

氏 名	粟 野 洋 司
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和63年10月12日
学位授与の根拠法規	学位規則第5条第2項
最 終 学 歴	昭和39年3月 東北大学工学部金属工学科卒業
学位論文題目	A l - S i 系鑄造合金再生地金に関する研究
論文審査委員	東北大学教授 井川 克也 東北大学教授 和泉 修 東北大学教授 新山 英輔

## 論 文 内 容 要 旨

鑄造用 A l - S i 系合金は、流動性がよく鑄造割れが生じにくいなどの特長を有しており、多量生産される自動車の構造部品によく用いられ、軽量化に大きな役割を果たしている。しかし、オイル・ショックによってアルミニウム製練が構造不況に見舞われたことに加え、自動車の普及の拡大に伴う地金需要の増大や、原価低減の点からも、A l - S i 系合金鑄物の大半は、新地金ではなく、各種のスクラップを原材料とする再生地金から製造されるようになってきた。このような地金事情の下では、当然ながら、必要な機能を有し品質の安定した鑄物を製造するには、解決しなければならない問題が数多く生じている。

このような背景から、本論文で研究対象として取り上げた課題は、引け性の明確化および鑄物強度の向上技術の確立である。前者は引け欠陥による鑄造不良を低減するだけでなく、鑄物の強度や耐圧性を確保するため、後者は不純物元素の多い鑄物の強度向上であり、両者とも再生地金を有効に利用する技術を確立する上で重要な研究課題となっている。

再生地金を用いた場合、引け欠陥による慢性的な不良や突発的な不良が、鑄造現場では大きな問題となっている。しかし、不純物元素の引け性への影響についての研究は多いが、再生地金そのものの引け性についての研究はほとんど報告されておらず、引け性が定量的に明確に把握されていないこともあり、試行錯誤で対策されているのが現状である。一方、鑄物の強度、とくに靱性は、不純物元素のうち最も混入し易く、針状化合物として晶出する鉄によって大きく低下する。これまで、鉄の影響については多くの研究があり、実用されているマンガンのように、第3元素を添加して強度を向上できるが、十分とは言えず相変わらず大きな課題となっている。

そこで本研究では、再生地金の引け性に関しては、まず市販の再生地金の円柱鋳物に生成する引け巣形状の変化を調べて、影響を及ぼしている主要因の不純物を明らかにし、さらに引け形態ごとに引け量を定量できる試験鋳物を考案して、その主要因の影響をより明確にすることを目的とした。また、鋳物の強度については、 $AlFeSi$ 化合物の晶出形態変化と液相が出現する温度域での溶体化処理に着目して、不純物鉄の害を緩和して韌性向上を図る方法を開発することを目的とした。

以下に本研究の概要を各部各章ごとにまとめる。

1. 「緒言」では、多量生産されている $Al-Si$ 系合金鋳物製造の現状を概観し、再生地金の有効利用のための技術的課題について述べると共に、本研究の背景、目的および立脚点を明確にした。

2. 第1部「鋳造用 $Al-Si$ 系合金の引け形態変化」では、引け性を定量評価する方法を確立し、再生地金の引け性を変化させている主要因としての不純物とその影響を明らかにした。さらに、この引け試験鋳物が市販地金や鋳造現場溶湯の引け性の評価、管理に有用であることを示した。

2.1 第1章「実用ADC12合金鋳物の引け巣形状変化」では、再生地金を用いた場合、化学成分がJIS規格を満たしていても、引け欠陥による鋳造不良の突発的発生が起ることを考え、合金規格以外の不純物に着目して、引け巣形状を変化させている主要因を調べた。はじめに、ほぼ共晶組成の新地金の円柱鋳物の引け巣はパイプ状であり、ガス量を高める溶湯処理を施しても変わらないのに対して、市販再生地金JISD12Sでは、真空脱ガス処理ではパイプ状であるのが、ざく巣状を呈したことから、再生地金の引け巣形状の変化の主要因の一つは、含有ガスであることを明らかにした。

また、ガス含有処理を行ったときの引け巣形状が新地金とは異なることから、ガス以外の不純物も関係していると考えられた。規格の不純物元素や活性な微量不純物元素が、引け巣形状の変化に関与していることは認められなかったが、脱酸処理等により引け巣形状が変化したことから、水素と結びつきポロシティ量を高めるとされている、活性で準安定なアルミナが関与していないとは断定できないことが分かった。

2.2 第2章「亜共晶 $Al-Si$ 合金の引け形態に及ぼすガスの影響」では、重力鋳造用合金として重要な、亜共晶 $Al-Si$ 合金の引け形態に及ぼすガス量の影響を明らかにした。亜共晶 $Al-Si$ 合金は、共晶組成付近の合金とは異なり、円柱鋳物ではパイプ状の引けを示さないため、引け形態の変化を明確に把握できない。そこでまず、内引けと外引けを区別でき、引け量を定量的に評価して引け形態の変化を把握できる、円錐状の砂型引け試験鋳物を考案した。

この引け試験鋳物を用いて、 $Si$ 量およびガス量を変えて引け形態を調べ、純アルミニウムも含め、合金組成が同じならばポロシティ量、内引け量と外引け量の和の総引け量は一定となる関係を示すことを見出した。さらに、ガス量によってポロシティ量だけでなく、内引け量あるいは外引け量も同時に変化することが分かり、亜共晶 $Al-Si$ 合金でも、溶存ガスは引け形態を大きく変え

る不純物であることを明らかにした。また、Si量によって低ポロシティ量側でポロシティ量に対する内引け量、外引け量の変化の仕方が異なることは、外引けの形態の違いによることも明らかにした。

2.3 第3章「市販AC4C合金地金および铸造現場溶湯の引け性の評価」では、この円錐引け試験鑄物により、Al-Si系では最も重要な合金の一つである、Al-Si-Mg系のAC4C合金の市販の newly 地金や再生地金の引け性も同様に評価できることを示した。次に、この円錐鑄物が、低品位スクラップを多量に配合した铸造現場の溶湯が、安定操業時と同等の引け性を示すまでに施すべき溶湯処理を判定するのに有用であり、铸造現場での管理に役立つことを示した。

また、ポロシティ量とガス量との関係から、同一ガス量でもポロシティ量は地金によって必ずしも同じではないことが分かった。このことは地金や溶湯の引け性をガス量で管理するのは正確さを欠くことを示しており、この点でも定量性が高く測定が簡便でしかも迅速にできる特長を持つ円錐鑄物が、引け試験鑄物として有用であることが明らかとなった。

3. 第2部「溶湯過熱処理によるAlFeSi化合物の晶出形態変化」では、針状化合物となって晶出して、Al-Si系合金鑄物の強度、とくに靱性を大きく低下させる鉄の悪影響を除く処理技術の開発を目的として、溶湯に過熱処理を施すと、AlFeSi化合物の晶出形態が針状からがい骨状に変化する現象を見出し、その要因を明らかにした。さらに、この現象を用いることによって、鉄量の高い合金鑄物の靱性を大きく向上できることを示した。

3.1 第1章「溶湯過熱処理によるがい骨状AlFeSi化合物の晶出」では、がい骨状の鉄化合物は、針状鉄化合物が晶出するはずの広い組成範囲で、過熱温度が高く凝固時間が短いと晶出しやすく、針状晶の場合より凝固過程の遅い時期に、Fe濃度が高くなった残液より晶出したAlFeSi化合物であることを明らかにした。さらに、がい骨状晶は凝固時間が長く平衡凝固に近づくとも晶出しないことから、過熱処理によって性状が変化した溶湯から、非平衡凝固で晶出したことが分かった。また、この現象は過熱処理後の熱履歴の影響は受けないことも明らかにした。

3.2 第2章「溶湯過熱処理による鉄量の高いAC4C合金鑄物の靱性改善」では、このがい骨状AlFeSi化合物の晶出へのMgの影響を調べるとともに、代表的な高靱性合金であるAC4C合金の鉄量を規格値以上に高めた場合について、溶湯過熱処理の靱性向上効果を確認した。鉄量の低い合金の場合は、がい骨状晶が多く晶出することによって、鉄量が高い合金では、がい骨状晶は少ないが、針状晶は微細な形状で晶出するため、鑄物の衝撃強さが大幅に向上することを明らかにした。

4. 第3部「共晶融解温度域での溶体化処理」では、再生地金のAl-Si-Cu系合金鑄物の靱性を熱処理によって向上させる方法として、非平衡凝固で晶出した銅化合物が融解する温度での溶体

化処理、さらにはそれに先立って平衡液相が出現する温度で過熱する処理を提案し、有効な方法であることを示した。

4.1 第1章「非平衡共晶が融解する温度域でのAl-Si-Cu系合金鑄物の溶体化処理」では、鑄物の最終凝固温度以上では、共晶部分が融解するバーニングが起こり脆化するため、行ってはならないとされてきた温度域でも溶体化処理が可能であり、靱性を著しく向上できることを明らかにした。非平衡凝固で晶出したCuAl<sub>2</sub>を含む共晶部分が一旦融解しても、固相面以下の( $\alpha$ -Al+Si)領域で加熱する限りは、Cuの固溶が進むにつれて液相は少なくなるため、溶体化処理が可能であろうとの考えに基づき、AC2B合金鑄物を用いて、処理条件の影響を調べ、固相面に近い温度で加熱するほど、共晶Siはよく球状化して衝撃値は著しく上昇することを明らかにした。また、溶質元素の固溶、均一化が速いことも確認した。

4.2 第2章「固液共存域での加熱によるAl-Si-Cu系合金鑄物の衝撃強さの改善」では、溶体化処理に先立って、固液共存域の温度で加熱することによって、鑄物の靱性を一層向上できることを明らかにした。液相が連なった帯状の組織が生成するが、その部分に欠陥が生じない加熱条件を選べば、温度が高いためだけでなく、平衡液相との反応によって共晶Siの形状が著しく変化するため、強さを犠牲にせずに靱性を大幅に向上できることを明らかにした。

4.3 第3章「共晶融解温度域で加熱した鉄量の高いAC2B合金鑄物の衝撃強さ」では、以上の二つの処理が、鉄量の高い合金鑄物の靱性改善にも有効な方法であることを示し、非平衡あるいは平衡液相との反応によって、針状鉄化合物が棒状や塊状に変化したことによることを明らかにした。

4.4 第4章「共晶融解温度域での加熱による実用合金鑄物の靱性改善」では、非平衡液相さらには平衡液相が出現する温度で加熱する処理が、実用鑄物の靱性向上にも効果が大きいことを、小型およびシェル中子を多用し凝固時間が長く組織の粗い中型の金型鑄物を用いて調べて確認した。

5. 「総括」では、本研究の主要な成果を要約した。

## 審 査 結 果 の 要 旨

鑄造用 Al-Si 系合金は鑄造性が良く、自動車用構造部品その他に広く用いられている。最近の地金需要の増大や原価低減の目的から、Al-Si 系合金鑄物の大半は再生地金を用いて製造されるようになってきた。本論文は再生地金使用によって生じ易い鑄造時の引け欠陥や、鑄物材質の低下に対処するために行った研究成果をまとめたもので、全編 5 章より成る。

第 1 章は緒言であり、本研究の背景や目的を述べている。

第 2 章では、Al-Si 系合金の引け形態及び量について述べている。再生地金を用いた場合、化学成分が日本工業規格を満足していても引け欠陥を生ずることが多く、その要因の一つは水素を主体とする含有ガスであることを明らかにした。つぎに亜共晶 Al-Si 合金について、内引けと外引けが区別でき、さらに引け量を定量的に評価できる円錐状の砂型引け試験鑄物を考案した。これを用いて Si 量及びガス量による引け形態の変化を調べ、合金組成が同じならばポロシティ量、内引け量、外引け量の総和は一定であるが、ガス量によってその形態別構成割合が異なるという新しい知見を得ている。さらにこの円錐状引け試験鑄物により現場溶湯の管理を行い、適正な引け性を示すように予め溶湯処理を行うことを可能にした。

第 3 章では、再生地金に多く含まれ易い鉄は Al-Fe-Si 化合物として針状に晶出し、Al-Si 系合金鑄物の強度、とくに韌性を大きく低下させるので、これを防ぐための溶湯過熱処理について述べている。すなわち針状化合物が晶出する広い組成範囲で、溶湯過熱温度が高く凝固時間が短いほど晶出形態が骨状に変化し、鑄物の衝撃強さが大幅に向上することを明らかにした。これは有用な知見である。

第 4 章では、Al-Si-Cu 系合金鑄物の韌性を熱処理によって向上させる方法について述べている。すなわち非平衡凝固で晶出した  $\text{CuAl}_2$  化合物が融解する温度での溶体化処理、及びそれに先立って平衡液相が出現する温度に短時間加熱する熱処理を提案している。これは Cu の固溶促進と共晶 Si の球状化、並びに針状化合物の塊状化によるもので、実際製品の金型鑄物についてもその効果を確認している。

第 5 章は総括であり、本研究の主要な成果を要約している。

以上要するに本論文は、再生地金を多量に使用する場合、必要な機能を有し、品質の安定した Al-Si 系合金鑄物を製造するための問題点を解明し、そのために必要な技術を開発したもので、材料工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。