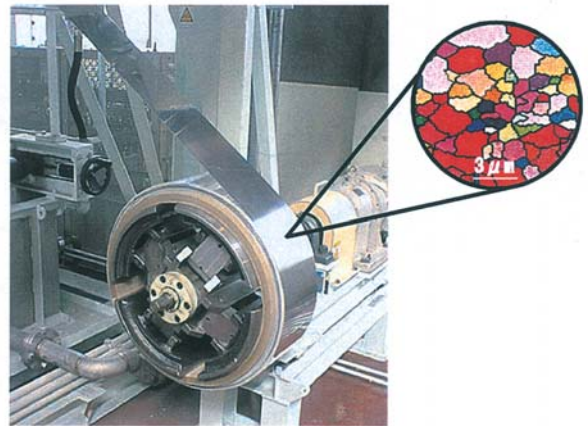


TODAY

## アルミ材料の新しい世紀を拓くために



住友軽金属工業株式会社  
専務取締役  
研究開発センター所長 永田 公二  
(JRCM理事)



スーパーメタル(Al-Mg-Mn合金)を連続焼鈍コイル化

わが国の経済は10年に及ぶ深刻な不況のなかにあります。アルミ圧延(板、押出製品)業界も例外ではありません。1980年代の10年間の需要量は、年間130万トンから230万トンへほぼ右上がりに増加しましたが、90年代の10年間は年間240万トン前後と横這いで推移しました。このような需要の不振のなかにおいても、飲料缶、空調用フィン、自動車熱交等の分野では着実に需要量を伸ばしました。また、IT関連の電解コンデンサー箔も、ここにきて急回復の兆しが見えます。

一方、新材料・新技術の創製・実用化の分野では、経済産業省の助成も受けながら、急冷アルミ合金粉末(83年~)、アルミ複合材料、Al-Li合金(89年~)、超塑性合金、ハニカムパネル(82年~:接着、96年~:ロウ付け)等、多くの材料・製造技術の実用化研究に挑戦してきました。しかし、事業化という点では必ずしも成功したとは言いがたい状況です。

優れたシーズを顧客のニーズにマッチさせる最後の一步のところでも多くの挫折を味わいました。

最後の一步をクリアできなかったのは、一言で言えば、市場の求める費用対効果を満足しえなかった、ということです。

高コストの要因は、高い設備償却費、低い生産性や歩留まり等、設備と生産技術にかかわるものが支

配的で、新規に開発した材料の冶金的特性を十分理解したうえで、安くつくるための設備、生産プロセスの開発こそ重要であり、この分野の技術者、メーカーのプロジェクトへの参画・協力が不可欠であると実感しました。

さて、21世紀は、環境とエネルギーの問題に正面から取り組まねばならない世紀です。この点でアルミ製品の果たす役割は大きいものと期待されます。アルミ飲料缶の回収率は80%、缶への再利用率は75%に達しており、同時にLCAの点からも高い評価を得ており、まさに環境にやさしい材料です。さらに、2008年の欧州のきびしい燃費規制をクリアするには、アルミ圧延品をフードやサブフレーム等に多用して、車を軽量化するのが最も有効であると考えられています。

わが国の自動車メーカーも活発にアルミの適用性について研究しており、アルミ業界もこぞってその実現のために、成形、接合、表面処理等の加工技術の提供に努めています。

現在、自動車向けアルミ圧延板の需要量は、自動車熱交向けを別にしますと、年間5,000トン程度とアルミ板総需要の0.5%未満です。今後、仮に車1台当たり10kg使用されるとすれば、年間6万トン前後の膨大な需要が生まれることとなります。

わが国でアルミが乗用車のフードに最初に採用されたのは85年のマツダRX-7であり、以来20年にわたり多くの研究開発が繰り返し行われてきましたが、本格採用は限定的でした。97年から5年間にわたるJRCMでのスーパーメタルの研究により、従来にない

特性をもつ微細結晶粒アルミ合金の創製に成功しました。この優れたシーズに、低コストを実現しうる設備・プロセスの開発が加われば、アルミ産業にとって長年の夢であった自動車部材への本格採用がかなうこととなります。関係者の一層の奮起を期待します。

## JRCM REPORT

# アルミニウム系スーパーメタルの研究開発(終了報告)

住友軽金属工業(株)技術部 伊藤清文

## 1 はじめに

アルミニウム系スーパーメタルの研究開発は、経済産業省の産業科学技術研究開発制度の一環として、JRCMが新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)からの委託を受けて1997年度から2001年度まで5年間研究開発を実施し、2002年3月末に終了した。正式な名称は「アルミニウム系メソコピック組織制御材料創製技術」であるが、ここでは単に「スーパーアルミ」と呼ぶことにする。

一般的に金属材料はホール・ペッチ

則としてよく知られているように、結晶粒径100nmくらいまではその結晶粒径が小さくなるにしたがって強度が増加する。このプロジェクトはこれを利用して、アルミニウムの結晶粒径を極微細化することにより、工業的特性(強度、耐食性)を高めようとするものである。

スーパーアルミの総事業費は約8.7億円であり、(株)神戸製鋼所、スカイアルミニウム(株)、住友軽金属工業(株)、日本軽金属(株)、古河電気工業(株)、三菱アルミニウム(株)の軽金属圧延6社及び京都大学、大阪大学、九州大学、

富山大学、宇都宮大学、千葉工業大学の6大学がこのプロジェクトに参加し、産学協同で研究開発を進めてきた。ここでは、スーパーアルミの研究開発の内容、成果等を簡単に報告する。

## 2 スーパーアルミの開発目標

このスーパーアルミプロジェクトの目標は、「3 $\mu$ m程度以下の微細結晶粒径を有する組織制御材料で、工業的特性(強度、耐食性)が現在使用されている同種材料の1.5倍以上、かつ板幅が約200mm以上のアルミニウム系大型素材の創製技術を確立する」ことで

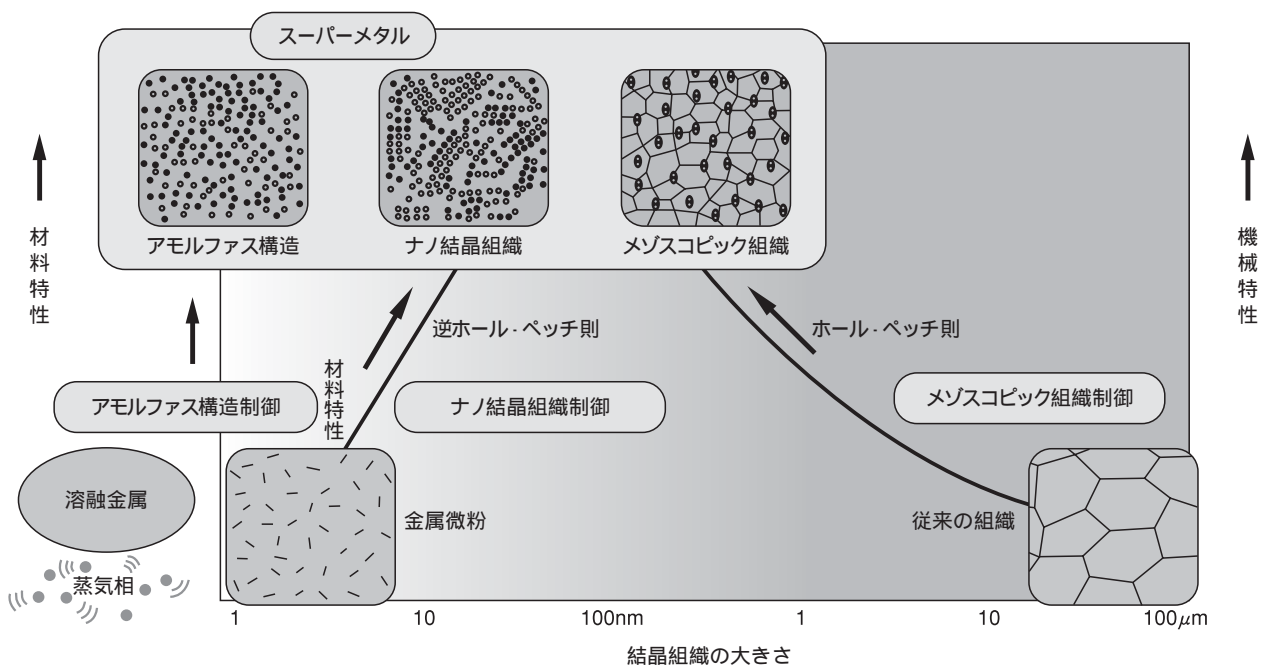


図-1 スーパーメタルの概念(NEDOのパンフレットより)

ある。すなわち、アルミニウム合金の結晶粒径を現状の1/10以下、つまり3  $\mu\text{m}$ 程度以下に微細化することによって、強度や耐食性を1.5倍以上に向上せしめ、従来以上に広範囲の輸送機材、構造物等に使用することを目標としている。そのために、量産するための基礎データをも得る目的で200mm以上の板幅の製造を挙げている。

### 3 研究開発内容及びその結果の概要

#### (1) 高歪蓄積技術の研究

##### 1) 基礎研究

一般的に、加工歪エネルギーが大量に蓄積されると再結晶後の結晶粒径が小さくなるが、アルミニウム合金は他の金属に比べて、通常の常温加工では加工中に歪が回復（動的回復）し、投入されたエネルギーの大半が熱エネルギーとなってしまう、歪が蓄積されにくい。その対策として、低温加工、ECAP (Equal-Channel Angular Pressing) 法及び繰り返し重ね圧延 (ARB: Accumulative Roll-Bonding) 法を基礎研究として実施し、以下の結果を得た。

被加工材を液体窒素で冷却した低温加工では、結晶粒微細化に効果がある合金 (純アルミニウム、Al-Mn合金、Al-Mg-Si合金) と効果のない合金 (Al-Mg合金、Al-Zn-Mg-Cu合金) が存在した。Mgを多く含む合金では、低温で加工するとMg原子が拡散しにくい転位と固着しにくく、常温付近の温度になると歪が開放されてしまう。一方、常温以上の加工ではMg原子の拡散が容易なため転位と固着して歪蓄積量を増大させるため、常温で加工したほうが微細な結晶粒になったと考えられた。

ECAP法は準静水圧下で強制的にせん断歪を導入する方法で、同一断面積をもち、ある角度で屈曲した孔に材料を通すことで材料にせん断歪を導入する。この工程を何回も繰り返すことで

大量のせん断歪を蓄積できる。この方法ではすべての合金に対し、加工後1  $\mu\text{m}$ 以下の微細結晶粒組織を得ることが可能で、せん断歪の導入が結晶粒微細化に有効であることが確認された。

ARB法は①2枚の薄板素材を積層して約200 で圧延接合し、②素材を長手方向に2分割、③これを再度積層して④へ戻ること、各サイクルの圧下率を50%にすることにより理論的に無限の大きさの歪を付加できる。この方法によりAl-Mg合金、Al-Mg-Si合金及びAl-Zn-Mg合金で加工後1  $\mu\text{m}$ 以下の微細結晶粒径が実現した。圧延においても高歪蓄積が結晶粒微細化に有効であることが判明した。

##### 2) 極低温圧延

新規に導入したコイル用極低温圧延機 (詳細は後述) で、Al-Mn合金及びAl-Mg合金を極低温圧延した。結果はAl-Mn合金が9  $\mu\text{m}$ 、また、Al-Mg合金が7  $\mu\text{m}$ であり、目標を達成できなかった。また、構造材に適するAl-Mg合金に関しては室温圧延で5  $\mu\text{m}$ まで微細化でき、基礎試験と同様、極低温圧延の効果は認められなかった。したがって、本方法による結晶粒微細化は困難と判断した。

##### 3) 異周速圧延

異周速圧延は、図-2に示すように互いに周速が異なるロールで圧延する方法で、圧延材は通常の圧延変形に加えて板厚全体にせん断変形を受ける。その結果、結晶回転が促進され亜粒界から大角粒界への変化が促進されて微細結晶粒が生成する。この方法は冷間加工でも効果があるが、温間加工のほうが効果が大きく、Al-Mg合金で1.5  $\mu\text{m}$ の結晶粒径を達成した。

この材料は通常の同種合金と比較し、耐力と引張り強さがそれぞれ2.5倍と1.5倍に増加し、伸びも6%程度に維持されていた。Al-Mg-Si合金では1  $\mu\text{m}$ の結晶粒径を達成したが、溶体化処理時に著しい粒成長が生じた。この対策として、微量のSc添加が粒成長の抑制に大きな効果を示した。

このように異周速圧延法は微細結晶粒組織を得るための有効な手段と考えられる。しかしながら、せん断歪付与のために無潤滑で圧延加工を行わざるを得ないため、ロール表面へのアルミニウムの焼付きによる表面性状の低下が問題となる。オンラインでアルミニウムの焼付きを除去あるいは防止する技術の開発が必要と考えられる。

#### (2) 結晶粒微細化技術の研究と

##### 加工プロセス技術の開発

##### 1) 大圧下圧延による結晶粒微細化

高歪エネルギーを有効に活用するために、圧下率99%以上の大圧下圧延を検討した。この方法で、Al-Mg合金で結晶粒径3  $\mu\text{m}$ を達成でき、耐力が1.5倍に増加し、絞り加工性及び耐食性が向上することが確認できた。

しかしながら、自動車用材を想定すれば、製品板厚は0.8mm程度が要望され、その場合の出発板厚は80mm以上とする必要があるため、量産を前提とするコイルフォームの圧延が不可能と判断し、実用化には難があると判断した。

##### 2) 溶湯圧延による結晶粒微細化

本プロジェクトでは、添加元素を含

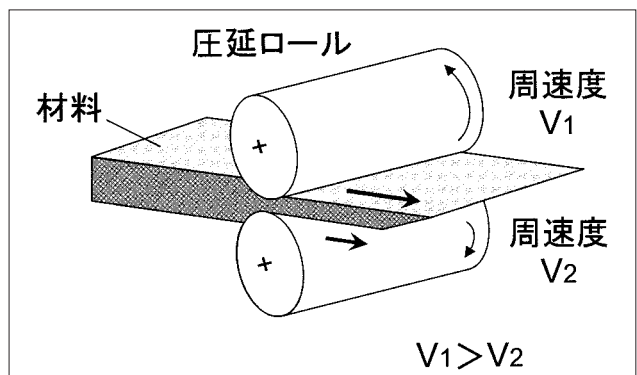


図-2 異周速圧延の概念図

む第2相粒子を微細・均一に制御するための手段として溶湯圧延機を導入した。溶湯圧延法は鑄造時の冷却速度が通常の半連続鑄造に比べて大きいいため、上記のことが可能となる。

Mnを添加したAl-2.5%Mg合金溶湯圧延材を冷間圧延し、急速加熱焼鈍することにより、3 $\mu$ m以下の結晶粒を有する板厚1mm、幅200mmのコイル材の試作に成功した（写真-1参照）。この合金の耐力は結晶粒径が20 $\mu$ m程度と同組成材や通常法で製造したAl-2.5%Mg合金のそれよりも50%以上上回り、Al-4.5%Mg合金よりも高い値が得られた。また、疲労強度も優れ、成形性、抵抗スポット溶接性にも優れていた。

### 3) 温間圧延

圧延前の熱処理条件により析出物粒子の分散状態を制御したAl-Zn-Mg合金材料に対し、おおむね200~400で加工する温間圧延による微細結晶粒発現の可能性を検討した。本方法においては、析出物粒子の分散状態の最適化並びに温度、圧下率、歪速度等温間圧延条件の最適化により、動的回復の制御を行うことが重要であった。制御さ

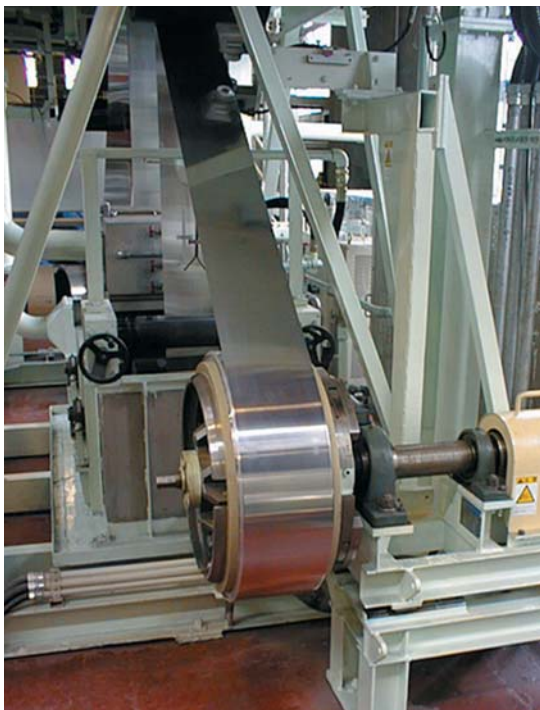


写真-1 焼鈍されたAl-Mg-Mn合金コイル

れた温間圧延によって、航空機用に用いられるAl-Zn-Mg-Cu系合金において2~3 $\mu$ mの結晶粒が得られ、目標の結晶粒径を達成できた。また、強度と伸びのバランスもよく、耐力力腐食割れ感受性は従来材に比べ3~10倍以上に向上した。

また、200mm幅の広幅材の試作に成功し、得られた広幅材を調査するとランクフォード値（r値）が通常材よりも大きくなっており、絞り加工性が優れると考えられた。このことは温間圧延中に形成されたBrass方位の集合組織が発達していたことによると推定された。また、耐力力腐食割れ性に優れた理由は、熱的に安定な小角粒界ではPFZ（無析出帯）が形成されにくいことによるものと考えられた。

そこで、ロール加熱可能な圧延機を用いて、温間圧延によって歪を導入し、その後の回復によって微細結晶粒を得るための検討を行った。Al-4.5%Mg合金を250で温間圧延し、275で180秒熱処理することによって、約1.5 $\mu$ mの微細な結晶粒が得られた。

本試作材は、一般的な加工材硬化材であるH34調質の材料と比較すると、耐力は同等であったが、伸びが向上した。r値は1.2であり、一般材の約0.6よりも大きくなっていった。成形性は曲げ、張出しについては一般材とほぼ同等であったが、絞り成形性は若干向上した。

### (3) 結晶粒微細化のための各種加工装置の開発

液体窒素で冷却されたアルミニウムを圧延するための極低温圧延装置を開発した。この圧延機は面長300mmの2段/4段両用圧延機であり、ロール冷却装置を備え付けている。液体

窒素で冷却された材料の圧延終了後の材料温度は、圧延後の板厚によって変化するがすべての条件で-20以下に制御することが可能であった。

種々の加工により蓄積された高歪は、急速加熱により高温まで高歪状態を保持し、加熱温度で一気に開放すると結晶粒が微細化する。コイルフォームでそれを可能にするため誘導加熱式の急速加熱装置を開発した。本装置はアンコイラー・加熱部・コイラーで構成されており、板厚：0.1~2mm、板幅：200mmの板を最大ライン速度：30m/min、昇温速度：最大150/sec、板幅方向の温度分布は（例えば475で） $\pm 7$ での加熱が可能である。

温間圧延を安定して実施するためにロール加熱装置を開発した。この装置はワークロールにカートリッジヒータを埋め込み、ロールチョックにも同様のヒータを埋め込んでいる。電熱でロール及びチョックを加熱することによって軸方向の温度勾配を極力小さくし、ロールの熱クラウンを抑制している。上下のロール及びチョックは個別に温度制御が可能であり、ロールは450まで加熱が可能である。

### (4) トータルプロセスの開発

本研究開発で得られた成果より、鑄造-(均質化処理)-圧延-熱処理(焼鈍)までの最適な一貫プロセスを構築して、開発目標を達成した。遷移元素を含む合金に対しては、溶湯圧延-冷間圧延-急速加熱焼鈍が有効であることがわかった。温間圧延法は熱的に安定な小角粒界の形成による微細結晶粒の生成に有効であり、異周速圧延法は大角粒界を有する微細結晶粒の生成に有効であることを把握した。

## 4 今後の方向性

溶湯圧延法はわが国においても純アルミを主体に実用化されており、また電磁誘導加熱による急速加熱も一部実

用化されているため、溶湯圧延 - 冷間圧延 - 急速加熱焼鈍の工程による量産に当たっては、新たに設備導入が必要であるが、今回開発した合金の需要があれば実現が最も近いと考えられる。

ロールを加熱して行うアルミニウム  
の温間圧延は、世界的にみてもまだ本  
研究開発以外で検討された例はない。  
また、実用化のためには加工条件の最

適化、温度制御等解決すべき課題も残  
っている。しかしながら、本法により  
自動車ボディパネル等、難加工部品に  
対して優れた性能を発揮する板材の製  
造が可能と思われるため、実用化に有  
望なプロセスの一つであると判断される。

## 5 おわりに

以上述べたように、本プロジェクトは

当初の目標を達成して終了することが  
できたが、このことはプロジェクト参加  
者のみならず経済産業省製造産業局非  
鉄金属課、NEDOをはじめとする関係  
各位のご協力によるところが大きく、改  
めて感謝の意を表させていただきたい。

この内容はNEDOからJRCMへの委託研究  
「スーパーメタルの研究開発」の一部を紹介し  
たものである。

### 異業種交流セミナー「材料と設計シリーズ」 構造物の余寿命評価

- 寿命の迫る社会インフラ、リスクを減らす劣化予測 -

(社)日本鉄鋼協会主催 (JRCM他協賛) で、下記のとおり  
セミナーが開催されます。

日時：平成14年10月7日(月) 10:00~18:00

場所：工学院大学 新宿校舎(新宿駅西口より徒歩5分)  
東京都新宿区西新宿1 24 2 (TEL 03 3342 1211)

内容：「安全工学の立場からの余寿命評価に関する基調講演」

- 「腐食課題と材料の防食技術について」
- 「化学プラントの寿命予測と腐食について」
- 「船舶での寿命予測と腐食・疲労について」
- 「局地統計を活用した構造物の劣化予測技術」
- 「中電浜岡の漏水事故の原因について」
- 「橋梁における腐食・疲労の状況について」
- 「耐候性鋼の腐食のメカニズムと腐食予測」

申込締切日：9月27日(金)

定員：100人

参加費：一般6,000円、学生3,000円(資料代込み)

問い合わせ先：(社)日本鉄鋼協会 総合企画事務局  
総務グループ 皆川

TEL 03 5209 7011 FAX 03 3257 1110

E-mail minakawa@isij.or.jp

### 第177・178回西山記念技術講座 結晶粒超微細化技術の進歩

(社)日本鉄鋼協会主催 (JRCM他協賛) で、下記のとおり  
技術講座が開催されます。

日時：平成14年10月18日(金) 第177回 東京  
10月25日(金) 第178回 神戸

場所：(東京)工学院大学 新宿校舎3階0312号室  
東京都新宿区西新宿1 24 2 (TEL 03 3342 1211)  
(神戸)西山記念会館 5階会議室  
兵庫県神戸市中央区脇浜町3 4 16 (TEL 078 221 1746)

内容：「結晶粒超微細化鋼の基礎理論」  
「実用鉄鋼材料における結晶粒超微細化の動向」  
「凝固過程における初期結晶粒微細化技術」  
「結晶粒超微細化の次世代型加工熱処理 - (相変態を活用して)」  
「結晶粒超微細化の次世代型加工熱処理 - (再結晶を活用して)」  
「超強加工方法での結晶粒微細化と特性の極限化」  
「結晶粒超微細化鋼の諸特性と応用」

事前申し込み：不要

参加費：会員5,000円、一般7,000円(講演テキスト代込み)

問い合わせ先：(社)日本鉄鋼協会 学会・生産技術部門事務局  
育成グループ 佐藤

TEL 03 5209 7012 FAX 03 3257 1110

E-mail educact@isij.or.jp

The Japan Research and Development Center for Metals  
JRCM NEWS / 第190号

内容に関するご意見、ご質問はJRCM 総務企画部までお寄せください。  
本誌は地球環境保全を考慮し再生紙を使用しています。  
本書の内容を無断で複写複製転載することを禁じます。

発行 2002年8月1日  
発行人 小島 彰  
発行所 財団法人 金属系材料研究開発センター  
〒105-0003 東京都港区西新橋一丁目5番11号 第11東洋海事ビル6階  
TEL (03)3592-1282(代)/FAX (03)3592-1285  
ホームページURL <http://www.jrcm.or.jp/>  
E-mail [jrcm@oak.ocn.ne.jp](mailto:jrcm@oak.ocn.ne.jp)