande svenska standarden från 1996. SS-EN 1774 Zink och zinklegeringar – Legeringar för gjuteriändamål – Tackor och flytande metall anger hur namnen är uppbyggda för zinklegeringar.

Exempel med nummer:

ZP a b c

- Z** indikerar en zinklegering
- P** anger att det är gjutgods
- aa** anger nominell mängd Al i %
- b** anger nominell mängd Cu i %
- c** anger det nästa högsta legeringselement i %, om $c < 0$ då = 0.

Standarden ISO 301:1981 hänvisas det till för att ange enligt symbolbeteckning liknande den som finns för kopparlegeringar där det anges t.ex. ZnAl4Cu1 som indikerar zinklegering med 4% Al och 1% Cu.

Zinklegeringar har även en kortbeteckning bestående av ZP efterföljt av en eller två siffror (se under standardbeteckningar)

6.1.2.3 Standardbeteckningar

SS-EN 12844:1996 - Zink och zinklegeringar – Gjutgods - specifikationer, och SS EN 1774 Zink och zinklegeringar – Legeringar för gjuteriändamål – Tackor och flytande metall är svenska standarder för zinklegeringar.

Tabell 25 . Jämförelse av zinklegeringars beteckningar ur SS-EN 12844:1996 [4]

Legeringsymbol	Legeringsnummer	Symbol	Äldre benämning
ZnAl4	ZP0400	ZP3	ZnAl4
ZnAl4Cu1	ZP0410	ZP5	ZnAl4Cu1
ZnAlCu3	ZP0430	ZP2	
ZnAl6Cu1	ZP0610	ZP6	
ZnAl8Cu1	ZP0810	ZP8	
ZnAl11Cu1	ZP1110	Zp12	
ZnAl27Cu2	ZP2720	ZP27	
ZnCu1CrTi	ZP0010	ZP16	

6.1.2.4 Egenskaper

För gjutning är det nästan uteslutande pressgjutning som gäller enligt varmkammarmetoden. Det finns lite kokillgjutning.

- ✓ Bra flytbarhet vid gjutning
- ✓ Möjligt att gjuta tunna sektioner <1,0 mm
- ✓ Mycket bra korrosionsmotstånd
- ✓ Lång livslängd på gjutverktygen
- ✓ Låg risk för gnistbildning
- ✓ bra skärbarhetsegenskaper

6.1.2.5 Användningsområden

Zinklegeringar finns i artiklar inom inredning, marina industrin, motorer och glidlager.

- ✓ Ventilhus
- ✓ Dekorativa ändamål
- ✓ Skärmskydd
- ✓ El-kåpor
- ✓ Möbelbeslag
- ✓ Inredningsdetaljer
- ✓ Höljen och kåpor till dator och telefonutrustning

6.1.3 Bly

6.1.3.1 Historia

Bly är en av de äldsta metaller, som människan använt sig av. Den var känd i Egypten redan 5000 år f.Kr. och beskrivs i mycket gamla urkunder. I Babylonien användes blytavlor till att skriva på med metallpennor. Att blymetall kom till tidig användning sammanhänger med att den ofta förekommer tillsammans med silver och blir en biprodukt vid silverutvinningen - den är lättsmält - den är mjuk och lätt att forma, den är tung [20].

Bly kom att få mycket stor betydelse i den klassiska antiken. I Grekland fick det namnet mólybdos, i Rom kallades det plumbum.

I Spanien fanns det två platser för blyframställning, två städer Molybdine och Molybdana. Den senare fanns på blyön Plumbaria. Båda platserna hade stora silvergruvor. Även grekerna kände till att urvinna bly från inhemska förekomster av blyglans. De kände till bl.a. produkten mönja Pb_3O_4 . Man upptäckte nämligen att bly motverkade tillväxten av alger på båtskrov.

Kung Hiero av Syracusa byggde ett jätteskepp Alexandria år 264 f Kr och lät beslå skrovet med tunn blyplåt under vattenlinjen [20].

Det var romarna, som gjorde bly till den verkligt stora bruksmetallen. Problemet med vattenförsörjning av imperiets storstäder löstes med blyrör. Vatten transporterades långa sträckor med akvedukterna fram till offentliga bad och brunnar och till privathus. Rörtillverkningen var ett utslag av den romerska ordningen. Genom gjutning tillverkades plåtar, ca 3 m långa och 5-7 mm tjocka. Man hade tio olika plåtbredder, som gav 10 "normerade" rörstorlekar [20].

I de romerska hushållen användes behållare av koppar eller bly för utkokning av saften ur vindruvor. Vid utgrävningarna av Pompeji fann man kärl, fast inmurade i eldstaden. De användes för tillverkning av kryddvin och andra varma drycker.

De romerska härarna utnyttjade det tunga blyet som kulor i sina kastvapen, katalpulterna. Det injagade skräck i fiendehärrar, som ännu använde stenar i sina kastvapen. Under 1400-talet utvecklades handeldvapen där kulorna var framställda av bly gjutna i små formar av sten. Ämnena pressades senare med en specialång till runda kulor.

Man insåg tidigt att bly var giftigt. Redan romarna hade diskussioner om hur hälsosamt det var att använda bly i samband med maten. Under medeltiden började man därför förtenna ytor som skulle ha kontakt med matvaror.

6.1.3.2 Beteckningssystemet för blylegeringar

Finns ett beteckningssystem för göt men inget för gjutgods. De vanligaste legeringselementen är Sb, Sn, Al, Cu och Se.

6.1.3.3 Egenskaper

- ✓ hög densitet
- ✓ Lätt att forma och gjuta
- ✓ Utmärkt korrosionsmotstånd
- ✓ Bra barriär mot strålning.
- ✓ Giftig metall och metallångor

6.1.3.4 Användningsområden

Bly framställs främst för användning inom tillverkningen av ackumulatörer. Nästan 2/3 används inom det området. Lika delar används inom färg/kemi och framställning av gjutgods, ca 10 %.

- ✓ Battericeller
- ✓ Målarfärg
- ✓ Tryckeri
- ✓ Legeringsämne för bl.a. kopparlegeringar.
- ✓ Kölvikter i båtskrov
- ✓ Strålningsavskärmning vid röntgenapparater.

6.2 Lättmetaller

Lättmetallerna omfattar Al-legeringar, Mg-legeringar och Ti-legeringar. Deras främsta användningsområden är inom transportindustrin. Titan framställs inte som gjutgods i Sverige annat än för medicinskt bruk.

6.2.1 Aluminium

Aluminium är den vanligaste metallen i jordskorpan. En av de viktigaste egenskaperna hos aluminium är att det lämpar sig mycket väl för återvinning.

6.2.1.1 Historia

Aluminiums historia är kort i jämförelse med koppar, tenn, bly, zink och järn. Grundämnet är så hårt bundet i sin oxid att det normala reduktionsmedlet kol inte har möjlighet att frigöra metallen i en reduktionsprocess.

I antiken var man intresserad ämnet alumen. Det var ett salt som lånat sitt latinska namn från en indoeuropeisk ordstam alu, som betyder bitter(19). Med dagens kemispråk är alun det samma som kaliumaluminiumsulfat, $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$. Det användes för stilla blodflöde, förbättra infärgning samt till garvning av läder.

Det skulle dröja ända till 1825 innan metallen aluminium framställdes rent. Jöns Jacob Berzelius och Humphrey Davy hade försökt isolera metallen aluminium genom smältelektrolys med Voltas stapel men misslyckats [20, 32, 33].

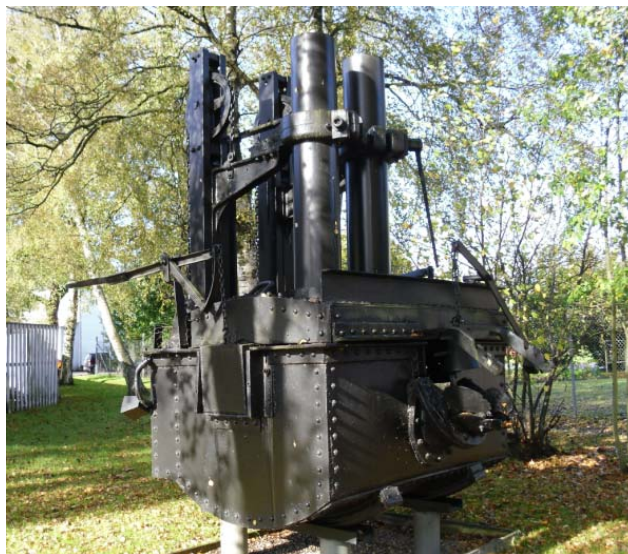
Det var Hans Christian Ørsted (1777-1851) som, medan han förberedde ett försök med Voltas stapel, gjorde upptäckten att han fick en metall likt tenn, men det var aluminium. Friedrich Wöhler fortsatte aluminiumarbetet och kunde 1845 få sådan renhet att han kunde smälta pulvret till metalliskt aluminium [20, 32].

Aluminium var nu den mest värdefulla metallen och efterfrågan ökade. Metallen aluminium fascinerade genom sina egenskaper, det silverlika utseendet, den goda korrosionshårdigheten, den låga vikten. Men den var för dyr. Metoden för att framställa aluminium i större mängd åt gången skulle dröja ända tills 1883 när den ryske kemisten A. Tsyurin föreslog elektrolys av smält kryolit och natriumklorid.

Metoden att framställa aluminium sker genom processen som har fått namn efter båda upphovsmännen, Paul Heroult, Frankrike, och Charles M. Hall, USA. Båda födda 1863 och dog samma år 1914. Båda var 23 år gamla när de gjorde upptäckten att elektrolys av smält kryolit och natriumklorid gav metall på katoden och att syre frigjordes vid anoden [20, 32]. Upptäckten är daterad den 23 februari 1886 då Hall kom in på kontoret med några blanka aluminiumbitar. Dessa kan ses vid Aluminium Company of America, Alcoa, i Pittsburgh [32].

Heroults metod ledde till att produktion startades 1889 i Schweiz hos Aluminium Industrie, nuvarande Alcan [32, 33].

Paul Heroult fortsatte sin uppfinnarverksamhet. Han är berömd som uppfinnare av Heroult -ugnen, som han patenterade 1907. Det är den smältugn, som utvecklats till den moderna stålindustrins "smältmaskin" för skrot, ljusbågsugnen. Utanför Keycast i Ljungby centrum, tidigare Ljungby stålgiuteri, står en tidig Heroult-ugn från 1909. Bilden är inskickat av Jonas Sjöholm, Keycast.



Figur 22 Elektrisk ljusbågsugn anno 1909, Keycast Ljungby

När aluminiumtillverkningen var ny valde konstnärer med förkärlek den anorlunda metallen för olika verk. Den välkända Erosstatyn på Piccadilly Circus i London tillverkades genom gjutning av aluminium år 1893.

6.2.1.2 Beteckningssystemet för aluminiumlegeringar

Enligt SS-EN 1780-1 Aluminium och aluminiumlegeringar – Beteckning av olegerat och legerat aluminium för tackor avsedda för omsmältning, legeringsmetaller och gjutgods – Del 1: Numeriskt beteckningssystem, vilket ser ut enligt:

EN AC-abcdeAB

- A** betecknar aluminium
- C** är gjutgods
- a** anger huvudsakligt legeringselement
- b** anger legeringsgrupp
- c** är en fritt vald siffra
- d, e** är normalt ett värde av 0.
- A** beskriver gjutmetod
- B** beskriver materialets tillstånd.

Tabell 26 Förklaring till materialbeteckningens legeringsuppbyggnad [4]

a	b
Huvudsakligt legeringsämne	Legeringsgrupp
2bcde = koppar	21cde = AlCu
4bcde = kisel	41cde = AlSiMgTi
4bcde = kisel	42cde = AlSi7Mg
4bcde = kisel	43cde = AlSi10Mg
4bcde = kisel	44cde = AlSi
4bcde = kisel	45cde = AlSiCu
4bcde = kisel	46cde = AlSi9Cu
4bcde = kisel	47cde = AlSi(Cu)
4bcde = kisel	48cde = AlSiCuNiMg
5bcde = magnesium	51cde = AlMg
7bcde = zink	71cde = AlZnMg

SS-EN 1780-2 Aluminium och aluminiumlegeringar – Beteckning av olegerat och legerat aluminium för tackor avsedda för omsmältning, legeringsmetaller och gjutgods – Del 2.

EN AC-Al anbnncndnAB

- Al** är mängden aluminium i %
- a** är huvudlegeringsämnet, **n** är nominell mängd i %.
- b, c, d** är övriga legeringselement,
- n** anger nominell mängd i %.
- A** beskriver gjutmetod
- B** beskriver materialets tillstånd.

Börjar med Al, åtföljs av nominell mängd legeringselement i fallande innehåll. Har två legeringselement samma mängd så gäller alfabetiskt följd på det kemiska tecknet.

I materialspecifikationerna kan det stå ett litet suffix (**A**) för gjutmetoden enligt: SS-EN 1706:2010 Aluminium och aluminiumlegeringar – Gjutgods – kemisk sammansättning och mekaniska egenskaper:

- S** = Gjutgods gjuten i sandform
- K** = Gjutgods gjuten i kokill, gravitation och lågtryck
- D** = Gjutgods gjuten i pressgjutmaskin
- L** = Vaxursmältningsmetoden

Det följs ofta med ytterligare ett suffix som anger materialtillståndet (**B**)

- F** = Obehandlat gjutgods, as cast
- O** = Glödlat
- T1** = Kontrollerad svalning efter gjutning och kallåldring
- T4** = Upplösningsbehandlat och kallåldring
- T5** = Kontrollerad svalning och varmåldring
- T6** = Upplösningsbehandlat och varmåldring
- T64** = Upplösningsbehandlat och varmåldring (under)
- T7** = Upplösningsbehandlat och varmåldring, stabiliserad

6.2.1.3 Standardbeteckningar

Svensk standard omfattar 12 olika grupper med totalt 43 olika legeringar med aluminium som bas. Tabellen nedan är en sammanfattning av dessa.

Tabell 27 Jämförelse av några legeringar ur SS-EN 1706:2010 [4]

Nummer	Symbol	Äldre	Gjutmetod
EN AC-21000	EN AC-Al Cu4MgTi	4337	S, K, L
EN AC-42000	EN AC-Al Si7Mg	4244	S, K, L
EN AC-42100	EN AC-Al SiMg0,3	4245	S, K, L
EN AC-43000	EN AC-Al Si10Mg(a)	4253	S, K
EN AC-43100	EN AC-Al Si10Mg(b)	4253	S, K
EN AC-43200	EN AC-Al Si10Mg(Cu)	(4253)	S, K
EN AC-43400	EN AC-Al Si10Mg(Fe)	-	D
EN AC-44100	EN AC-Al Si12(b)	4261	S, K, L
EN AC-44200	EN AC-Al Si12(a)	4261	S, K
EN AC-44300	EN AC-Al Si12(Fe)(a)	4263	D
EN AC-44400	EN AC-Al Si9	4255	S, K, D
EN AC-44500	EN AC-Al Si12(Fe)(b)	4263	D
EN AC-46000	EN AC-Al Si9Cu3(Fe)	4250	D
EN AC-46100	EN AC-Al Si11Cu2(Fe)	-	D
EN AC-46200	EN AC-Al Si8Cu3	4251	S, K, D
EN AC-46400	EN AC-Al Si9Cu1Mg	-	S, K
EN AC-46500	EN AC-Al Si9Cu3(Fe)(Zn)	4252	D
EN AC-47000	EN AC-Al Si12(Cu)	4260	S, K
EN AC-47100	EN AC-Al Si12Cu1(Fe)	-	D
EN AC-51400	EN AC-Al Mg5(Si)	4163	S, K
	(EN AC-Al Zn5Mg)	4438	S, K

6.2.1.4 Egenskaper

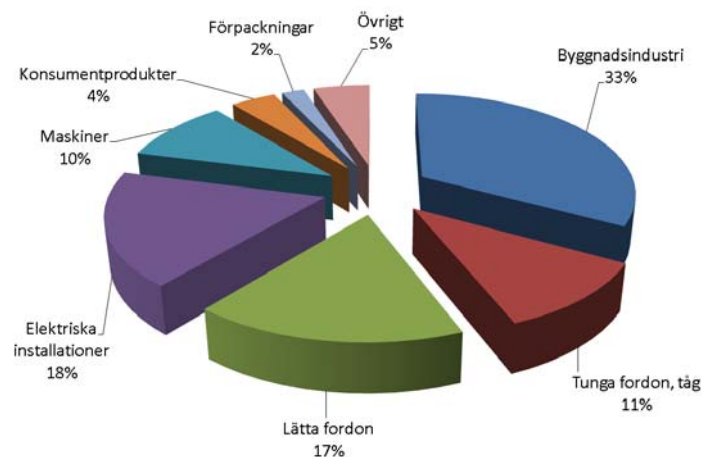
Aluminium framställs inom många applikationsområden och är i dag den mest använda metallen, näst efter järn. Konsumtionen är störst i länder med hög levnadsstandard.

- ✓ Låg densitet
- ✓ Bra mekaniska egenskaper
- ✓ Utmärkt korrosionsmotstånd
- ✓ Relativt lätt att gjuta komplicerade geometrier.
- ✓ Låg risk för gnistbildning
- ✓ Utmärkta skärbarhetsegenskaper
- ✓ Bra värmeledning
- ✓ Inte giftig

6.2.1.5 Användningsområden

Aluminium är ett unikt material så till vidare att ca 75% av allt som producerats sedan 1886 från primäraluminium används fortfarande i dagens produkter. Detta till stor del beroende av hur enkelt det är att återvinna materialet [34].

Figur 23 visar fördelningen sedan 1886.



Figur 23 Fördelning av förbrukat aluminium sedan 1886 – 2012 [34]

- ✓ Ramverk för bilar, flyg, tåg, båtar, bussar m.m.
- ✓ Containrar/flak
- ✓ Bilfälgar
- ✓ Motorblock
- ✓ Cylinderhuvuden.
- ✓ Hushållsmaskiner
- ✓ Elektronikprodukter
- ✓ Byggnadsindustrin
- ✓ Möbler
- ✓ Legeringsämne

6.2.2 Magnesium

6.2.2.1 Historia

Magnesium är en av de viktigaste alkaliska jordartsmetallerna. Innan grundämnet upptäcktes var karbonatet känt som magnesit eller magnesia alba.

Två helt olika mineral, kända sedan århundraden, betecknades som magnesia. Det ena, magnesia nigra, var brunsvart. Det andra var vitt och kallades därför magnesia alba. Det förra visade sig vara manganmineralet brunsten eller pyrolusit. Magnesia alba hade likheter med kalksten. Båda ändrade karaktär vid kalcinering.

Det var Joseph Black, som skapade klarhet. Han utgav 1755, *Experiments upon Magnesia Alba, Quicklime and some other Alkaline Substances*, i vilken han visade att magnesia är en egen oxid, magnesia usta, helt skild från kalk [20]. Blacks insats genom detta arbete har medfört att han betraktas som upptäckare av grundämnet magnesium, även om han delar prioriteten med Humphry Davy, som 1808 framställde metallen smältelektrolytiskt.

6.2.2.2 Beteckningssystemet för magnesiumlegeringar

SS-EN 1754 Magnesium och magnesiumlegeringar – Anoder, tackor och gjutgods – Beteckningssystem anger följande uppbyggand av namnen på legeringarna:

EN-MCabbcdAB

- M** betecknar magnesium
- C** är gjutgods
- a** anger huvudsakligt legeringselement
- b** anger legeringsgrupp, två siffror
- c** undergrupp inom legeringsgruppen
- d** används för att skilja legeringar i undergruppen, siffra 0 - 9
- A** beskriver gjutmetod
- B** beskriver materialets tillstånd.

Tabell 28 Förklaring till materialbeteckningens legeringsuppbyggnad [4]

a	bb
Huvudsakligt legeringsämne	Legeringsgrupp
1bbcd = magnesium	a00cd = Mg
2bbcd = magnesium	a11cd = MgAlZn
3bbcd = magnesium	a12cd = MgAlMn
4bbcd = magnesium	a13cd = MgAlSi
5bbcd = magnesium	a21cd = MgZnCu
6bbcd = magnesium	a51cd = MgZnREZr
7bbcd = magnesium	a52cd = MgREAgZr
8bbcd = magnesium	a53cd = MgREYzr
9bbcd = magnesium	
7bcde = zink	

RE är sällsynta jordartsmetaller och de vanligaste i magnesiumlegeringar är Y (yttrium), Ce (Cerium) och Nd (neodym). Det finns spår av andra RE då det inte är möjligt att framställa helt rena ämnen av RE-metaller.

I materialspecifikationerna kan det stå ett litet suffix (**A**) för gjutmetoden enligt: SS-EN 1753:1997 Magnesium och magnesiumlegeringar – Tackor och gjutgods av legerat magnesium förekommer följande tillverkningsmetoder:

- S** = Gjutgods gjuten i sandform
- K** = Gjutgods gjuten i kokill, gravitation och lågtryck
- D** = Gjutgods gjuten i pressgjutmaskin
- L** = Vaxursmältningsmetoden

Det följs ofta med ytterligare ett suffix som anger materialtillståndet (**B**)

- F** = Obehandlat gjutgods, as cast
- T4** = Upplösningsbehandlat och kallåldring
- T5** = Gjuten, as cast, och varmåldring
- T6** = Upplösningsbehandlat och varmåldring

6.2.2.3 Standardbeteckningar

Svensk standard omfattar 12 olika grupper med totalt 43 legeringar med aluminium som bas. Tabellen nedan är en sammanfattning av dessa ur standarden i SS-EN 1753:1997

Tabell 29 Några magnesiumlegeringar enligt SS-EN 1753:1997 [4]

Symbol	Nummer	Äldre
EN-MCMgAl8Zn1	EN-MC21110	4637
EN-MgAl9Zn1 (A)	EN-MC21120	4635
EN-MgAl9Zn1 (B)	EN-MC21121	
EN-MCMgAl2Mn	EN-MC21210	
EN-MCMgAl5Mn	EN-MC21220	
EN-MCMgAl6Mn	EN-MC21230	4633
EN-MCMgAl4Si	EN-MC21320	
EN-MCMgZn4RE1Zr	EN-MC35110	
EN-MCMgRE3Zn2Zr	EN-MC65120	
EN-MCMgRE2Ag2Zr	EN-MC65210	

6.2.2.4 Egenskaper

Som konstruktionsmaterial har magnesium kommit att utnyttjas mer och mer. Den stora fördelen är metallens låga densitet (1,74 g/cm³, jämfört med 2,7 för aluminium, 4,5 för titan och 7,87 för järn). En annan fördel är den goda gjutbarheten.

Den låga hållfastheten har kunnat förbättras med legeringsbildning. Mg-legering med 9 % Al är den viktigaste. Den har goda gjutegenskaper. En legering med 5 % Al, 0,8 % Si och 0,4 % Mn har högre hållfasthet. En nackdel är magnesiumlegeringars dåliga korrosionshårdighet.

På sin yta utbildar magnesium, till skillnad från aluminium, inget tätt och skyddande passivskikt. Vid användning skyddas därför magnesiumlegeringar med kromatering och lackering.

Vid all användning av magnesium måste brandrisken beaktas. Om magnesium börjar brinna får man inte släcka med vatten! Vid högre temperaturer oxideras magnesium av vattnet, vätgas frigörs och branden blir explosionsartad. En begynnande brand måste släckas med sand, som utestänger luften!

- ✓ Låg densitet
- ✓ Utmärkta mekaniska egenskaper
- ✓ God gjutbarhet
- ✓ Relativt lätt att gjuta komplicerade geometrier.
- ✓ Låg risk för gnistbildning
- ✓ Utmärkta skärbarhetsegenskaper

6.2.2.5 Användningsområden

- ✓ Ramverk för bilar, flyg, tåg, båtar, bussar m.m.
- ✓ Motorblock
- ✓ Cylinderhuvuden.
- ✓ Hushållsmaskiner
- ✓ Byggnadsindustrin
- ✓ Elektronik och telekom
- ✓ Möbler
- ✓ Legeringsämne

6.2.3 Titan

6.2.3.1 Historia

William Gregor från Cornwall i England, publicerade 1791 en artikel om ett svart mineral som verkade innehålla en ny metall. Senare kunde det konstateras att det var jerntitanoxid, ilmenit som han hade funnit.

Heinrich Klaproth fann några år senare att en liknade oxid fanns i material från Ungern. Han döpte den tänkta metallen till Titan. Han hade även varit delaktig i upptäckten av Uran och i den grekiska mytologin var titanerna barn av Uranos, därför namnet Titan [17, 20].

Det skulle dock inte bli enkelt att urskilja metallen från oxiden. Två forskare vid Uppsala universitet, Sven Otto Pettersson och Lars Fredrik Nilsson kom så långt att de fick 95 % rent titan. Det lyckades de med 1887. Trots flera försök med olika klorbehandlingsmetoder kom de inte ända fram utan det skulle dröja till dess att M.A. Hunter använde deras metod men med ett högt tryck. Resultatet blev ett 99,9% rent Ti [17, 20].

Nu introducerades en framställningsprocess som kallas klormetallurgi eller Kroll-processen efter dets upphovsman Wilhelm Kroll. Hans process startade den industriella framställningen av titan från 1940 [17, 20].

6.2.3.2 Egenskaper

Titan ses som en ovanlig metall, men den är dock den nionde mest förekommande i jordskorpan. Tabell 30 visar några vanligt förekommande grundämnen och dess förekomst. Grundämnena är placerade i grupper om förekomst. Inom varje grupp är det en fallande halt av de ämnen som omnämns.

Tabell 30 Förekomst av några grundämnen i jordskorpan [35]

g/ton jordkorpa	Grundämnen
>100 000	O, Si
100 000 – 10 000	Al, Fe, Ca, Na, K, Mg
10 000 – 1 000	Ti, H, P
1 000 – 100	Mn, F, Ba, Sr, S, C, Zr, V, Cl, Cr
100 – 10	Rb, Ni, Zn, Ce, Cu, Y, La, Nd, Co, Sc, (Li, N, Nb) Ga, Pb

Som konstruktionsmaterial har titan fått en ökad betydelse inom flygindustrin. Det är de som satt kraven på titan och titanlegeringars egenskaper. Titan är ca 30 % starkare än vanligt stål men ca 50 % lättare. Det finns höghållfasta stål men vikten är högre.

6.2.3.3 Typiska legeringar

Det finns EN-standard för Ti-legeringar som endast omfattar flygindustrin t.ex. 4800-007:2010 Aerospace series - Titanium and titanium alloys - Technical specification - Part 007: Remelting stock. Där kan man hitta mer information.

6.2.3.4 Användningsområden

- ✓ Flygindustrin.
- ✓ Turbiner
- ✓ Ramverk i militära fordon
- ✓ Produkter för allergiker som ersättning för nickelhaltiga material.
- ✓ Cyklar
- ✓ Medicinsk användning.
- ✓ glasögonbågar
- ✓ Legeringsämne

Referenser

1. Gjutlegeringar, SMS HB 3:2001 utgåva 5.
2. Steel Casting Handbook 5th edition 1980, Advantages of steel castings.
3. Iron Castings Handbook, Iron Casting Society, 1981
4. Diverse svenska materialstandarder.
5. Gießereitechnik-kompakt, K. Herfurth et. al. VDG 2005
6. Taschenbuch der Gießerei-Praxis, 2010
7. <http://www.giessereilexikon.com/>
8. Gusseisen mit Kugelgrafit, Juni 2010, BDG
9. Konstruieren und Gießen Temperguss, ein duktiler Gusseisenwerkstoff 2011, VDG
10. Verschleißbeständige weiße Gusseisenwerkstoffe- G8108, Klaus Röhrig, ZGV
11. Konstruieren und Gießen, Stahlguss
12. Aluminium, SIS handbok 12:2001
13. Aluminium Casting Technology, 2nd edition 1997
14. Guss aus Kupfer und Kupferlegierungen. April 2011, BDG.
15. Guidelines för tillverkning och utveckling av gjutna magnesiumkomponenter, 2009
16. <http://www.zinc-diecasting.info/zdc-database.php>
17. <http://www.titaniumdistributor.com/index.html>
18. www.svets.se/tekniskinfo/svetsning/
19. Iron and steel in ancient times, Vagn F. Buchwald, 2005.
20. Jordens grundämnen och deras upptäckt, I, II, III, Per Enghag, 2000.
21. Gjutjärnets tidsålder, del 1, Martin Fritz 1989
22. Jernkontorets utbildningspaket för stålindustrin.
23. Eget foto och texten från turistbroschyr
24. <http://www.ductile.org/didata/Section2/2intro.htm#History of Ductile Iron>
25. World Conference CGI, Ronneby 2001, Dr. M. Lampic, Prof. L. Bäckerud, m.fl.
26. Welding Journal April 2012 p 113 – 121, M. A. V. Bermejo.
27. India's Legendary "Wootz" Steel, an advanced Material, S. Srinivasan et. al.
28. Anatolia-Cradle of Castings, World Foundry Congress 2004
29. <http://www.scda.com/koppar/index.html> (historia)
30. <http://www.copperinfo.co.uk/alloys/>
31. http://en.wikipedia.org/wiki/Vieille_Montagne
32. <http://www.alcoa.com>
33. www.ravarumarknaden.se.
34. [www.world-aluminium.org/..](http://www.world-aluminium.org/)
35. Allmän och organisk kemi, Gunnar Hägg, 1973 p 423.