

2 消失模型鑄造法におけるマグネシウム合金鑄物への適用 (第2報)

(九工試共同研究)

機械部 吉浦洋之
化学部 二宮信治

1 はじめに

機械工業の進歩に伴い鑄造品をはじめとする素形材の使用条件がますます過酷になると共に複雑多様化しつつある。

省資源、省エネルギー、省力化の時代において機械構造材料の多様化と共に軽量化、小型化、高寿命化の要求が高まり、材料の使用環境も厳しくなってきた。特に破壊靱性、強度、耐食、耐熱等工学的特性について設計上の使用条件が高まっている。

マグネシウム合金鑄物は切削性がよく、強度も比較的高く構造用金属材料中最も軽量であり、期待できる材料であることから航空機、自動車、電算機、電動工具等広範囲に使用され拡大しつつある。

そこで今回は九州工業技術試験所(九工試)との共同研究を進める上で九工試側よりAZ922材の提供を受け、当工試では、発泡ポリスチレン模型を用いてマグネシウム合金の溶湯を鑄込み、非熱処理状態と溶体化処理を施した状態について前報に引き続き強度面、組織面から検討したので報告する。

2 実験方法

アルミ製金型中へ45倍に予備発泡したポリスチレンを吹き込んで階段型試験片を作成し、模型表面に無機性の塗型を施し、乾燥後バラ砂中に埋設して鑄込んだ。また、鑄枠内は弱減圧状態にし、落とし込み方案を採用した。

2.1 実験装置

予備発泡機(バッチ式)、発泡ビーズ乾燥機、半自動模型成形機、砂充填及び減圧装置。溶解には3kHzの高周波誘導溶解炉に黒鉛ルツボを用い大気中で溶解した。

2.2 模型の形状及び鑄造方案

図1は階段型試験片の寸法と鑄込み方案を示す。

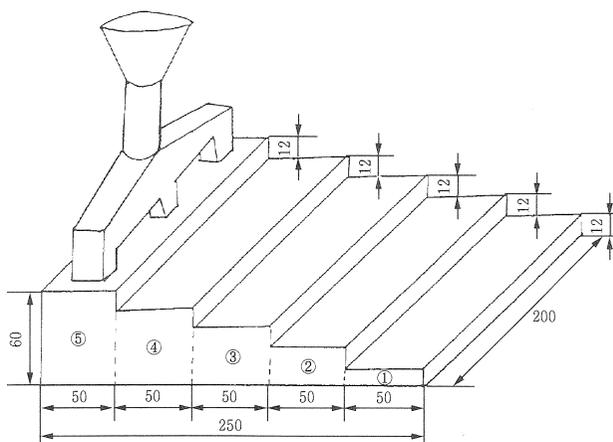


図1 階段型試験片の寸法と鑄造方案

各段に12mmずつの肉厚差をつけ薄い部分は12mm、厚い部分で60mm、長さは250mm、幅は200mmの形状を用いた。方案では、注湯温度が低いことと、比重の軽いことから模型を平面状に設置し、厚肉部から落とし込み方案を採用した。また、堰の総断面積は異物の混入がないよう湯口径より小さくした。試験片の採取には、各段を切断し、2本ずつ4号試験片に加工した。また、1本は非熱処理の状態では機械試験を行うこととした。薄肉12mmでは4号試験片に加工ができないため、4号に準じた加工を施した。

試験片の形状については図2に示す。

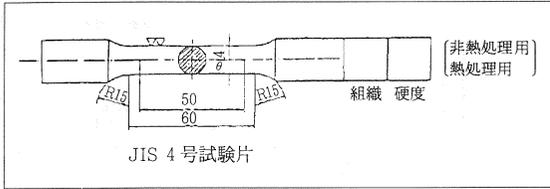


図2 試験片形状

2.3 供試材

発泡ポリスチレン、無機性塗型材、溶解材料 (AZ922: 9Al-2Zn-2Ca ベースの九工試材) 充填用珪砂 (5号フラタリーサンド)

2.4 熱処理条件

図3はマグネシウム合金鋳物 AZ922 の素材と鋳込み後の試料について示す。

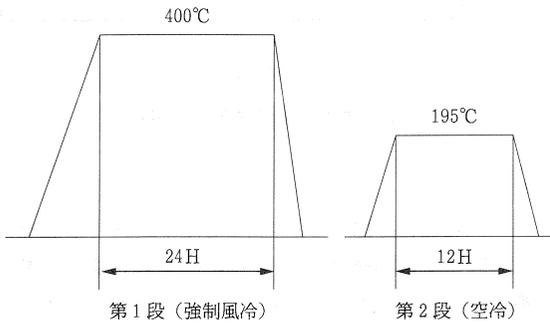


図3 マグネシウム合金の溶体化処理

溶体化処理条件は第一段が400°C×24時間とし、取り出し後強制風冷にて冷却する。第二段は185°C×12時間後取り出し、空冷とする。

3 実験結果及び考察

3.1 砂の充填及び鋳込み条件

表1はフラスコ(鋳枠)中に段階型試験片を埋設し、バラ砂を充填して三次元の振動によって模型表面の砂を充填する。今回の実験では、模型を平面状に設置したため、Z軸の振動はほとんど必要としないためX、Yの両軸を使用した。また、真空度は前回より若干高めとした。また、鋳込温度は前回より50°C高くした。鋳込温度を高くしたことは、模型が平面設置であり、湯流れ速度が縦型に比較し

て遅いため、冷却速度を考慮したためである。

表1 砂の充填及び鋳込み条件

振動条件	振動パターン (Hz)			時間	真空度 (kpa)		鋳込条件		備考
	X	Y	Z		設定時	鋳込時	溶解温度	鋳込温度	
減圧	48	45	0	3分	88	92	750°C	700°C	落とし込み方案

3.2 模型及び鋳物の重量化学分析

表2は、段階型発泡模型の重量40gに対し、塗型の重量は82gであり、平均膜厚1mm程度であった。また、鋳込後の製品歩留りは93%であり、湯道、堰を小さくしたため、高歩留りとなった。表3は九工試提供のAZ922の素材を当工試で鋳込んだ後の化学分析値を示す。いずれの成分も素材に対し、若干減量しているのは再溶解によって酸素と結合してドロソと成ったことによる理由と考えられる。

表2 模型の重量及び鋳込後の重量

項目	発泡スチロール (段階型模型)	模型+塗型 (湯道、堰を含まず)	鋳込後の重量 (湯道、堰)	切断後の寸法及び重量					
				(mm)	12	24	36	48	60
重量 (gr)	40	122	3146 (223)	(gr)	188	399	578	755	902

表3 マグネシウム合金の化学分析値

成分(%) 種類	Al	Zn	Ca	Mn	Si, Ni Ti, Fe	Mg
AZ922 素材	8.28	1.87	2.02	0.19	微量	残
AZ922 鋳造	8.35	1.68	1.89	0.17	"	"

3.3 肉厚差による収縮及び機械的性質

図4はAZ911とAZ922の材料において模型に対する鋳物の収縮率を求めたものである。肉厚12mmから60mmではAZ922の方がAZ911より若干低い値を示すが肉厚が100mm以上になると逆転し、若干高めとなった。この要因として鋳物の冷却速度の差、添加成分の影響、組織の影響等が考えられるが差が僅かであることから測定誤差もあると考えられる。しかしながらJISとの比較ではほぼ規格内の収縮率である。

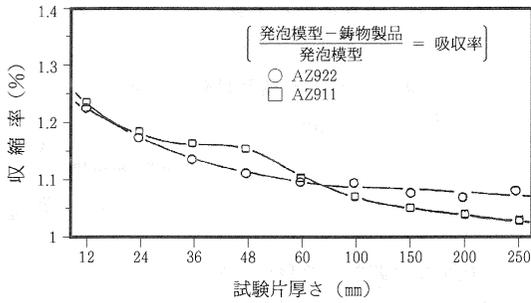


図4 模型に対する収縮率

表4は金型鑄造した九工試の素材と熱処理による溶体化処理を施した材料の機械的性質について比較した。

表4 素材の機械的性質 (素材 (金型鑄造)、溶体化処理)

No.	試験片形状 (4号)	強度 (N/mm ²)	伸び (%)	硬さ HB (10/500)	備考
A	素材のまま	106	2.9	50.2	
B	溶体化処理	115	5.5	46.5	

引張強度では、溶体化処理することにより7.8%強度アップし、伸びは47%上昇した。しかし硬さは若干低い値となった。一般的に熱処理を施すと α 及び β 相の未反応部分が十分に成長し、はっきりとした組織となる。更に長時間の熱処理で溶解時に混入した不純物がある程度除去される等の効果により強度及び伸びの改善が図られたものと考えられる。硬さでは、溶体化処理を施した材料の方が低くなっているのは長時間熱処理による素地が軟化されたためである。

図5は段階型試験片について肉厚差に対する引張強度を肉厚感受性の面からAZ911とAZ922を比較したものである。肉厚12mmではAZ922がAZ911に比較して3.5%低く、強度差は少ないものの肉厚になるに従って差が大きくなる。肉厚60mmではAZ922は7.8%の強度低下を示した。この原因は材質上の影響も考えられるが鑄込後における冷却速度に起因するものと思われる。即ち、平面鑄込みによる方案の違いが冷却速度に影響されたものと考えられる。

図6は肉厚に対する伸びの関係を示したものであ

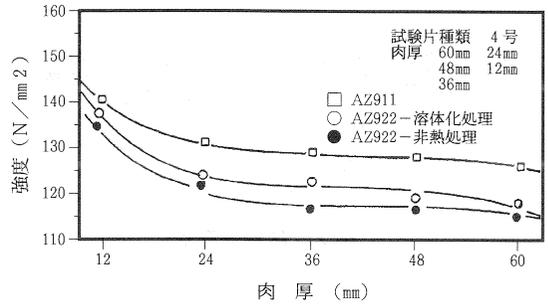


図5 肉厚に対する引張強度

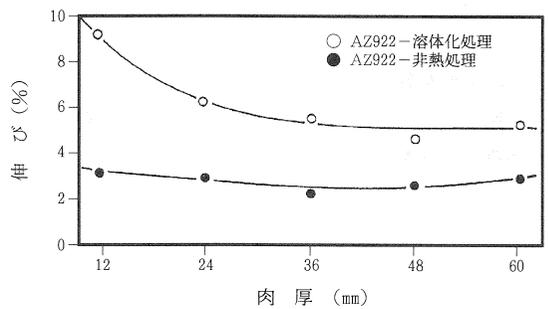


図6 肉厚に対する伸びの関係

る。

非熱処理材の伸びは平均2.9%なのに対し、溶体化処理後では5.5%と高くなり、熱処理によって組織が安定したためと考えられる。肉厚12mmでは非熱処理材に対し、溶体化処理した材料は3倍強となり、肉厚60mmでは差が少ないがそれでも1.5倍の伸びを呈している。

図7は肉厚に対する硬さを求めたものである。強度の面ではAZ911より低い硬度の面ではAZ922の方が高い結果となった。また、熱処理材と非熱処

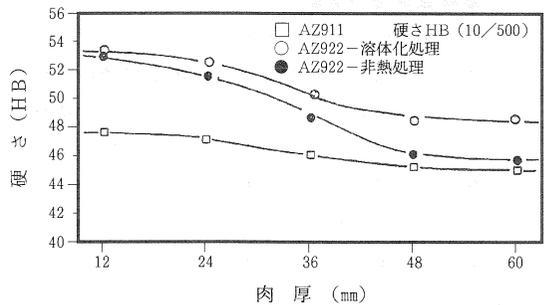


図7 肉厚に対する硬さ

理材の比較では、肉厚12mmの硬度差はほとんど認めないが肉厚になるに従って差が大きく肉厚60mmでは6%の差を生じている。この要因として、熱処理することにより、組織が細くなり、Al、Zn、Ca等の混合組織が減少したものと考えられる。

3.4 顕微鏡組織写真

写真1は金型鑄造したマグネシウム合金鑄物の非熱処理材と溶体化処理した基地の顕微鏡組織写真である。1-1の非熱処理材は一部デンドライト状が残り、比較的冷却の早い時に現れる金型鑄造組織となり、結晶粒界も小さく細い組織となっている。また、1-2の400倍の組織では、白色のMg基地の他網状になったAl、Zn、Ca等の混合組織が観察される。更に詳しく観察すると不定形で輪郭が明瞭になっている部分がMg、Al、Zn、Caの化合物で共晶の β 相と思われる。1-3の溶体化処理した100倍の組織では、熱処理によって組織が大きく、基地の不純物も取り除かれ鮮明になっている。また、デンドライト状の結晶も消失しており、400倍での観察でも基地がすっきりしている。

写真2は、段階型試験片を切断し、加工後顕微鏡に供した組織写真である。2-1は肉厚12mmと薄く鑄込み後の冷却速度が早いことから、粒界も細かく密であり β 相が多く析出されている。また、400倍で観察すると α 基地の中に不純物が混入し、ポロシティも観察されている。2-2は肉厚24mmの鑄造組織で、一部デンドライト状が残っているものの鮮明

な組織となっている。また、400倍でもAl、Zn、Caの明瞭な混合結晶相が観察される。更に2-3は肉厚36mmの部分、2-4は肉厚48mm、2-5は肉厚60mmと順に厚くなっているが組織上からは明確な差は認められないが全体的には細かい組織となった。

写真3は熱処理による溶体化処理を施した組織である。写真2と比較して全体に組織が明瞭となり α 相中の基地内の混合物が消失している。この要因は、長時間の熱処理による効果と思われる。2-1と3-1を比較しても熱処理することにより、組織が拡大され、単純化しており、基地内がすっきりしている。いずれも非熱処理組織の写真2と比較して、組織の改善が図られている。

このことは機械的性質からも裏づけられる結果となっている。

写真4は走査型電子顕微鏡による2000倍に拡大したMg合金鑄物（非熱処理）の組織写真及び組織部の分析写真である。

4-1はSEM像によるMg合金鑄物の共晶組織である。白色地はAl-Zn-Caの混合組織であり、他はMgの基地組織である。4-2の白い縞模様はAlの成分であるが縞模様の中にも濃淡があり、濃い部分にはAlが凝集しているのが観察される。4-3の白い縞模様はCaである。CaもAlと同様に濃淡が観察される。4-4はZnであるが上記の3成分中Znだけは全体の中に占める分布が異なり偏析しているのが確認された。

<p>[写真1] 素材 (金型鑄造) ×100 1-1</p>	<p>素材 (金型鑄造) ×400 1-2</p>	<p>溶体化処理 (金型鑄造) ×100 1-3</p>	<p>溶体化処理 (金型鑄造) ×400 1-4</p>	<p>溶体化処理 (金型鑄造) ×400 1-4</p>
<p>[写真2] 非熱処理 (12mm) ×100 2-1</p>	<p>非熱処理 (24mm) ×100 2-2</p>	<p>非熱処理 (36mm) ×100 2-3</p>	<p>非熱処理 (48mm) ×100 2-4</p>	<p>非熱処理 (60mm) ×100 2-5</p>
<p>[写真3] 溶体化処理 ×100 3-1</p>	<p>溶体化処理 ×100 3-2</p>	<p>溶体化処理 ×100 3-3</p>	<p>溶体化処理 ×100 3-4</p>	<p>溶体化処理 ×100 3-5</p>
<p>[写真4] SEM像 ×2000 4-1</p>	<p>EPMA分析 Al 4-2</p>	<p>EPMA分析 Ca 4-3</p>	<p>EPMA分析 Zn 4-4</p>	<p>EPMA分析 Zn 4-4</p>

4 まとめ

Mg合金の難燃性及び機械的強度、組織面について調査してきたが本年度は特に機械的強度及び鑄造組織の面から昨年度と対比した。

4.1 砂の充填及び鑄込条件

模型の設置方法として、平面設置では、Z軸の振動はあまり必要としない。また、減圧については若干の吸引を必要とし、88KPa程度でよい。鑄込温度は700℃で行ったが引け等の不良箇所はなかった。

4.2 模型の形状及び歩留

鑄込方案は落とし込みが適当と思われる。また、素材を再溶解した鑄造後の化学成分ではZn、Ca等約7%程度減少した。

4.3 肉厚感度及び機械的性質

模型から鑄物への収縮率は平均1.1%程度であり、肉厚が大きくなると収縮率は少なく1%以下となる。引張強度では、鑄造材に対し溶体化処理すると7.8%アップし、伸びは47%上昇した。しかし硬さは若干低くなったがこれは素材の軟化によるものである。また、肉厚差から比較した引張強度では、12mmの肉厚部分が最も高く厚肉になるに従って強度は低下する。また、AZ911に比較してAZ922は若干強度は低下した。

4.4 顕微鏡組織

非熱処理材では一部デンドライト状が残り、冷却の速い12mmの肉厚部分は組織が細かくβ相が多い。また、β相の共晶組織はAl、Zn、Caの混合組織となっている。熱処理による溶体化処理材では、共晶組織が小さく、また、少なくなり、α相の基地がすっきりと鮮明な組織となった。EPMAによる組織の分析では、Al、Ca等は縞模様中に均一に分布するがZnは偏析しており、一様には分布しない。また、Mnも同様の形態となる。

5 おわりに

機械的強度の面では一般の砂型より若干低かったのは消失模型鑄造法の特性的と思われる。これは凝固形態が異なるためと思われる。溶解温度では、Caの添加があるため850℃位でも燃焼することはないが腐食の面で再考を要する。今後は耐腐食性に富むMg合金の開発が急務と思われるのでこれ等を重点的に取り組んでいく所存である。

なお、本研究に使用した高周波誘導炉、走査型電子顕微鏡、X線マイクロアナライザは日本自転車振興会から、競輪収益の一部である機械工業振興資金の補助を受けて設置したものである。

参考文献

- 1) 吉浦洋之：大分県工業試験場，平成3年度研究報告（1992）
- 2) 雄谷重夫他：非鉄合金鑄物，日刊工業新聞社