

K6-7

Ni を添加した Al-15Si 合金の焼結体における機械的性質の改善 Improvement on mechanical properties of Ni-added Al-15Si alloy compact

○大高一貴¹, 小宮良樹², 出井裕²*Kazuki Otaka¹, Yoshiki Komiya², Hiroshi Izui²

Abstract: The hypereutectic Al-Si alloy is lightweight, excellent in heat resistance and abrasion resistance and attracts interest in recent years. On the other hand, Al-15Si alloy has poor tensile strength as compared with other aluminum alloys. In this study, we improved the tensile strength and Vickers microhardness of Al-15Si alloy sintered by using of spark plasma sintering (SPS) and adding of pure Ni. In particular, the hardness of Al-15Si alloy with 30 mass%Ni sintered at 450 °C was higher than that of Al-15Si alloy without Ni. Moreover, the highest tensile strength was obtain by sintering with 30 mass%Ni at 450 °C. The formation of Al₃Ni intermetallics in the Al-15Si alloy led to increase the Vickers microhardness and tensile strength.

1. 緒言

近年空冷 2 サイクルエンジン用ピストン材料として、軽量かつ熱膨張係数が鉄に近いことで優れているアルミニウム(Al)合金が多く使用されており、特に耐熱、耐摩耗性や熱膨張係数に優れている過共晶 Al-Si 合金が注目されている^{[1][2]}。さらに、しゅう動部品やシリンダブロックなどにも使用され始め^[2]、ますますの需要増加が期待される。一方で、Al-Si 合金は他の Al 合金と比較して、硬さや引張強度、破断伸び等が乏しい。更に、この合金は多量の Si を含むため、初晶 Si が粗大化し、加工性や切削加工時に“むしれ”の現象を呈して仕上げ面が良好でなくなるなど、機械的性質に影響を与えるという欠点がある^[1]。そこで、本研究では硬さや引張強度、破断伸びなどに焦点を当て改善を行った。具体的には、母材の Al-15Si 合金粉末に純 Ni 粉末を添加し、Al と Ni との間で Al₃Ni を析出させ、析出強化による強度の向上を図った。また、放電プラズマ焼結法 (Spark Plasma Sintering : SPS)(住友石炭鉱業(株), DR.SINTERSPS-3.20 MK IV)を用いることで、急速昇温および急速冷却で試験片を作製することができ、初晶 Si の粗大化を抑制することにより機械的性質への影響を抑えた。

2. 実験方法および方法

2.1 供試材料

ヒカリ素材工業株式会社製の Al-15Si 合金粉末(粒径 : -75 μm, Si : 15 mass%)を用いた。また、高純度化学研究所製の純 Ni 粉末(粒径 : 2-3 μm)を用いた。これらの粉末を Ni 添加量(mass%)が 5, 10, 15, 20, 25, 30 mass%となるように、遊星ボールミル(フリッチュ・ジ

ャパン(株), P-6)を用いて回転数 200 rpm, 10 min 混合した。

2.2 焼結条件および試験片の作製方法

放電プラズマ焼結機を用いて母材と強化材の混合粉末を昇温速度 50 °C/min, 焼結温度 400 °Cおよび 450 °C, 保持時間 10 min, 加圧力 70 MPa で焼結した。焼結後、ストレートグラインダーを用いて Fig. 1 のように加工し、ビッカース硬さ試験, 引張試験を行った。硬さ試験の条件は、押し込み荷重 9.807 N, 押し込み時間 30 s で行った。引張条件は 0.5 mm/min で行った。その後、走査型顕微鏡(SEM:Scanning Electron Microscope)を用いて表面観察及び破断面の観察を行った。

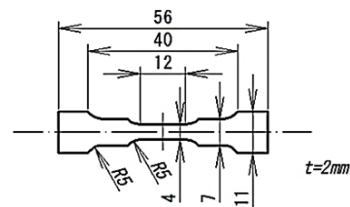


Fig. 1 Shape of the tensile specimen

3. 実験結果および考察

3.1 Ni 添加によるマイクロ組織変化

Fig. 2 に純 Ni 粉末を添加した際の SEM 像を示す。赤矢印で示した灰白色が Al₃Ni であり、Al と Ni の界面に析出している。また、焼結温度の上昇や Ni 添加量の増加により析出量が増加していることが分かる。Al₃Ni が界面に析出する理由としては、Al と Ni の原子間距離の違いにより半適合界面もしくは非適合界面になったためと考えられる^[3]。Ni 添加量の増加により相対密度は低下する。Fig. 2 の SEM 像より Ni の凝集体内部に空孔が確認でき、この空孔が相対密度の低下の原因だと考えられる。

1 : 日大理工・院(前)・航宇, 2 : 日大理工・教員・航宇

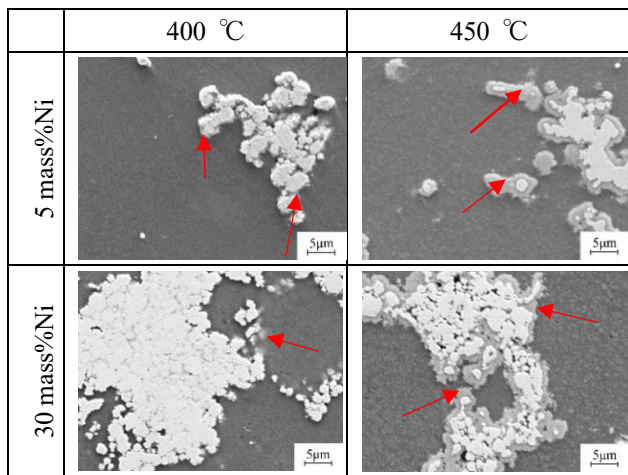


Fig. 2 SEM micrographs of Ni-added Al-15Si alloy sintered at 400°C and 450°C

3.2 Ni 添加による硬さの変化

Fig. 3 に Ni の添加に伴うビッカース硬さ変化を示す。Fig. 3 では Ni の添加量の増加に伴い、ビッカース硬さが上昇していることが分かる。これは、Fig. 2 で明らかのように高硬度(650 HV)である Al₃Ni の増加によるものと、転位運動に対する抵抗となり硬化する析出強化によるものだと考えられる^{[3][4]}。

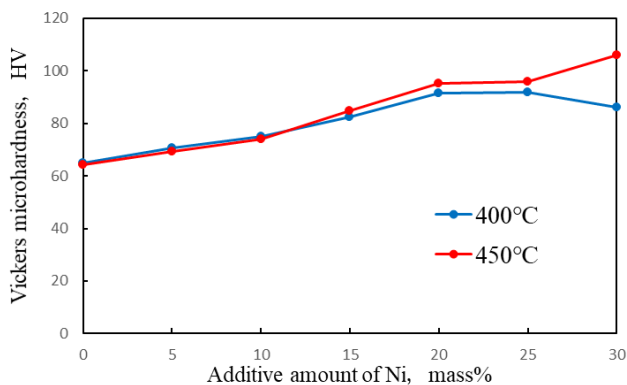


Fig. 3 Effect of Ni amount on the Vickers microhardness of Ni-added Al-15Si alloy

3.3 Ni 添加による引張強度、破断伸びの変化

Fig. 4 に Ni の添加量に伴う引張強度および破断伸びの変化を示す。なお、焼結温度 400 °C、Ni 無添加 Al-15Si の試験片では引張試験の開始とともに、すぐ破断してしまい正確なデータをとることができなかった。Fig. 4 に示す引張強度をみると、各焼結温度共に Ni の添加量の増加により引張強度は上昇した。また、焼結温度による強度の差はなかった。強度上昇の理由として、前述した析出強化が要因であると考えられる。破

断伸びについては、Ni を添加することで大幅に改善することができた。これは、Ni が延性の特性を持つ^[5]と言われており、未反応部分の Ni が伸びたためであると考えた。Ni の過剰添加により破断伸びが低下した原因は、Fig. 2 に示す Ni 凝集体内の空孔から破断の起点になったためであると思われる。また、析出強化による硬化のためとも考える。

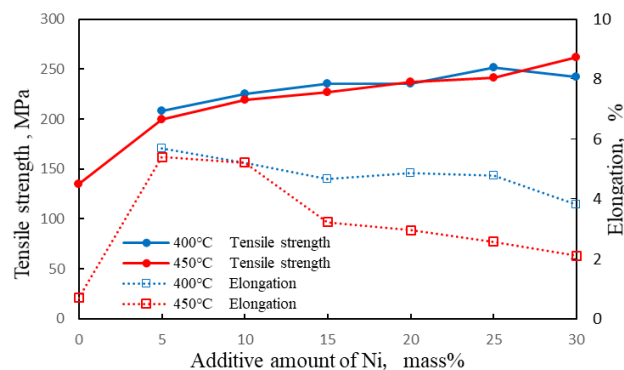


Fig. 4 Effect of Ni amount on the tensile strength and elongation of Ni-added Al-15Si alloy

4. 結言

本研究により以下のことが明らかになった。

- SPS を用いて Al-15Si に Ni を添加すると Al と Ni の界面に Al₃Ni が析出する。
- Ni の添加量の増加により析出強化により硬さは向上し、最大で 106 HV となり 42 HV ほど向上した。
- 同様に、引張強度も Ni 添加量の増加により向上していき、最大で 261 MPa となり 126 MPa ほど向上した。
- Ni を添加することで破断伸びを示すようになったが、過剰の添加により破断伸びは低下した。

5. 参考文献

- [1] 稲垣伍三郎 山田泰生：「過共晶 Al-Si の研究」, 日立評論, P.88, 1961 年
- [2] 安達充：「過共晶 Al-Si 系鋳物用合金の改良」, 軽金属, 34 巻, 7 号, P.430, 1984 年
- [3] 渡邊慈朗 齋藤安俊：「基礎金属材料」, 共立出版株式会社, P.187, 1979 年
- [4] 小橋真 高田尚記：「構造材料学」, P.5, 2016 年
- [5] Nickel INSTITUTE：「ニッケルの利点 ステンレス鋼へのニッケル利用」, P.5, 2008 年