

【学術賞受賞者講演】

粉末冶金法による軽金属の高強度化ならびに高機能化

[軽金属躍進賞(（社）軽金属学会)「粉末冶金法による高強度および高機能性を兼備した軽金属材料の創製」平成21年11月14日]

日大生産工 ○久保田 正広

1 受賞の背景

社団法人軽金属学会は、アルミニウム・マグネシウム・チタンなどの「軽金属に関する学術・技術の進歩発展を図り、工業の発展につくす」ことを目的として、1951年に発足した軽金属に関する我が国唯一の学術団体です。軽金属学会では毎年、軽金属に関する学術研究および技術開発に顕著な功績を挙げ、今後の発展が期待される満36歳以上45歳以下の中堅の研究者、技術者に「軽金属躍進賞」を贈っています。

今回の受賞は、下記に示す二つの分野に関して顕著な功績を挙げた点が高く評価されました。一つ目は、粉末冶金法による金属基複合材料の創製および機械的特性の評価を中心とした研究・開発に従事し、高付加価値を有する軽金属材料を創製した。すなわち、粉末を混合する際に必要不可欠である安価な潤滑剤を添加し、固化成形中の加熱によって固相反応を誘起させ強化粒子を生成させるプロセスを提案し、アルミニウムを中心とした種々の材料に適用し高付加価値材料の開発に大きく貢献した。さらに、メカニカルミリング法と放電プラズマ焼結法を組合せたプロセスを適用して種々の高付加価値を有する複合材料を創製した。中でも、純アルミニウムの延性を損なうことなく強度を飛躍的に向上させた複合材料を作製し、特異なバイモーダル組織の創製や組織制御に関して海外から高い評価を受けた。また、アルミニウム合金の新規分野を開拓するために、粉末冶金法による磁性を有するアルミニウム基複合材料の作製にも世界に先駆けて実践・実証している。二つ目は、Al-Mg系合金の析出挙動に及ぼすAg添加の効果を透過型電子顕微鏡と電子線回折法を適用して析出組織を詳細に検討し、Al-Mg-Ag系合金中の時効過程で析出する粒子の結晶構造が準結晶であることを世界で初めて見出し注目している。

2 研究の背景

アルミニウム合金やチタン合金は、高い比強度を有し、耐食性やリサイクル性に優れるため、環境に優しい材料として、また、鉄鋼材料の代替材料として注目されている。また、低炭素社会や循環型社会が要求される今日、複数の機能を同時に発現するアルミニウム合金の創製が期待されており、特に、金属基複合材料にスポットが当てられてきている。

3 複合粉末の作製

複合化する技術として固相状態で攪拌・混合を行なうメカニカルアロイング(MA: Mechanical Alloying)法に注目し、複合粉末の作製に取り組んだ。MA法は1960年代に米国INCO社で開発された技術で、ガスタービン用のニッケル基超合金に酸化物の微細粒子を分散させて、高温特性の改善を図ることが当初の目的で生まれた粉体プロセスであった。MA法の原理は、固相状態で異種金属の粉末を攪拌・混合することで、粉末に変形、接合、粉碎のプロセスを繰り返しながら与えることで、合金化や非晶質化を達成するプロセスである。同時に、材料の強化機構である加工硬化、結晶粒微細化による強化、分散強化、固溶強化などによって粉末に対して高付加価値を付与させることができる。一方、微細なセラミックス粒子を母材中に均一に分散させることも可能であり、複合材料の出発材料である複合粉末を容易に創り出す事ができる。つまり、マトリックスの結晶粒を微細化させたり、加工ひずみの導入によってマトリックスを強化すると同時に機能性粒子を均一に分散させることが同時に達成することができる。特に、マトリックスと添加する機能性粒子との融点差や密度差を考慮する必要が全く無くほぼ全ての系に対して常温で適用が可能である。

4 複合粉末の固化成形

MA法で得られる複合粉末の固化成形プロセスとして、一般的な粉末冶金法では粉末を金型中で冷間圧縮によって予備成形体を作製し、それらをホットプレスや熱間押出し加工によってバルク材を作製する方法が用いられているが、工程数が嵩むのと同時に各プロセス毎の条件設定が複雑なため、プロセスコントロールに難点がある。一方、近年、短工程かつ短時間でバルク化が可能な放電プラズマ焼結 (SPS: Spark Plasma Sintering) 法が注目されている。SPS法は、セラミックス粉末の固化成形プロセスとして1990年代の始めに住友石炭鉱業(株)が商品化した装置で、粉末間に放電現象を起こさせ表面の酸化皮膜を除去し、ジュール熱によって粒子間接合を行い、バルク材を作製する方法である。黒鉛型内にMA処理によって高強度化と機能性を兼備した粉末を装入し、上下パンチで押さえ、装置内部にこれらを設置して放電プラズマ処理を行なう。粉体試料内部からの自己発熱作用を積極的に利用し、従来のホットプレス法や熱間静水圧法よりも低温域かつ短時間での焼結あるいは焼結接合を可能にしている。また、放電による直接発熱方式のため熱効率に優れ、その放電点の分散による均等加熱によって、均一で高品位の焼結体が容易に得られる特徴を持っている。従って、出発原料粉末に創りこまれた様々な特性を損なわずに低温域・短時間で固化成形が可能なプロセスとして認識されている。

5 純アルミニウムへの適用

Fig. 1にMM粉末とSPS材の硬さの比較およびSPS材の密度を示す。純アルミニウム粉末の0h, 4hMM, 8hMMの硬さはそれぞれ44HV, 138HV, 118HVを示した。MM処理中に導入される転位密度の増加に伴って4hでは硬さが増加したが、8hMM処理では摩擦熱の影響により硬さはわずかに低下した。MM処理されていない純アルミニウム粉末からのSPS材の硬さは39 HVを示したのに対して、4hMMおよび8hMM粉末から作製したSPS材の硬さは139HVおよび158HVを示した。各SPS材の硬さはMM粉末の硬さとはほぼ同等、もしくはそれ以上の硬さを示し、本研究で用いた固化成形プロセスであるSPS法の有効性ならびに固化成形条件が適切であることを示唆している。アルキメデス法で求めた各SPS材の純アルミニウムに対する相対密度は100%を超える値となった。

SPS材の室温での圧縮強度は、MM処理していない粉末から作製したSPS材では173MPaを示した。原料粉末は急冷凝固されたアトマイズ粉のため結晶粒が微細化しているため一般的な純アルミニウムの強度と比較して高い値を示したと考えられる。また、この値はA1100 - H18材の引張強さと同等レベルである。一方、8hMM処理した粉末から作製したSPS材の圧縮強度は630MPaを示し、7075-T6材を越える高強度を示した。公称破断ひずみは0.1を示し、非常に高い強度と延性を兼備した特性を有している。

Fig. 2に高強度を示した8hMM処理から作製したSPS材をEBSD解析し、得られたオイラー方位マップを示す。組織は300nm程度の微細なナノ結晶粒と2~5 μm 程度の比較的粗大な結晶粒で構成されていた。このようなバイモーダル組織はSPS材の表面全体で認められており、MM処理によって粉末に対して巨大なひずみを蓄積させた後、SPS法で固化成形する際の加圧と加熱によって得られる特有の組織であると考えられる。また、高強度と延性を兼備した特性は、バイモーダル組織を有することによって発現したと考えられる。

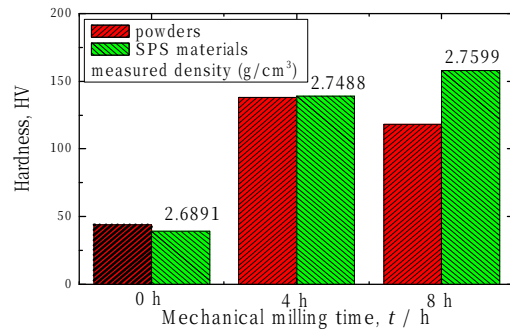


Fig. 1 粉末とバルク材の硬さの比較およびバルク材の相対密度

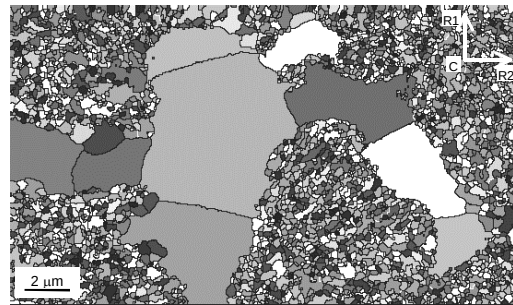


Fig. 2 8h処理した粉末から作製したバルク材の組織

「謝辞」久保田研究室で実験を熱心に取り組んだ卒業研究生ならびに大学院生(青木翔君, 江川大基君, 大野卓哉君, 萩野敏基君, 渡辺唯君, 渡部雄太君)に深く感謝申し上げます。磁気特性の評価は本学電気電子工学科移川先生, 新妻先生ならびに研究室に所属する大学院生から多大なご支援ならびにご協力を賜りました。厚く御礼申し上げます。