

Nieuwe mogelijkheden met zinkgietlegeringen

Ing. Th.J. van Houten

Technische Service Afdeling van Billiton Zink BV, Leidschendam

Zinklegeringen worden al sinds het begin van deze eeuw gebruikt als hogedruk-spuitsgietlegeringen vanwege hun uitstekende mechanische eigenschappen en gietbaarheid.

Het hoge gehalte aan verontreinigingen veroorzaakte echter een snel verlies aan sterkte, waardoor deze zinklegeringen een ongunstige reputatie kregen.

Met het beschikbaar komen van zuiver (elektrolytisch) zink werden de zinksputgietlegeringen Zamak ontwikkeld, die een breed toepassingsgebied vonden.

Tijdens de laatste twintig jaar is, gestimuleerd door de internationale zinkwereld en mede onder druk van de oprukkende kunststoffen en aluminiumlegeringen, veel onderzoek verricht naar het zinksputgietproces en naar nieuwe zinkgietlegeringen.

In dit artikel worden de zinklegeringen besproken, waarbij zowel de zinksputgietlegeringen als de nieuwe zink-aluminium legeringen, die geschikt zijn voor vallend gieten (ook wel zwaartekrachtgieten genoemd) en spuitgieten, aan de orde komen. De conclusie over zinklegeringen is als volgt samen te vatten: zink is een modern materiaal, waarmee op economische wijze technisch gietwerk van hoge kwaliteit kan worden gemaakt.

Geschiedenis

De eerste zinksputgietlegeringen, waaronder Zn + 6% Sn + 5% Cu en 0,5% Al, zijn in het begin van deze eeuw ontwikkeld om lood en tin te vervangen bij het maken van drukletters. Deze zinklegeringen waren echter gevoelig voor interkristallijne corrosie door tin, lood en cadmium en voor veroudering door het hoge kopergehalte, waardoor ze hun sterkte verloren. De eerste resultaten waren dus nogal matig, waardoor de waardevolle eigenschappen voor een goed constructiemateriaal niet door de technici onderkend werden. Voor de Tweede Wereldoorlog konden Zamak 3 en 5 geïntroduceerd worden, dankzij het beschikbaar komen van zuiver zink, o.a. bereid langs elektrolytische weg.

Deze zinksputgietlegeringen bevatten 4% aluminium, maximaal 1,5% koper en ca. 0,05% magnesium.

In de jaren zestig ontstond een concurrentiestrijd met kunststoffen en aluminiumlegeringen. Mede door het initiatief van de Internationale Lood en Zink Research Organisatie, de ILZRO, is een uitgebreid onderzoekprogramma gestart om te komen tot nieuwe zinkgietlegeringen en tot verbeterde toepassingen van zinkgietproducten.

Hierdoor is de kennis over het spuitgietproces, met name over de warmtehuishouding, het gietsysteem, het ontwerp

en de procesbeheersing sterk uitgebreid. De ontwikkeling op het gebied van legeringen heeft geresulteerd in drie nieuwe zink-aluminiumlegeringen met respectievelijk 8, 11 en 27% aluminium, die geschikt zijn voor het vallend gieten, maar die ook spuitgegoten kunnen worden. Men noemt deze legeringen ook wel ZA-legeringen.

Toestandsdiagram van zink-aluminium

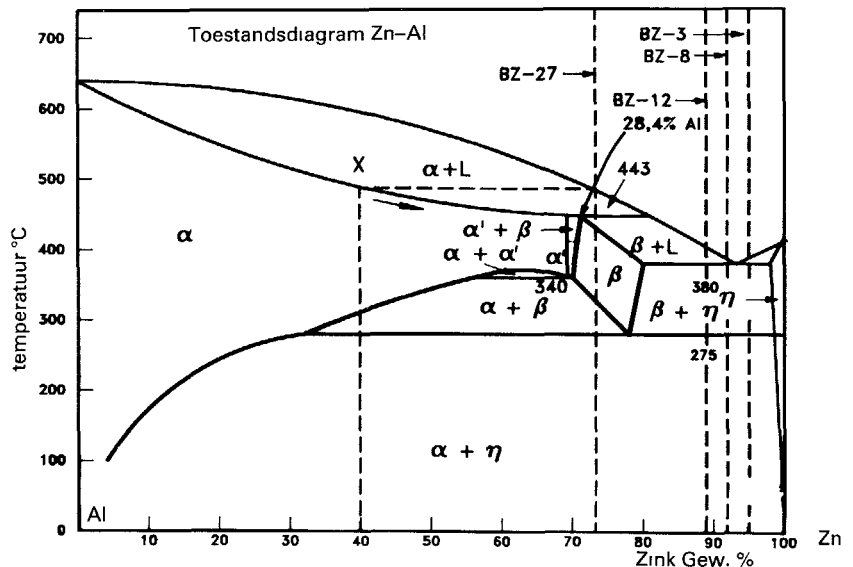
De basis van zinklegeringen is het binair zink-aluminiumsysteem, waarvan figuur 1 het toestandsdiagram toont.

1. De η -fase is de zinkrijke fase met max. 1% Al bij 380°C en heeft een hexagonaal rooster
2. De β -fase is kubisch vlak gecentreerd, met een structuur als de α - en (α')-fase
3. De α -fase, Al-rijk, is kubisch vlak gecentreerd.

Andere elementen in zink-aluminium legeringen

Koper wordt tot 2% toegevoegd en vergroot de sterkte en de hardheid, maar het vertraagt de eutectoidische omzetting bij 275°C. Daarnaast wordt er een weinig magnesium toegevoegd om de interkristallijne corrosie t.g.v. lood tegen te gaan. Magnesium vergroot eveneens de sterkte en de hardheid en het werkt vertragend op de eutectoidische omzetting bij 275°C.

* BZ is de Billiton Zink Codering. De cijfers verwijzen naar de internationaal gebruikte legeringsaanduiding.



Figuur 1 Binair zink-aluminium toestandsdiagram.

In dit diagram zijn de 3 nieuwe legeringen met 8, 11 en 27% aluminium ingetekend, evenals de spuitgietlegering BZ3* met 4% aluminium. Punt X geeft globaal de samenstelling (60% Al) van de eerst stollende fase, die gevormd wordt bij langzaam afkoelen van BZ27.

Lood, tin en cadmium zijn de schadelijkste verontreinigingen, omdat zij de gevreesde interkristallijne corrosie veroorzaken. Elektrolytisch zuiver zink heeft echter zeer weinig verontreinigingen, zodat slechts weinig magnesium nodig is ter compensatie.

Ijzer- en siliciumgehalten moeten laag gehouden worden in verband met eventueel verspanen en oppervlaktebehandelen.

De zinkspuitgietlegeringen BZ3, BZ5, BZ7 en BZ16

De chemische samenstelling van deze zinklegeringen is vermeld in figuur 2. De legeringen BZ3 en BZ5 (Zamak 3 en 5) zijn de traditionele spuitgietlegeringen. BZ7 is de hoogzuivere uitvoering van

BZ3 met een lager lood- en cadmiumgehalte. Daarom kan met minder magnesium worden volstaan, wat resulteert in een betere gietbaarheid en taaierheid en een lagere warmbrosgevoeligheid. Deze legering is bij uitstek geschikt voor producten waarbij zeer hoge eisen gesteld worden aan de gietbaarheid en de oppervlaktekwaliteit.

BZ16, ook wel ILZRO-16 genoemd, is een legering met een superieure kruipsterkte o.v. BZ3, BZ5 en BZ7, dank zij de toevoegingen titaan, chroom en koper en een laag aluminiumgehalte. Deze legering wordt volgens het koudkamer spuitgietproces verwerkt in tegenstelling tot de drie andere legeringen, die volgens het warmkamerproces worden gespoten. De toevoeging van ca 4%

aluminium voorkomt aantasting van staal of gietijzer.

De fysische en mechanische eigenschappen van bovengenoemde spuitgietlegeringen staan eveneens in figuur 2.

Hieruit blijkt dat de spuitgegoten zinklegeringen mechanische eigenschappen hebben die aan veel constructie-eisen voldoen. De zinklegeringen zijn wel kruipgevoelig. Daarom wordt een maximale belastingstemperatuur van 70°C aangehouden voor BZ3, BZ5 en BZ7 en van 120°C voor de kruipvaste legering BZ16.

Uiteraard zijn deze legeringen wel bestand tegen hogere temperaturen, maar dan dient de belasting scherp in de gaten gehouden te worden.

LEGERING		BZ3 ZnAl4Mg	BZ5 ZnAl4Cu1Mg	BZ7 ZnAl4Mg	BZ16 ZnCu1TiCrAl
GIETMETHODE		Spuitgieten Warmkamer	Spuitgieten Warmkamer	Spuitgieten Warmkamer	Spuitgieten Koudkamer
CHEMISCHE SAMENSTELLING GEWICHTS %					
Aluminium	Al	4	4	4	0,02
Koper	Cu	max 0,03	1	max. 0,10	1,2
Magnesium	Mg	0,05	0,05	0,015	max 0,02
Nikkel	Ni	max. 0,001	max. 0,001	0,01	
Titaan	Ti				0,2
Chroom	Cr				0,15
Zink (99,995%)	Zn	rest	rest	rest	rest
Verontreinigingen					
Lood	Pb	max 0,003	max. 0,003	max 0,002	max. 0,005
Cadmium	Cd	max. 0,003	max. 0,003	max 0,002	max. 0,004
Tin	Sn	max. 0,001	max 0,001	max. 0,001	max 0,003
FYSISCHE EIGENSCHAPPEN BIJ 20°C					
Soortelijke massa	g/cm ³	6,6	6,7	6,6	7,1
Soortelijke warmte	J/(kg K)	419	419	419	402
Warmtegeleidbaarheid	W/(m K)	113	109	113	105
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	K ⁻¹	27,4 × 10 ⁻⁶	27,4 × 10 ⁻⁶	27,4 × 10 ⁻⁶	27 × 10 ⁻⁶
Smelttraject	°C	381-387	380-386	381-387	416-418
MECHANISCHE EIGENSCHAPPEN					
Treksterkte R _m	N/mm ² (MPa)	260-300	300-340	260-300	225-235
Rekgrans R _{p0,2}	N/mm ² (MPa)				135-145
Rek A ₅₀	%	5-8	3-6	10	5-6
Hardheid Vickers	HV	80-90	85-95	80	75-77

Figuur 2 Chemische samenstelling, fysische eigenschappen bij 20°C en mechanische eigenschappen van BZ3, BZ5, BZ7 en BZ16

De zink-aluminium gietlegeringen BZ8, BZ12 en BZ27

De ontwikkeling van deze zink-aluminium legeringen is gestart met het maken van prototypes van de zinklegering met 12% aluminium. Hiermee werd een in zand gegoten produkt gemaakt, dat als prototype moest dienen voor spuitgegoten BZ3. Zo werd bespaard op de kostbare matrijswijzigingen. Later zijn aan deze reeks de legeringen met 8 en 27% aluminium toegevoegd. Internationaal worden deze legeringen aangeduid met ZA8, ZA12 en ZA27. Ze worden vooral toegepast als technische legeringen, die in grote maar ook in kleine series vallend gegoten kunnen worden.

Deze legeringen, oorspronkelijk ontwikkeld voor het vallend gieten in zand of matrijs, zijn ook zeer geschikt geblesken voor spuitgieten. BZ8 wordt gespoten volgens het warmkamer proces en BZ12 en 27 volgens het koudkamer proces.

De chemische samenstelling, de fysische en de mechanische eigenschappen van BZ8, BZ12 en BZ27 vindt U in figuur 3. De benaming BZ12 is afgeleid van ILZRO-12 met 12% aluminium. Dit is later 11% geworden.

De legering BZ27 is gevoelig voor segregatie vanwege het grote stollingstraject en de lage diffusiesnelheden. Er wordt een warmtebehandeling net onder of net boven de eutectoidische om-

zetting bij 275°C uitgevoerd, als hoge eisen aan de maatstabiliteit worden gesteld. De omzetting $\beta \rightarrow \alpha + \eta$ gaat nl. gepaard met een volumeverandering. De legeringen zijn eveneens kruipgevoelig, maar hebben een maximale belastings temperatuur van ca. 150°C.

Vorm- en gietmethoden van de BZ8, BZ12 en BZ27-legeringen

Vele vorm- en gietmethoden zijn toepasbaar bij de nieuwe zink-aluminium legeringen. Als **vormmethoden** kunnen worden genoemd:

- zand, met de bindmiddelen klei, hars, waterglas en vacuüm gebonden (vooral BZ12 en BZ27),

LEGERING	BZ8 ZnAl8Cu1Mg		BZ12 ZnAl11Cu1Mg			BZ27 ZnAl27Cu2Mg					
afkoelen in de oven *3 uur 320°C; **12 uur 250°C											
CHEMISCHE SAMENSTELLING GEWICHTS %											
Aluminium	Al	8,4		11			27				
Koper	Cu	1		1			2,2				
Magnesium	Mg	0,02		0,02			0,015				
Zink (99,995%)	Zn	rest		rest			rest				
Verontreinigingen											
Lood	Pb	max 0,004		max. 0,004			max 0,004				
Cadmium	Cd	max. 0,003		max. 0,003			max 0,003				
Tin	Sn	max. 0,002		max 0,002			max. 0,002				
FYSISCHE EIGENSCHAPPEN BIJ 20°C											
Soortelijke massa	g/cm ³	6,3		6,03			5,0				
Soortelijke warmte	J/(kg.K)	435		450			525				
Warmtegeleidbaarheid	W/(m.K)	115		116			125				
Lineaire uitzettingscoëfficiënt	K ⁻¹	23,2 × 10 ⁻⁶		24,1 × 10 ⁻⁶			26 × 10 ⁻⁶				
Smelttraject	°C	375-404		377-432			375-487				
GIETMETHODE											
		Coquille	Spuitgieten Warmkamer	Zand	Coquille	Spuitgieten Koudkamer	Zand			Coquille	Spuitgieten Koudkamer
							Giettoestand	Homogeniseren*	Stabiliseren**		
MECHANISCHE EIGENSCHAPPEN											
Treksterkte Rm	N/mm ² (MPa)	220-255	372	275-315	310-345	400	400-440	310-325	290-325	421-427	421
Rekgrens Rp 0,2	N/mm ² (MPa)	207	290	207-214	207	317	365	255	235	365	365
Rek A50	%	1-2	6-10	1-3	1-3	4-7	3-6	8-11	2-4	1	1-3
Hardheid Brinell	HB	85-90	95-110	90-105	90-105	95-115	110-120	90-110	85-95	110-120	105-120

Figuur 3 Chemische samenstelling, fysische eigenschappen bij 20°C en mechanische eigenschappen van BZ8, BZ12 en BZ27. Het smelttraject neemt toe met het aluminiumgehalte, maar de soortelijke massa neemt af. De gietmethode beïnvloedt de waarden van de mechanische eigenschappen

- matrijs, gemaakt van staal, grafiet (zeer glad oppervlak), siliconenrubber of gips.

Als **gietmethoden** worden toegepast:

- vallend gieten, lagedrukieten, hogedruk- of spuitgieten, slingerieten en centrifugaal gieten.

Het smelten en gieten van de BZ8, BZ12 en BZ27-legeringen

Het smelten gebeurt elektrisch, met gas of olie, en in ovens met een vuurvaste bekleding of SiC-kroezen, waarbij inductieovens het voordeel van een badbeweging hebben, zodat een goede menging bereikt wordt. Bij het smelten ontstaan geen zinkdampen als de smelt onder de 675°C blijft en er vindt geen gasopname plaats.

Het koudkamer spuitgieten van BZ12 en BZ27 vertoont veel overeenkomst met het spuitgieten van aluminiumlegeringen en het warmkamer spuitgieten van BZ8 komt meer overeen met het spuitgieten van Zamak

De giettemperaturen in figuur 4 zijn afhankelijk van de gietmethode en het produkt. In de regel is een oververhitting van 50 tot 100°C voldoende

legering	smelttraject	gietgebied
BZ8	375-404	425-510°C
BZ12	377-432	455-565°C
BZ27	375-487	510-595°C

Figuur 4 Giettemperaturen van BZ8, BZ12 en BZ27

De giettemperaturen liggen 25 tot 150°C boven het smeltpunt en zijn afhankelijk van de gietmethode en het produkt

Stollen

De legeringen BZ27 en in mindere mate BZ12 zijn gevoelig voor onderslink. Dit ontstaat bij dickere delen en is een gevolg van macrosegregatie tijdens het stollen. De fase die het eerst stolt is nl aluminium-rijken heeft een lagere soortelijke massa dan de smelt, waardoor deze eerst stollende fase bij langzaam afkoelen in de vorm opstijgt

De vlakken met hoge eisen aan de kwaliteit van het oppervlak moeten dan ook in de bovenkast zitten, in tegenstelling tot wat gebruikelijk is.

De aanbevolen wanddikte voor BZ12 is maximaal ca. 19 mm en voor BZ27 ca. 10 mm. Met extra koeling kan men dickere wanden gieten.

Gezien de lage giettemperaturen mo-

gen de zandkernen niet al te sterk zijn. Holle kernen zijn hierbij gunstig. De gietstukken moeten goed gevoed worden met opkomers.

Stalen gereedschappen worden voorzien van een beschermende deklaag.

Kenmerken van de legeringen BZ8, BZ12 en BZ27

BZ8 wordt als regel in coquille gegoten. Het is bij uitstek geschikt voor produkten die sterkte vereisen en een oppervlakbehandeling nodig hebben, bijv. verchromen.

BZ12 is de universele zinkgietlegering voor zand en coquille gietwerk. Het combineert slagvastheid met een hoge sterkte, en is door zijn hoge slijtageverstand zeer geschikt voor laggers

BZ27 is een hoogvaste legering voor zandgietwerk. Eveneens zeer geschikt voor de fabricage van laggers. De niet-vonkende eigenschappen zijn beperkt vanwege het hoge aluminiumgehalte.

Voordelen zinkgietlegeringen

De voordelen voor de **gebruiker/constructeur** kunnen als volgt worden samengevat:

- goede sterkte;
- goed loopgedrag, vanwege de lage wrijvingscoëfficiënt;
- maatnauwkeurig;
- reproduceerbaar,
- glad (afhankelijk van gietmethode), dus weinig nabewerking;
- verspaanbaar, geen harde plekken;
- corrosiebestendig,
- oppervlak kan goed behandeld worden: verchromen, verven, lakken, fosfateren, chromateren, zink-anodiseren;
- niet vonkend;
- niet magnetisch;
- geschikt voor alle seriegrootten, giet- en vormmethoden.

De voordelen voor de **gieterij** zijn:

- goede gietbaarheid,
- dunwandig gietwerk mogelijk;
- laag energieverbruik (130 Kwh/ton),
- geen gasopname uit de vorm en daardoor geen gasporeusiteiten;
- lage giettemperatuur vermindert gasontwikkeling van het vormmateriaal;
- bruikbaar voor veel giet- en vormmethoden;
- persdicht gietwerk mogelijk,
- lage matrijslijtage (bij coquille- en spuitgieten),
- milieuvriendelijk smeltproces;
- laag smeltverlies,
- lange levensduur ovenbekleding of SiC-kroes.

Toepassingen

Dank zij bovengenoemde voordelen zijn de zinkgietlegeringen breed toepasbaar voor alle seriegroottes en gietmethoden. Ze kunnen een alternatief zijn voor gietijzer, aluminium, koperlegeringen, plaatstaal en kunststofprodukten.

De toepassingen kunnen variëren van constructie-onderdelen tot siervoorwerpen, al dan niet met sterkte-eisen, zie de voorbeelden in figuur 5-10. De keus voor een zinklegering wordt bepaald door het totale kostenpakket, waarbij o.a. factoren als functie-eisen, vormvrijheid, materiaalprijs, verspanen of niet, en een vereiste oppervlakbehandeling een rol spelen. Daarbij kunnen de specifieke eigenschappen van zinklegeringen zoals loopgedrag, niet-vonkend en niet-magnetisch de doorslag geven.

Vergelijking van zinklegeringen met aluminiumlegeringen, koperlegeringen en gietijzer

De grafische weergave van de mechanische eigenschappen van BZ8, BZ12 en BZ27 t.o.v. aluminium-, koperlegeringen en grijs gietijzer zijn te zien in figuur 11-13. Hierbij is onderscheid gemaakt naar gietmethode en vormmethode.

Hierbij moet worden opgemerkt dat BZ27 bij voorkeur niet worden gebruikt voor coquillegietwerk, vanwege het grote stollingstraject. Alleen voor gietwerk met zeer dunne wanden kan deze legering gebruikt worden.

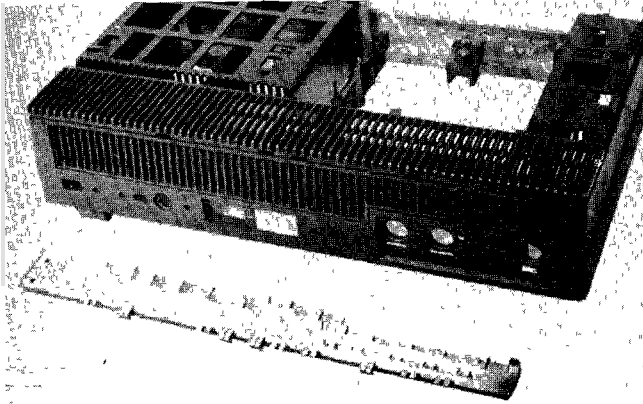
Het grootste positieve verschil van zink met aluminium wordt verkregen bij spuitgietwerk

Vergelijking van zinklegeringen t.o.v. kunststoffen

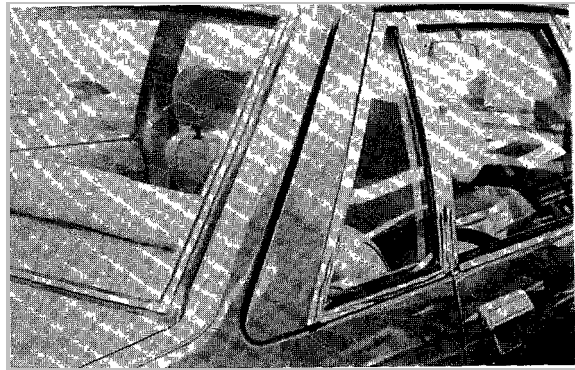
In het verleden hebben de kunststoffen de zinkspuitgietlegeringen vaak vervangen voor decoratieve toepassingen, o.a. waar de spuitgietlegering Zamak werd gebruikt voor verchromde artikelen. Dit was voor de ontwikkeling van het dunwandig (ca. 1 mm) spuitgieten, dat een aantal nadelen heeft weggenomen

Argumenten voor het gebruik van zink in plaats van kunststoffen:

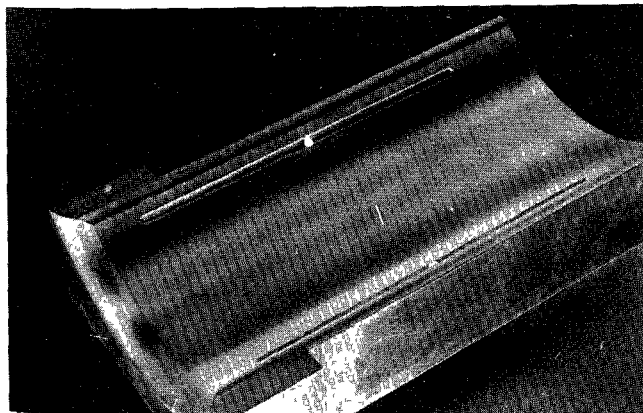
- productiesnelheid,
- maatstabiliteit bij hogere temperatuur;
- duurzaamheid en kwaliteit van de glans na verchromen;
- functie-eisen, o.a. sterkte, stijfheid, oppervlakbehandeling,
- totale kosten produkt.



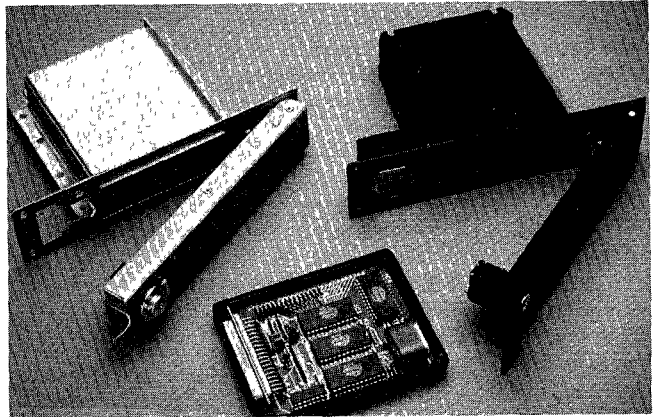
Figuur 5 Koellichaam (heat sink) voor videorecorder Het koellichaam voert de warmte af van de halfgeleiders. Omschakeling van aluminium op zink (Zamak) wegens langere levensduur van de matrijs bij het gebruik van zink. Dit gaf een verlaging van de stuksprijs, mede door minder nabewerking vanwege de nauwere toleranties (Foto: CTZ, Parijs)



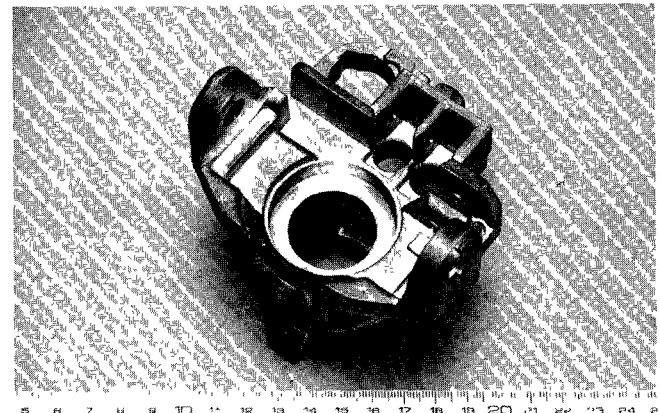
Figuur 7 Afdekplaat ontlichting van auto Zinksputgietwerk (Zamak) De oorspronkelijke uitvoering was een glasvezelversterkt polyester spuitgietstuk met twee messing verstevigingen. De problemen hiermee waren een slechte oppervlaktekwaliteit en een laag spuitgietritme en het onderdeel moest apart worden gelakt. Zinksputgietwerk met een wanddikte van ca. 1 mm en een lengte van 620 mm gaf de vereiste oppervlaktekwaliteit. De besparing met de uitvoering in zink is 30%, door directe montage aan en gelijktijdig lakken van de carrosserie, en door een hoger spuitgietritme (Foto: CTZ, Parijs)



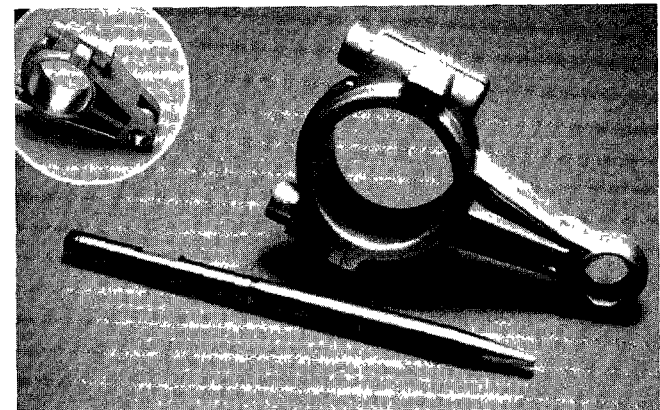
Figuur 9 Lagerblok Vallend gegoten, van de zink-aluminiumlegering BZ12, en gebruikt voor de werkvals van de zinkbandwalserij van de Kempensche Zinkmaatschappij te Budel. Gewicht ca. 30 kg. De keuze voor BZ12 was gebaseerd op de goede loopeigenschappen. Een alternatief voor lagerbrons. (Foto: Billiton Zink).



Figuur 6 Buskaartautomaat. Een zinksputgietstuk (Zamak), dat oorspronkelijk in plaatstaal werd uitgevoerd. Wanddikte in zink 1,5 mm. Aantal onderdelen is teruggebracht van 15 naar 6 en de kosten bedragen minder dan een kwart van de versie in plaatstaal. (Foto: CTZ, Parijs)



Figuur 8 Onderdeel verstelbare stuurkolom. Dit product wordt nu van een aluminium spuitgietlegering gemaakt. Voor speciale toepassingen, waarbij de belasting hoger is, worden de zink-aluminium legeringen BZ12 en BZ27. Deze proefproducten worden ook volgens het koudkamer spuitgietproces vervaardigd. (Foto: ALU-PREMETAAL, Gennepe)



Figuur 10 Drijfstaaf voor een plunjerpomp Koudkamer spuitgietstuk van ZnAl27Cu2Mg (ZA27). Oorspronkelijke uitvoering in gietijzer en brons. Overwegingen om te kiezen voor een zink-aluminium legering waren vergelijkbare of betere mechanische en fysische eigenschappen, zoals goede glij-eigenschappen, en een lage soortelijke massa van 5 g/cm³, evenals een goede gietbaarheid, nauwkeurige maatvoering en een goede bewerkbaarheid. (Foto: CTZ, Parijs)

Een recent voorbeeld van de vervanging van kunststof door zink is de sierand voor een koplamp. De keus voor zink is hier mede bepaald op basis van de flexibiliteit van de legering Zamak en de kwaliteit na het verchromen.

Vergelijking van zinklegeringen t.o.v. plaatstaal

Zinkspuitgietswerk kan plaatstaal vervangen, en zelfs in enkele gevallen roestvaststaal, vooral bij produkten waaraan zowel technische als decoratieve eisen worden gesteld.

Redenen om zink in plaats van plaatstaal te overwegen zijn:

- gieten geeft vormvrijheid, bijv. voor verstevigingsribben en nokken
- gieten geeft mogelijkheid om het aantal onderdelen te verminderen, dus minder assemblagekosten
- geen stansafval
- lage matrijslijtage met zink, met spuitgieten worden grote series gemaakt
- oppervlaktebehandeling ter verfraaiing of om de corrosiebestendigheid te vergroten is goed mogelijk.

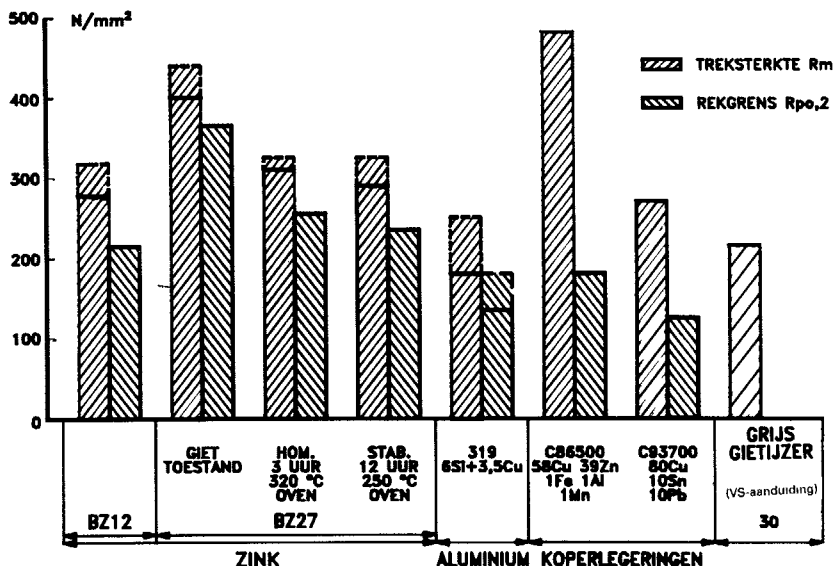
Tot slot

Gezien het voorgaande kunnen de redenen voor het toepassen van zinkgietslegeringen als volgt worden samengevat:

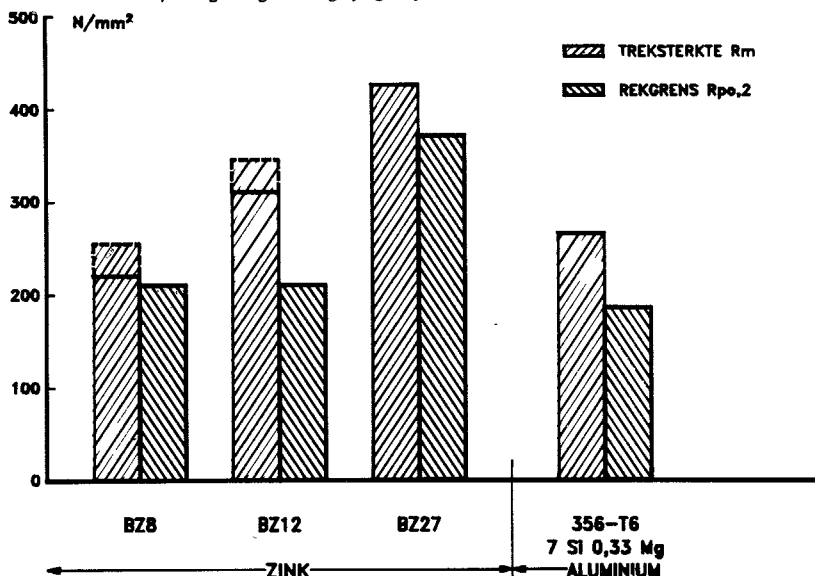
Zink is een goede keus vanwege zijn specifieke eigenschappen en zink is een goede keus vanwege de combinatie van eigenschappen, waardoor een optimaal eindproduct gemaakt kan worden in termen van functie en prijs. De moderne zinkgietslegeringen bieden hiertoe veel nieuwe mogelijkheden.

Literatuur

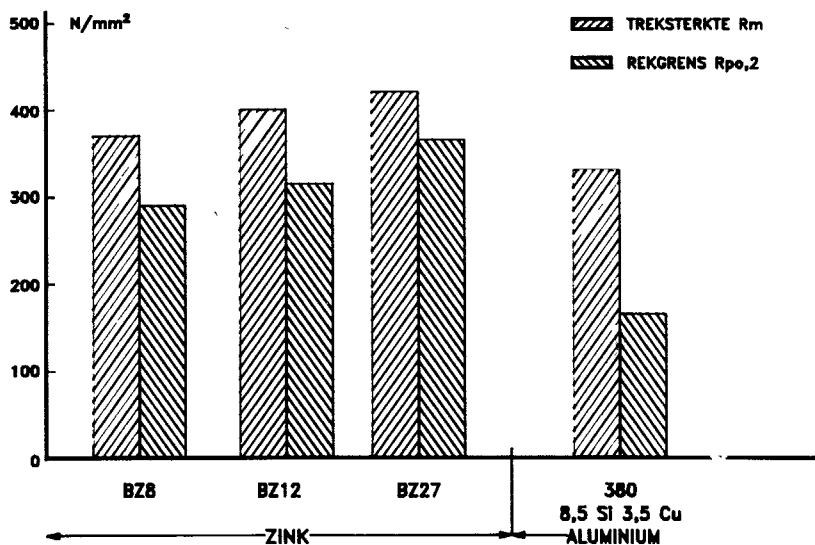
Engineering Properties of Zinc Alloys, 2e dr., New York (ILZRO), 1981
 Cowie, Gene O. **Designing in Zinc**, 2e dr New York (ILZRO), 1984
Les Alliages de Zinc de Fonderie, Parijs (CTZ), 1984
 Barnhurst, R J., E. Gervais en F.D. Bayles. **Gravity Casting of Zinc-Aluminium Alloys**, Solidification Behaviour of ZA-8, ZA-12 and ZA-27. Paper presented at the 87th Casting Congress in 1983. In: The Transactions of the American Foundrymen's Society, Rosemont Ill., 1983.
 Zinc Institute Inc.: **ZA Alloy Foundry Practices Guide**, New York, 1985.
 Apelian, D., M. Paliwal en D.C. Herrschaft **Casting with Zinc Alloys**, In: Journal of Metals, november 1981.
 Lynch, Richard F., **High Performance Precision Zinc Castings**, New York (Zinc Institute Inc.), z.j.



Figuur 11 Vergelijking mechanische eigenschappen van zandgegoten BZ12 en BZ27 t.o.v. aluminium- en koperlegeringen en grijs gietijzer



Figuur 12 Vergelijking mechanische eigenschappen van coquillegegoten BZ8, BZ12 en BZ27 t.o.v. aluminiumlegering.



Figuur 13 Vergelijking mechanische eigenschappen van spuitgegoten BZ8, BZ12 en BZ27 t.o.v. aluminiumlegering