研 究

粉末を応用した Semi-Solid Diecasting の基礎的研究 —Al-Si 合金加圧成形体に及ぼす機械的攪拌の影響—

師岡 利政^{☆1}, 湯浅 栄二^{☆1}, 河村 忠二^{☆1}, 宮原 輝明^{☆2}, 吉弘 憲司^{☆2}

^{☆1} 武蔵工業大学工学部機械工学科, 〒158 世田谷区玉提1-28-1.

^{☆2} 武蔵工業大学大学院, 〒158 世田谷区玉提1-28-1.

Fundamental Study on Semi-solid Diecasting by Using Mixed Powder—Influence of Mechanical Stirring on the Structure and Mechanical Properties of Al-Si Alloy—

Toshimasa Morooka^{☆1}, Eiji Yuasa^{☆1}, Chuji Kawamura^{☆1}
Teruaki Miyahara^{☆2} and Kenji Yoshihiro^{☆2}

^{☆1} Department of Mechanical Engineering, Musashi Institute of Technology, 1-28-1 Tamazutsumi Setagaya-ku, Tokyo 158. ^{☆2} Graduate School, Musashi Institute of Technology, 1-28-1 Tamazutsumi Setagaya-ku, Tokyo 158.

Received June 15, 1995

SYNOPSIS

Experimental study was carried out on semi-solid diecasting process using mixture of elemental aluminum and silicon powders. The mixture of powders was heated to the semi-solid state temperature of 30% volume fraction of solid phase and then it was mechanically stirred. After stirring, it was forced into pre-heated metal die-cavity. The results are as follows.

The fluidity of the stirred slurry and the surface condition of products are improved by the stirring. In the optical micrographic structure of the products, α phase is spheroidized and eutectic structure is refined by the stirring of slurry. Tensile strength, elongation and hardness of the products prepared from the stirred slurry are higher than those of the products prepared from unstirred slurry.

KEY WORDS

diecasting, Al-Si alloy powder, slurry, stirring.

1 緒 言

固液共存状態を利用する成形技術の一つであるSemi-solid diecasting¹⁾を、高融点金属の粉末成形などに応用するために実験的基礎研究を行った。これまでの研究²⁾でAl-5mass%Si混合粉を常温で予備圧縮後、半溶融状態で加熱し機械的攪拌を加えたスラリーの粘性は固相率40%以上になると急増する。凝固組織について、半溶融状態のとき固相として存在していた α 相の粒径は攪拌を加えると大きくなり球状化する。また、無攪拌のス

ラリー内に存在するガスは攪拌により除去され、凝固組織の硬さが増すことを示した。そこで本報では、機械的攪拌を加えたスラリーを直接的に成形することを試みた。既報²⁾と同様な混合粉末を固相率30%のスラリーとなるよう加熱後、機械的攪拌を加え直ちに種々の温度に予熱した金型に圧入し凝固成形させた。その際に得られた成形体の組織および機械的性質などに及ぼす機械的攪拌の影響を検討した。

2 実験方法

固相率(Fs)30%になるように加熱したスラリー (加熱温度892K) を既報²⁾と同様な攪拌方法で攪拌速度(V) 50rpmおよび200rpm, 攪拌時間約0.4ks間で攪拌を行った後, 直ちにFig. 1に示すように加熱炉(17)ごと金型の直下に移動させた。開閉可能な予熱炉(2)内で種々の温度 (T=室温~723K) に予熱しておいた金型 (型形状: 先端径φ8mm, 抜勾配1/50, 長さ60mm,) を圧入速度 0.03m/s, 最終加圧力(P)45MPa および22.5MPaで圧入を行い, 所定の圧力を負荷した状態で加熱炉(17)を開き, コンプレッサーから中空型コンテナ(12)に 2.4×10^{-5} m³/sの圧縮空気を流し強制空冷を行った。そこで, 成形体高さ (型内への充満度) に及ぼす機械的攪拌および金型予熱温度の影響を調査し, さらに成形体の外観, 断面の鑄造欠陥分布および光学顕微鏡的組織についても検討した。機械的性質についてはビッカース硬さ測定, 引張試験, 破面観察を行った。

3 実験結果及び考察

Fig. 1 Apparatus for semi-solid diecasting.

3. 1 スラリーの流動性と凝固組織

固相率30%のスラリーを無攪拌または攪拌速度(V) 50rpm, 200rpm で攪拌し, 種々の温度に予熱した金型に圧入し凝固させた。その際の成形体の高さと金型予熱温度の関係をFig. 2に示す。加圧力の大きさ, 攪拌の有無に関係なく金型予熱温度が高くなると, 得られる成形体高さは増し型内に充満し易くなった。また, 同じ成形体高さを得るための金型予熱温度はスラリーに攪拌を加えた方が無攪拌の場合に比べて低い。これは攪拌によってスラリーの粘性が低下し, 流動性が向上したためと思われる。このため無攪拌の場合, 同じ成形体高さを得るためには加圧力が小さいときは金型予熱温度を高くしなければならないが, 攪拌を加えた場合, 粘性が低下しているので実験の範囲内では金型予熱温度が同じであれば加圧力にあまり関係なく同じ程度の成形体の高さが得られ

Fig. 2 Relation between height of products and die temperature in semi-solid diecasting.

Photo. 1 External appearance of products. (Fs=30%, P=22.5MPa.) 30mm

る。

そこで攪拌の有無による成形体の高さの差が明らかな加圧力22.5MPaで得た成形体について検討を行った。Photo. 1に加圧力22.5MPaで圧入した成形体の外観写真を示す。無攪拌の成形体では型内への試料の充填が困難になる金型予熱温度623K以下では、著しい表面の荒れが観察できた。これに対しV=50rpmで攪拌した場合は、無攪拌の成形体が肌荒れを起こしている金型予熱温度でも表面状態が比較的良好であり、金型作製時に用いたリーマの痕跡も鮮明に現れている。V=200rpmで攪拌した成形体もV=50rpmのそれと同様な表面状態である。また、Photo. 2に無攪拌および攪拌を加えて得た成形体の断面写真を示す。いずれの成形体も型内へのスラリーの充填が困難になるか、もしくは不可能になり、表面の荒れが目立つようになる金型予熱温度で圧入した成形体からは欠陥が観察できる。欠陥は特に成形体の中心部から上部にかけて多く観察できる。これは金型予熱温度の低下に伴い、スラリーの流動性が悪くなったことが原因と思われる。

Photo. 3に金型予熱温度673Kで得られた成形体の光学顕微鏡組織を示す。無攪拌の組織については等温保持中に固相として存在していたAlもしくは α 相粒子と、凝固時に晶出した微細な初晶 α 相と共晶組織が観察できる。

先在している α 相の粒径には、ばらつきがあるものの粒子の形状はやや球状である。攪拌を加えた場合、これまでの結果¹⁾と同様に先在する α 相粒子は無攪拌の粒子に比べ大きくなり球状になる。また、固相粒子同士の凝集が観察できる。さらに光学顕微鏡組織から金型予熱温度の変化による組織の相違を明らかにするため、成形体の液相部分である初晶 α 相および共晶組織を主に観察した結果をPhoto. 4に示す。無攪拌、攪拌した成形体ともに金型予熱温度の低い523Kの方が初晶 α 相、共晶Si相ともに微細になっているのが観察できた。金型予熱温度を低くすることはスラリーの冷却速度を速め、凝固組織を微細化させるものと考えられる。

3. 2 成形体の機械的性質

加圧力22.5MPaで得られた成形体の機械的性質に及ぼす攪拌の有無、金型予熱温度の影響を調査するため先在する α 相、共晶組織および組織全体の硬さを測定した結果をFig. 3に示す。図中(A)の先在する α 相の硬さは攪拌の有無、攪拌速度および金型予熱温度の変化に関係なく、ほぼ一定である。(B)の共晶組織の硬さは、攪拌の有無にかかわらず金型予熱温度の低下に伴い硬さは増加した。これは光学顕微鏡組織観察から、金型予熱温度が低下すれば冷却速度が大きくなり共晶Si相が微細化したためと考えられる。いずれの金型予熱温度においても共

Photo. 2 Sectional view of products. (Fs=30%, P=22.5MPa.)

30mm

Photo. 3 Microstructure of semi-solid diecastings for various stirring speeds. (Fs=30%, P=22.5MPa, T=673K.)

300 μ m

Photo.4 Microstructure of semi-solid diecastings for various die temperatures. (Fs=30%, P=22.5MPa.)

Fig.3 Relation between Vickers hardness and die temperature.

晶組織の硬さは無攪拌の成形体より攪拌を加えた成形体の方が高い。これは攪拌によってスラリー内のガスの放出が行われ組織中に気孔がなくなるが^{2, 3)}、攪拌しない場合はガスがスラリー内に残存するので凝固時に気孔を生じ、硬さ低下の一因になったと思われる。また、攪拌速度による硬さの相違は顕著に認められない。(C)の組織全体の硬さは、いずれの攪拌条件で得られた成形体も

金型予熱温度の低下に伴い硬さは漸増した。これは共晶組織の硬さの増加の主因と考えられる。さらに、いずれの金型予熱温度においても組織全体の硬さは無攪拌よりも攪拌の方が大きい。先在する α 相の硬さは攪拌の有無にかかわらず一定の値であるのに対し、共晶組織については攪拌した方が無攪拌より硬いことが影響しているものと考えられる。

Fig.4に引張試験の結果を示す。試験片の形状寸法はJIS8号に準じて旋削加工したが、これらは全て型内に完全に充満する金型予熱温度の条件で採取した。無攪拌の

Fig.4 Mechanical properties of semi-solid diecastings. (Fs=30%, P=22.5MPa.)

成形体は引張強さが110~120MPa程度であり、伸びは殆どないのに対して、攪拌を加えた成形体の引張強さは、いずれの金型予熱温度においても無攪拌のそれより大きい。また、攪拌を加えた成形体には伸びもある。そこで金型予熱温度673Kの成形体について、引張り試験後破面観察を行った。Photo. 5にその結果を示す。無攪拌の成形体破面は粒界で破壊が生じたと思われる破面の様相を呈している。これに対して攪拌を加えた成形体破面は起伏が著しく、延性破面が観察できる。Table. 1に金型予熱温度674Kで攪拌を加えた成形体の機械的性質と同組成

の鋳物の機械的性質¹⁾を示す。Semi-Solid Diecast材(SSD)の引張強さ(σ_B)は、比較として示した鋳物の中で高強度である改善処理(0.1~0.5%Na添加)した砂型鋳物に相当するか上回る程度の値である。また、Semi-Solid Diecast材の伸び(δ)は、改善処理した砂型鋳物を上回ることが判った。これは攪拌を加えてSemi-Solid Diecastingした場合、通常の鋳物に見られない半溶融状態で固相粒子として存在していた α 相の球状化や凝固組織中の気孔の除去などにより引張強さ、伸びが向上したと考えられる。

Photo.5 SEM image of fractured surface in semi-solid diecastings. (Fs=30%, P=22.5MPa, T=673K.)

Table.1 Comparison of mechanical properties in castings prepared by various casting methods(Al-5mass%Si alloy).

Casting method	σ_B /MPa	δ /%
SSD(V=50rpm, T=673K)	155	13
SSD(V=200rpm, T=673K)	150	15
Sand mold castings	120	5
Modified sand mold castings	140	11
Metal mold castings	130	6

4 結 言

Al-5mass%Si混合粉から成る固相率30%のスラリーに機械的攪拌を加えた後、金型に圧入することにより、以下のことが明らかになった。

1. スラリーの流動性は無攪拌のスラリーに比べ向上し、成形体の表面状態も良好となる。
2. 硬さ・引張強さ・伸びは、無攪拌で得た成形体よりも向上する。

謝 辞

本研究に協力された工学部機械工学科学生 植田茂樹君、郡司光洋君、山岸秀如君に感謝します。

文 献

- 1) R. M. K. Young and T. W. Clyne: J. Mater. Sci., 21, (1986), 1057.
- 2) 師岡 利政, 湯浅 栄二, 河村 忠治, 宮原 輝明, 吉弘 憲司: 粉体および粉末冶金, 42, (1995), 336.
- 3) Wood, J. V. and Toloui, B. Proc. Conf. on Designing with Titanium, Institute of Metals, (1986), 50.
- 4) 飯高 一郎: 鋳物学通論 丸善(1972)187.