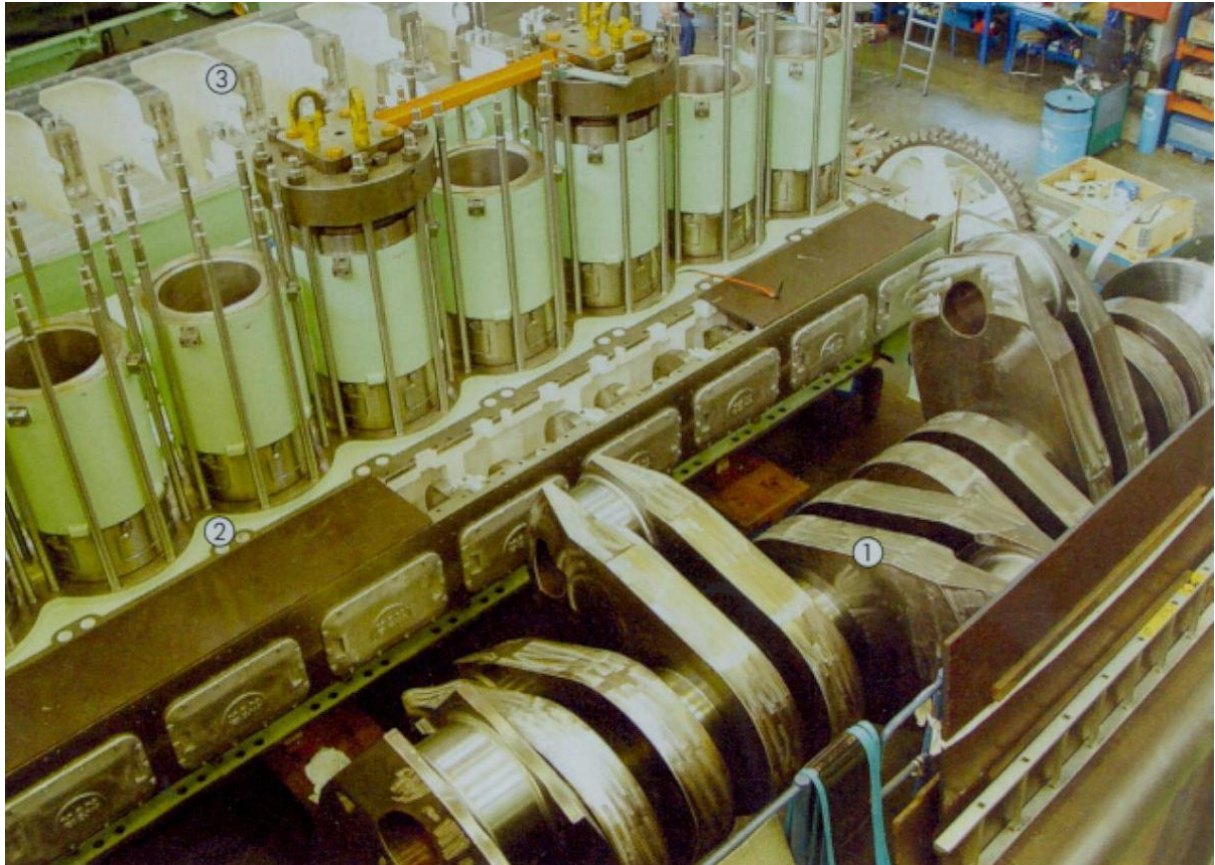


Materiaalgebruik



Dieselmotoren

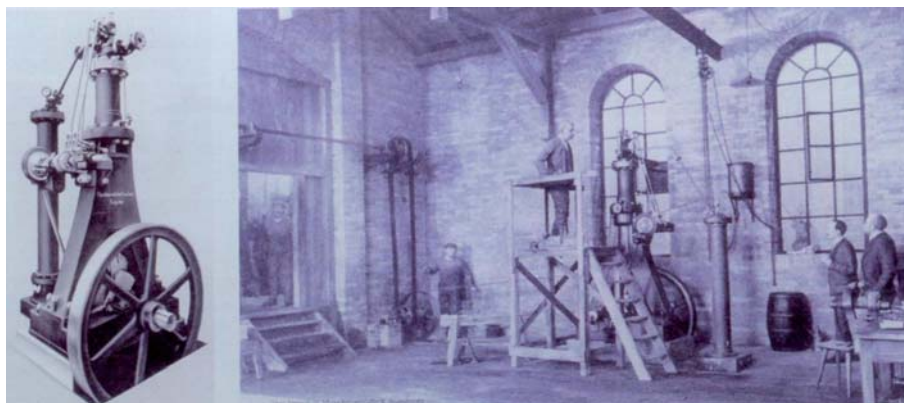
Verslag

Materiaalgebruik Dieselmotoren

Dirk Neve
Scheepvaart en transportcollege
Rotterdam
mei 2005

Inleiding

Al sinds de eerste verbrandingsmotor wordt staal, een legering van ijzer en koolstof, veel toegepast. De voornaamste redenen hiervoor zijn dat dit materiaal **sterk genoeg** is om niet te bezwijken onder de wisselende belastingen, dat men dit materiaal in bijna **alle vormen** kan krijgen en dat het **relatief goedkoop** is in vergelijking met andere materialen. Door de jaren heen haalde men steeds meer rendement uit een motor en ging gewicht ook een grotere rol spelen, hierdoor werden er hogere eisen aan het materiaal gesteld. Om hieraan te voldoen moest men het staal mengen met andere materialen, het zogenaamde legeren. In dit verslag wordt beschreven met welke elementen men het staal kan legeren en uit welke verschillende staalproducten een huidige dieselmotor is opgebouwd.



Inhoudsopgave

	Titelpagina	pag. 1
2	Inhoudsopgave	pag. 2
3	Inleiding	pag. 3
4	Eigenschappen van staalsoorten	
4.1	Legeringselementen	pag. 4
4.2	Soorten metaal	pag. 4
4.3	Lichtmetalen	pag. 5
5	Materiaaleigenschappen toegepast op een dieselmotor	pag. 6
5.1	Motorblok	pag. 6
5.2	Krukas	pag. 6
5.3	Kruishoofd	pag. 7
5.4	Zuiger	pag. 7
5.5	Nokkenas	pag. 8
5.6	Kleppen	pag. 8
6	Literatuurlijst	pag. 9
7	Bijlagen	
7.1	Eigenschappen van legeringselementen	
7.2	Legeringspercentages witmetaallagers	

4 Eigenschappen van staalsoorten

4.1 Legeringselementen

Indien men het staal bepaalde eigenschappen wil geven kan men dit met bepaalde stoffen legeren. Er zijn veel legeringselementen op te noemen, zie ook de tabel die in bijlage 7.1 "Eigenschappen van legeringselementen" is opgenomen. De belangrijkste elementen zijn:

Chroom is een veelgebruikt element omdat deze vele eigenschappen van het staal verbeterd, zoals de hardbaarheid, de gevoeligheid voor oververhitting en de weerstand tegen corrosie. Ook verbetert chroom (in combinatie met mangaan) de hardheid en maakt (in combinatie met nikkel en silicium) het materiaal zeer hittevast.

Mangaan verlaagt de hardingstemperatuur, hierdoor krimpt het materiaal minder tijdens het harden. Indien het in grotere hoeveelheden (meer dan 12%) gebruikt wordt, krijgt het staal een grote taaiheid. Bovendien maakt mangaan het zwavel, wat een verontreiniging is, in het materiaal onschadelijk.

Molybdeen verbetert in grote mate de hardbaarheid en maakt (in combinatie met *chroom*) het staal beter bestand tegen vermoeiing.

Nikkel verbetert de hardbaarheid en zorgt (in combinatie met *chroom*) voor een betere doorharding.

Vanadium vermindert de gevoeligheid voor oververhitting en vergroot (in combinatie met nikkel) in sterke mate de taaiheid.

Wolfram verhoogt de slijtvastheid en zorgt (in combinatie met *chroom*) voor een hoge ontlaattemperatuur.

4.2 Soorten metaal

Men kan staal en ijzer in drie grote groepen verdelen, namelijk ongelegeerd, zwak gelegeerd en hoog gelegeerd. Ongelegeerd metaal bevat een minimum aan legeringselementen. Hierdoor worden de eigenschappen van dit materiaal in belangrijke mate bepaald door het koolstofgehalte. Door een hoger koolstofpercentage krijgt het metaal een grotere treksterkte en hardheid en een kleinere rek en taaiheid. De grens tussen zwak en hoog gelegeerd metaal ligt bij $\approx 5\%$ aan legeringselementen.

Verder kan men het ijzer en staal kan nog op onderverdelen in meerdere groepen, de belangrijkste zijn op basis van: chemische samenstelling, bewerkingsmethode of toepassinggebied. Ik heb ervoor gekozen om de staalsoorten te verdelen op grond van hun chemische samenstelling en op de bewerkingsmethode, dit om het hierna volgende hoofdstuk duidelijker te maken.

GIETIJZER

Ongelegeerd gietijzer bevat 2,5 tot 5% koolstof en wordt, sinds de eerste inwendige verbrandingsmotor, nog steeds zeer veel gebruikt voor motoronderdelen.

De voornaamste **voordelen** zijn: relatief goedkoop; laag smeltpunt (ca. 1150°C) dun vloeibaar; lage krimp; verspanbaar; hard; geluid dempend; corrosiebestendig.

De voornaamste **nadelen** zijn: niet smeedbaar; niet lasbaar; broos; trekvastheid; bij plotselinge temperatuurwisseling kans op scheurvorming; zwaar en vaak dikwandig.

Al naar gelang de gebruikerseisen wordt dit ijzer gelegeerd, enkele soorten gietijzer zijn:

Grijs gietijzer heeft een siliciumgehalte van maximaal 4,0% en een laag mangaangehalte.

Wit gietijzer daarentegen een laag siliciumgehalte en een hoog mangaangehalte van maximaal 2,0%.

Perlitisch gietijzer is grijs gietijzer, bevat $\approx 3,5\%$ koolstof en $\approx 3,0\%$ silicium. Hierdoor wordt de koolstof gebonden en is het ijzer fijnkorrelig, dit maakt het ijzer goed bestand tegen slijtage.



Nodulair gietijzer wordt verkregen door magnesium toe te voegen. Hierdoor wordt de koolstof gebonden en hebben de ijzerdeeltjes een groter samenhang, dit maakt het ijzer taai.

Austenitisch gietijzer wordt verkregen door wit gietijzer te mengen met nikkel (15–35%) en chroom ($\approx 2,0\%$). Dit maakt het ijzer zeer hard. Bovendien is dit ijzer goed bestand tegen corrosie en heeft het een goede hittevastheid. Bij een hoog nikkelgehalte (30–36%) heeft dit ijzer een geringe uitzetting. Deze legering wordt gebruikt voor een uitlaatklephuis van een zware motor.

STAAL

Staal bevat maximaal 1,7% koolstof en wordt voornamelijk gebruikt voor de gelaste constructies in een motor. De voornaamste **voordelen** zijn lasbaar; hoog smeltpunt (ca. 1450°C); smeedbaar; verspaanbaar; taai; oppervlakteharding mogelijk (boven 0,3% koolstof); licht in gelast constructies. Het voornaamste **nadeel** is dat staal zacht is.

GIETSTAAL

Gietstaal bevat tussen de 0,5 en 2% koolstof. De voornaamste **voordelen** zijn: hoog smeltpunt; smeedbaar; hoge treksterkte; kan in een grove mal gegoten worden; sterke en lichte constructies mogelijk. De voornaamste **nadelen** zijn: dikvloeibaar; grote krimp; alleen eenvoudige gietvormen mogelijk; moet uitgegloeid worden. Indien men mangaan en silicium toevoegt worden de gieteigenschappen verbeterd. Indien molybdeen (0,5–1,0%) wordt toegevoegd krijgt het staal een hogere rekgrens bij een hoge temperatuur.



SMEEDSTAAL

Smeedstaal bevat tussen de 1,5 en 3,2% koolstof. De voornaamste **voordelen** zijn: smeedbaar; verspaanbaar; taai; hoge treksterkte bij een hoge temperatuur. Het voornaamste **nadeel** is dat smeedstaal door de grove vorm verspaand moet worden.

4.3 Lichtmetalen

Lichtmetalen hebben als hoofdbestanddeel aluminium waardoor ze veel lichter zijn dan gietijzer.

De voornaamste **voordelen** zijn: hoge treksterkte, ook bij hoge temperatuur; grote vermoeiingssterkte; goede looieigenschappen; goede warmtegeleiding.

De voornaamste **nadelen** zijn: slijtagegevoelig; hoge uitzettingscoëfficiënt.

ALUMINIUM–KOPERLEGERING

Indien men een betere warmtegeleiding en gunstigere sterkte eigenschappen wil bereiken kan men ervoor kiezen om het aluminium met koper, nikkel en magnesium te legeren. Men noemt dit aluminium–koperlegeringen.

Voegt men daar nog eens silicium aan toe dan bereikt men een kleinere uitzettingscoëfficiënt en wordt het lichtmetaal beter bestand tegen slijtage. De legeringen heten dan aluminium–siliciumlegeringen.

5 Materiaaleigenschappen toegepast op een dieselmotor

Over het algemeen kan men zeggen dat hoe groter het motorblok wordt hoe groter de belastingen zijn. Dit wordt nog eens versterkt door het feit dat zeer grote motoren op zware olie verbranden, hiervan ligt het verbrandingspunt veel hoger dan diesel.

5.1 Motorblok

Kleinere motorblokken, tot 100 kW, worden van lichtmetaal of grijs gietijzer gegoten, dit hangt af van de gebruikereisen, licht of lagere kostprijs. Het voordeel van gegoten blokken is dat ze in alle vormen te krijgen zijn. Hierdoor kan men de meeste hulpsystemen al in het blok opnemen. De overige voordelen zijn hierboven al besproken.



Bij grotere vermogens wordt voor nodulair gietijzer gekozen en naarmate de belastingen groter worden gaat men het ijzer legeren. Er wordt dan voornamelijk magnesium toegevoegd waardoor het ijzer een grotere treksterkte krijgt.

Bij zware motoren, 20.000 kW en meer, wordt het blok meestal opgebouwd uit gelaste staalconstructies en is het gietwerk minder. De voornaamste reden hiervoor is het gewicht en de productiecapaciteit. De cilinderbalk wordt meestal van zwak gelegerd gietstaal gemaakt. Tot slot wordt het opgebouwde blok verbonden door lange verticale gelegerde trekankers die hoofdzakelijk worden belast op grote trekspanningen.

5.2 Krukas

Kleinere motoren hebben een krukas van ongelegeerd staal of nodulair gietijzer, wel moeten de ashalzen gehard worden.

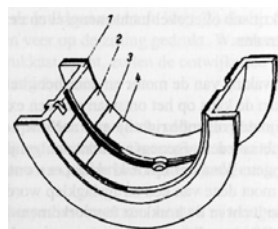
Bij grotere motoren wordt de krukas van (on)gelegeerd smeedijzer gemaakt. Het gelegerde staal is gemengd met chroom (18–20%) en nikkel (8–10%) of met chroom en molybdeen.

De zware motoren hebben een, meestal ongelegeerd, smeedstalen krukas. Dit omdat hier de belastingen op de krukas relatief klein zijn, dit komt hoofdzakelijk door het lagere toerental. Het vliegwiel is meestal van perlitisch smeedbaar gietijzer, dit om aan de vrijwel enige gebruikerseis te voldoen, het gewicht.



DRIJWERKLAGERS

Bij alle motoren worden bijna alleen nog trimetaallagers gebruikt, dit omdat deze zwaar kunnen worden belast. De eerste laag is de stalen lagerschaal (1). Om het lager betere loopeigenschappen te geven, bestaat de tweede laag uit een loodbrons of koperlood legering (2). Daar deze laag niet corrosievast is, is er een derde laag (4) nodig, hiervoor gebruikt men verschillende legeringen, dit hangt af van de belastingen op het lager.



Figuur 5.9. Trimetaallager

- 1 - stalen lagerschaal
- 2 - loodbronslaag
- 3 - nikkelbarrière
- 4 - witmetaal

Bij kleinere motoren wordt gekozen voor een lichtmetaal ($\approx 80\%$ aluminium en $\approx 20\%$ tin).

Indien de belastingen groter worden kiest men ervoor om dit lichtmetaal te legeren met zink en silicium.

Bij grote motoren kan men beter voor een witmetaal op loodbasis met een tingehalte van minimaal 6% kiezen. Echter er is gebleken dat het tin, na verloop van tijd, zich diffundeert in de tweede laag. Om dit tegen te gaan brengt men op de loodbronslaag een nikkel-laag (3) van enkele microns aan.

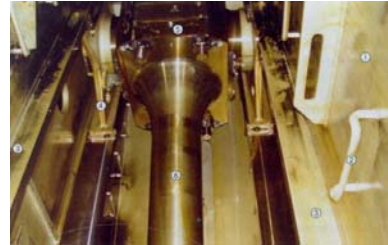
Houdt men er rekening mee dat er grenssmering ontstaat, wat het geval kan zijn bij zeer grote twee-slag motoren, wordt er voor witmetaallagers gekozen, zie ook de tabel die in bijlage 7.2 "Legeringspercentages witmetaallagers" is opgenomen. Het voordeel van deze lagers is dat ze tijdelijk de functie van de smeerolie kunnen overnemen, men verdeelt witmetaallagers op basis van lood of tin. Lagers op loodbasis hebben uitstekende loopeigenschappen, daarentegen zijn lagers op tinbasis sterker en hebben een betere warmtegeleidbaarheid.

5.3 Kruishoofd

DRIJFSTANG

Bij kleinere motoren is deze gemaakt van chroommolybdeenstaal ($\approx 3\%$ chroom en $\approx 5\%$ molybdeen), dit heeft namelijk een hoge treksterkte en is goed bestand tegen vermoeiing. Op een drijfstang werken voornamelijk deze twee belastingen.

Indien de motoren groot worden kiest men voor een legering welke beter is bestand tegen slijtage. Dit is meestal een staal met mangaan ($\approx 1,5\%$), chroom ($\approx 1\%$), molybdeen ($\approx 0,4\%$) en nikkel ($0,5-4,0\%$). Het staal is voor het harden goed te verspanen.



LEIBAAN

De stalen leibaan is opgenomen in het motorframe. Om deze slijtbestendig te maken ondervindt dit materiaal meestal een oppervlakte behandeling, men kan ervoor kiezen om een laag gelegeerd slijtvast mangaanstaal te gebruiken. De kruispen, die drijf- en zuigerstang aan elkaar verbindt, is meestal van chroommolybdeenstaal.

ZUIGERSTANG

De zuigerstang is allen van toepassing bij zware dieselmotoren met een leibaan en is gemaakt van een gelegeerd smeedstaal. Meestal wordt er voor nitreerstaal ($\approx 3\%$ chroom, $\approx 5\%$ molybdeen en $\approx 0,2\%$ vanadium) wat geschikt is voor hoge trek- en drukkrachten. Ook wordt ervoor gekozen om de zuigerstang vast in de zuiger op te nemen, in dat geval is de zuigerstang van smeedstaal.

5.4 Zuiger



Kleine motoren hebben een lichtmetalen zuiger, het grote voordeel hiervan is de goede warmteafvoer. Indien er een kleine uitzetting is vereist is wordt een aluminium-silicium legering gebruikt.

Grote motoren hebben meestal een opgebouwde zuiger. De zuigerkroon is van gietstaal, eventueel met molybdeen ($\approx 1\%$) om het beter bestand te maken tegen hitte. Het hemd van de zuiger is van nodulair gietijzer, dit omdat gietijzer betere loopeigenschappen heeft en de belastingen op dit gedeelte minder zijn.

Zware motoren hebben een smeedstalen zuiger, voornamelijk omdat de zuiger hier thermisch zwaar belast wordt als gevolg van de zware olie.



CILINDERVOERING

Voor de meeste motoren wordt er gekozen voor een gelegeerd perlitisch gietijzer, goede loopeigenschappen. De voering heeft meestal een verdikte bovenrand om de hoge compressedrukken op te vangen.

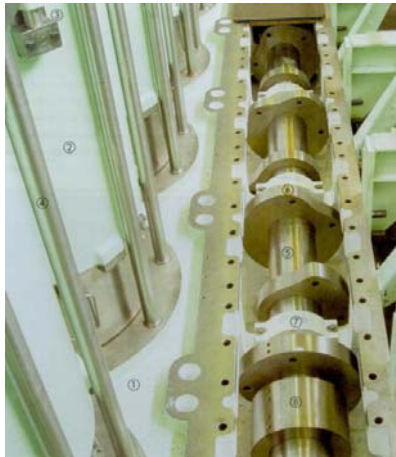
Zware motoren hebben een gietstalen cilindervoering, dit vanwege de thermische eigenschappen. Bovendien worden deze voeringen minder belast op wrijving daar de zijdelingse krachten van de drijfstang door de leibaan worden opgenomen.

Zuigerveren zijn van perlitisch gietijzer met vlokgrafiet, dit wordt toegevoegd om de loopeigenschappen te verbeteren. De bovenste zuigerveren hebben soms een chromen slijtlaag die tevens hittevast is.

CILINDERKOP

Voor de materiaalkeuze van de cilinderkop gelden vrijwel dezelfde criteria als die van het blok. Zo hebben kleine motoren vaak een lichtmetalen of gietijzeren kop. Grotere motoren hebben een kop van gietstaal of gietijzer en bij de zware motoren is deze van smeedstaal.

5.5 Nokkenas



De nokkenas van snellopende motoren zijn vaak van chroomnikkelstaal (18–20% chroom en 8–10% nikkel), dit “Roest Vast Staal” is zeer taai en hard.

Zware motoren hebben een opgebouwde nokkenas. Indien de nokken bij los gemaakt worden zijn deze van een nikkelstaal (2–5%) en is de as van nodulair gietijzer. Het voordeel van nikkel is dat deze zorgt voor een grote treksterkte, hardheid, taaiheid en een goede kernharding.

De rollen van de kleppen zijn van chroomstaal (6–12%), dit omdat deze hard en slijtagebestendig moeten zijn.

OVERBRENGING

De tandwielen tussen de kruk- en nokkenas zijn van een betere kwaliteit gietstaal. Om ze bestendiger te maken tegen slijtage worden ze gelegeerd met mangaan (12–14%). Een hogere hittevastheid bereikt men door toevoeging van chroom (0,3–6,5%) en molybdeen en voor een hogere corrosievastheid voegt men chroom (12–20%) en nikkel (1–12%) toe.

5.6 Kleppen

De eisen aan een inlaatklep zijn niet zo zwaar, daarom worden deze meestal gemaakt van een goede kwaliteit koolstofstaal. Daarentegen wordt de uitlaatklep zeer zwaar belast door de hete uitlaatgassen die erlangs stromen. Hiervoor wordt chroomstaal (8-12%) met silicium gebruikt, de klep wordt vervolgens opgelast met een pantserstaal (koolstof, chroom, wolfram en kobalt) om deze bestand te maken tegen de extreme belastingen. Er wordt ook wel gekozen om de gehele klep van speciaalstaal, zoals het Nimonic 80A (\approx 76% nikkel, \approx 20% chroom, titaan en aluminium), te maken. De voordelen van dit materiaal kan men met name merken bij een hoge temperatuur, het heeft dan een zeer hoge treksterkte, is corrosiebestendig, is ongevoelig voor inwerkende gassen en verontreinigingen uit brandstof.



Literatuurlijst

Eigenschappen en toepassingen van materialen	A. Quak, Educaboek
Projectmanagement	Roel Grit, Wolters Noordhoff BV
Rapport over rapporteren	Wim Hoogland, Wolters Noordhoff BV
Scheepsdieselmotoren	K. Kuiken, Target Global Energy Training
Scheepsdieselmotoren	P. van Maanen, Nautech
Zakelijke communicatie 1	Daniel Janssen, Wolters Noordhoff BV

Bijlage 7.1 Eigenschappen van legeringselementen

elementen		eigenschap													
		treksterkte	rek	vloeigrens	taaiheid	hardheid	koudbrosheid	warmbrosheid	slijvastheid	hittevastheid	corrosievastheid	lasbaarheid	verspaanbaarheid	vervormbaarheid	carribenvorming
chrom	Cr	++	-	+	+	+			+	+	++	-	-	-	++
cobalt	Co	+	-			+					+	-	-	-	
fosfor	P	+	-		--	+	++					-	+		
koolstof	C	++	-	+	-	++			+			-	-	-	++
koper	Cu	+	+			+						-		+	
lood	Pb											-	+		
mangaan	Mn	++	-	+	+	+	+		++			-		-	
molybdeen	Mo	+	-	+		+				+	+				+
nikkel	Ni	+	+	+	+	+			+	+	+		-	+	
vanadium	V	++	-	+	+				+	+	+	-	-		
stikstof	Ni											-			
silicium	Si	+	-	+	+	+			+		+		-	-	++
titaan	Ti	+				+						-	+		++
wolfram	W	+	-			+						-	-	-	+
zwavel	S							++				-	+		

+ toenemend

- afnemend

++ sterk toenemend

-- sterk afnemend

Bijlage 7.2 Legeringspercentages witmetaallagers

aanduiding	legeringspercentages								
	tin	lood	stibium	koper	cadmium	arseen	nikkel	hardheid	eisen
Lg-Pb Sb 12	-	86	12	1	-	1	-	18	(a)
Lg-Pb Sn 5 (WM5)	5	78,5	15,5	1	-	-	-	22	(b)
Lg-Pb Sn 10 (WM10)	10	73,5	15,5	1	-	-	-	23	(b)
Lg-Pb Sn 9 Cd	9	75	14	1	0,5	0,5	-	28	(c)
Lg-Sn 80 (WM80)	80	2	12	6	-	-	-	27	(d)
Lg-Sn 80F	80	-	11	9	-	-	-	28	(d)
Lg-Sn 88 (WM88)	80	-	7	3	1	-	1		(d)

De eisen waaraan deze witmetalen moeten voldoen zijn:

- (a) normale belasting
- (b) hogere belasting
- (c) hoogste belasting
- (d) stotende belasting