

申請者	学科名	情報システム工学科	職名	准教授	氏名	福田 忠生
調査研究課題	高強度・高リサイクル性マグネシウム合金の開発					
調査研究組織	氏名	所属・職		専門分野	役割分担	
	代表	福田 忠生	情報システム工・准教授	材料加工・材料力学	研究全般・総括	
	分担者	柴田 和樹 萬代 修平	システム工学専攻・博士前期課程 2年次 システム工学専攻・博士前期課程 1年次	材料力学 材料力学	実験 実験	
調査研究実績の概要	<p>マグネシウム合金は、軽量かつ高強度の環境調和型軽合金であり、国内外を問わず多数の研究が行われている。申請者は、射出成形法に着目し、原料チップであるMg-Al系合金の変形特性など成形条件に関わる特性と共に強度向上を図る成形条件の影響を継続的に研究している。Mg射出成形法では、固体原料がスクリーにて搬送される間に加熱・熔融され、金型内に射出成形される。固体原料を使用するため、特性向上を図る添加元素を同時に投入しシリンダ内で攪拌することが可能となる。これまでの研究によりアルミナ短繊維や炭素粉末などを予混合することが可能であり、引け巣低減や強度向上など成形品の特性向上を予混合によって実現できることを確認している。統合型熱力学計算システムによる射出成形用Mg合金AZ91Dの解析ではSiを添加した際にMg<sub>2</sub>Siを形成することが確認されている。これは炭素添加などと同様に析出強化源になると期待される。本研究では、チクソモルディング法の利点を活かし、シリコン微細粒を用いた予混合射出成形法によってマグネシウム合金の強度向上を目指すことを目的とした。</p> <p>供試材として、射出成形用にチップングされたAZ91D合金粒子(0.5×1×4 mm, STU製)およびシリコン粉末(粒径0.2 - 40 μm, 新興製作所製, 以下Siと略)を用いた。これらをステンレス製ポットミルに5条件の異なる質量割合で投入し、乾式混合によりAZ91D合金粒子の表面にSiを付着させた。本研究では、AZ91D合金粒子の表面に付着したSiの質量を別途測定し、これを射出成形品へのSi添加量と定義した。なお、Si添加量は0.10 - 0.69 mass%の範囲で変化させた。以下本文では、得られた射出成形品をAZ91D (Si無添加), Si10, Si19, Si31, Si49およびSi69と呼称する。実験方法は紙面の都合上割愛する。</p>					

調査研究実績  
の概要

図1 (a), (b) に引張, 曲げ試験における降伏応力 $\sigma_{TYS}$ ,  $\sigma_{FYS}$ および最大強度 $\sigma_{TS}$ ,  $\sigma_{FS}$ とSi添加量との関係を示す. 図より,  $\sigma_{TYS}$ ,  $\sigma_{FYS}$ および $\sigma_{TS}$ ,  $\sigma_{FS}$ はAZ91Dと比較してSi19以上の添加条件にて向上し, Si69にて最大となった. また, 破断ひずみは全ての条件において同程度であり, Si添加が延性に及ぼす影響は小さいと言える.

図2に結晶粒径とSi添加量との関係を示す. 平均結晶粒径は中央部, 表面部ともにSi19以上の添加条件においてAZ91Dと比較して急激に微細化した, Si19からSi69にかけての微細化効果は緩慢であった. また, いずれのSi添加条件においても中央部の粒径に対し表面部の粒径が細くなった. これは鋳造時の冷却速度に起因し, 金型と接する表面部が中央部と比較して相対的に冷却速度が高く, 結晶核が多数発生するためである.

試験片平行部に対して光学顕微鏡観察を行った結果, Si添加材においてAZ91Dでは見られなかった1 - 6  $\mu\text{m}$ の針状組織が観察された(図示略). そこで, 任意の針状組織に対してEPMAによる元素分析を行った(図示略). その結果より, 針状組織はSi元素の検出強度が高いことが確認された. また, それらの箇所からはMg元素も多く検出された. 浅野らは, SiとMgとの反応は約800Kでも生じるとし, 凝固過程において $\text{Mg}_2\text{Si}$ が晶出することを報告している. このことから, 863 Kによって成形を行った本研究においても同様に,  $\text{Mg}_2\text{Si}$ が晶出したと考えられる. また, 腐食液を用いて $\text{Mg}_2\text{Si}$ を現出させた電子顕微鏡組織および元素分析結果よりと合わせて考えると, 多くの $\text{Mg}_2\text{Si}$ は粒界に存在していたが, 比較的サイズの小さい $\text{Mg}_2\text{Si}$ が粒内に存在していることが確認された.

以上のことから, Si添加によって $\text{Mg}_2\text{Si}$ が生成され, それが異質核生成物質となることによって微細な結晶粒が得られたと考えられる.

図3に降伏応力と平均結晶粒径との関係を示す. 図中破線は本実験により得られたHall-Petchの関係式であり, 実線はAZ91合金押出品のHall-Petchの関係式( $\sigma_y = 130 + 210d^{-1/2}$ )である. 本研究で得られた関係式は, その絶対値に違いは見られるものの, AZ91合金押出品と同様の結晶粒径依存性を有しており, 概ねHall-Petchの関係に従うことが分かった. しかし, Si31以上の添加条件では, 結晶粒径に大きな変化がなかったにもかかわらず, 降伏応力は向上していた. そこで, 粒内および粒界に対し, ダイナミック硬さ試験を行った( $n=20$ ). その結果, 粒内硬さはSi添加の有無によらず, ほぼ一定(DH=107)であった. しかし, AZ91Dでの粒界硬さはDH=104であったのに対し, Si49での $\text{Mg}_2\text{Si}$ 近傍の粒界硬さはDH=111となった. このことから, 粒界に存在する $\text{Mg}_2\text{Si}$ によって粒界の強度が向上したと判断した.

以上のことから, Si添加による降伏応力向上メカニズムは, 0.19 mass%程度までの添加量においては, 結晶粒微細化によるものであり, それ以上の添加量においては, 結晶粒微細化と粒界強化による複合的なものであると考えられる.

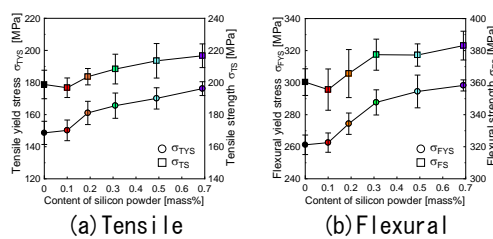


Fig.1 Yield stress and strength with respect to mass content of silicon powder, under tensile or flexural load.

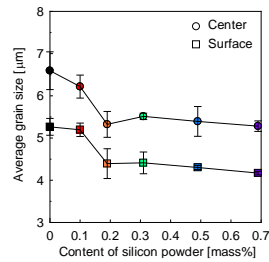


Fig.2 Average grain size with respect to mass content of silicon powder.

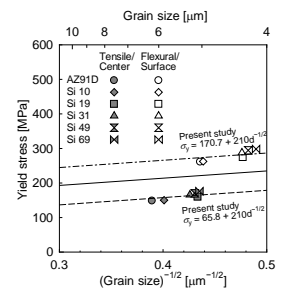


Fig.4 Yield stress with respect to average grain size.