

Al-Mg-Si系合金板の用途と製造技術

Applications and Production Technologies of Al-Mg-Si Series Alloy Sheets

村松俊樹*
Toshiki Muramatsu

概要 Al-Mg-Si系アルミニウム合金はAlにMgおよびSiを添加した合金であり、熱処理型の中強度で成形性良好な合金である。この系の合金板は今後生産量の増加が期待できる自動車用ボディシートとして有望視されている。そこで、Al-Mg-Si系合金の合金種類、用途、性能に関してまとめを行い、さらに製造技術として自動車用ボディシート材を主体に鋳造から最終熱処理までの一連の工程を概説した。

なお、本解説は軽金属学会誌でのAl-Mg-Si系合金に関する特集号の解説として投稿したものである。(軽金属:53(2003),490.)

1. はじめに

Al-Mg-Si (6000)系材料はAlにMgおよびSiを添加した合金であり、熱処理型の中強度で成形性良好な合金である。6000系合金としてJIS規格には6種類、ISO規格には11種類の合金が登録されているが、AA規格には79種類とさらに多くの合金が登録されている¹⁾。しかし、以上の合金はいずれも押出材が主体であり、圧延用合金となるとJIS規格では6061, 6101, 6951合金のわずか3合金である。

本解説では6000系合金の板材に関する用途と製造方法に関して述べるが、現在使用量が増加してきている自動車材を主体に述べる。

2. 6000系合金板材の用途および性能

2.1 用途

アルミニウムハンドブック²⁾を参考に、最近の自動車用材料を追加して、6000系合金板材の用途を表1に示す。またこれら合金の合金組成規格を表2に示す。

表1 6000系合金板材の用途
Applications of 6000 series rolled sheets

合金	用途	性能
6063相当	PDP, 液晶ディスプレイ用放熱板	中強度, 放熱性, 熱拡散性
6061	車輛, フェンス, 道路標識, 橋梁, 歩道橋, 一般大型構造物, 鉄道線路上部構造関係, アンテナ, 航空機機体	中強度, 高耐食性
6101	高強度導電用材, 鉄道剛体トロッコ, プスバ	高導電率, 中強度,
6151, 6951	ブレーキングシート用心材	中強度
6009, 6010, 6016, 6011 その他開発材	自動車用ボディシート	中強度, 高耐食性, 高成形性, 高BH性

表2 6000系合金板材の合金組成規格
Alloy composition standards of 6000 series rolled sheets

(mass%)

合金	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	B	Al
6061	0.40~0.8	≤0.7	0.15~0.40	≤0.15	0.8~1.2	0.04~0.35	≤0.25	≤0.15		残
6101	0.30~0.7	≤0.50	≤0.10	≤0.03	0.35~0.8	≤0.03	≤0.10		≤0.06	残
6951	0.20~0.50	≤0.8	0.05~0.40	≤0.10	0.40~0.8		≤0.20		≤0.06	残
6009	0.6~1.0	≤0.50	0.15~0.60	0.20~0.8	0.40~0.8	≤0.10	≤0.25	≤0.10		残
6010	0.8~1.2	≤0.50	0.15~0.60	0.20~0.8	0.6~1.0	≤0.10	≤0.25	≤0.10		残
6111	0.6~1.1	≤0.40	0.50~0.9	0.10~0.45	0.50~1.0	≤0.10	≤0.15	≤0.10		残
6016	1.0~1.5	≤0.50	≤0.20	≤0.20	0.25~0.60	≤0.10	≤0.20	≤0.10		残
6022	0.8~1.5	0.05~0.20	0.01~0.11	0.02~0.10	0.45~0.7	≤0.10	≤0.25	≤0.15		残

* 古河スカイ(株)技術研究所 材料研究室

板材としては中強度で耐食性に優れる6061合金が主に車輜、一般構造物等に使用されている。この合金はMgとSi量がMg₂Si組成にほぼバランスしている合金である。

また、6101合金板は純アルミニウムより強度があり、純アルミニウムに劣るが他の合金に比べれば比較的高い導電率があることから高強度導電材料としても使用されている。

同様に6063相当合金(ST60合金)は導電率が高く、強度が高いことから、PDP(plasma display panel)や液晶ディスプレイ用放熱板としての用途が開発された³⁾。これは主に導電率が高いことから放熱性や、熱拡散性が優れることを利用した用途である。参考として、図1に開発合金の熱伝導率を他合金と比較して示す³⁾。

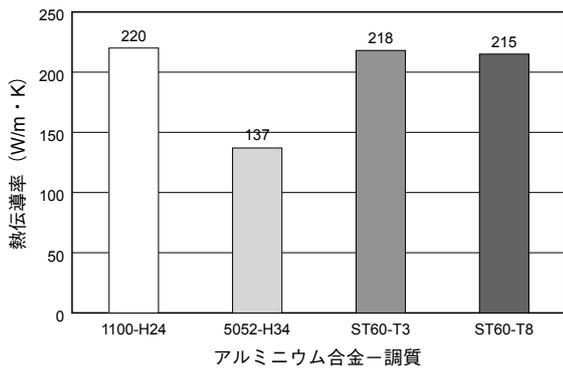


図1 開発合金の熱伝導率の比較³⁾
Comparison of the thermal conductivity of developed alloys

また、ブレイジングシート心材用合金として、6951合金がろう付け時の熱処理を利用した強度向上材として使用されている。

さらに、近年6000系材料で最も注目されているのは自動車用ボディパネル材である。日本では当初、自動車用ボディパネル材とし5000系のAl-Mg-Cu-Zn系やAl-Mg-Cu系が使用されていた。その後自動車の軽量化が進むにつれ、塗装焼き付け時に硬化するバークハード性(BH性)を持つ6000系合金へと変

化してきている。なお、自動車用材料合金としては、成形性やBH性の点から過剰Si型の合金が主流である。

当初、6000系合金の中でも6009や6010、6111合金等のCuを添加した合金が開発されてきた。しかし、促進耐食性試験を行うとCu添加合金は耐食性が劣るため、Cuを含まない、もしくは非常に微量含む6016や6011合金が開発されてきた。日本でも主に耐食性の観点からCuレス合金が採用されてきた。他方、Cu添加合金はBH性や成形性を向上させることから、耐食性が低下しないように、化成処理条件の制御や材料最表面のCuの制御等を行った合金板が一部車種に適用されてきている⁴⁾。

2.2 6000系自動車ボディパネル用材料の性能

構造用部品で複雑な成形を行う場合は通常O材成形し、その後溶体化処理を行い時効して強度を向上させていた。しかし、自動車用ボディパネル材の場合にはアルミニウム圧延メーカーでT4材を製造し、自動車メーカーで成形を行い、塗装焼付け工程(バーク処理)で強度(BH後強度)を向上させる。

表2に示す自動車用6000系材料のT4性能およびBH後強度を比較合金とともに表3に示す⁵⁾。これら6000系合金はBH性が高いという特徴があり、この性能によりアウター材の耐デント性が向上し、薄肉、軽量化できるという利点が生まれる。ここでいうBH性であるが、日本と欧州ではやや異なる。日本では省エネルギー、省コストの観点からできるだけ低温での短時間バーク、即ち170℃前後の温度で20分程度のバークとなるが、欧州では例えばアウディA8用には205℃×30分のバーク条件であり⁶⁾、6000系のBH性向上を達成するには欧州の条件の方がより容易に達成しやすい。しかし、低温、短時間バークでのBH性向上のために種々の検討が行われ、ユーザの求めるBH性を満足できる材料を供給できるようになっている。

成形性に関し、6000系合金は5000系合金に比べ一般に劣るが各種検討がなされ向上してきている。

伸びや成形性におよぼす成分の影響として、Siの影響に関する報告がある^{7)~9)}。表4に示すようにSi量の高いほど(過剰Si量ほど)伸びが向上し、成形性も向上する⁷⁾。一方、曲げ性に関してはSi量の高いほど低下する。

表3 自動車用ボディパネル材の機械的性質と成形特性⁵⁾

Forming properties and mechanical properties of aluminum materials for automobile body panel

合金と質別	引張強さ (MPa)	耐力 (MPa)	伸び (%)	n値	r値	オルゼンカップ成形高さ (mm)	180°曲げ限界	SS.マーキング
2002-T4	330	180	26	0.25	0.63	9.6	1 t	○
2036-T4	340	195	24	0.23	0.75	9.1	1 t	○
2037-T4	310	170	25	0.24	0.7	9.4	1 t	○
2038-T4	325	170	25	0.26	0.75	-	1/2 t	○
5182-O	275	130	26	0.33	0.8	9.9	1/2 t	×
5182-SSF	270	125	24	0.31	0.67	9.7	1/2 t	○
6009-T4	230	125	25	0.23	0.7	9.7	1/2 t	○
6010-T4	290	120	24	0.22	0.7	9.1	1 t	○
6111-T4	290	160	27	-	-	8.4	1/2 t	○
6016-T4	235	125	28	0.26	0.7	-	-	○
6022-T4	255	152	26	0.25	0.67	-	-	○
冷延鋼板	315	175	42	0.23	1.39	11.9	0 t	○

(t:板厚)

表4 Al-0.5Mg-Si系合金の機械的性能に及ぼすSi量の影響⁷⁾
(引張性能:3方向平均、曲げ:0°—90°)
Effect of Si content on mechanical properties of
Al-0.5Mg-Si series alloys

合金	引張強さ (MPa)	体力 (MPa)	伸び(%)	曲げ試験* 予歪0%, 密着
A (0.5Si)	173	71	28	0—0
B (0.7Si)	202	92	30	0—0
C (1.1Si)	234	115	32	2—1
D (1.3Si)	241	119	32	2—1
E (1.6Si)	246	124	32	3—3

*曲げ評価 良 0↔4割れ, 評価1以下が割れなし²⁾

3. 6000系合金板材の製造技術

この章では、主に自動車ボディパネル用6000系合金板材の製造技術に関して述べる。

図2に自動車ボディパネル用6000系合金板の標準的な製造工程を示す¹⁰⁾。一般のアルミニウム合金板の製造方法とほぼ同じである。

自動車ボディパネル用6000系合金板材を製造する上で最も重要なポイントは、BH性を如何に確保するかということである。即ち、6000系合金の2段時効における室温予備時効の負の影響を如何に克服するかがこの合金系の製品への適用可否を左右している。BH性を確保するための実際の製造方法としては、溶体化処理後に熱処理を行っているのが現状である。

以降、溶解鋳造、熱間圧延、冷間圧延、熱処理、仕上げ処理等の製造法の概要を述べる。

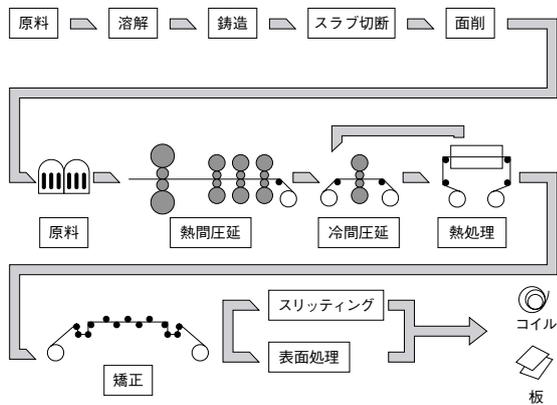


図2 6000系自動車用ボディパネル材の標準的製造方法¹⁰⁾
General production sequence of 6000 series rolled sheets for automobile body panels

3.1 溶解鋳造

3.1.1 溶解

自動車ボディパネル用6000系合金の溶解は、Al地金、スクラップ、合金添加元素母合金等の原料を所定の成分に配合し反射炉中で行われる。

3.1.2 溶湯処理

溶湯中には水素ガス、酸化物等が含まれているためこれらの除去を行う。水素ガス量が多いと凝固時にキャビティを形成し、鋳塊加熱時に膨れたり、熱間圧延時に表面フレやクラックが

発生したり、溶体化処理時に膨れたりする。このため、塩素ガス処理やSNIF等のインライン溶湯処理を行って水素ガス量を低下させる。

また、酸化物等の介在物はアルミナボールやセラミックチューブ等のろ過装置により除去しているのが一般的である。

3.1.3 鋳造

6000系合金の鋳造は、成分によりやや鋳造割れを発生しやすい。このため、Al-Ti-B母合金添加による鋳塊結晶粒微細化や冷却速度の制御を行い割れ防止を行っている。

一般的な厚さ500 mmのスラブの鋳造温度としては約700℃、鋳造速度は40～60 mm/minである¹⁰⁾。

板材の連続鋳造圧延法も検討されている。この方法では大型の熱間圧延機による熱間圧延が省略できることにより、設備コストや省エネルギーによる製造コストの削減が可能となる。

ALCANから、連続鋳造圧延法とDC法により製造された圧延板の性能比較が報告されている。これによれば両者で性能にやや差はあるが、連続鋳造圧延板の製造条件のさらなる最適化により、DC法による板に代わり連続鋳造圧延板が高品質の自動車用ボディパネル材として適用されるであろうとしている¹¹⁾。

3.2 均質化処理

均質化処理は合金成分や組織の均一化、内部応力の除去等を図り、鋳塊の熱間圧延性の向上等に効果がある。特に、拡散速度の遅い遷移元素を多く含む場合は均質化処理を行った方が成形性の点で好ましい。また、Mn、Crを含む合金のO材を最終バッチ焼鈍で製造する場合には均質化処理を行ったほうが結晶粒は微細になりやすい。

自動車用ボディシート材の場合、Mn、Cr等の遷移元素は成形性を低下させやすいことから、溶体化処理時の結晶粒径を微細に維持できる最低量を添加している場合が多い。遷移元素の添加量は少ないため、これら元素に対する均質化処理の効果は大きくない。しかし、MgやSi量が多いため、Mg₂SiやSiの金属間化合物の分布に対する均質化処理の効果はある。

3.3 鋳塊加熱処理

均質化処理後に鋳塊表面の偏析層を面削し、所定の圧延温度に再加熱して熱間圧延が行われる。

鋳塊加熱処理は熱間圧延するためと、Mg、Siの固溶量を維持するために必要である。熱間圧延を行うだけであれば、特に加熱温度を制限する必要は無いが、BH性を確保しなければならないので加熱温度の制御が必要となる。図3は、BH性に及ぼす加熱処理温度の影響を示したものである¹²⁾。加熱処理温度が高いほどT4材の強度とBH後の強度の高いことがわかる。これは、アルミニウム圧延メーカーの溶体化処理方法がCAL（連続焼鈍炉）であることと関係がある。CALの場合、生産性を高めるために指定溶体化処理温度での保持時間をほとんど探らず、すぐに冷却するため、Mg、Si固溶量の保持時間による増加が少ないという特徴がある。これを補うためには、溶体化処理前の段階でいかにMg、Siの固溶量を増加させておくことが重要となる。即ち、熱延上がり工程までいかにMg、Siを固溶状態にしておくかが重要となる。

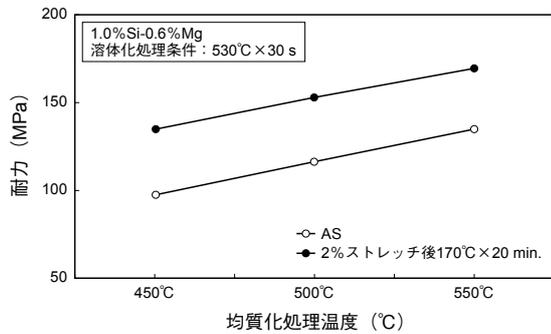


図3 6000系合金のBH性に及ぼす铸塊加熱(均質化処理)温度の影響¹²⁾
Effect of preheating temperature on the bake hardenability of 6000 series alloys

3.4 熱間圧延

熱間圧延では板厚500～600mm程度のスラブを粗熱間圧延で20～30mmに圧延し、さらに仕上げ熱間圧延で3～5mmに仕上げる。熱間圧延開始温度は500℃以上であり、圧延終了温度は250℃～350℃が一般的である。この熱延仕上げ温度が高い場合、コイル後の徐冷でMg, Siが析出し、短時間での溶体化処理ではMg, Siが固溶できずBH性が低下しやすい¹³⁾。

3.5 中間焼鈍

中間焼鈍は必要に応じて行う。中間焼鈍はリジニング性を著しく改善する効果がある。R.M.Ramage等は、熱延上がりで中間焼鈍を行った材料でリジニング性が改良されたと報告している¹⁴⁾。このリジニングは成形後表面が圧延方向に沿って凹凸の発生する現象である。同一の変形挙動を示す特定方位の結晶粒が筋状に存在することにより、この筋に沿って凹凸が発生すると考えられている¹⁵⁾。この組織の発生の源は熱延組織にあると考えられているが、中間焼鈍を行うことにより最終溶体化処理後の組織はよりランダムとなり、圧延方向に揃った筋上の組織は消失してくる。

熱延後に冷間圧延して中間焼鈍を行っても、同様にリジニングの発生は抑制できる。

また、中間焼鈍ゲージを変化させることによって、最終溶体化処理後の集合組織を変化させることができる。このような方法により、ある程度のr値の制御が可能となり、成形性の改善につながる。

3.6 冷間圧延

最終溶体化処理までの冷間圧延は、溶体化処理時の結晶粒を微細化するために必要である。

50%以上の冷間圧延率があれば、成形時に肌荒れしない程度の性能が得られる。

表5は、日本および欧米の自動車ボディパネル用に用いられているアルミニウム合金板とその表面処理方法を示す¹⁶⁾。日本では、プレス成形時の材料流れ込み性の異方性を無くすためと塗装後の方向性(圧延目)防止および鮮映性のために梨地処理を施すことが一般的であるが、省コストの観点から一部圧延のまま(MF: mill finish)で用いられている。米国ではMFが一般的であり、欧州では放電ダル(EDT: electron discharge texture)やEBT (electron beam texture)レーザダルが用いられている。

表5 日本および欧米の自動車ボディパネル用材と表面処理方法¹⁶⁾
Body panel materials for automobile in Europe, U.S. and Japan, and their surface treatment

		日本	米国	欧州
アウトター	合金	6016, 6022相当 5000系	6111, 6022	6016
	表面粗度	ダル材, MF	MF	EDT, EBT
	表面洗浄	脱脂 酸洗 亜鉛メッキ	無し	酸洗 + Zr/Ti 化成処理
	潤滑油	鋳物油	鋳物油	鋳物油または ドライ潤滑剤
インナー	合金	6016, 6022相当 5000系	2008, 6111, 6022 5182	5051, 5182, 6016, 6181A
	表面粗度	ダル材, MF	MF	MF, EDT
	表面洗浄	脱脂 酸洗 洗浄レス	無し	酸洗 + Zr/Ti 化成処理
	潤滑油	鋳物油	鋳物油	鋳物油または ドライ潤滑剤

これらダル圧延材は、ダルロールによる最終スキンパス圧延により製造される。この時の圧延速度は遅く、MFに比べ1パス増えるので生産コストとしては高くなる。コストダウンのためにダル目をやめてMFを用いる動きもある。

3.7 溶体化処理・焼入れ

6000系合金はT4状態(溶体化処理⇒焼入れ⇒室温時効)で製造される。低コストで生産性よく製造するため、溶体化処理は図4に示すような連続熱処理炉(CAL)¹⁰⁾で行うのが一般的である。

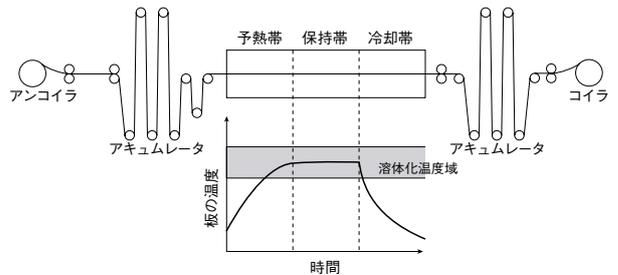


図4 連続熱処理炉(CAL)の概要¹⁰⁾
Schematic diagram of Continuous Annealing Line (CAL)

この炉では、予熱帯で巻戻された板両面に高温の熱風を吹き付けて所定の溶体化処理温度まで急速加熱し、保持帯で短時間の保持もしくは保持時間はとらずに冷却帯で水冷または空冷により焼入れされ再びコイルに巻戻される。6000系合金の焼入れ感受性は小さいために空冷でも焼きが入りやすい。

BH性向上のためにMg, Siの固溶量を増加させるには溶体化処理温度を高くする必要がある。しかし、高くしすぎると共晶融解やマトリックスの融解が発生するため注意を要する。一般的に6000系合金は530～560℃程度の温度で処理される¹⁰⁾。

佐賀らによれば、6000合金で溶体化処理温度の高いほど、即ち第2相粒子の少ないほど曲げ性が良好となる¹⁷⁾。

低温短時間での塗装焼付け条件でのBH性を確保するために、いかに負の時効性を無くして高BH性を確保するかが重要であり、各種熱処理プロセスが実用化されている。

一般的には、溶体化処理後ある温度以上の温度で熱処理を行う方法(予備時効処理プロセス)¹⁸⁾、¹⁹⁾と、短時間の熱処理(復元処理プロセス)を行う方法²⁰⁾が提案されている。図5に両プロセスの模式図を示す²¹⁾。

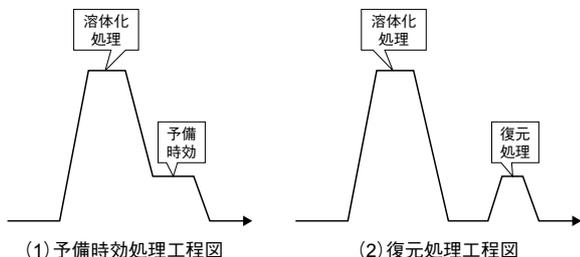


図5 BH性を向上させる熱処理方法の模式図²¹⁾
Schematic diagrams of heat treatment for improving bake hardenability

図6に、BH性に及ぼす溶体化処理後の予備時効熱処理温度の影響を示す¹⁸⁾。山田らによれば、BH性を確保するためには、負の時効性をもたらすSiリッチクラスタを析出させずに、BH時の強度向上に寄与するβ''の析出に関係するGPゾーンを形成するためには約70℃以上に焼き入れて焼鈍を行う必要がある²²⁾。図7に、これら2段階時効の考え方の模式図を示す²²⁾。

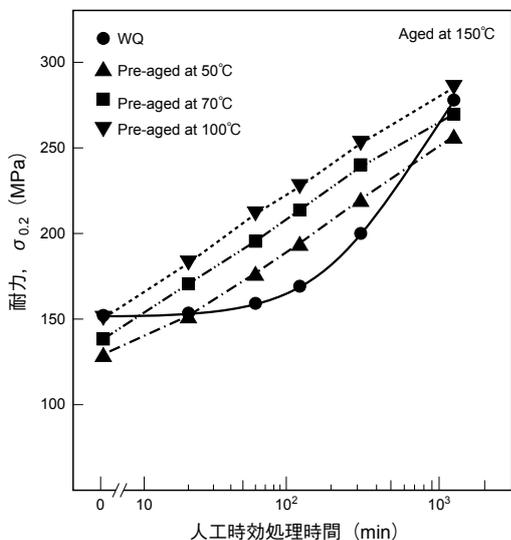


図6 時効硬化性に及ぼす予備時効処理の影響¹⁸⁾
Effect of pre-aging treatment on aging hardenability

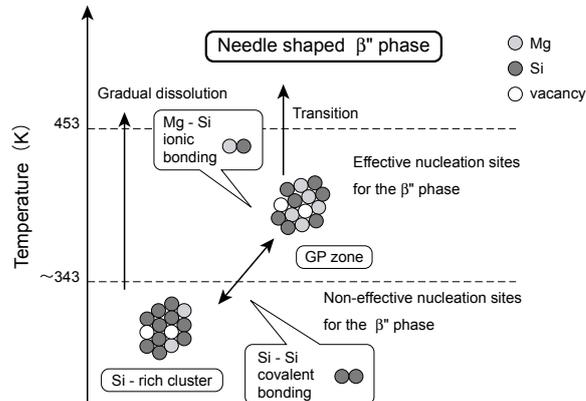


図7 Al-Mg-Si合金の2段階時効メカニズムの提案模式図²²⁾
Schematic diagram of two-step aging mechanism proposed for Al-Mg-Si alloys

図8は、BH性に及ぼす短時間熱処理の影響を調査した結果である²⁰⁾。復元処理を行ってもBH性が向上されている。

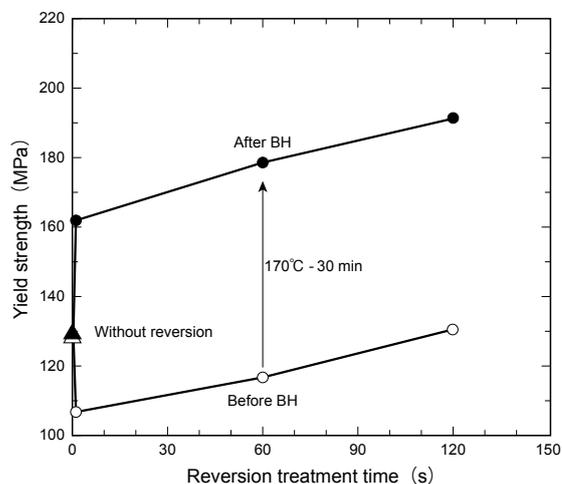


図8 BH性に及ぼす復元処理の影響²⁰⁾
(WQ⇒20℃×7日⇒復元処理⇒保管⇒BH)
Effect of reversion treatment on bake hardenability

いずれも、塗装乾燥時の熱でβ''が多く形成されるようにβ''の芽となる析出物を多く形成させ、β''の芽とならないクラスタの形成を抑制する効果によると解釈されている。これら微細析出物の詳しい解析はナショナルプロジェクトのナノメタルで行われており、今後さらなる発展があるものと期待されている。

3.8 表面処理

自動車用アルミニウムボディパネルは電着塗装前の下地処理としてりん酸亜鉛処理を施されるため、良好な脱脂性、りん酸亜鉛処理性が必要となる。一方、接着剤がアルミニウム合金板に直接塗布されるため良好な接着性も必要となる。これらの脱脂性、りん酸亜鉛処理性および接着性を良好とするためには、アルミニウム合金板表面を事前に表面処理しておくことが有効である。

6000系の場合には、最終に高温で溶体化処理を行うのでMgの酸化皮膜やAlの酸化皮膜が形成される。これら酸化物が脱脂性や密着性に悪影響を及ぼすので、アルミニウム板製造メーカーで酸やアルカリにより酸化皮膜を除去する場合がある。

さらに、亜鉛系のメッキ処理をすると、りん酸亜鉛処理性は著しく良好となる。アルミニウム板に、このようなメッキ処理をする場合もある。

海外では、溶体化処理を行った後、酸洗、化成処理、固体潤滑剤塗布を連続で行う連続熱処理・前処理ラインCAPL (continuous annealing and pretreatment line)が設置されている²³⁾。将来的には、さらにこのラインに塗装ラインまでも設置する計画が報告されている。

4. おわりに

Al-Mg-Si系合金板の用途および製造技術について概説した。6000系合金板の主要な用途として、今後益々自動車ボディパネル材が増加すると予想される。これらの用途に適した合金としては、6016や6022, 6111合金にほぼ集約されつつある。このため、インナーパネル用やアウターパネル用としてそれぞれに適した特性をさらに改良するための新規製造技術の開発が必要と考えられる。また、現在開発されている自動車材に対しては、さらに低コストで現状特性を確保できる製造技術の開発が必要である。

将来的には、塗装を行ったプレコート材までの開発が必要になるであろう。

参考文献

- 1) 日本規格協会：JISハンドブック③非鉄，(2003)，1116.
- 2) 日本アルミニウム協会：アルミニウムハンドブック（第6版），(2001)，18.
- 3) 木村数男，明城信彦，山ノ井智明：アルトピア，**33**，7(2002)，9.
- 4) 勝倉誠人，三ツ橋保行，服部努，岡本辰也，武村伸介，松田慎二：自動車技術会論文集，**32**，2(2001)，97.
- 5) 宇野照生：住友軽金属技報，**40**，1(1999)，76.
- 6) W.Leitermann：「21世紀の自動車に期待されるアルミ材料」，軽金属協会，(1999)，33.
- 7) 内田秀俊，吉田英雄：軽金属学会第95回講演概要集，(1998)，135.
- 8) 高木康夫，竹添修：神戸製鋼技報，**147**，2(1997)，6.
- 9) 大堀絃一，大場宏，竹内庸：アルトピア，**12**，3(1982)，67.
- 10) 宇野照生，杉江明士：住友軽金属技報，**32**，1(1991)，32.
- 11) P.A.Friedman and M.Sherman：Automotive Alloys II edited by S.K.Das，The Minerals，Metals & Materials Society (1998)
- 12) 櫻井健夫，高木康夫，増田哲也：軽金属学会第98回講演概要集，(2000)，187.
- 13) J.Hirsch：Material Science Forum，**242**(1997)，33.
- 14) R.M.Ramage，J.D.Bryant，A.J.Beaudoin：Automotive Alloys II edited by S.K.Das，The Minerals，Metals & Materials Society (1998)
- 15) G.J.Baczynski，R.Guzzo，M.D.Ball，and J.Lloyd：Acta Mater，**48**(2000)，3361.
- 16) W.S.Miller，L.Zhuang，J.Bottema，A.J.Wittebrood，P.De.Smet，A.Haszler，and A.Viergege：Material Science and Engineering A280，(2000)，37.
- 17) 佐賀誠，佐々木行雄，菊池正夫，朱岩，松尾守：Proceeding of ICAA-6，(1996)，425.
- 18) 櫻井健夫，大家正二郎，岩村宏，高木康夫，竹添修：軽金属学会第87回講演概要集，(1994)，185.
- 19) 佐賀誠，佐々木行雄，菊池正夫，朱岩，松尾守：Proceeding of ICAA-6，(1996)，821.
- 20) 内田秀俊，吉田英雄：軽金属 **46**(1996)，427.
- 21) 櫻井健夫：アルミニウム研究会誌，347(2002)，1.
- 22) 山田健太郎，里達雄，神尾彰彦：軽金属，**51**(2001)，215.
- 23) C.Lahaya，J.Bottema，P.De Smet，and E.Heyvaert：LIGHT METAL AGE，Dec.(2001)，34.