

金型用アルミニウム合金「アルクイン[®] 300」

Aluminum Alloy For Molds “ALQUEEN 300”

1. はじめに

アルミニウム合金の一般的な特性は、鉄と比較して軽い、耐蝕性が良い、熱伝導性が良い、加工性が優れている、再生（リサイクル）しやすいなどがあります。一方で一般的なアルミニウム合金は強度が低く、高温脆性（極低温下での脆性破壊はない）が鉄よりもかなり低温域で発生するという特徴をもっています。

当社は、航空機などに使用されるアルミニウム合金の中で最高強度の7XXX系（Al-Cu-Zn-Mg）合金で、A7075-T651をベースに高温脆性対策を施した金型用アルミニウム合金アルクイン 300を開発し、普及に努めてきました。近年はブロー成形金型用だけでなく、治工具や機械構造部材としても使用されています。

本稿では金型用アルミニウムとしてアルクイン 300の特徴、製造プロセス、用途・加工事例、使用方法と設計上の留意点および補修溶接について紹介します。

2. アルクイン 300の特徴

2.1 化学成分

表1にアルクイン 300とJIS規格のA7075の化学成分を示します。Cu、Siなどを低めに抑えて溶接時の割れ感受性などを改善しています。

2.2 特性

表2に他のアルミニウム材料の諸特性を示します。表3に鋼材の特性を示します。

アルクイン 300はアルミニウム合金中で最高の強度を有し、機械構造用炭素鋼S55C相当の強度がある「超々ジュラルミン」として知られる合金系で、しかも靱性と調和も図っており、日本で初めて金型用や構造材として登場しました。アルマイト、メッキなどを施すことで耐摩耗性をさらに向上させることができます。

また、アルクイン 300は鋼材の1/3の軽さで取り扱いや保守なども容易なことから超大型金型・構造材の適用も可能です。プレス機械のダイセット、ダイプレート、フィンガ、ワイヤ巻取機の回転ディスクや装置など可動工具の軽量化によって、省エネルギー、高速生産が可能となり、位置精度制御が容易になります。これによって作業者の安全確保や労働条件の改善にも繋がります。

アルクイン 300は、高強度アルミニウム合金が持つ良好な加工性により、鋼材に比較して切削加工時間は1/3~1/50、ワイヤーカット放電加工は1/3~1/4、磨き時間は1/5~1/6にまで短縮が可能で研削も容易です。

また、アルクイン 300の熱伝導率は炭素鋼の2~3倍であり、ショットサイクルの短縮、潤滑剤の焼付防止が可能で、生産性の向上が図れます。さらに大きな熱吸収力により金型の局部昇温を防止でき、成形品の寸法精度が保てます。ブロー成形や真空成形では、薄いフィルム状の樹脂を急速に冷却させる必要があるため、アルミニウム金型の使用によりショットサイクルが20~30%向上すると言われており、この用途にはほとんどアルミニウム金型が使用されています。

2.3 耐熱性

図1にアルクイン 300の耐熱性を示します。加熱温度が150℃を超えると強度低下が著しいことが分かります。一般的に射出成形やブロー成形においては金型全体の温度は室温よりも若干高い程度ですが、100℃を超える環境下でご使用戴く場合は注意を要します。

2.4 応力腐食割れ性と耐食性

7XXX系合金は耐食性および応力腐食割れ性に劣ると言われています。応力腐食割れとは、内部あるいは外部引張応力と局部腐食の相乗効果により短期間で割れに至る現象です。一般的に強度の高いアルミニウム合金ほど応力腐食割れ感受性が大きいと言われていたますが、アルクイン 300は応力腐食割れ性を考慮し、熱処理条件によ

表1 アルクイン 300とA7075の化学的組成

Table 1 Chemical Composition of “ALQUEEN 300” and A7075.

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
アルクイン 300	≦0.20	≦0.30	0.8~1.5	≦0.50	2.0~3.0	0.1~0.3	5.5~6.8	≦0.15
JIS A7075	≦0.40	≦0.50	1.2~2.0	≦0.30	2.1~2.9	0.18~0.28	5.1~6.1	≦0.20

表2 代表的なアルミニウム合金の特性
Table 2 Characteristics of typical aluminum alloys.

	合金一質別	耐力 (MPa)				耐食性		溶接性	アルマイト性	切削性	靱性
		100	200	300	400	一般腐食	応力腐食				
非熱処理合金	A1050 - H112	■ (30)				A	A	A	A	C	/
	A5052 - H112	■ (90)				A	A	A	A	B	
	A5083 - H321	■ (230)				A	B	A	B	A	
熱処理合金	A2017 - T3	■ (280)				C	C	B	B	A	C
	A6061 - T6	■ (270)				B	A	A	A	A	C
	アルクイン 300	■ (450)				B~C	B	B~C	B	A	B

【評価】A>B>Cの順に優れる

表3 アルクイン 300 と鋼材の特性
Table 3 Characteristics of "ALQUEEN 300" and steel.

種類	機械的性質*				物理的性質				
	引張強さ (N/mm ²)	耐力 (N/mm ²)	伸び (%)	硬さ (HB)	比重	縦弾性係数 (N/mm ²)	熱伝導率 25°C [KW/(m·°C)]	線膨張係数 20~100°C (×10 ⁻⁶ /°C)	比熱 0~100°C [KJ/(kg·°C)]
アルクイン 300	510	450	12	140	2.80	71,600	0.13	23.6	0.96
機械構造用炭素鋼 S55CN	650	390	15	183	7.85	206,000	0.06	11.7	0.63
一般構造用圧延鋼 SS400	400	215	23	—	7.85	192,000	0.06	11.7	0.63

*アルクイン 300は代表値, S55CNとSS400は規格下限値

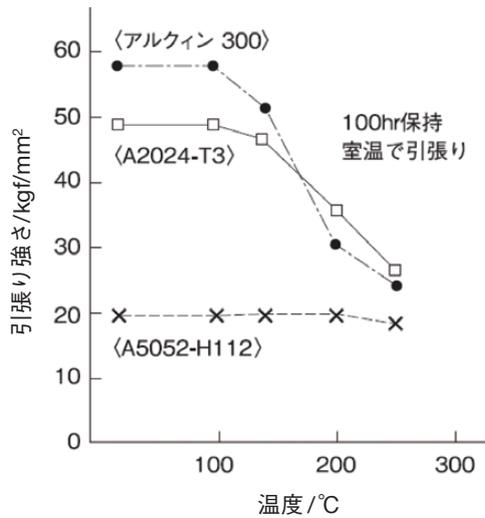


図1 加熱による強度変化の影響
Fig. 1 Effects on mechanical strength by heating temperature.

る金属組織の調整, Cuの添加量の抑制およびCrなどの遷移元素の添加により耐応力腐食割れ性を向上しています。この結果, アルクイン 300は実用レベルでは支障なく使用されています。

2.5 表面処理性

アルミニウム合金にアルマイトの表面処理を実施することは広く知られています。アルクイン 300へのフォトエッチングによるシボ加工などはスチールと同様に可能です。一方金型のキャビティの中に自由にメッキをつけ

るには不安定要素があります。その理由はメッキが剥がれやすいことです。これに対してアルマイトはアルミニウム独特の表面処理でメッキとは異なり剥がれることはありません。

特に硬質アルマイトは通常の硫酸アルマイトと異なり膜厚を 30 μm 以上の厚く緻密な皮膜を生成させ、非常に硬い皮膜にすることができます。一般的には表面の硬さはHvで通常の硫酸アルマイトが200に対し硬質アルマイトでは3倍の600以上となり、アルクイン 300の耐摩耗性を向上させることができます。

3. アルクイン 300 の製造プロセス

3.1 製造工場

アルクイン 300は古河スカイ(株)福井工場で製造しています。福井工場は、缶材、箔用素材、LNG球形タンク材などの用途に使用される大型コイル、幅広プレートなどの圧延品に加え、アルクイン 300に代表される焼入材、航空機材などを製造しており、航空機材製造に必要なAS9100の国際認証も得ています。

3.2 製造プロセス

アルクイン 300の製造プロセスを図2に示します。鑄造工程では特殊フィルターを使用し、溶湯中のガスや介在物を除去し、金型切削加工時に発生するピンホールやストリングといった表面欠陥の発生を抑制しています。

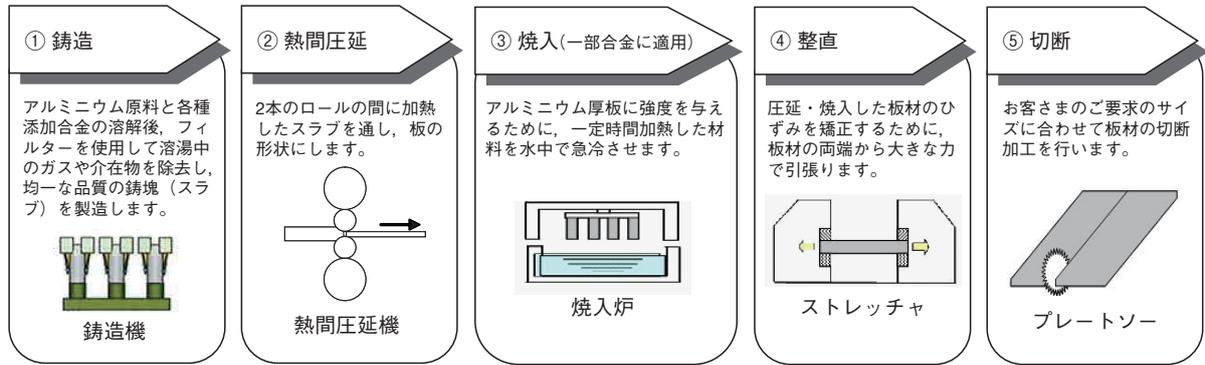


図2 アルクイン 300 の製造工程図
Fig. 2 Manufacturing process chart for “ALQUEEN 300”.

A7075-T651に代表される焼入材は、溶体化処理後、水焼入れが行なわれますが、冷却時の板表層部と中央部に発生する温度差によって残留応力が発生します。残留応力が大きく残存していると、製品の切断、切削、穴あけなどの加工時にひずみが発生しやすくなります。福井工場では国内最大の引張矯正能力がある5600トンのストレッチャにて残留応力の減少と均一化を図っています。

アルクイン 300も5600トンストレッチャにて矯正されており、良好な平坦度と少ない残留応力を有する製品となっています。さらに出荷前には超音波探傷試験にて内部品質の健全性を確認しています。

3.3 標準販売サイズ

アルクイン 300の標準販売サイズを図3に示します。板厚6~150 mmまでは圧延品で板厚180 mmを超えると鍛造品となります。板厚180 mmを超えるとストレッチャの引張矯正能力上限を超えてしまうために圧延品から鍛造品になります。この鍛造品も栃木県小山市にある当社の鍛造工場にて製造しています。また図3に記載されていないの特殊サイズの製品の製造・販売も可能です。

圧延品			
板厚mm	幅×長さmm	板厚mm	幅×長さmm
6		55	
8		60	
10		65	
11		70	
12		75	
15		80	
16		85	
20		90	
21		95	
25		100	
26		110	
30		120	
35		125	
40		130	
45		140	
50		150	
		1,250×3,000	

鍛造品			
板厚mm	幅×長さmm	板厚mm	幅×長さmm
180	1050×2550	275	1050×1650
200	1050×2400	300	1050×1410
225	1050×2100	350	1050×1250
250	1050×1850		

図3 アルクイン 300 製造範囲
Fig. 3 Manufacturing size range of “ALQUEEN 300”.

4. アルクイン 300 の用途および加工事例

アルクイン 300の用途および加工事例を図4に示します。アルクイン 300は軽く加工しやすくリサイクル性に富んだ製品です。1970年台にブロー成形金型用に使われ、その後射出成形金型、治工具など用途は多方面に広がってきています。

5 アルクイン 300 の使用方法と設計上の留意点

5.1 使用方法

アルクイン 300の金型としての使用法は、一般的に用いられる市販のモールドベースの型板をアルクイン 300に換えて用います。また成形品が小さい場合はス

チール型板をくり抜き、そこにアルクイン 300を『入れ子』して使用すればアルクイン 300の使用量も少なくすみ、作業も早くローコスト・短納期に貢献することができます。図5にはモールドベースのアルミニウム型板の『入れ子』の例を示します。

5.2 設計上の留意点

これら金型の設計時には、軸方向の曲げモーメントの計算、アルミニウム型板同士が合わさる構造の場合には型締め圧力や射出圧力などの計算および評価が必要です。これらの計算に用いる値には前述のアルクイン 300の物理的性質などが使用されます。



図4 アルクイン 300の用途および加工事例
Fig. 4 Applications and utilization examples of “ALQUEEN 300”.

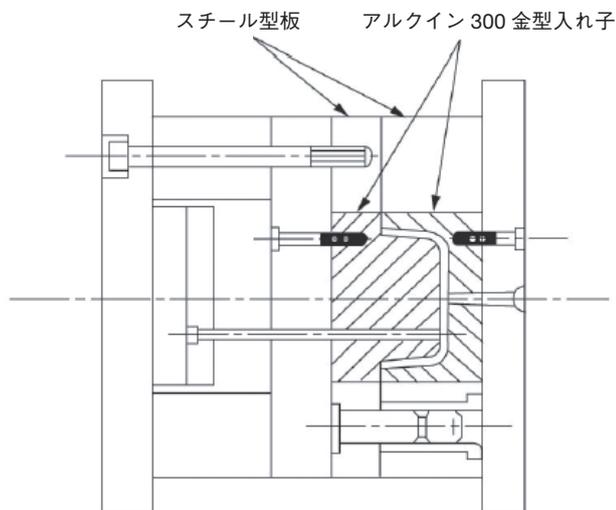


図5 モールドベースへのアルクイン 300の入れ子
Fig. 5 “ALQUEEN 300” nesting to a mold base.

6 アルクイン 300の補修溶接

6.1 溶接時の注意点

前述のとおり、7XXX系の合金の溶接性は良好とは言えません。アルクイン 300は化学成分など、A7075合金と比較してやや溶接性を改善していますが、溶接時には次の項目への注意が必要になります。

- (1) 溶接割れが発生しやすい。
- (2) フォトエッチング加工を施した場合、溶接ビード部と母材部で段差が生じる。
- (3) 溶接入熱によって母材強度や硬さが低下しやすい。

6.2 溶接割れのメカニズム

アルミニウム合金の溶接割れは、高温（熱間）割れです。高温割れは鋳物と同様に合金組成が最も影響します。凝固過程で固相と液相が共存する状態から完全に凝固する直前に応力が集中した箇所に発生します。よって溶接割れは状態図の液相線と固相線の凝固温度範囲が広い材料ほど起りやすいこととなります。溶接方法、施工方法や材料によっては、割れはビード中央部、ポンド部あるいは熱影響部などに生じます。

図6はAl-Zn-Mg系合金の等割れ線図です。例えばA7075合金に相当するZnとMg量の成分範囲では割れが大きいたことが分かります。図7はAl-Zn-Mg系合金にCuを添加した場合の割れ性を示していますが、Cu量が増加するに従って割れが大きくなること分かります。したがってA7075合金のCu量は割れのピーク範囲にあることが分かります。このように7XXX系合金の主成分であるZn、MgおよびCuの量は、A7075合金においては割れやすい範囲のものです。アルクイン 300は割れ感受性を低くするために化学成分などを含め割れ防止対策を実施しています。

6.3 補修溶接方法

補修溶接方法はTIG溶接法を用いて実施するのが一般的です。

シールドガスはJIS K1105を満足する純度99.9%のアルゴンガスを使用しますが、ヘリウムまたはヘリウム+アルゴンの混合ガスを使用しても問題はありません。また、溶接前の補修溶接部の前処理も重要です。処理方法が不十分であると品質の劣化に繋がります。次に留意点を記述します。

(1) 金型の取り扱い

補修金型の溶接前処理とそれに引続く溶接の全工程で汚れた手袋やウエスを用いると折角前処理で清浄した金型の表面を汚すことになるので、必ず新品か洗濯したのを用います。

(2) 脱脂および洗浄

補修溶接する金型に油脂や汚れが付着していると溶接時に燃焼して分解され、水素を発生させます。この水素が溶接ビード中に取り込まれてブローホールとなります。一般的には脱脂および洗浄溶剤はシンナーやアルコール系を用います。

(3) 欠陥の除去

金型の欠陥部とその周辺をカッター、リユーターなどの工具で除去します。この時グラインダは使用しないことを勧めます。理由はグラインダの砥粒がアルミニウムに埋め込まれて内部欠陥となるからです。

(4) 酸化皮膜の除去

欠陥の除去時に補修溶接部が汚れた場合は脱脂および洗浄を実施後、ステンレスワイヤブラシを用いて酸化皮膜を除去します。ワイヤブラシは必ず線径がφ0.15~0.3 mmのものを使用します。鋼や銅製のものは破片や金属粉末がアルミニウムに埋め込まれて『電食』を発生させるからです。

(5) 余熱

7XXX系合金は耐熱性に影響を及ぼすことから、やむを得ず余熱を実施する際はサーマルクレヨンなどを用いて180℃以上に加熱しないように調整をすることが必要です。

(6) 電極・ノズル

TIG溶接用電極は、純タングステン、トリウム入りタングステン、セリウム入りタングステン、ジルコニウム入りタングステンなど各種ありますが、どの電極を用いても溶接は可能です。電極径とトーチノズルは電流によって選定しますが、参考として表4および表5に例を示します。

(7) 溶加材

アルクイン 300の溶接用溶加材はA5356が最適です。

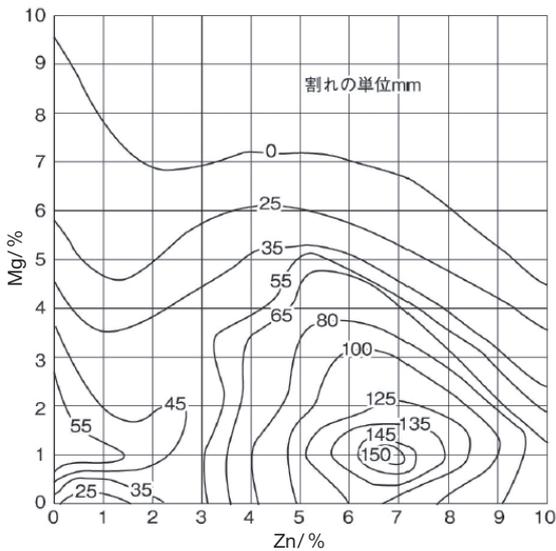


図6 Al-Zn-Mg系合金の等割れ線図
Fig. 6 Equal crack diagram of Al-Zn-Mg alloys.

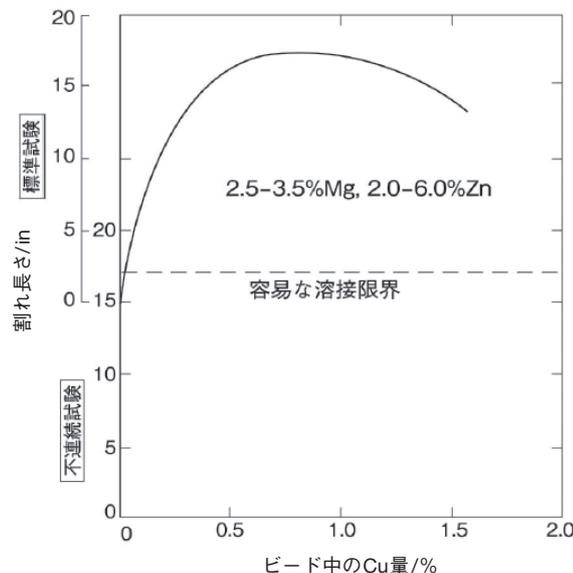


図7 Al-Zn-Mg系合金の割れに及ぼすCuの影響
Fig.7 Effect of copper on the cracking of Al-Zn-Mg alloys.

表4 電極径に対する溶接電流範囲

Table 4 Welding current range for the electrode diameter.

タングステン 電極径 (mm)	溶接電流 (A)	
	純タングステン	トリウム入り タングステン
2.4	80~160	140~250
3.2	140~210	225~325
4.0	190~275	300~425

表5 溶接電流とガス流量との関係

Table 5 Relation between welding current and gas flow.

溶接電流 (A)	交流溶接	
	ノズル径 (mm)	ガス流量 (ℓ/mm)
10~100	8~9.5	6~8
101~150	9.5~11	7~10
151~200	11~13	7~10
201~300	13~16	8~15
301~500	16~19	8~15

7 おわりに

アルクイン 300はA7075合金よりも casting しやすい、熱間圧延やその後の加工工程においても歩留りよく生産することができるエネルギーコストメリットのある合金です。また金型としての寿命が終われば、再溶解することにより何度でもリサイクルすることができます。アルミニウムの原料であるボーキサイトからアルミニウム圧延材を製造するエネルギーと比較すると再生アルミニウムは1/30という非常にリサイクル性とリユース性に富んだ地球に優しい製品と言えます。

アルクイン 300はアルミニウム金型用合金として40年以上の歴史があります。用途は金型に限らずアルクイン 300のメリットを生かした製品に使用できる可能性を秘めています。金型として培った技術とノウハウを活用してさらなる用途拡大に努めていきます。

各種のお問い合わせについては、当社営業部門のほか、アルクイン 300の販売総代理店である萬世興業(株)にお願いします。

なお、本製品紹介は一般財団法人素形材センター月刊誌「素形材」**53** (2012) の特集「多様なニーズに対応する金型材料と積層金型技術」に掲載された「金型用アルミニウム合金」を転載したものです。

お問い合わせ先

古河スカイ(株) 営業本部 第二営業部
〒101-8970
東京都千代田区外神田4丁目14番1号
秋葉原UDX12階
TEL : 03-5295-3800 FAX : 03-5295-3760

萬世興業(株)
〒162-0811
東京都新宿区水道町1-5
TEL : 03-3269-0153 FAX : 03-3269-1670