



平成10年度 ものづくり人材支援基盤整備事業
— 技能の客観化、マニュアル化等 —

「アルミニウム鍛造マニュアル」

平成11年5月

中小企業事業団

情報・技術部

はじめに

中小企業事業団では、中小企業庁が進める国の重要施策である、中小企業のための数々の施策を実施しています。

さて、中小企業事業団では、平成 10 年度「ものづくり人材支援基盤整備事業」において、技術・技能の客観化、マニュアル化等を行うことが、技術・技能の継承を図る上で重要と考え、それらを必要とする業界を対象に、「平成 10 年度ものづくり人材支援基盤整備事業－技術・技能の客観化、マニュアル化等－ アルミニウム鍛造マニュアル 」を作成いたしました。

最近の中小製造業の現場では、熟練技術者・技能者の高齢化が目立ち、退職後の製造現場の能力の維持等が問題となってきています。

これは、熟練技術者・技能者、その個人の持つ技術・技能を後継者に伝承することにより、解決されうるものでありますが、その伝承、継承には訓練が伴い、適切な指導を行える指導者と時間が必要であります。

そこで、業界団体を通じて各中小企業者に本件を有効に活用頂き、技術・技能を継承すべき若年層等の人材の確保・育成の一助になれば幸いに存じます。

なお、本書の作成にあたり、ご協力を頂きました関係者各位に厚く御礼申し上げます。

平成 11 年 5 月

中小企業事業団
情報・技術部
部長 野元 浩

アルミニウム鍛造マニュアル目次

1. アルミニウムの魅力	1
1.1 アルミニウム、アルミニウム鍛造とは	1
1.2 何故アルミニウムが使われ	2
1.3 アルミニウムの特徴	4
1.4 アルミニウムの特性の数々	6
1.5 アルミニウムの歴史	9
1.6 アルミニウム鍛造の歴史	11
2. アルミニウムの製造方法	19
2.1 アルミニウム (Al)	19
2.2 アルミニウムの故郷	20
2.3 アルミナ (Al_2O_3)	21
2.4 インゴット	22
2.5 地金から製品へ	23
2.6 再生地金	25
3. アルミニウムの使われ方	26
3.1 アルミニウム合金とは	26
4. アルミニウム鍛造部品の使われ方	30
4.1 パソコン	31
4.2 VTR	32
4.3 自動車	33
4.4 二輪車	36
4.5 航空機	39
4.6 コンプレッサー	40
4.7 レジャー、スポーツ	42
5. 鍛造加工とは	44
5.1 鍛造加工の定義	44
5.2 鍛造の力学的な側面	44
5.3 鍛造の金属学的な側面	47
5.4 鍛造加工の長所	49
5.5 鍛造加工の短所	49

5.6 長所を伸ばし短所を補うには	49
6. 鍛造における基本的変形の種類	51
6.1 直接圧縮	51
6.2 間接圧縮	55
6.3 直接・間接の組み合わせ圧縮	59
7. 工程全体の流れ	62
7.1 熱間鍛造	62
7.2 冷間鍛造	63
8. 切断	66
8.1 丸のこ盤	67
8.2 帯のこ盤	67
8.3 ビレットシャー	67
9. 鍛造用素材	69
9.1 材料の呼称	69
9.2 代表的なアルミニウム鍛造用合金の特性	72
9.3 鍛造性と鍛造温度	79
9.4 材料の選定指針	79
10. 鍛造機の種類	81
10.1 ハンマー	82
10.2 メカニカルプレス	82
10.3 液圧プレス	83
10.4 スクリュープレス	83
11. 鍛造金型の製作	85
11.1 熱間鍛造用金型	85
11.2 冷間鍛造用金型	94
12. 潤滑	100
12.1 冷間鍛造用潤滑剤	100
12.2 熱間鍛造用潤滑剤	102

1 2. 3 潤滑評価試験	104
1 3. 鍛造 (熱間／冷間)	108
1 3. 1 鍛造加工の分類	108
1 3. 2 鍛造方法	109
1 3. 3 鍛造作業および鍛造欠陥 (原因と対策)	113
1 4. 熱処理 (調質と質別記号)	117
1 4. 1 加工硬化と焼なまし軟化 (非熱処理合金)	117
1 4. 2 焼入れ焼もどし硬化 (熱処理合金)	117
1 5. 検査	120
1 5. 1 寸法検査	120
1 5. 2 蛍光浸透探傷検査	120
1 6. 製品のできるまで	123
1 6. 1 鍛造生産工程	123
1 6. 2 鍛造技術の動向	124
1 7. 鍛造工程製品事例	129
(熱 間 鍛 造)	130
1. インペラ 2. ビーム 3. リアハウジング 4. チェンジペダル 5. フランジ (カーエアコン) 6. ピストン 7. ワッフルプレート 8. 斜板 (リングロール)	139
9. フランジ (圧力容器)	
(冷 間 鍛 造)	141
10. モーターハブ 11. ヒートシンク 12. ビデオシリンダー 13. リール 14. ゲートボール本体・ヘッド 15. マウント (インパクト成形)	150
16. 金属押し出しチューブ 17. アルミカン (鋳 造 + 鍛 造)	152
18. アルミロードホイール	

18. 本マニュアル、ビデオの位置付けと将来展望	153
18.1 はじめに：	153
アルミニウム鍛造の現状と本マニュアル、ビデオとの関連	
18.2 今までの経過と歴史との関連	154
18.3 求められるニーズ	155
18.4 今後の対応と世界のリーダーとして	155
18.5 若い人の活性化と育成	157
18.6 8つの革新軸と日本の鍛造業界の今後の将来展望	157
 謝 辞	 160

1、アルミニウムの魅力

1・1 アルミニウム、アルミニウム鍛造とは？

アルミニウム、或いはアルミニウム鍛造とはどんなものかと聞かれて、すらすらと答えられる人が日本中にどれだけいるだろう。あなたがこのテキストと VTR に従って勉強することによって、アルミニウム及びアルミニウム鍛造だけではなく、型設計、鍛造方法、熱処理、更には、アポロ 11 号に使われたアルミニウム合金についても知ることができる様になる。

アルミニウムはいろいろな製品として、毎日の生活様式に溶け込んでいる。朝、目がさめ、寝ぼけ眼をこすりながら、朝日に輝くアルミサッシの窓を大きく開け放ち、タオルを持って洗面所へ行くと、歯みがきの中にはアルミニウムの親であるアルミナ粉末が添加されている。湯沸し器にもアルミニウムが使われている。ご飯を食べる時も、ヤカン、ナベ、食器などアルミニウムは生活に役立っている。

タバコや和菓子の包装、自動車、電車、飛行機、コンピュータなどにもアルミニウムが、たくさん使われている。発電所からの送電線はほとんどがアルミニウム電線で、配電線も、電気によって動かされる冷蔵庫も、テレビもみなアルミニウムが使われている。

洋服を着るにもアルミニウムが必要である。何故って……？紡績の機械にはアルミニウムが使われています。それから勿論ビルや木造住宅にもアルミニウムが使われている。

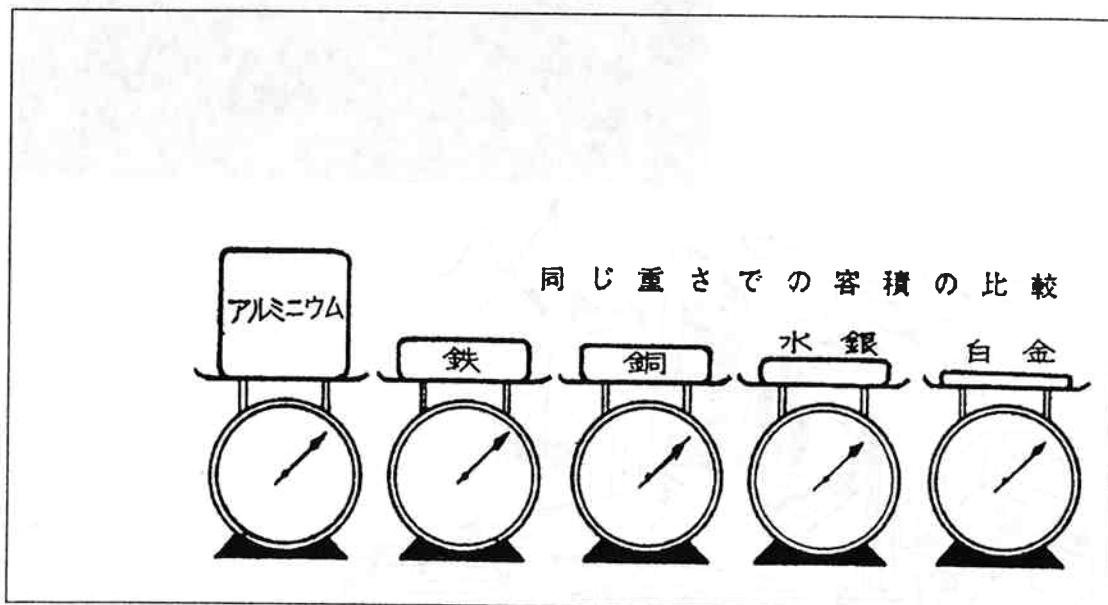
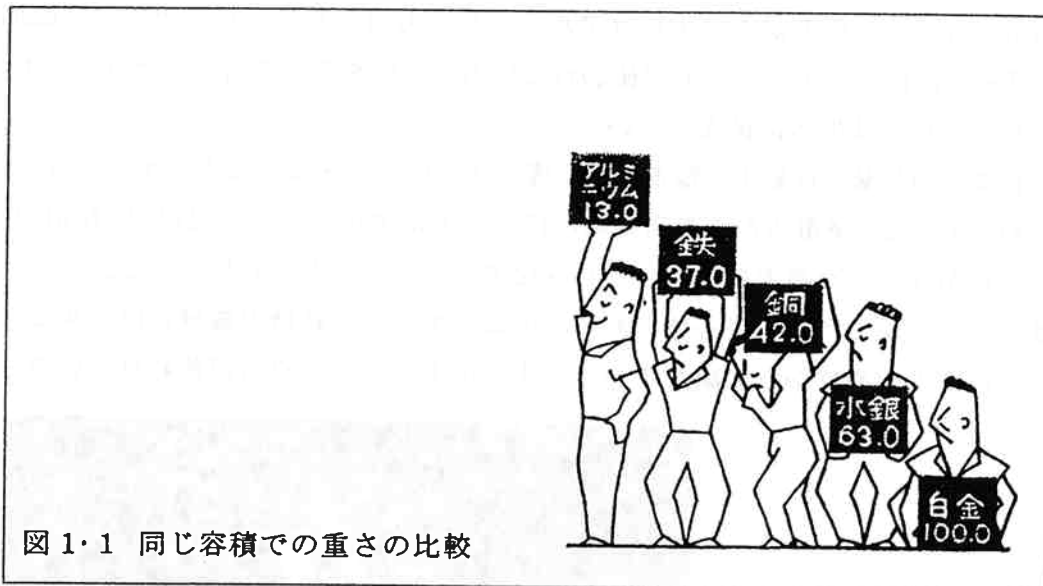


1・2 何故アルミニウムが使われるか？

なぜアルミニウムがこんなに使われるのか？、それは軽いからである。この世の中で重い方が良いものがいくつあるだろうか？。動かないものの重さはそう苦痛を与えないが、動くもので重い方が良いというものは余り例を見ない

自転車は重い方が良い等という人は、恐らくいないだろう。自転車で坂道をのぼることを想像すれば、「なぜ、私はこんなに重いのだろう」と思ったことが必ずあるはずである。

余計なエネルギーを使うことは損である。だから動くものにはみなアルミニウムが使われるようになってきている。最近のビルは上へ上へと高くなっているが、これも軽いという特徴を持ったアルミニウムが、超高層ビルの出現を可能にした結果である。



この他にもアルミニウムはたくさんの素晴らしい特徴を持っており、数多くのものにアルミニウムが使われている。しかし一寸待つて欲しい。金属で1番軽いものはリチウムである。リチウムは水の1/2の重さだが、実用的ではない。実用的でないというのは、工業生産ができなかったり、形としてまとめることができないためである。

表1・1に示す様に、現在最も軽く実用的な金属はアルミニウムで、この他にマグネシウムやチタンがある。これらは鉄以外の金属ということで非鉄金属とよばれ、さらに鉄や銅などより軽いので、軽金属とよばれている。

表1・1 金属元素の比重

金属元素	記号	比重	金属元素	記号	比重
白金	p t	21.4	銅	c u	8.92
金	A U	19.3	鉄	F e	7.86
鉛	p b	11.34	亜鉛	z n	7.14
銀	A g	10.49	アルミニウム	A l	2.70
ニッケル	N I	8.85	リチウム	L I	0.53

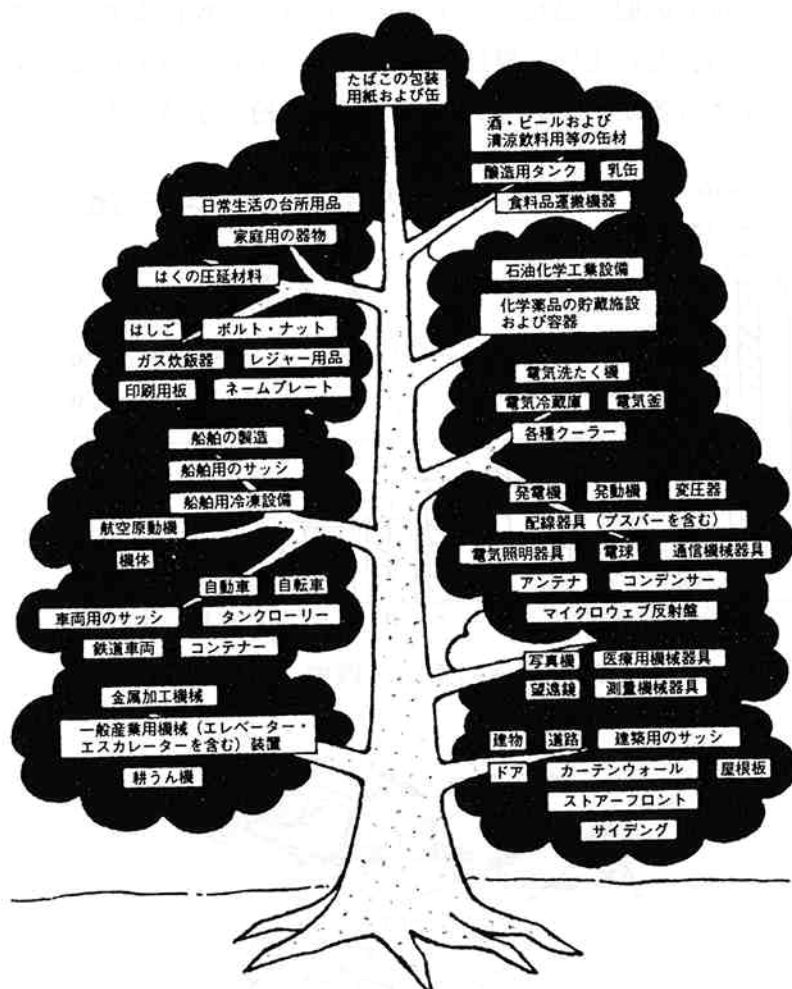


図1・2 アルミニウムの用途

出典：アルミニウムのお話、小林藤次郎、(財)日本規格協会、1985

1・3 アルミニウムの特徴

アルミニウムの特徴はそのほかにもたくさんある。その1つは熱の伝導性がよいことである。アルミニウムのヤカンと鉄ビンとではどちらが早くお湯が沸くかは、言われなくても判るはずだ。また熱伝導性と同じように、電気の伝導性も非常に優れている。

これらの特徴を利用したものをあげてみよう。まずヤカンがある。お湯を沸すのには昔は土ビンが、その次に鉄ビンが使われ、そして現在ではアルミニウムが使われている。

それは何故だろうか？土ビンは壊れ易く、鉄ビンはなかなかお湯がわかないからである。等しい分量のお湯を沸かすのには、アルミニウムのヤカンは鉄ビンの半分の燃料で済むのである。従って同じ燃料を使えば2倍の量のお湯を沸かすことが出来る。

ところで銅はアルミニウムよりもっと熱の伝導性が良いことは図1・3で判る。銅のヤカンはあまり聞いたことはない。銅のヤカンは常に磨いておかないと有毒性の「ろくしょう」（緑青）と呼ばれる緑色のサビが出るので、家庭用の食器類にはあまり使われないのが実情である。

ところがアルミニウムは無害である。それどころか胃腸の薬になるくらいである。後述するが、アルミニウムはその製造過程でアルミナという白い粉になりう、これが胃腸に効くわけである。そのため、たいいていの胃腸薬にはアルミナが入っている。又、鉱山で働く人々はケイ肺病におかされるが、これもアルミニウムの粉で予防できる。

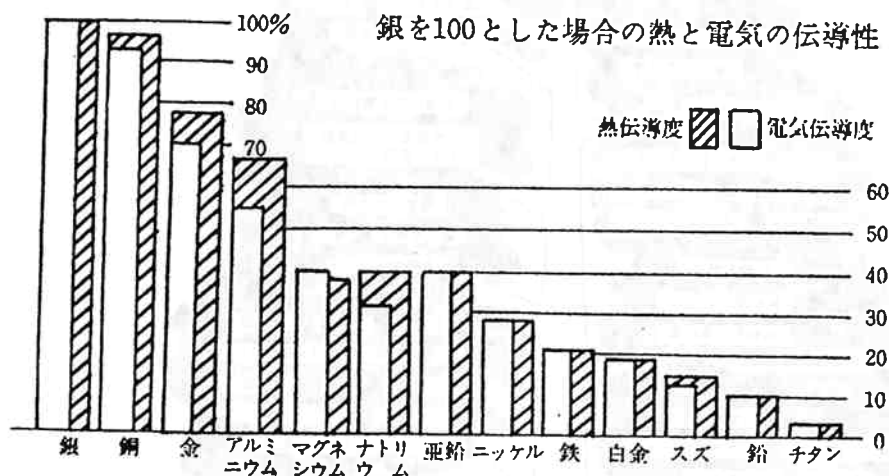


図1・3 アルミニウムと他の金属の電気伝導度と熱伝導度の比較



次に電気の伝導性について見ると、図 1・3 から判る様に、アルミニウムは銅の 60% の電導性しかない。ところで電導性を最も必要とするのは言うまでもなく電線だが高圧電線に使われている多くはアルミニウムである。なぜ電導性のよい銅を使わないでアルミニウムを使うのだろうか？。

それはアルミニウムの方が経済的だからである。電導性は銅の 60% であるが、目方は銅の 1/3 しかない。このためアルミニウムを使う場合、導電性を同一にするには電線を 40% 太くする筆必要があるが、送電線は外径が太くなる程有利となる。

特に高圧で送電する場合、外径が細かったり、滑らかでなかったりするとコロナ放電という現象が発生し、電気が無駄に空中に流れてしまうことになる。要するにアルミニウム線が太くなるのは逆に有利になるのである。その上、軽くて丈夫なので、どんな山の中でもヘリコプターを使って簡単に線を引くことができ、引張り力が強く、軽いので、鉄塔の間隔を延ばす事ができる。

極端に言えば銅線の場合 10 本必要であったものが、アルミ線を使えば 5 本位で済むということである。この鉄塔は 1 本 100 万円以上もし、経済的である。さらにアルミニウムと銅とではその値段もアルミニウムの方がはるかに安価である。

アルミニウムの特徴はまだある。表面がきれいて錆びない事から、建材や室内装飾品として使われている。またアルミサッシに使われる理由の 1 つに、どんなに複雑な形も成形加工（押出）が容易だという特徴がある。アルミニウムの特徴と用途を整理すると次の様になる。

アルミニウムの特徴と用途

- 軽い ……………自動車、電車、飛行機、建材、船、送電線
- 熱の伝導性がよい ……………ヤカン、ナベ、電気ガマ、電気ポット
- 電気を伝えやすい ……………送電線、プリント配線
- 無害 ……………食器、家庭用品、タバコ・菓子の包装
- 光や熱を反射する ……………ヘッドライト、ストーブの反射板、屋根
- 加工しやすい ……………鍛造、押出し、圧延、鋳造、ダイカスト、線など
- 用途に応じたアルミニウム合金を造れる
- きれい、サビない、磁気を帯びない
- 吸音性がある ……………劇場、スタジオの壁や天井の吸音板
- 火花を散らさない ……………危険物、石油などの貯蔵容器具



図 1・4 超音速飛行機

ここには 220 トン/機のアルミが使用されている



図 1・5 トッラク

各種部品にアルミが使用されている

1・4 アルミニウムの特性の数々

アルミニウムは、我々の日常生活に極めて身近な存在で、周囲を見渡せば、そこにはアルミニウムが様々な形で生活空間を彩っている。住宅やビルを見れば窓にはアルミサッシ、各種のエクステリア製品。自動車にはエンジン、アルミホイール、サスペンション部品等がある。すっかり馴染みとなったビールのアルミ缶。高校野球に欠かせない金属バットも実はアルミ製である。

さらには銀白色に輝くジュラルミン製のジェット機等、あげてゆけばきりが無い。このようにアルミニウムが短期間に生活の隅々にまで浸透し、親しまれているのは、何よりもその優れた特性によるものである。そこで、アルミニウムとその産業を理解するため、アルミニウムが持ついくつかの代表的特性を見ると、次の様になる。

〈軽い〉＝省エネルギーの主役

アルミニウムの特性の中で、最もよく知られている性質である。アルミニウムの比重は約 2.7 で、鉄の 7.9、銅の 8.9 に比べて、おおよそ 1/3 の軽さである。このため、軽量性を必要とする航空機、船舶、自動車、鉄道車両、コンテナなどの輸送分野では、アルミニウムが盛んに利用されている。機体、車体等を軽量化し、高速化・積載量の増大・燃料の節約などの経済効果をあげ、さらに高品質化、多機能化するオーディオ機器、エレクトロニクス機器、システム機器の設計自由度を広げ、機能を高める要素としてもアルミニウムの軽量特性は十分に生かされている。

〈強い〉＝鋼に匹敵、

アルミニウムには「軽い」と同時に「弱い」と言うイメージがあるかも知れない。確かに純アルミニウムの強度はそれ程高くない。圧延などの加工を施すことで、硬化して強さが倍化したり、マンガン、ケイ素、銅、マグネシウム、亜鉛等の他の金属を目的に応じて少量添加して合金にしたり、更に熱処理を行うことにより、一層強度を増すことが出来る。

実際にこの様にして作られたアルミニウム材料の中には、鉄鋼に匹敵する強度を備えたアルミニウム合金もある。これに本来の軽さの特性が加わるため、各種の構造材としての用途も広がっている。またアルミニウムは鉄鋼などと違って極低温で強度を増す(低温特性)と言う優れた性質を備えており、超伝導、液化ガス、宇宙開発関連に不可欠の材料となっている。

〈耐食性がよい〉＝自分で腐食を防ぐ

アルミニウムは空気中で自然に酸化しやすい性質があり、表面には耐食性のよい酸化アルミニウムの皮膜が生成される。この皮膜はアルミニウムを腐食から防ぐ作用を持っており(自己腐食防止作用)、この独自の性質によってアルミニウムは錆びにくく、美しさを保つことができ、船舶・海洋開発・食品・医療などの分野でその特性が注目を集めている。

〈加工性がよい〉＝簡単にさまざまな形状に

アルミニウムは加工性に優れ、様々な形状のものを容易に作ることができる。この加工性の良さを端的に示しているのがアルミニウム独特の加工法である押出加工法である。家庭に普及している窓のアルミサッシは、この製造法があったために可能となった。また、金属でありながら紙のように薄く伸ばせる展伸性の良さもアルミ独自の優れた性質である。

この他にも曲げ、切断、絞り、切削などの各種の加工も容易で、これらの加工法を駆使することによってアルミニウムは板、箔、棒、管、線などの素材になり、さらに、アルミ缶や家庭用箔などの製品に加工される。

〈電気をよく通す〉＝銅に代わる送電線の素材に

アルミニウムは銅と同じ電流を流すためには銅の1.6倍の断面が必要とされている。しかし、比重が銅の約1/2であるため、同じ重量だと銅の約2倍の電気を送ることができる。

従って、送電線などの場合、鉄塔の間隔を長くすることができ、結局経済的に有利となる。このためアルミニウムは銅に代わり、送電線、配電線、その他、電気関係の多くの分野で使われている。最近では、エネルギー関連・エレクトロニクス分野での需要も伸びている。

〈磁気を帯びない〉＝医療機器にも活用

アルミニウムは、それ自体は磁気を帯びることはなく、磁場に影響されない。このアルミニウムの非磁性特性を生かしてパラボラアンテナ、船の磁気コンパス、電子医療機器、メカトロニクス、リニアモーター・カー、超電導関連まで広い分野で不可欠の材料となっている。

〈熱をよく伝える〉＝鉄の約3倍の熱伝導率

アルミニウムは、他の金属材料に比べて熱を伝え易い。例えば、鉄と比べると約3倍の熱伝導率を持っている。昔から鍋や湯わかしによく使われてきたが、最近では、特に冷暖房装置や自動車のエンジン部品や各種の熱交換器に多く使用されている。さらに、太陽熱利用のソーラ・コレクタに使われている。アルミの普及にもこの特性が生かされている。

またプラスチックやゴムの成形用金型にも熱をよく伝え、早く冷やすアルミニウムの利用分野が広がっている。

〈光や熱を反射する〉＝光エレクトロニクスにも応用

よく磨いたアルミニウムは、赤外線や紫外線などの光線、ラジオやレーダーから発する電磁波、さらに各種熱線を反射する。この特性を生かして、暖房器の反射板や照明器具、宇宙服などに用途が広がっている。最近では、鏡面加工を施すことにより、コンピュータ用プリンターに使われるポリゴンミラー、光エレクトロニクス分野へも進出している。

〈毒性がない〉＝無害で衛生的

アルミニウムは、無害・無臭・衛生的で、耐食性にも優れているため、昔から、湯わかしなどの厨房・家庭用品や食品の容器に使われてきた。

最近では、各種飲料缶、薬品、医療機器などに広範に利用されている。万一、何らかの化学作用で金属が溶出したり、化合物を作ったとしても、ある種の重金属のように人体を害したり、環境に悪影響を与えることも少ない。

〈表面仕上げが美しい〉＝多彩なデザインにも応用

アルミニウムは、様々な美しい表面処理が出来る。むろんアルミニウムは、素地のままでも十分に美しいが、防食効果、装飾効果を高める目的で、化学的・電気化学的表面処理やほうろうびき、塗装などの各種の表面仕上げが行われる。

なかでも「アルマイト」の名で広く知られている陽極酸化皮膜処理は、アルミニウムの耐食性を飛躍的に向上させると共に、自然発色や電解発色などによって、アルミニウムに多彩着色をすることができる。そのため、建築内外装や包装材、家庭用品、電気器具などデザイン性が強く望まれる分野への用途が広がっている。

〈再生しやすい〉＝すぐれた再循環素材

アルミニウムは融点が低く（約 660℃）、再生が極めて容易にできる。アルミニウムを再生利用する場合、加工工程中に発生した屑や市中から回収された屑をもとに再生地金を製造するが、この場合の必要なエネルギーは、新規にアルミニウムを製造する場合よりも極めて少なく（約 1/36）、省エネルギー効果が大きいことになる。

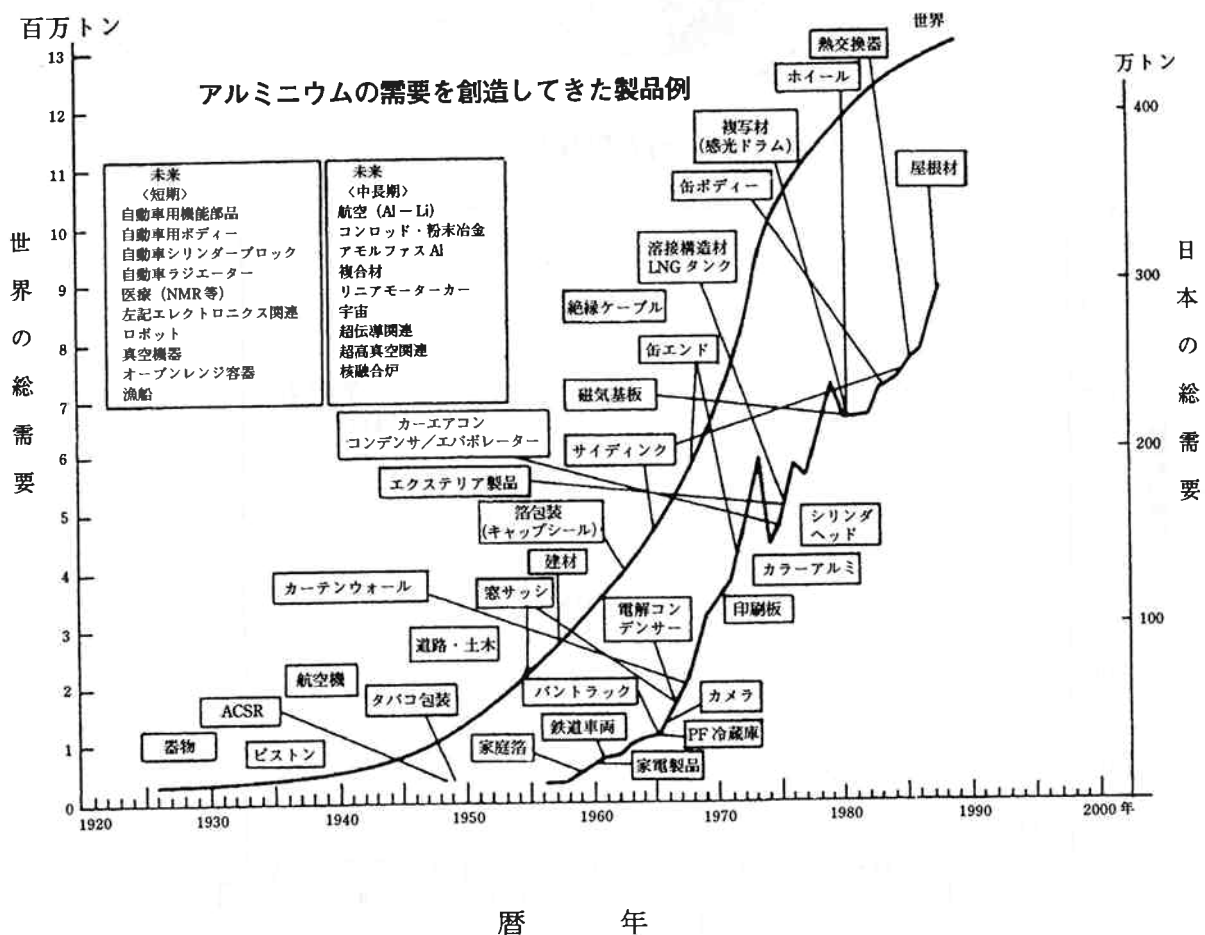
さらに、市中の屑を回収することは、環境美化の観点からも資源の有効利用の面からも、今後の社会的課題に応えることとなり、アルミニウムの未来適合性を示唆している。

1・5 アルミニウムの歴史

鉄や銅が紀元前 5,000 年頃から発見されて使われてきたのにくらべて、アルミニウムは極めて新しい歴史しか持っていない。

地球上に豊富に存在しながらも生れることの出来なかったアルミニウムが、初めて金属として認められたのは 19 世紀に入ってからである。この新しい金属はミョウバン $K_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3 \cdot 2H_2O$ が主な成分であり、英語でミョウバンのことをアルム (Alum) というところからアルミニウム (Aluminum) と名付けられた。

しかし、アルミニウムなどの軽金属は他の金属に比べて化学的な反応性が強いいため、アルミニウムだけを分けて取り出すことは非常に難しく、1825 年 (日本では徳川時代) になってデンマークのエルステッドが、2 年遅れて、ドイツのベーラーが、金属としてのアルミニウムを取り出すのに成功した。その当時 (今からたった 150 年程前)、アルミニウムは金や銀と一緒に貴金属の仲間で、1 グラムが現在のお金に換算して 500 万円以上という高い値段だった。勿論日本にはまだ存在しなかった。当時は、アルミニウム製のメダルがナポレオン 3 世に献上されたこともあった。



出典：ミネルパ・21 (通産省資料調査会)

図 1・6 アルミニウム需要を創出してきた製品群

そして、

1854年にフランスのドビュとドイツのブンゼンがナトリウムの還元によるアルミニウムの分離に成功し、工業材料としての第1歩を踏み出した。さらに1886年にアメリカのホールとフランスのエルーによって、酸化アルミニウムの電気分解法が考案され、そのころ発明されたグラムの電気によって電気が安く供給されるようになり、それから僅か100年、今日では世界のアルミニウムの生産量は年間1,400万トンを越えるようになり、鉄に次いで2位を誇っている。図1・6に日本のアルミニウムを創出してきた製品群を示す。

日本では明治時代に入ってから輸入され、昭和9年(1934)に昭和電工(株)が地金の国産化に始めて成功し、最近では日本のアルミニウムは年間約450万トンの使用量で、世界2番目の地位となっている。図1・7に日本のアルミニウムの需要構成とその需要構成を示した。

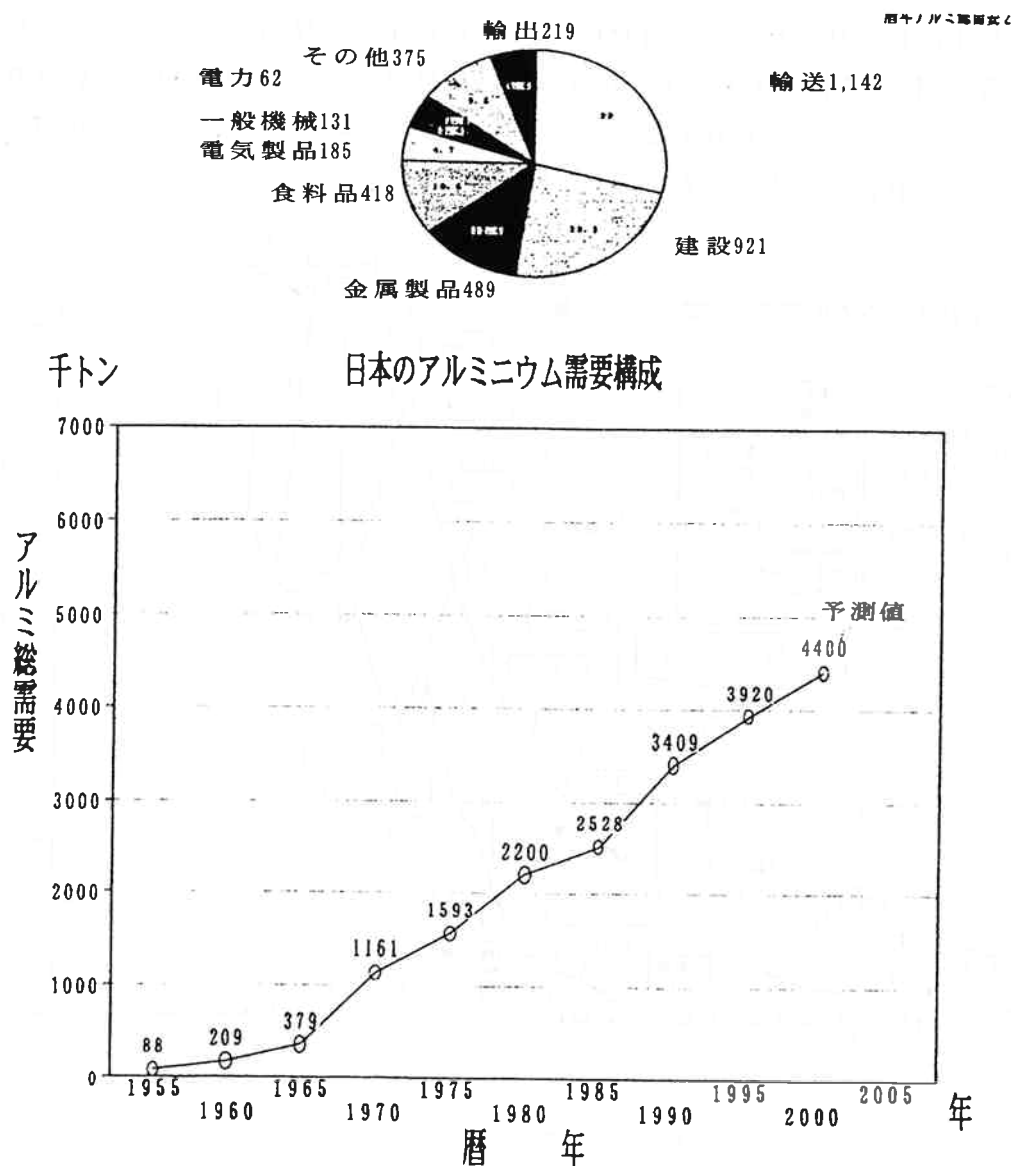


図1・7 日本のアルミニウム需要変化とその構成

出典:アルミニウム連盟

1.6 アルミニウム鍛造の歴史（主に冷間鍛造）

1.6.1 1945年（昭和20年）まで

日本で初めてのアルミニウム鍛造品は1932年（昭和7年）に作られた航空機のプロペラ、エンジン部品などといわれている。これは熱間型打鍛造設備によるもので、第二次大戦にかけての軍需資材向け製品の多くは熱間鍛造によるものである。このころ航空機は当時主流だった木骨構造から金属構造への移行の要求が高まり、欧米や日本で研究が行われ、次第に製作が開始された。

1935年（昭和10年）になると航空機用プロペラの製作が、住友金属工業、神戸製鋼所で本格的に開始され、アルミニウム鍛造品は量産化時代を迎えた。

この翌年超々ジュラルミンが開発され、ピストン部品等が製品化された。1937年（昭和12年）には、古河電工日光工場、神戸製鋼所名古屋工場、1941年（昭和16年）住友金属工業名古屋軽合金製造所が相次いで設備を導入した。またこのころ、海軍航空技術廠（現：横須賀市追浜）ではドイツ製の5000tプレスを導入しクランクシャフトやプロペラの型鍛造品を試作している。航空機需要の高まりとともにアルミニウム鍛造の技術も普及していったが、実のところ量産化の技術はまだそれほど発達していなかったようだ。例えば戦時中にわが国で超大型機「富岳」を製作しようとしたが、脚接尾の大型鍛造品ができなかったため、製作を取り止めざるを得なかったというエピソードがある。これは、鍛造技術が他の生産技術の水準に達していなかったことのあらわれであり、現在の技術水準と比べるとまさに隔世の感がある。

1.6.2 1945年（昭和20年）～1960年（昭和35年）

終戦と同時に、日本のアルミニウム工業は一時中断されたが、1948年（昭和23年）にインドネシアから戦後初のボーキサイトが輸入され、本格的な生産が開始された。しかしながらしばらくは自転車や自動二輪車の部品、機械部品のような小物が生産されていた。当時作られていた自転車部品には、クランク、ハブ、ハンドルポスト、ブレーキなどがあり、アルミニウム鍛造品にとって、航空機などの軍需品に替わって、戦後初の大きな需要となった。

敗戦後の経済的な打撃から復興したわが国は、徐々に工業化の道をたどり、昭和30年代を迎えると自動二輪車の時代が訪れた。ハンドルホルダー、アンダーブラケット、ペダル、ブレーキアーム、ブレーキディスクなどが鍛造によって生産され、2000系の合金が使われ始めた。

このころ、航空機の機体、エンジン、電装品などを製造する各社が航空機のライセンス生産を開始し、鍛造業界も次第に活況を呈するようになった。

また1953年（昭和28年）頃から、衝撃押出しによるアルミチューブが徐々に登場

し、サインペンのケースや乾電池のケースとして使われるようになった。

同様な製品ができる深絞り加工に比べ、衝撃押出し加工は材料コストが低減でき、生産性の向上が図れることから、製品の種類も増加していった。

1.6.3 1960年（昭和35年）～1970年（昭和45年）

①冷間鍛造品需要の拡大

1964年（昭和39年）、東京オリンピックが開催され、わが国は高度経済成長期を迎えた。電気洗濯機、炊飯器、冷蔵庫などの家電製品や、自動二輪車などの需要が急速に高まり、また現在でもアルミニウム需要の多くの割合を占めるアルミサッシが普及し始めた。

このころの製品として挙げられるのがカメラ部品である。これには従来マンドレル管を切削したものが多かったが、次第に冷間鍛造品へと代替され、材料はおもに5000系の合金が使われた。冷間鍛造にすることにより、結晶粒の微細化が図れ、結果的に製品表面を美しく仕上げるのが可能となった。好況の中で人々の購買意欲の高まりに対応した製品開発の例である。

ちょうどこのころアルミホイールが初めてアフターマーケットに登場しているのもそのような時代を反映している。また航空機の高速度化、大型化に対応し薄肉化、一体化した部品の開発が始まった。こうした多くの製品需要の立ち上がりや成長によって、日本のアルミニウム圧延品の需要は100万トンを突破するに至った。

②冷間鍛造への認識の深まり

それまで、どちらかといえば地道な発展を遂げてきた冷間鍛造業界だったが、1969年（昭和44年）日本塑性加工学会に冷間鍛造分科会が創設され、冷間鍛造を学問的に研究すると同時に工業界の技術の育成にも大きな役割を果たすことになった。またこのころには、自動車業界などでも「冷間鍛造は有利である」という認識が広まり、部品設計のアイデアも徐々に出てくるようになった。また製品間の競争が激しくなり、生産コストダウンの要求も高まってきた。これらに対応するものとして登場したのが拘束せん断法である。これはインパクト缶などの素材取りの際、棒材などを高い精度でせん断するもので歩留まりを高め、コストダウンが図れると同時に切り出した材料がすぐに加工できるメリットがあり、注目を集めた。

1.6.4 1970年（昭和45年）～1980年（昭和55年）

①DI缶の登場

1971年（昭和46年）、日本で初めてオールアルミニウム缶（DI缶）が製造された。これはもともと弾丸の薬莖製造にヒントを得てアメリカで開発されたもので、衝撃押

出しの派生技術だといえる。それまでのブリキ缶（スチール缶）は板を、溶接した胴体と上ブタ、下ブタの3つで構成されていたが、D I 缶は片側が閉じた胴体とエンド材（上ブタ）の2つでできている。生産効率が高く（当時800缶／毎分、現在1,400缶／毎分）、軽量で見ても美しいD I 缶は炭酸飲料・ビールを中心に大きく需要を伸ばし、人気を博した。またスチール缶でもイーザーオープン機能を持つアルミニウム製のエンド材の需要が高まった。現在はさらに一歩進んだステイオンタブ型のエンド材が主流となっているが、飲料缶の手軽さ、ファッション性が消費者に認識されるきっかけを作ったのがこの時代だったのである。

②軽量化による経済性への注目

1973年（昭和48年）、産油国の石油値上げ、いわゆるオイルショックが起こり、日本経済に大きな打撃を与えた。エネルギーコストの急騰を受け省エネルギー時代に突入、産業界の対応も大きな転換が求められるようになった。

アルミニウム業界でも、軽量・熱伝導性・耐食性など、省エネルギーに役立つ特性を生かした製品の開発指向が広がるようになった。その一つが自動二輪車のフレームなどの構造物のオールアルミニウム化である。それまでも、フレームを大型押出し材でオールアルミニウム化したことにより、それに付属する多くの部品のアルミ化、さらに冷間鍛造品化が進むきっかけとなった。

また、自動車部品のアルミニウム化が本格的に始まったのも、この時期である。エンジン、シリンダーヘッド、ヘッドカバー、ポンプ類などの多くの部品がアルミニウムで軽量化され、燃料効率向上に寄与するようになった。高性能で経済性の良い日本車は海外でも好評を博し、輸出高が急増した。

③VTR用シリンダーの冷間鍛造品化

また、この時代に特筆すべきなのは、家電、特にVTR用シリンダーにアルミニウム冷間鍛造品が採用されるようになったことである。これにより、冷間鍛造品は今までにない量的な拡大期を迎え、初めて熱間鍛造品を上回るようになった。

VTRは、1978年（昭和53年）ごろから家庭に普及し始め、カラーテレビ以来の大型家電商品として注目を集めた。その心臓部であるシリンダーの部品に使われたのがアルミニウム冷間鍛造品である。VTRシリンダには高速回転を可能にする軽量性、接触するテープ面との間の耐摩耗性、その他、放熱性、表面の寸法精度の高さなどが求められた。従来は特に耐摩耗性にすぐれた鋳造品が使われていた。これに変わって登場したのが高耐摩耗性合金を使用した冷間鍛造品である。冷間鍛造にすることによって歩留まりを向上、コストダウンが図れることが大きな決め手となった。

材料では、当初は押出し棒を使用していたが連続鋳造によって均一な微細組織を可能と

した連鑄棒の採用が始まった。

1.6.5 1980年（昭和55年）～1985年（昭和60年）

①エレクトロニクス技術の進展

高性能ICの開発、コンピュータ技術の発達により、エレクトロニクス技術はあらゆる産業、そして社会、暮らしに大きな影響を与え、高度情報化社会、ハイテク社会と呼ばれるようになった。特にOA機器部品にアルミニウム製品が進出した。コンピュータの磁気記録装置では、磁気ディスク、ドライブユニットなどがアルミニウム化した。そしてディスクの高速回転を支えたのが、スピンドルモーターハブに代表される冷間鍛造品だった。高密度のコンピュータ内部では、寸法精度が高く、放熱性にすぐれていることが不可欠である。また、システムの信頼性を高めるため、できるだけ同じ材料を使い、熱膨張率を揃えることが要求された。

また、複写機の感光ドラムも見逃せない。従来は感光面を鏡面加工した切削管が使われていたが、切削工程を省略したDI管（引抜き＋しごき）、EI管（押出し＋しごき）が登場し、製造効率向上・コスト低減に大きく寄与した。

ICを実装した回路基盤に使われるアルミニウム製電解コンデンサーも需要が増大した。これはアルミニウム箔の電極とアルミケースで構成されている。この時期、コンデンサーも多くの種類とサイズが出回り、ケースも寸法精度がよく、形状の自由度を高めるために、従来深絞り加工で製造されていたものが衝撃押出しによるものに代替されるようになった。

②産業界のハイテク化への対応

同時に、産業機械、輸送分野などで高性能化が進み、素材産業へのニーズも一段と高度化してきた。

工場のオートメーション化、すなわちFA化技術が注目され、有人化機器の開発が進められた。この分野では、バルブ、マニホールドなど、空圧機器部品として、精密鍛造品が需要を伸ばした。鑄造品、ダイカスト品に比べ品質が良く、しかも生産性が高いことから鍛造品が有利だったといえるが、この時期に精密鍛造技術の開発が進んだことが最大の理由だといえるだろう。

特にニアネットシェイプ化の要請が高まり、切削工程の省略などの工数削減を実現する技術の開発が積極的に行われ、溶湯鍛造法などが実用化された。

③新合金の開発

先端分野の需要に応えるため、新合金の開発も盛んに行われた。その一つが高耐摩耗性合金である。それまでの耐摩耗性合金はシリコンを添加したローエックスなどの鑄造用合金が殆どであった。ところが鑄造欠陥による強度の低下、加工性が良くないなどの点で問

題があった。これを解決するために2000系の押出し棒が開発された。しかし耐摩耗性を高めるためシリコンを添加すると铸造性が低下する欠点があったため、これを微細に均一分布させる必要があった。これを解決したのが特殊铸造技術による連続铸造棒であった。

また、炭化けい素やアルミナの繊維で強度、耐熱性、耐摩耗性などを高めたFRMの開発も進められ、溶湯鍛造による成形が始まった。このほか、急冷凝固粉末冶金合金の研究が進められた。このように従来の合金製法とは違った新しい技術が登場し、アルミニウム鍛造品の可能性が大きく広がったのがこの時代の特長だといえるだろう。新素材ブームといわれ始めたこのころ、将来の実用化を目ざし材料開発が盛んに行われたのである。

1.6.6 1985年（昭和60年）～現在

①自動車部品への進出

日本経済の国際競争力が高まり、工業製品の輸出も年々増加した。この代表的なものが自動車であり、自動車メーカーは魅力的なクルマを消費者に届けるため、高性能化を目指し、開発競争を続け、新型車の発表、モデルチェンジが短いスパンで行われた。消費者のニーズも個性化が進み、製品のポジションの明確化が求められるようになった。

このような動向の中で、スポーツカーや高級車のアルミニウム化が加速した。従来は強度などから採用が難しかったボディにも、アルミニウム板が徐々に採用されるようになり、軽量化に大きく貢献するアルミニウムの存在がクローズアップされ始めた。

また同じ頃、地球環境問題の深刻化が報告され、世界各国で自動車の排気ガス規制が法規制化され、燃費効率を向上するための軽量化はまさに時代のニーズとなった。

特に冷間鍛造品では、サスペンション部品への応用が本格化した。この部分には従来鋳鉄が多く使われていた。しかし自動車のバネ下重量の軽減は走行性能の向上に大きな効果があるため、薄肉で十分な強度のあるアルミニウム鍛造品へのニーズが高まり、1986年（昭和61年）に登場したマツダRX7などを始め、ローアーアーム、アップアーアームなどへの採用を開始した。

さらに1990年（平成2年）に登場した日本初のオールアルミボディ車であるホンダNSXではコンプライアンスピボットなどの大型部品がアルミ鍛造品となり、鍛造品は自動車への可能性を大きく広げるものとして期待された。また技術的には、異形押出し棒を用いた温間鍛造などの部品も多く登場した。

②多様化するニーズ

1986年（昭和61年）軽金属協会において、アルミニウム鍛造技術の向上と業界の交流を図ることを目的とし、アルミニウム鍛造委員会（当時はアルミニウム鍛造技術懇談会）が設立され、高度化する需要にこたえていくための活動を開始した。

新しい需要分野の一つに衛星放送がある。衛星放送は1984年（昭和59年）に一般

への放送を開始したのを契機に大きな注目を集め、家庭の中に入り込んだ。この分野では電波を受信するBSアンテナの受信機本体ケースに衝撃押出し品が使われるようになり、その需要を伸ばしている。

また、車体をアルミニウムに替え、大幅な性能向上を図った新型新幹線車両300系では、台車部にはじめてアルミニウム鍛造品の軸箱が採用された。これも航空機、自動車と似たようなアルミニウムによる軽量化の一つであり、またアルミニウム鍛造の技術の進歩を物語る製品例だといえるだろう。

1.6.7 おわりに（期待される将来の製品と技術）

①アルミニウム鍛造品を取り巻く環境の変化

1980年代後半から世界中に広がった地球環境保護の気運は、産業界全体に大きな進路の転換を迫りつつある。人類の生産活動が引き起こしたフロンガスによるオゾン層の破壊、二酸化炭素の排出による温暖化、熱帯林や海洋などの自然破壊など、多くの問題解決を握るのが技術開発であることはいうまでもない。

そして、アルミニウム鍛造品は、その特性を生かして、地球環境問題の解決に大きく役立つことができるのである。その理由として挙げられるのは、まずアルミニウムは鉄に比べて比重が3分の1で、製品の軽量効果が大きい点である。またリサイクル特性にすぐれていることもアルミニウムの大きな特長である。アルミニウム製品を再生して二次地金を作るとき、製造エネルギーは新地金のわずか3%ですむ。このように資源リサイクル効果の大きなものは他に見当たらない。

さらに、熱伝導性、導電性がよく、また塑性加工性にすぐれているため、各種形状を効率よく実現できる特徴もある。このように見てくるとアルミニウム鍛造は、地球環境形の製造技術だといえることができるだろう。

②自動車部品

世界各国の排気ガス規制に対応する燃費効率の向上や快適性を高めるための整備の増加をはたすため、車体の軽量化技術が注目されている。なかでも、最も大きな効果が期待されるのが材料の代替によるものであり、部品のアルミニウム化はその顕著な例である。

アルミニウム鍛造品の採用が期待されるのは、おもにサスペンション部品やエンジン部品である。代表的な製品にロアーアーム、アッパーアームなどがあるが、大型部品の薄肉化、軽量化が図れることから、冷間鍛造品は今後ますます増加することだろう。

エンジンでは、コンロッド、ピストンなどでFRMや粉末鍛造などが検討されている。また最近注目されているのは安全装置で、ABSブレーキ部品、エアバッグ部品など、アルミニウム鍛造品の製品化が進められており、今後の需要増大が期待される。さらに空調部品としてコンプレッサーのピストン、斜板等がある。以上の分野では生産効率の向上も

大きな課題であり、ニアネットシェイプを実現するためのいっそうの技術開発が求められる。

③エレクトロニクス製品

エレクトロニクス機器部品に使われるアルミニウム冷間鍛造品は、おもに軽量化、放熱性などの点から採用されている。また高集積化に対応する精密製品の需要も高い。

代表的な製品としては、コンピュータ記憶装置のスピンダルモーターのハブや、モーター類が挙げられるが、このような回転部品、静止部品としての用途は、OA機器、オプトエレクトロニクス機器などにもますます広がることが予想される。

④精密化

ニアネットシェイプからネットシェイプへと要求精度が高まっており、たとえば、寸法精度は0.1ミリオオーダーから0.01ミリへといっそうシビアになりつつある。これを効率よく生産してコストダウンを図るために後加工を省略する方向へすなわちネットシェイプがクリアできる技術の開発が求められている。

参考文献

- 1) 宮本一穂：鍛造技報,17(1992),33.

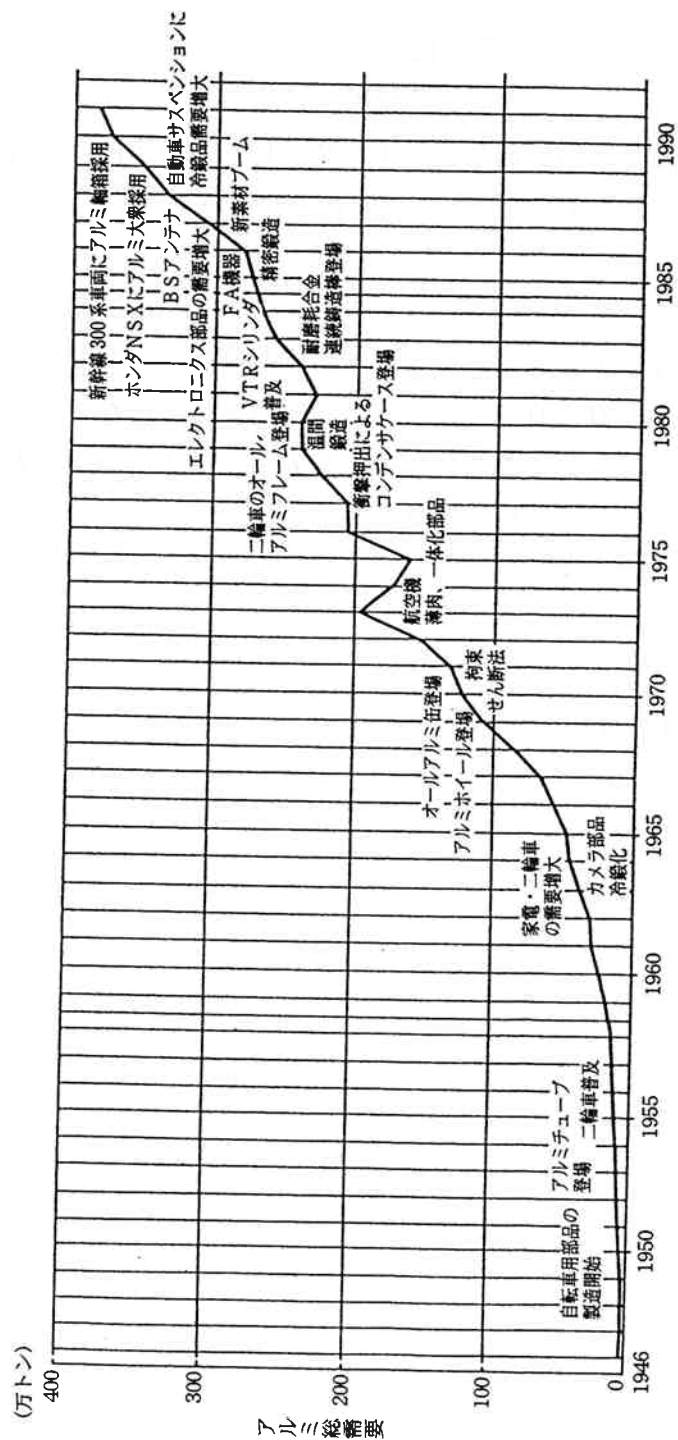


図 1.8 アルミニウム鍛造品と技術の歴史

2、 アルミニウムの製造法

2・1 アルミニウム (Al)

アルミニウム (Al) は規則正しく立体的に配列した結晶を作っている。金属原子の周りには固定した電子が取巻き、その外側では自由な電子が格子の中で運動している。

表 2・1 アルミニウムの主なる特性

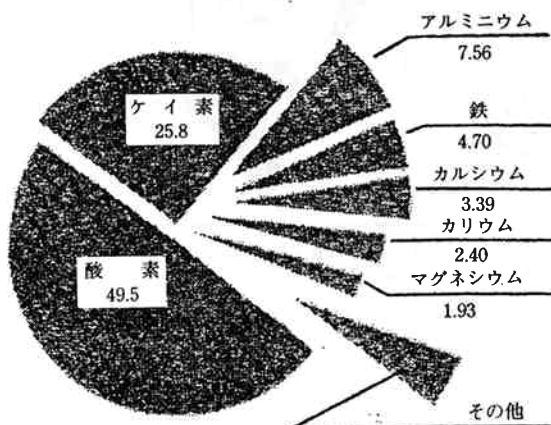
元素記号		Al
原子番号		13
原子量		26.97
比重	20℃ 99.996%	2.712
		2.6996
融点 (凝固点)	99.7%	658.90 ℃
	99.75%	658.96 ℃
	99.996%	660.00 ℃
融解潜熱		79.6 cal/g
表面張力		520 dyn/cm
沸騰点		2060 ℃
熱伝導度		0.51~0.53 cal/cm・S・℃
電気伝導度 20℃		38.1 m/Ω mm ²
比電気抵抗 20℃		0.02669 Ω mm ² /m

アルミニウムは地殻、すなわち地球の表面層に隠れている。地殻の半分は酸素、25%は Si (シリコン)、その次はアルミニウムで約 8% を含み、鉄よりも量が多く、銅、鉛、亜鉛などと比べればはるかに多くある。

ただ鉄は鉄鉱石の中に鉄分が 60% 以上もあるのに対し、アルミニウムの場合は最も含有量の多いものでも 35% 位である。後述するがアルミニウムを 1 トン造るのに、その原料は約 4 t も必要とする。

地殻に含まれる成分

クラーク数



地殻構成図 (クラーク数)

地殻表層部の各元素存在比 (重量%)

酸素	49.5
珪素	25.8
アルミニウム	7.56
鉄	4.70
カルシウム	3.39
ナトリウム	2.63
カリウム	2.40
マグネシウム	1.93
水素	0.87
その他	2.09

図 2・1 地殻構成図とクラーク数

2・2 アルミニウムの故郷

アルミニウムの故郷は世界中の土の中である。私達の工場敷地の土中にも8%位のアルミニウムが含まれているが、金属とするのに大変な手間と経費が掛かるので使われない。

昔、フランスのレ・ボーという村で発見された鉱石はアルミニウム分を30%以上も含む高純度のものであった。これを発見した所の名前をとってボーキサイト(Bauxite)と名付けたが、世界中の推定埋蔵量は70~80億トンといわれ、赤道付近に多く存在する。

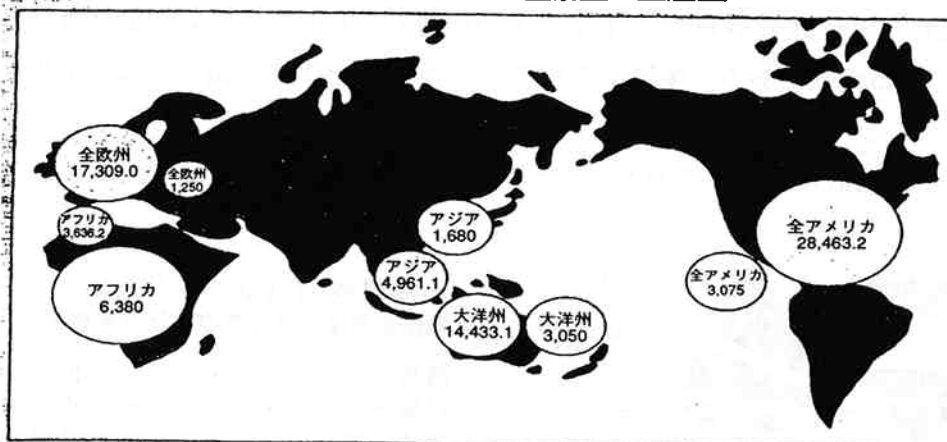
中南米地方、ヨーロッパ、アフリカ、東南アジア、オーストラリアに多くあり、日本にはまったくない。この他にもミョウバン石とか、バン土ケツ岩など、アルミニウムの原料となる鉱石は無尽蔵にあるが、ボーキサイトが最も適した原料とされている。

日本で使うボーキサイトは東南アジア、オーストラリア、インドから運ばれて、普通レンガ色をしているが、中には白いボーキサイトもある。

表2・2 主なアルミナ鉱石

鉱石名		化学式
ボーキサイト	Bauxite	$Al_2O_3 \cdot H_2O \cdot Al_2O_3 \cdot H_2O \cdot 3H_2O$
バン土けつ岩	Aluminous-Shale	$Al_2O_3 \cdot H_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$
粘土	Kaolinite	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$
リン酸バン土	Aluminium-Phosphate	$Al_2O_3 \cdot (P_2O_5)_m \cdot Al_2O_3 (P_2O_5)_n$
明バン石	Alunite	$K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$
白雲母	Muscovite	$K_2O \cdot 3Al_2O_3 \cdot 6SiO_2 \cdot 2H_2O$
イヤスポ	Diaspore	$Al_2O_3 \cdot H_2O$

全世界ボーキサイト埋蔵量・生産量



○ ボーキサイト推定埋蔵量 (含潜在) (100万 m.t.) 全世界計 154 億トン
○ 1971 年ボーキサイト生産量 (1000m.t.) 全世界計 約6,880 万トン

構成比	埋蔵量	1972 年生産量
全欧州	8.1%	25.2%
アジア	10.9%	7.2%
アフリカ	41.3%	5.3%
全アメリカ	19.9%	41.4%
大洋州	19.8%	20.9%
自由世界	89.5%	14.0%
共産圏	10.5%	86.0%

図2・2 ボーキサイトの埋蔵量と生産量

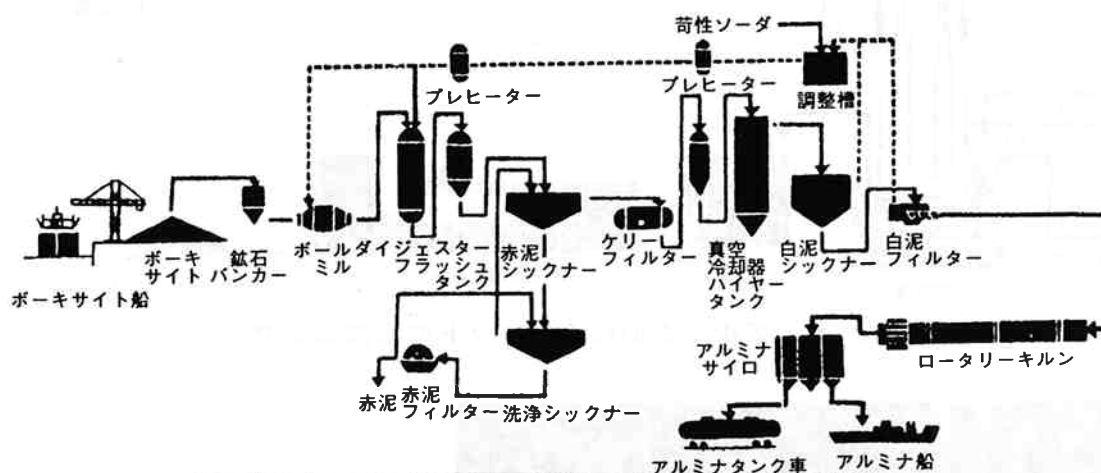
2・3 アルミナ(Al_2O_3)

ボーキサイトは船から陸上げされ、ベルトコンベアーに乗って工場へ入り、クラッシャーで細かく砕かれ、苛性ソーダと混ぜ、高温高压ガマの中でアルミナ分を溶かし、アルミナ分と溶けないものに分離される。

これがアルミン酸ソーダ(NaAlO_2)と呼ばれるもので、それをバイヤータンクの中に入れ、徐々に冷して沈め、真空炉過機でアルミナ分と苛性ソーダに分ける。更にロータリーキルン中で高温で焼き、無水の白い粉のアルミナにする。この工程のあらまきは次のとおりである。

表 2・3 ボーキサイトの主成分

ボーキサイト	4.1 トン	⇒	アルミナ	1.9 トン
苛性ソーダ	0.1 "		氷晶石	0.03 "
石灰	0.8 "		弗化アルミ	0.03 "
重油	0.4 "		電極	0.6 "
			電 気	17,000



採掘中のボーキサイト(露天掘り)

図 2・3 ボーキサイトからアルミナの出来るまで

2・4 インゴット

アルミナエ場から、アルミナは電解工場へ送られる。アルミナエ場では電気はあまり使わないが、電解工場では非常にたくさんの電気を必要とする。アルミナエ場ではボーキサイト4 t、石灰、それに苛性ソーダを加えて、アルミナ2 tができる。

この2 tのアルミナに氷晶石を加えて電気分解すると電力約1.7万キロワット時を消費して、1 tのアルミニウムが出来る。これは60Wの電球を38年間つけっぱなしに出来る電気量で、アルミニウムの製錬工場は人口50万人の中都市の電力消費量に匹敵する。

このほかにフッ化(弗化)アルミ、電極などの副資材が必要で、出来上がったアルミニウムは鑄造されてインゴットとなる。

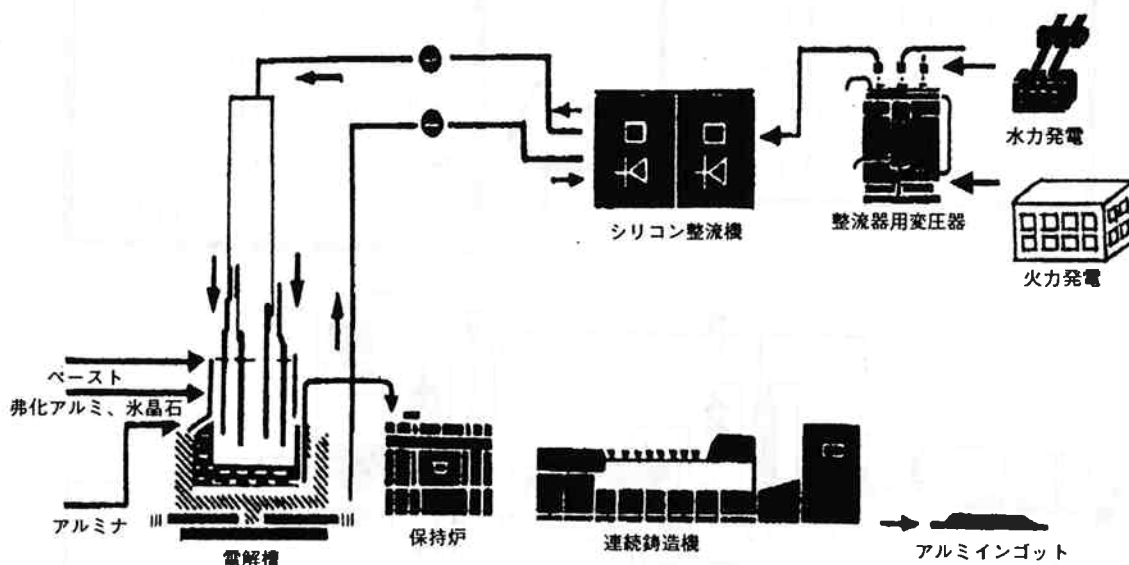


図2・5 アルミナからインゴットの出来るまで



アルミニウム電解工場



インゴット

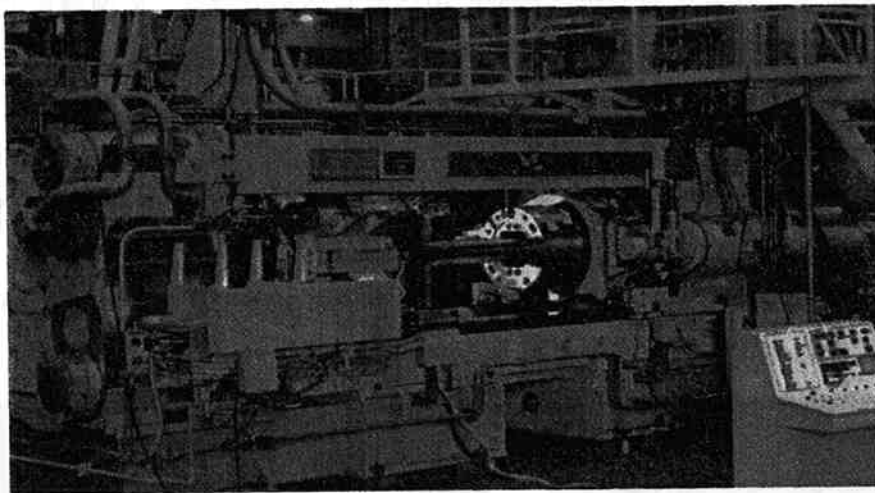
図2・6 アルミニウム電解工場とインゴット

2・5 地金から製品へ

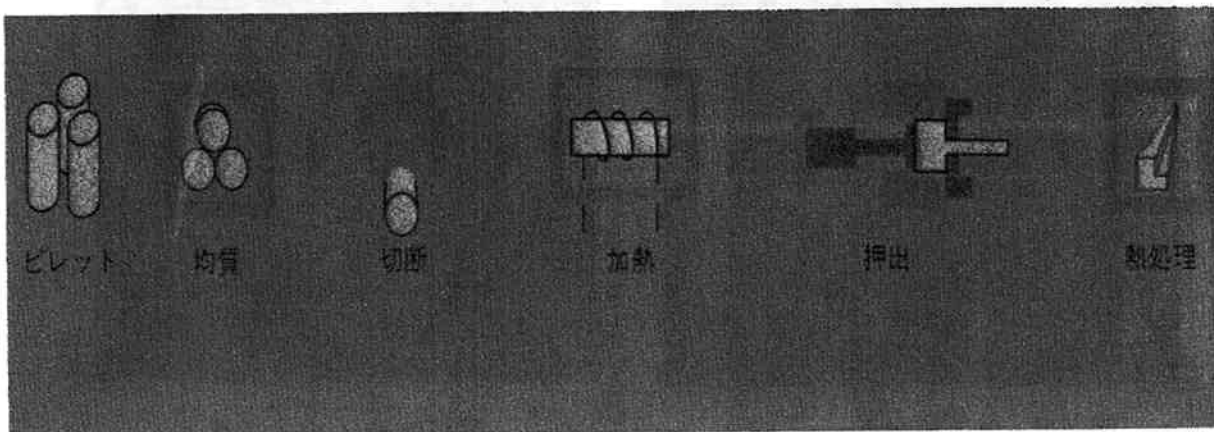
インゴットを加工して色々な製品を造るが、どんな物を造る場合でも1度はその地金を溶かして合金を造る事になる。合金については後述することにして、どの様にして形材、管、板、箔あるいは電線や鋳物ができるかを説明してみよう。

形材、棒、管はトコロテンを作るのと同じことである。トコロテンは4角に固められた寒天を網の付いた箱の中に入れ、上から押出すと糸のようになって出てくる。アルミニウムの場合は他の金属より軟らかいので、特殊鋼でできたダイ(金型)の穴を通して押出すことになる。ダイの型を変えれば、どんな形のものでも自由に造れることができる。

インゴットを溶して、押出し用に造った合金をビレットと言う。ビレットは5～8mの柱状のものだが、これを40～50cmに切断して押出し機に入れる。このビレットを加熱炉に入れて450～500℃に加熱し、押出し機にかけて、所定の断面形状のダイを通して押出し、ストレッチャーで、曲りや捩じれを矯正して仕上げる。



押出し機



押出し工程

図 2・7 押出し機と押出し工程

次に板、箔はどうして造るかだが、これはうどんを作るのに似ている。うどんは小麦粉と水を混ぜた固まりを、めん棒を使って伸ばし、板の様にして作るが、アルミニウムの場合も溶した地金を長方形の箱型(スラブ)にして、それをロール機にはさんで段々薄くする。

最初の厚さが数10cmもあったものが、数分で数ミリの板になる。これをさらに薄くしたものが箔であり、0.15mm以下の薄い板を箔と呼んでいる。

線はどうして造るかと言うと、短いものは棒を更に細く伸ばすが、電線の場合は長い線が必要なので、サオとよばれる棒状のアルミ(ワイヤーバー)を熱して、ロールにかけ荒引き線を造り、さらにそれをダイにかけて次第に細くする。そして、最後に糸をよるようになれば電線ができる。

鍛造というのはカジ屋が刀を金ヅチで叩くのと同じことで、これを機械で叩く事になる。そのために何千トンというプレスを使い、強度が高く、伸びの大きい素材を形づくる。

粉は箔のクズを使い、スタンプ法は鋼製のウスの中に原料を入れてキネで叩き、ボール法はたくさんの鋼球の中で細かく砕いて造る。この他に飛散法、粒化法、霧吹き法等がある。

鋳物は溶かしたアルミニウムを砂で作った型の中へ流し込んで造る。砂型鋳造では同じ形の物を木で作り、これを枠の中に入れ、その回りに砂を詰め込んで行く。中の木型を取り出すため真中から2つに分け、砂をつめ終ったら木型をとり出し、アルミ溶湯をつぎ込み、湯が固まってから、砂を壊せば鋳物ができることになる。

この他に鋳鉄の型を使ったもの(金型鋳物)や、合成樹脂の混った砂で型を作ったもの(シェルモールド)、ロウ型のもの(ロストワックス)等がある。

ダイカストは特殊鋼製の金型をとり付けたダイカスト機によって圧力をかけ、鋳物と同じように造る。精密で、大量生産を必要とするものに適している。

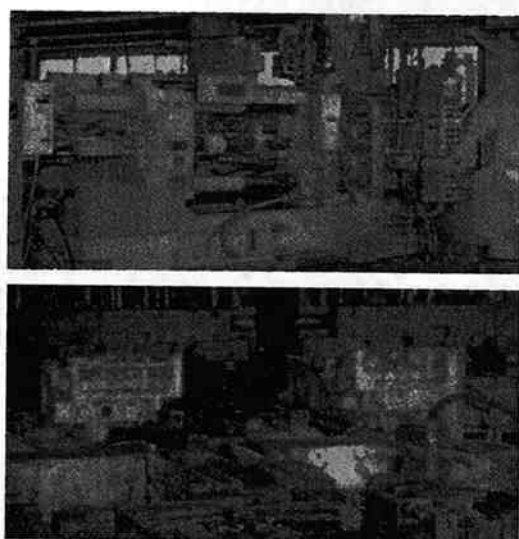
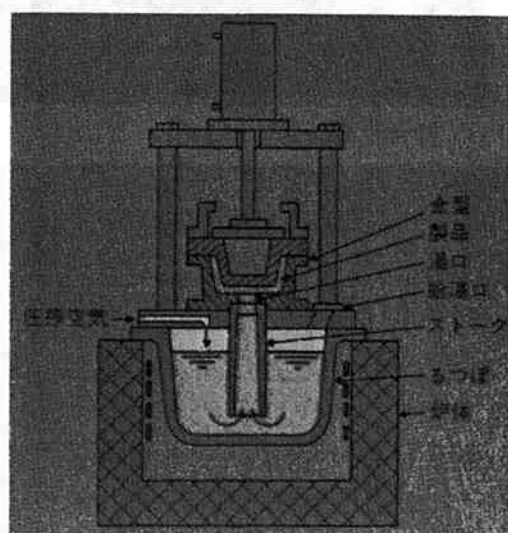


図 2・8 金型鋳造と
ダイカスト鋳造



低圧鋳造イメージ図
図 2・9 各種鋳造設備

今迄の話で押出し形材、板、電線、あるいは鋳物をどの様に造るかが判ったと思う。
ところでアルミサッシや鍋、ヤカンなどがどの様に造られるのかに話を移す。アルミサッシは押出し形材を切断し、機械加工をして部品を取り付けて組立てて造ることになる。

鍋や弁当箱はプレス機にアルミ板を入れ、上方からプレスすると直ぐできる。プレス機の中に必要な型を入れれば、出来上ったものが抜ける形状ならば、何でも製造できる。

プレスだけでできないものにヤカンがある。ヤカンはプレスして造った円筒を回転機械、スピニング機にかけて絞る。こうしてヤカンの形を造り、手と口を溶接すれば出来あがる。

2・6 再生地金

アルミニウムの種々の製品を造る段階で、スクラップが発生する。長尺の形材を切断した残がい、キズをつけて商品価値を失ってしまった不良品、使用不能となったアルミニウムの治具などはスクラップになる。

アルミニウムのもう1つの特徴に、スクラップの利用価値が高いことが上げられる。スクラップを再溶解して再生地金を造り、主に鋳物用合金として使用する。スクラップの回収経路を示すと次の様になる。

スクラップ—材質選別—容量圧縮—溶解—脱ガス・脱酸—鑄造—再生アルミニウム

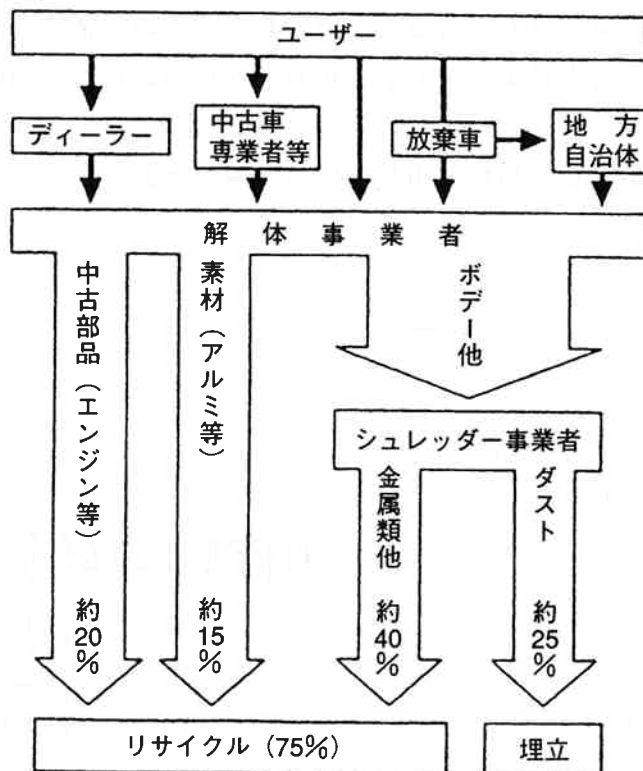


図 2・10 使用済み自動車のリサイクルフローの概要

出典：野沢：軽金属学会 51 回シンポジウムテキスト

3、アルミニウムの使われ方

3・1 アルミニウム合金とは

アルミニウムはその用途によって、化学的、物理的、機械的性質を向上させるため、マグネシウム、マンガン、亜鉛、銅などを添加して各種のアルミニウム合金を造ることができる。合金の種類は200種類を越えている。

普通のアルミニウムは一般に純アルミとよばれるもので、アルミ分が99～99.8%位からなり、残りの1～0.2%は鉄、ケイ素等の不純物が僅かずつ含まれていて、強さを余り必要としない製品とか、展延性を必要とする箔、電線などに使われる。

99.9～99.99%のものは高純度アルミといい、特殊な用途に用いられます。サッシなどに使われる押出し形材は、マグネシウム、ケイ素を添加して、押出性、耐食性を良くしてある。

最も強い材料はジュラルミンで、鋼材と同じ、合金によってはそれ以上の強さを有する。この合金は純度の高いアルミニウムの中に、銅、マンガン、マグネシウムなどを添加して熱処理を行ったもので、強さを必要とする程度によってその配合量を変え、航空機などに使われる。アポロ等の宇宙衛星に使われた合金も、この合金の一種である。このアルミニウム合金をジュラルミンと言うが、耐食性が余り良くないので、外側を純アルミなどで覆う場合がある。また、この仲間として超々ジュラルミンがある。

船舶に使われるアルミニウムは、強い耐食性が要求される。このためマグネシウムを主体としマンガン、クロムを少量添加した合金を使う。特に、この合金は、海水に対しては抜群の耐食性を持っている。合金は鍛造、押出し、板材などに使われる展伸材と鋳物用の鋳物合金、更には粉末材がある。これを次に示す。また鍛造用合金の代表的なものを表3・1に示した。図3・1は鍛造用合金の伸びと引張強度の相関図である。

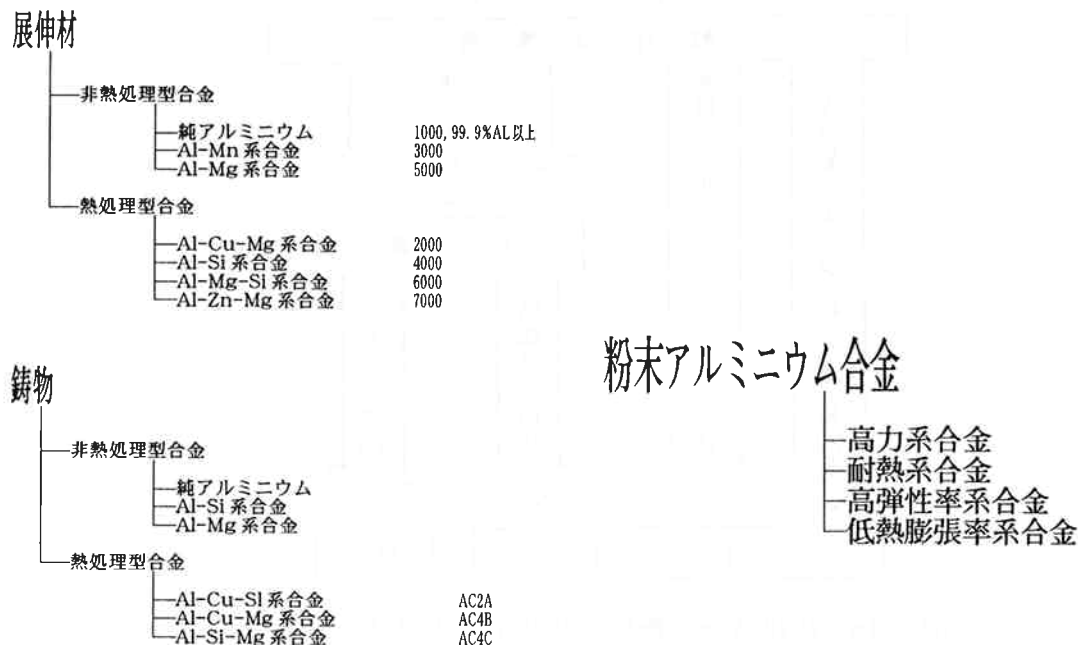


図3・1 合金の種類とJIS分類

表 3・1 鍛造用合金の組成と代表的な用途

各種合金と代表的用途

合金/組成	Mg	Mn	Si	Du	Cr	Zn	Fe	OTHER	代表的用途
1100								99Almin.	熱交換器, 貯蔵タンク, 化学機器
2014	0.2-0.8	0.4-1.2	0.5-1.2		3.9-5.0				重荷重用鍛造品, 航空機取付金具 車両, オートバイ
2024	1.2-1.8	0.3-0.9	0.5	3.8-4.9	0.1	0.25	0.5		車両, オートバイ
2018	0.45-0.9	0.2	0.9	3.5-4.5	0.1	0.25	1.0	Ni1.7-2.3	航空機用シリンダーヘッド, ピストン
2218	1.2-1.8	0.2	0.9	3.5-4.5	0.1	0.25	1.0	Ni1.7-2.3	同上, ジェットエンジンインペラー, コンプレッサーリング
2618	1.3-1.8		0.1-0.25	1.9-2.7	Ni0.9-1.2	0.1	0.9-1.3	Ti0.04-0.1	航空機用エンジン部品
2219		0.2-0.4		5.8-6.8		0.1-0.25	0.05-0.15	Ti0.02-0.1	800℃までの構造部品, 航空機, ミサイル部品
2025	0.5	0.4-1.2	0.5-1.2	3.9-5.0	0.1	0.25	1.0	Ti0.1	プロペラ翼, 高力用鍛造品
3003		1.0-1.5							建築部品, 金物
4032	0.8-1.3		11-13.5	0.5-1.3	0.1	0.25	1.0	Ni0.5-1.3	航空機用ピストン, 他のエンジン部品
5083	4.0-4.9	0.3-1.0	0.4	0.1	0.05-0.25	0.25	0.4		航空機用構造部品
5456	4.7-5.5	0.5-1.0			0.05-0.2				航空機ギア部品, 海洋部品, 圧力器
5056	4.5-5.6	0.05-0.2	0.4	0.1	0.05-0.2	0.1	0.4		光学機器, 電機, 装飾部品
6151	0.45-0.8	0.2	0.6-1.2	0.35	0.15-0.35	0.25	1.0	Ti0.15	機械, 自動車部品
6061	0.8-1.4	0.6-1.1	0.9-0.8	0.7-1.2	0.4	0.25	0.5	Ti0.2	トレーラ, トラック車両部品, 高力耐食部品
7001	2.6-3.4	0.2	0.35	1.6-2.6	0.18-0.4	6.8-8.0	0.4	Ti0.2	高力航空機部品, アーチェリ用矢
7075	2.1-2.9	0.3	0.5	1.2-2.0	0.18-0.4	5.1-6.1	0.7	Ti0.2	航空機構造部品
7076	1.2-2.0	0.3-0.8	0.4	0.3-1.0		7.0-8.0	0.6	Ti0.2	航空機プロペラ翼

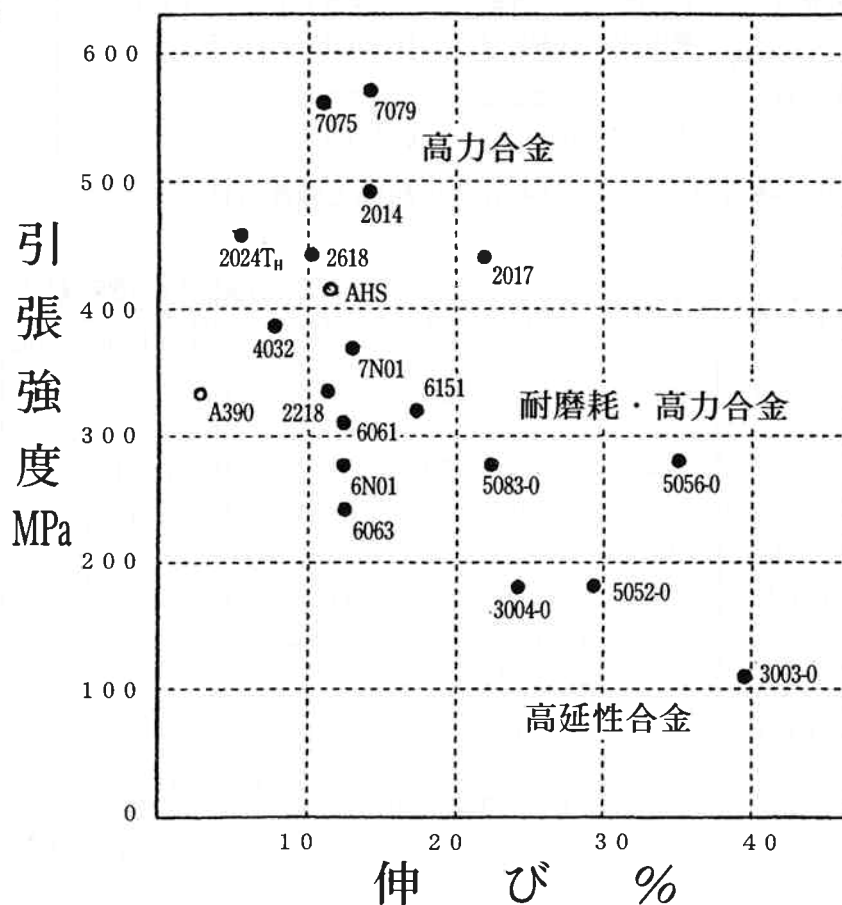


図 3・2 鍛造用アルミニウム合金の強度と伸びの関係

ここで、今一度鍛造用合金を勉強しよう。表 3・2 にあるように用途に応じて実に様々な合金が使用されている。表 3・3 は合金組成と強度特性を示したものである。表 3・4 は鍛造用合金の各温度での特性であり、この様な特性を参考にして鍛造性を決定する。

表 3・2 鍛造用アルミニウム合金と用途

鍛造用アルミ合金は、JIS H4140 に示されているが、用途に応じてよく使われている合金は次のようになる。

アルミニウム合金の選択基準

分類	主な用途	合金系
高応力部材	航空機、過給機 戦車、ホイール	A 2 0 1 4、A 2 0 1 7 A 7 0 7 5、A 7 0 7 9
高温部材	ピストン、油圧シリンダ シリンダヘッド	A 2 0 1 8、A 2 2 1 9 A 2 6 1 8、A 2 2 1 8
低熱膨張材	ピストン、 V T R シリンダヘッド	A 4 0 3 2、V S 3 0 * V S 8 0 *
耐食用部材	自動車部品、油圧部品 機械部品、溶接部材	A 6 0 6 1、A 6 1 5 1 A 5 0 5 2、A 5 0 8 3
耐磨耗部材	カーブーラ、変速機 エンジン部品	A 3 9 0 A H S *

表 3・3 鍛造用アルミニウム合金の組成と強度特性

合金	CU	Si	Mn	Mg	Cr	Ni	熱処理 記号	引張強度 kg/mm ²	耐力 kg/mm ²	伸び %
2014	3.9/5	0.5/1.2	0.4/1.2	0.2/0.8	0.1	---	T4 T6	39 46	21 39	11 6
2018	3.5/4.5	0.9	0.2	0.45/0.9	0.1	1.7/2.3	T61	39	28	7
2618	1.9/2.7	0.1/0.23	---	1.3/1.8	---	0.9/1.2	T61	41	32	4
2219	5.8/6.8	0.2	0.2/0.4	0.02	---	0.05/0.15	T6	41	27	8
4032	0.5/1.3	11/13.5	---	0.8/1.3	0.1	0.5/1.3	T6	37	30	3
5083	0.1	0.3	0.4/1	4.0/4.9	0.05/0.25	---	F	28	13	16
6061	0.15/0.4	0.4/0.8	0.15	0.8/1.2	0.05/0.35	---	T6	27	25	7
6151	0.35	0.6/1.2	0.2	0.45/0.8	0.15/0.35	---	T6	31	26	10
7075	1.2/2.0	0.4	0.3	2.1/2.3	0.18/0.28	Zn 5.1/6.1	T6	53	46	7
7090	0.6/1.3	0.12	---	2.0/3.0	---	7.3/8.7	T6	50	42	7

表 3・4 鍛造用アルミニウム合金の各温度における耐力値と伸びの関係

合金/温度 耐力 N/mm ²	-200	-90	-30	24	100	150	200	250	300	350	液固相温度
1100-O	42	35	35	37	33	33	27	24	21	16	646-657
2014-T6	478	429	423	420	392	224	84	56	39	25	507-638
2017-T4	311	307	302	283	259	210	120	67	35	25	513-641
2218-T6	315	310	292	289	282	279	91	45	21	19	504-635
2024-T4	342	338	334	330	315	259	154	70	35	24	502-638
3003-O	59	49	46	43	40	37	31	28	23	19	543-654
4032-T6	355	348	327	323	291	262	142	75	34	27	532-571
5052-O	159	143	143	130	129	129	77	56	35	21	593-649
5056-F	161	152	152	148	142	141	91	68	48	31	568-638
6061-T6	320	285	282	280	259	210	112	35	18	14	582-652
6063-T1	193	190	190	186	165	140	45	25	17	14	616-654
6063-T6	225	220	218	217	196	140	46	25	18	14	616-654
7005-T6	567	511	508	504	420	147	84	60	46	32	615-650
7075-T6	588	524	520	511	472	236	118	59	32	28	476-638
伸び %											
1100-O	57	50	46	45	55	65	70	80	90	95	546-657
2014-T6	23	22	19	11	16	20	38	46	48	58	507-638
2017-T4	22	21	19	15	18	20	30	40	63	81	513-641
2218-T6	19	18	17	13	16	16	17	20	37	57	504-635
2024-T4	20	13	17	14	16	17	18	28	31	53	502-638
3003-O	48	42	41	38	40	44	50	52	58	60	643-654
4032-T6	13	11	11	7	8	8	9	10	21	36	532-571
5052-O		33	30	24	27	29	47	54	67	138	593-649
5056-F		40	35	31	38	46	51	78	96	160	568-638
6061-T6	31	27	25	11	14	19	24	28	38	50	582-652
6063-T1			16	12	15	16	18	23	42	66	616-654
6063-T6			16	12	14	15	18	21	40	62	616-654
7005-T6	18	18	16	15	18	24	27	42	52	85	615-650
7075-T6	13	12	11	11	16	21	23	38	46	76	476-638

4. アルミニウム鍛造部品の使われ方

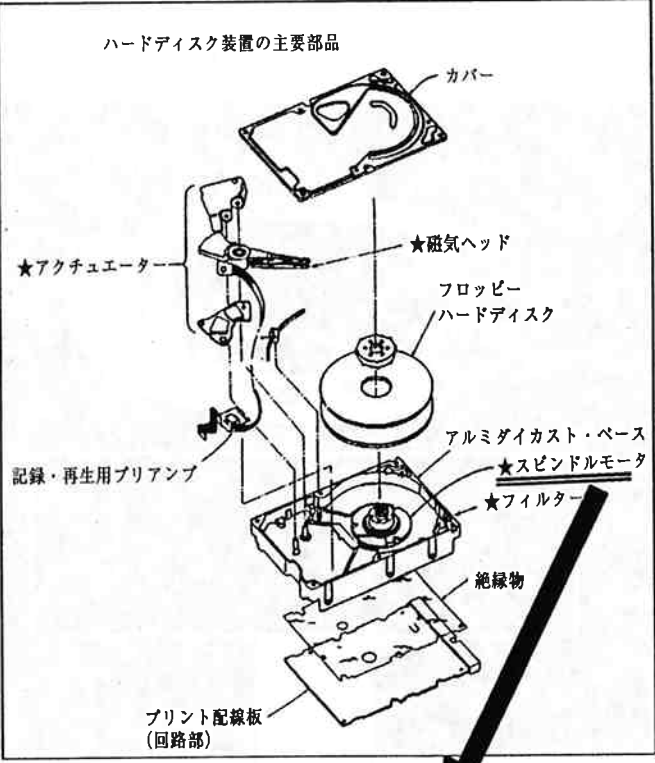
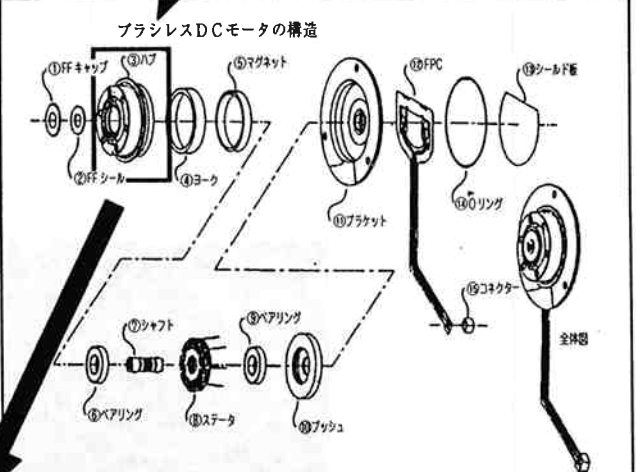
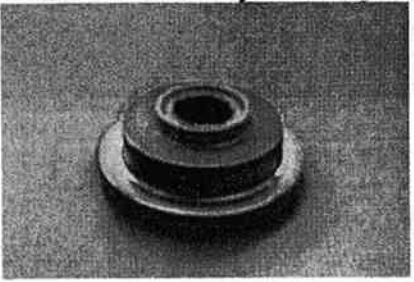
アルミニウム鍛造品は多くの製品に採用されているが、高強度・高品質さらには軽量等の理由から、自動車用鍛造ホイールなど一部を除きほとんどが製品内部で使用されており、鍛造品がどこに使われているか、わかりにくい場合が多い。

本章では、表4.1に示す各製品業界別にアルミニウム鍛造部品にはどのようなものがあるか、また製品のどの部分に使われているかについて説明する。

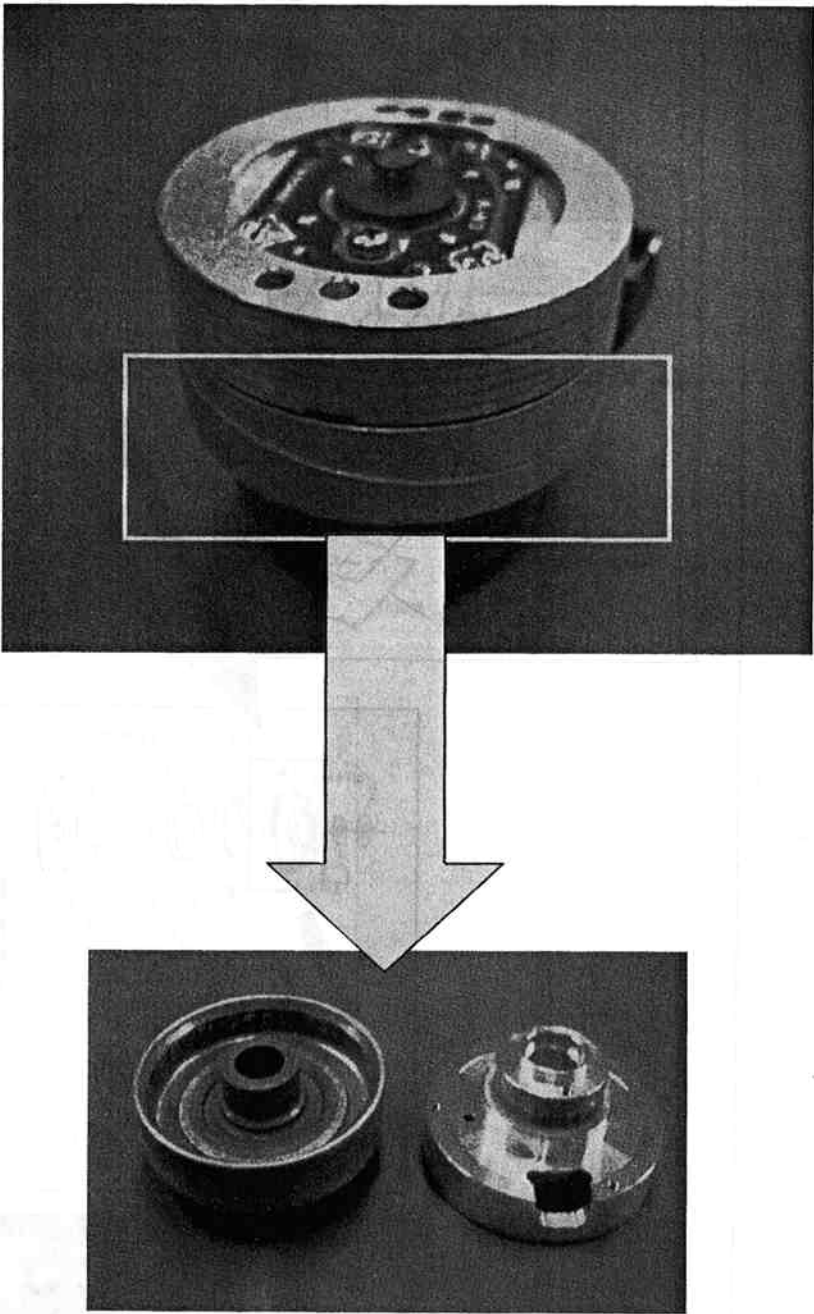
表4.1 アルミニウム鍛造品の業界別部品例

No.	業 界	代表的部品例
4.1	パソコン	ハードディスク内モーターハブ
4.2	V T R	ビデオシリンダー
4.3	自動車	ホイール、ロア・アーム、アッパー・アーム、コンプライアンス
4.4	二輪車	ハンドルボス、ステアリングボトムブリッジ、クッションコンロッド
4.5	航空機	窓枠、バルブボディ、結合金具
4.6	コンプレッサー	ピストン、斜板
4.7	レジャー、スポーツ	ゴルフヘッド、自転車クランク／ハンドルレバー

4.1 パソコン(ハードディスク用モーターハブ)

項目	モーターハブの構造
HDD装置 主要部品	ハードディスク装置の主要部品 
ブラシレス モーター の構造	ブラシレスDCモータの構造 
鍛造品	 鍛造品(上)  鍛造品(下)

4.2 VTR (ビデオヘッド用シリンダー)

項目	ビデオシリンダー製品と鍛造製品
ビデオ シリンダー 製品写真 ビデオ シリンダー 鍛造品	 ビデオ下シリンダー鍛造品

4.3 自動車

アルミニウム鍛造部品の自動車への適用は、ホイール、アーム類、ヨーク、ABSの足廻り部品や、エアコン関連の部品などがある。

表4.2に自動車に用いられているアルミニウム鍛造部品を示す。

表4.2 自動車に用いられているアルミニウム鍛造部品例¹⁾

熱間鍛造品

名 称	分 類	材 質	重量 (g)	要 求 特 性
ブリッジ	——	A2014	800	強度
ピストン	往復運動部品	A4032	1,000	高温強度、耐摩耗性
バルブ	静止部品	A6061	152	強度、切削性、軽量化
油圧ポンプボディ	——	A390	190	疲労強度、破壊靱性
一体ホイール	回転部品	A6061	11,000	強度、耐食性、外観
ホイールディスク	回転部品	A6061	2,500	外観、熱伝導性
センターキャップ	回転部品	A6061	2,990	外観、熱伝導性
ピストン、カーラー	往復運動部品	A390	200	高温強度、耐摩耗性
フランジ	静止部品	A2017	220	軽量化

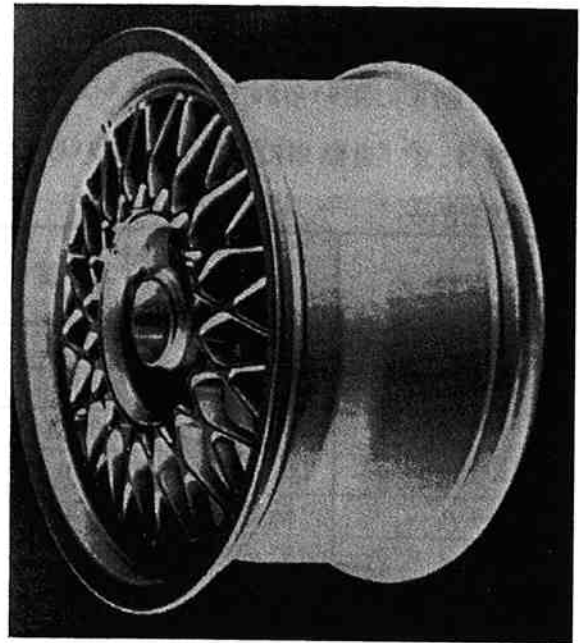
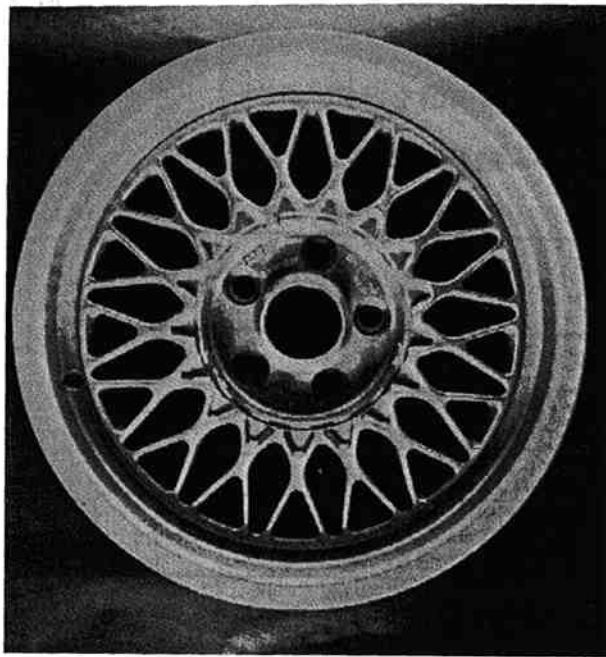
冷間鍛造品

名 称	分 類	材 質	重量 (g)	要 求 特 性
スリーエッジジョイント	静止部品	A6061	41	軽量化
ダンパスクリュー	静止部品	A2017	32	軽量化
マスタリンクピストン	往復運動部品	A6063	88	強度、耐食性、耐摩耗性
レバタンクキャップ	——	A6061	172	耐食性、溶接性、破壊靱性
ピストンバルブ	——	A5056	53	高温強度、耐摩耗性
コップレッサ用ピストン	——	AHS	20	軽量化、耐圧性

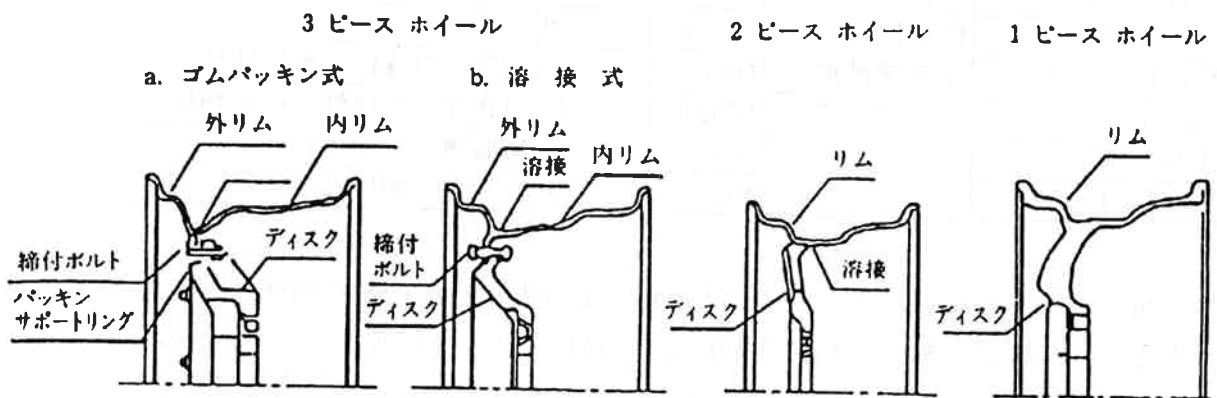
アーム類、ホイールなどの足廻り部品は重要保安部品のため、強度、靱性、耐食性かつ高品質であることが必要であり、また足廻り部品の軽量化は、走行性能を向上させるため、アルミニウム鍛造品や溶湯鍛造品が用いられることが多い。

ホイールについては、コスト・デザイン性から生産量のほとんどは一体鍛造品であるが、軽量を重視した車にはアルミニウム鍛造品が用いられている。

図4.1にアルミニウム鍛造ホイール、図4.2にアルミニウムサスペンション部品を示す。

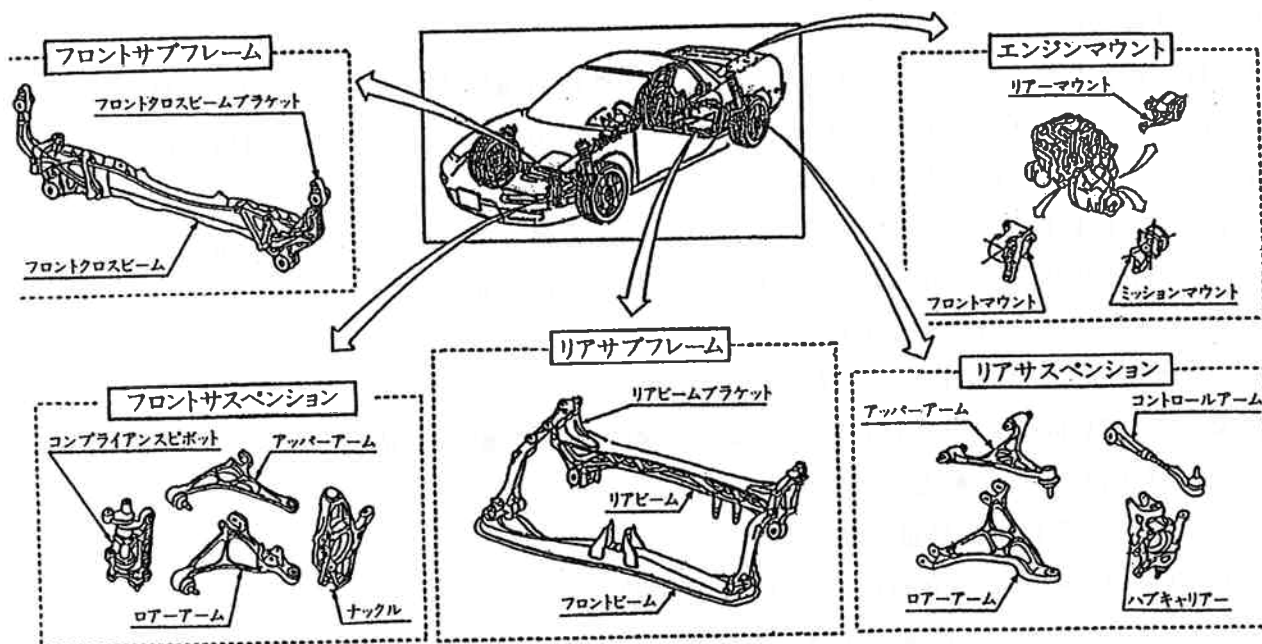


a) 鍛造一体ホイール (A 6 1 5 1)

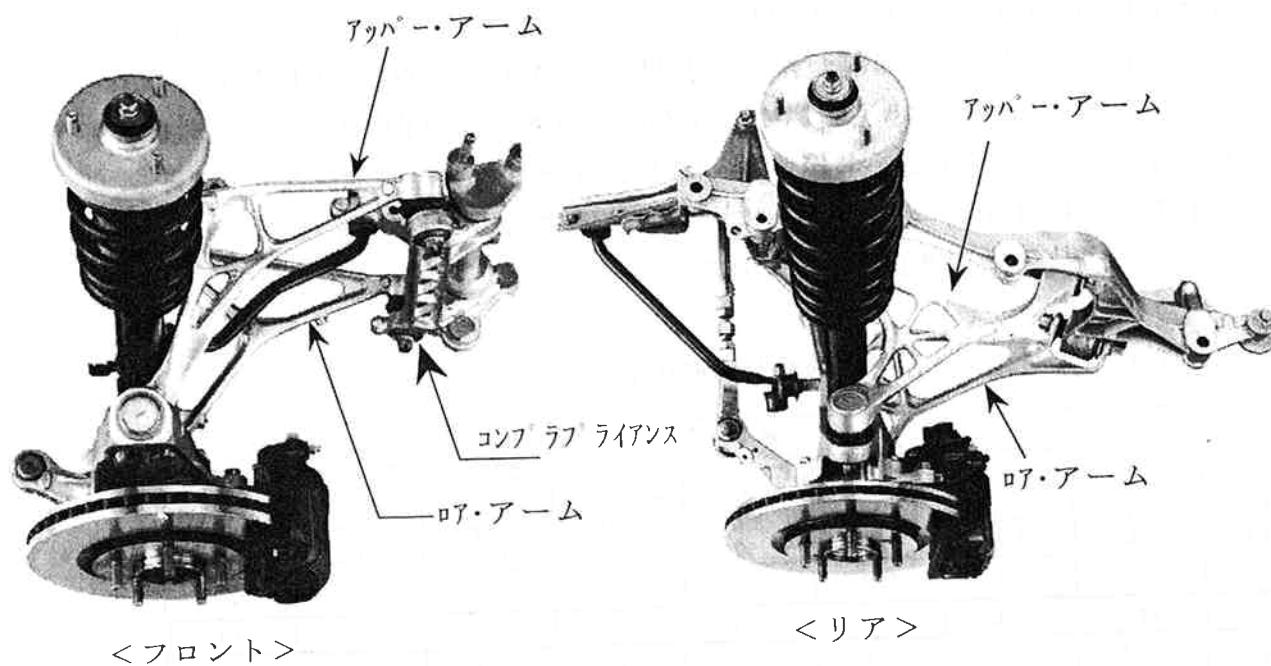


b) アルミホイールの構造図

図4.1 アルミ鍛造一体ホイール外観とアルミホイールの構造図^{2) 3)}



<アルミニウムサスペンション部品>



※写真中矢印で示す部品がアルミニウム鍛造品

図4.2 アルミニウムサスペンション部品 (ホンダ NSX) 4) 5)

4.4 二輪車

4.4.1 二輪車のアルミニウム鍛造部品

二輪車では、軽量化だけでなく一つひとつの部品に外観も重要となってくるので、自動車に先駆けて早くからアルミ化が進められてきた。表4.3から、二輪車の材料構成比率が自動車に比べ格段に高いことがわかる。

特に、オフロードレーサー(モトクロス)車は、軽量化、部品強度が最優先され、高強度、高品質のジュラルミン系(JIS2000系, 7000系)合金のアルミ鍛造部品が多用されている。

二輪車のアルミ鍛造部品の採用理由を以下に示す。

- ・ステアリングボトムブリッジ(2000系)……軽量、高強度
- ・フレームジョイント部(7000系)……軽量、高強度、溶接強度、光輝アルマイト色調
- ・マフラー外筒(5000系)……軽量、耐食性、光沢
- ・クッションアーム(7000系)……軽量、高強度
- ・クッションコンロッド(2000系, 7000系)……軽量、高強度
- ・ハンドルボス(2000系)……軽量、高強度、高靱性

4.4.2 今後の動向

二輪車のアルミ化は、'80年頃から車体、足回り系部品(ホイール、フレームなど)にアルミ合金が採用され急速に進行したが、現在アルミ化は一段落した状況となっている。

現在、二輪車を取りまく状況は『低排ガス、低燃費、低騒音、安全性、コスト低減、リサイクル性』などの対応である。これら対応のため軽量、高強度、高品質かつリサイクル性に優れるアルミ鍛造品のニーズは高いが、適用拡大には何といても第一に低コスト化である。素材コスト低減、工程簡略化、ニアネット化による後工程(機械加工)の省略など、今後更なる低コスト化のための生産技術開発が望まれる。

表4.3 二輪車、四輪車の材料構成比率⁶⁾

タイプ	二 輪 車					四 輪 車		
	スクーター	オンロード ネイキッド	オンロード スポーツ	オフロード レーサー	オンロード スポーツ	乗 用 車	スポーツ カー	1992年 普通小型車 原材料比 (自工会)
排気量 cc	50	400	1100	250	750	2000	3000	
重量 kg	65	186	287	97	210	1270	1350	
鉄	60.1	57.0	55.4	51.2	47.0	57.5	46.6	72.3
アルミ	12.5	26.0	23.8	28.7	35.6	6.8	31.3	6.0
非鉄	4.4	3.0	2.6	1.2	3.0	2.0	2.6	2.0
樹脂	15.3	6.5	10.9	6.4	7.0	8.5	8.9	7.3
ゴム	7.3	7.0	5.9	11.9	6.3	2.0	-	-
その他	0.4	0.5	1.4	0.6	1.1	23.2	10.6	12.4

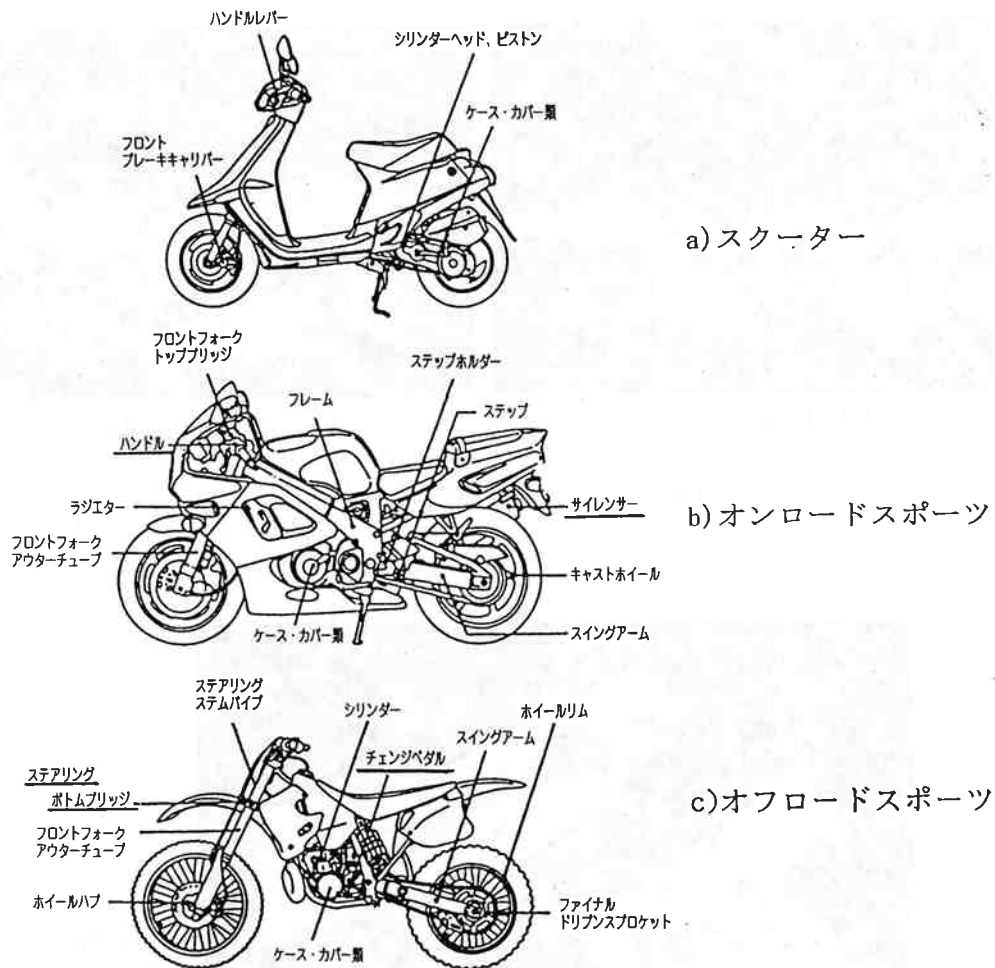
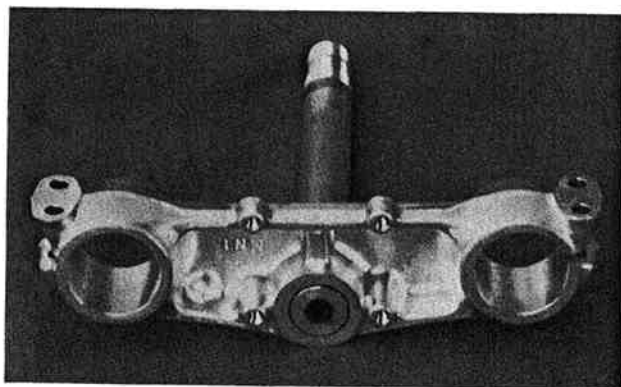


図 4.3 二輪車の代表的アルミ合金部品(下線部品：鍛造)⁷⁾

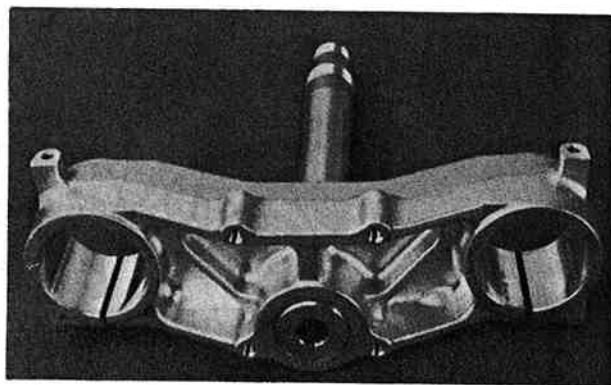
表 4.4 アルミ鍛造部品の重量(モトクロス：250cc)⁷⁾

部 品 名	製品重量 (k g)	材 質
ボトムブリッジ	0.72	A2014
ブレーキペダル	0.22	〃
チェンジペダル	0.18	〃
ハンドルレバー	0.08 (× 2)	〃
キックスターアーム	0.32	A7075
クッションアーム	0.34	〃
クッションコンロッド	0.71	〃
その他(キャップ 類等)	0.25	

合 計 2.90 k g

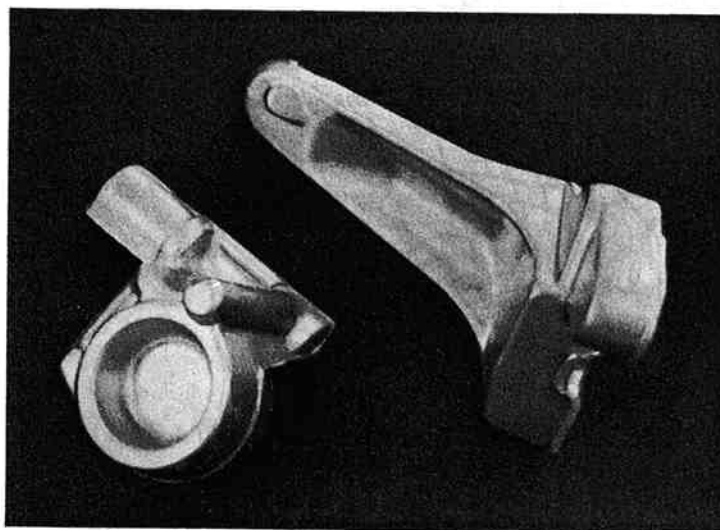


(熱間鍛造)

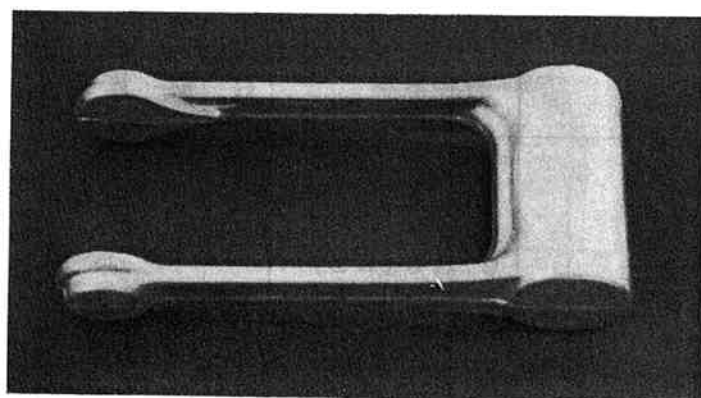


(鑄造+鍛造)

a) ステアリングボトムブリッジ



b) ハンドルボス
(熱間鍛造)



c) クッションコンロッド
(熱間鍛造)

図4.4 二輪車の代表的アルミニウム鍛造部品⁸⁾

4.5 航空機分野でのアルミニウム鍛造品の適用

航空機では下図の様な構造体を組み立てるための構造材や結合金具類、操縦系統の油圧部品、ランディングギヤー部品等、重要部品に用いられ、主に高力合金が多いが近年 7050、7175 の使用比率が高くなってきている。

鍛造方法は一般型打鍛造、精密鍛造、リングロールが主な方法であるが、自由鍛造のブロックから全面加工されるものもある。

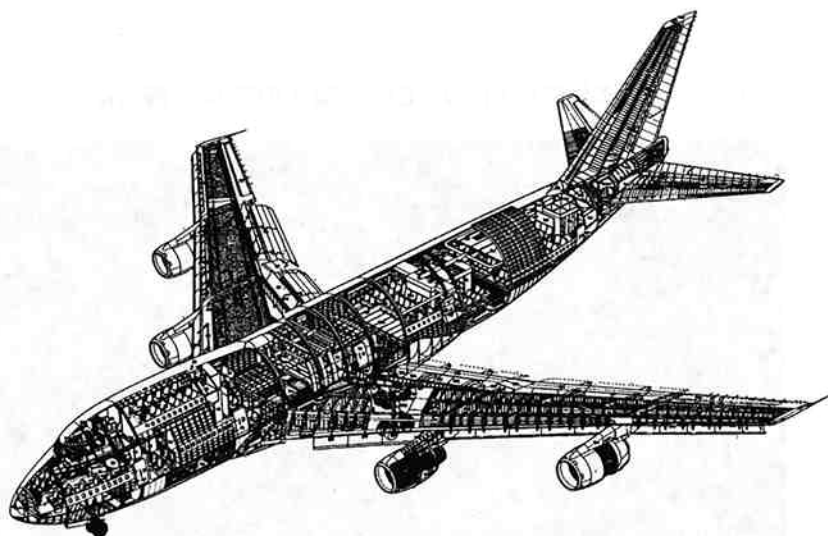
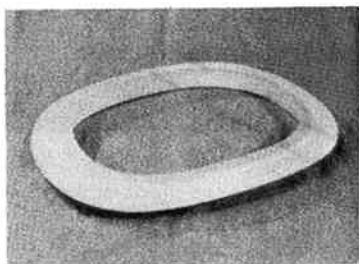


表 4.5 代表的アルミニウム鍛造品適用例

分 類	代表材質	代表製品例
構造材	7075-T73	結合金具、翼リブ、窓枠、ヒンジ類 バルクヘッド、スパー等
	7175-T74	
	7050-T74	
ランディングギヤー	7075-T73 7050-T74	シリンダ類、ブレーキキャリア ホイール、ストラット等
	7175-T74	
	2014-T6	
油圧部品	2618-T61	バルブボディ、シリンダー類等
	7075-T73	
エンジン	2618-T61	結合リング、ファン部品等
	2219-T852	



窓枠
(7075-T73)



バルブボディ
(7075-T73)



結合金具
(7075-T73)

4・6 コンプレッサー部品

自動車のアルミ化は、省エネルギー対策が世界的規模で叫ばれた 1970 年代に急速に進んだ。時を同じくしてカーエアコン用コンプレッサはトヨタ車を中心に普及期に入った。この時期に自動車は高級品から大衆化される過渡期にあった。エンジン回りの補機部品類の充実とエンジンのFF化などにより、エンジンルーム狭小化がクローズアップし、コンプレッサの小型化が要求され始めた。また省動力、軽量化、エンジンの高速化に伴う信頼性の向上などの要求が強くなった。

これに伴ってピストン、斜板、バルブなどが次々鍛造化され、今日では年間 1 万トンを越す大きなマーケットとなっている。

図 4.5 カークーラ部品に使用されている種々のアルミ鍛造品

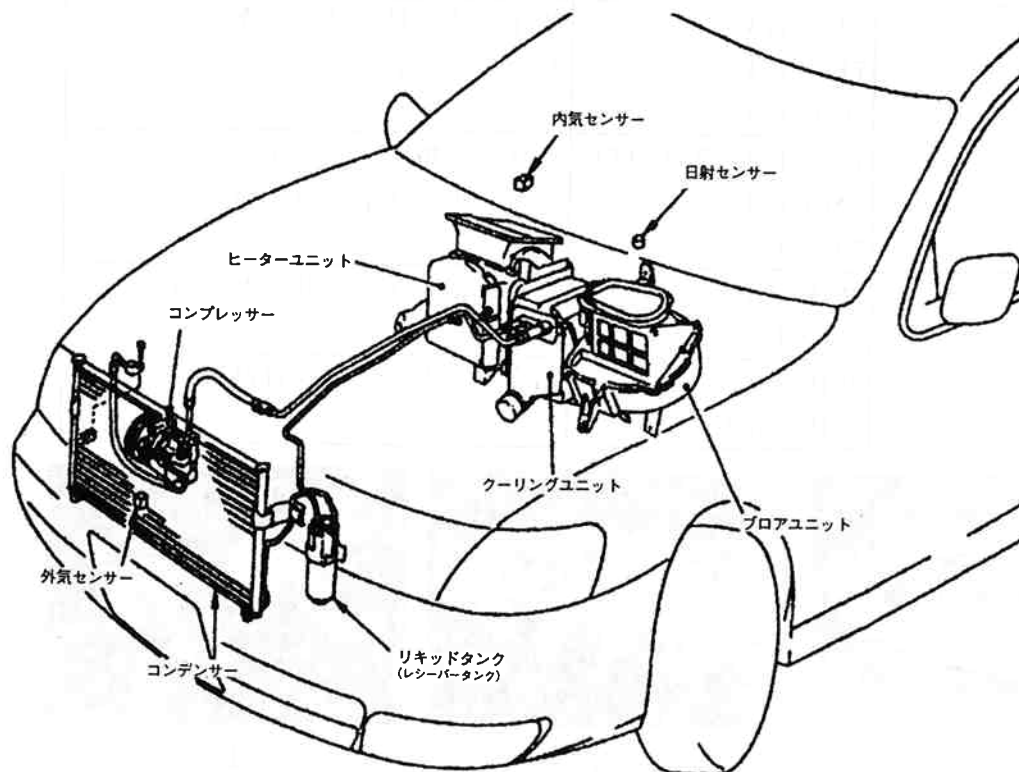
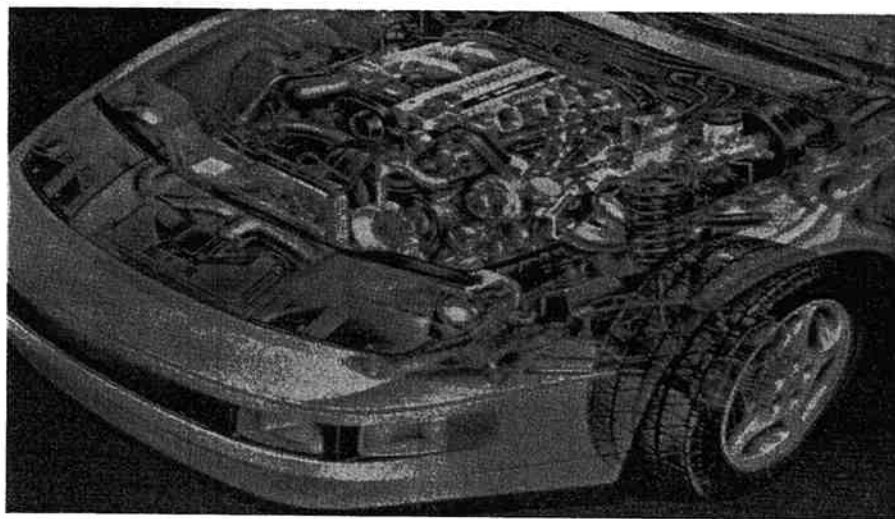


図 4.6 デンソー、豊田自動織機製作所の斜板式コンプレッサの構造(10 気筒)

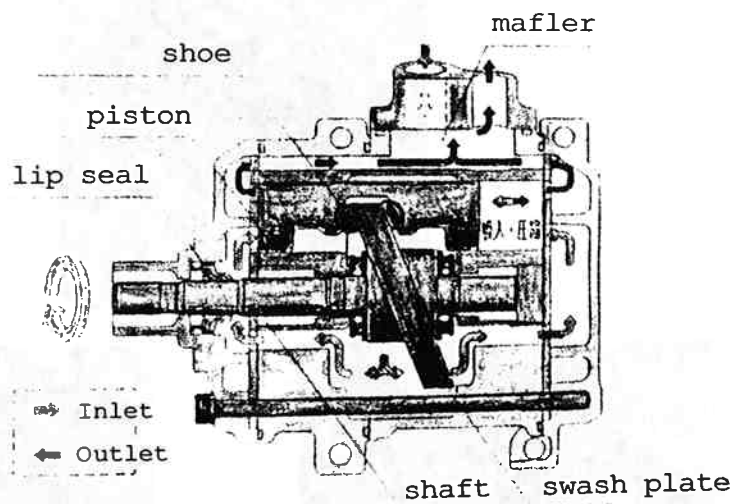
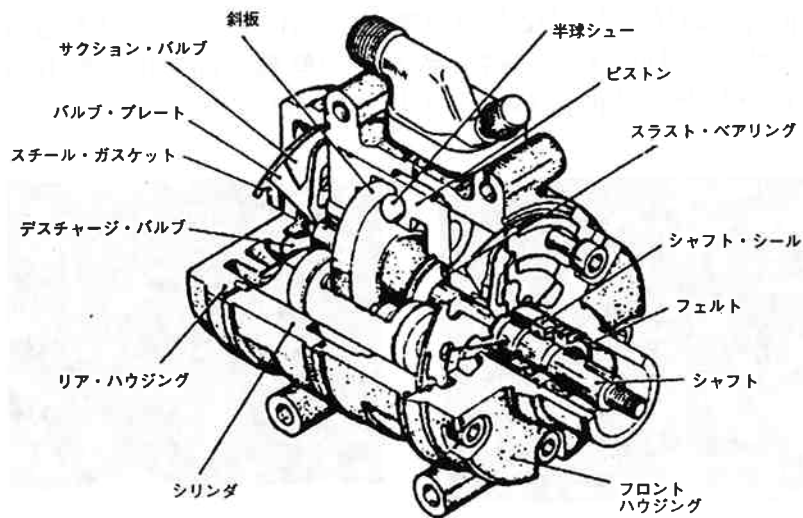


図 4.8 ピストン, AHS 合金(AL-11Si 系)

図 4.7 カーコンプレッサの断面

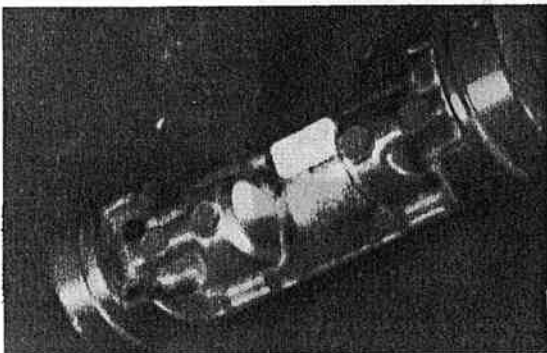
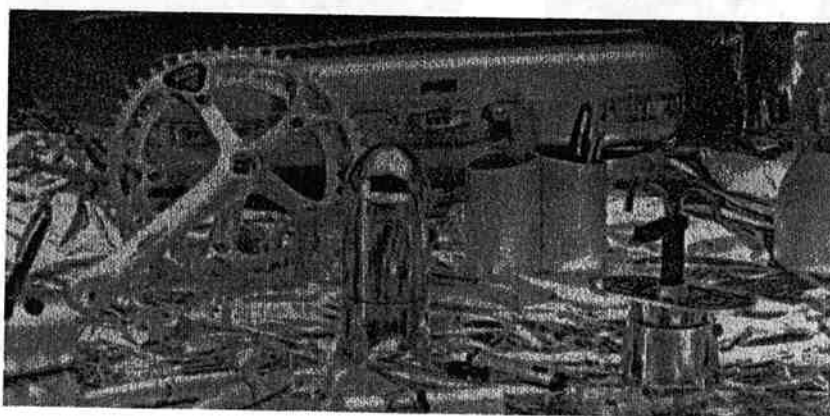
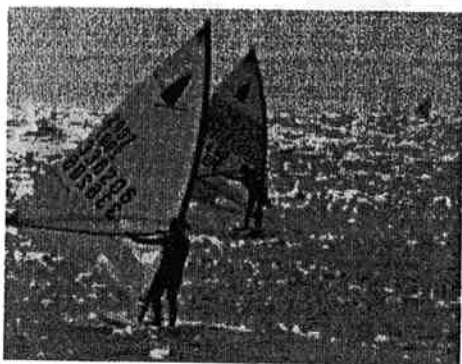
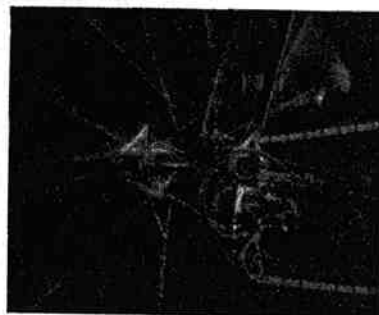
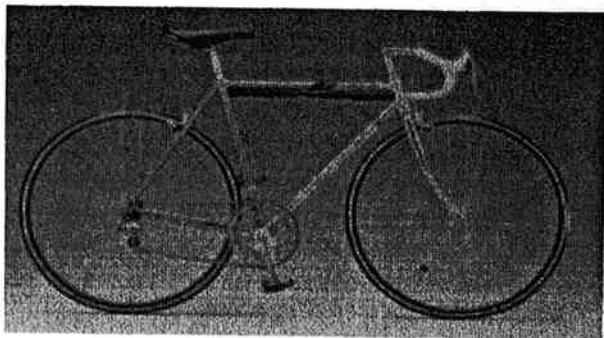


図 4.9 斜板, A 3 9 0 合金(AL-17Si 系)

4. 7 レジャー，スポーツ

私たちのストレス解消や、週休2日制などの余暇の充実にアルミニウム鍛造品が大きな役割を果たしています。これはアルミ鍛造品の持つ軽量、高強度、耐食性、加工性が良い、見た目が美しいなどの装飾性が生かされているためです。



参考文献

- 1) 軽金属協会編：アルミニウム鑄鍛造便覧, カロス出版, (1996), 1052
- 2) (社) 軽金属協会：鍛造品事例集, No. 3 (1991)
- 3) 1) に同じ
- 4) 小松泰典他：軽金属, 41 (1991), 276.
- 5) ホンダ NSX カタログより
- 6) 1) に同じ, p1076
- 7) (社) 軽金属協会：'95 アルミニウム鍛造ハンドブック (1995) 136
- 8) 2) に同じ

5. 鍛造加工とは

5.1 鍛造加工の定義

第4章にあるいろいろな鍛造品を作る方法が「鍛造加工」である。この鍛造加工とは、鍛造用語辞典¹⁾を見ると「工具、金型などを用い金属固体材料の一部又は全体を圧縮又は打撃することによって塑性変形を与え、所定の寸法形状に成形すると同時に、材料の鍛錬を行うこと」と書かれている。

ここにある「塑性変形」とは、「固体に弾性限を越える外力を加えて変形させた後、外力を取り除いた後に残る変形」^{1), 2)} という材料の力学的な現象である。

他方、「鍛錬」とは「材料組織の微細化をはかり、材料のもつ靱性の向上を主目的とした熱間鍛造作業、鍛錬により鑄塊のパイプや粗大樹枝状組織を破壊し、鑄巣、気泡などを圧着させて均質な組織とし、変形によって連続した鍛流線を形成し、靱性を向上させることができる」^{1), 2)} と説明されている。これは鍛造のもう一つの側面の金属学的現象である。

5.2 鍛造の力学的な側面

もっとも単純な変形である、円柱形材料を潤滑された平らな金型の間でつぶす据込みを例にとって説明する。

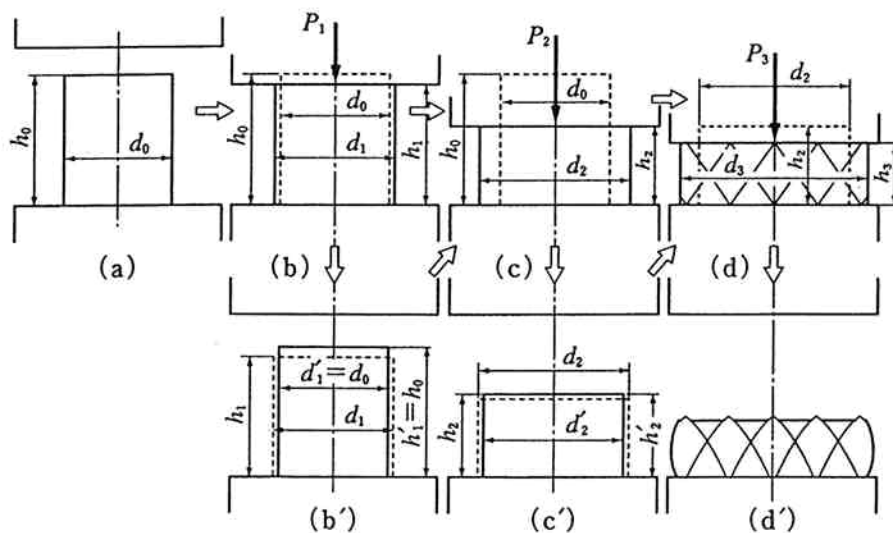


図5.1 円形材料の平面金型による据込みのさいの荷重と変形の模式図

5.2.1 室温冷間変形の場合

- ・ 図 5.1 (a) 材料の最初の状態：高さ h_0 、直径 d_0
- ・ 図 5.1 (b) 弾性限荷重 P_Y 以下の荷重 P_1 を加えた圧縮：

弾性変形, 高さ $h_0 \rightarrow h_1$, 直径 $d_0 \rightarrow d_1$

・ 図 5.1 (b) 荷重の除去による弾性復元: $h_1 \rightarrow h_0$, $d_1 \rightarrow d_0$

・ 図 5.1 (c) P_Y 以上の荷重 P_2 を加えた圧縮。 P_Y までは弾性変形のみ, 以後は塑性変形も
: $h_0 \rightarrow h_2$, $d_0 \rightarrow d_2$

・ 図 5.1 (c) 荷重の除去による弾性回復: $h_2 \rightarrow h_2'$, $d_2 \rightarrow d_2'$, 残った変形が永久変形

・ 図 5.1 (d) さらに大きな荷重 P_3 を加える。前の P_2 までは弾性変形のみ, 以後は塑性変形も; $h_2 \rightarrow h_3$, $d_2 \rightarrow d_3$, 破壊の始まり。

・ 図 5.1 (d) 破壊の進行とともに荷重が減る。

図 5.1 で示した現象を, 縦軸に荷重 P , 横軸に材料の高さ h を取って線図で表したのが図 5.2 (a) である。この線図は, 同一材料でも寸法 h_0 , d_0 が異なれば当然別の形になる。

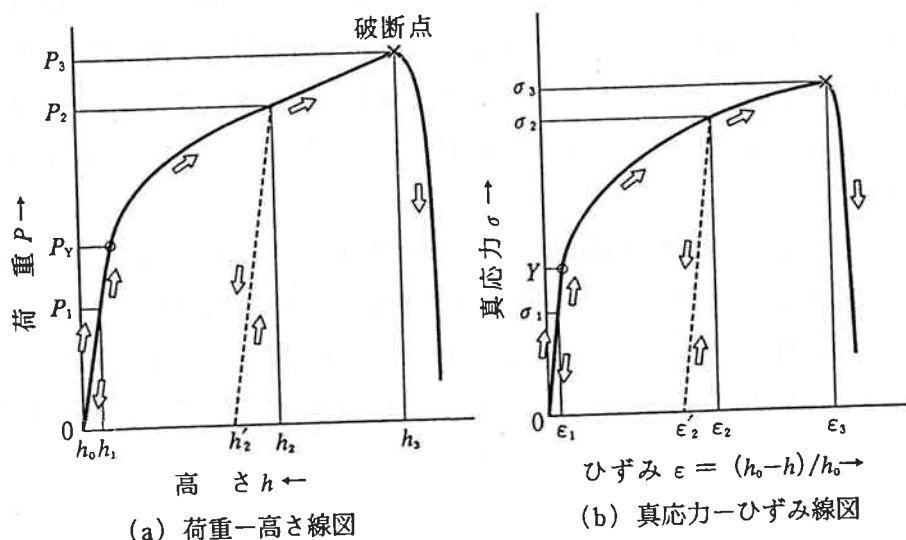


図 5.2 図 5.1 における力学的パラメーターの関係線図の模式図

P を変形中の材料の横断面積 $\pi d^2/4$ で割った真圧縮応力 σ を縦軸に、材料高さの変化 $h_0 - h$ を最初の高さ h_0 で割った圧縮ひずみ ϵ を横軸にして図 5.2 (a) を描き直すと図 5.2 (b) のようになり、これは材料が同一なら寸法が異なる試験片を用いても同じ線図になる。この線図は「応力-ひずみ線図」又は「変形抵抗曲線」と呼ばれる。(実は、このひずみの代わりに $\log_e (h_0/h)$ という対数ひずみを用いた方が一層合理的であるが、ここでは立ち入らない)。これは材料の力学的特性を表す重要なデータであり、鍛造変形の CAE シミュレーションになくてはならない。この線図が高い材料ほど鍛造に必要な圧力が高くなるのは当然である。

図 5.2 (b) の曲線の原点 0 から○印までは直線で材料の弾性範囲を示し、曲線が曲がり始める「弾性限」応力 Y は、材料の「降伏点」又は「0.2%耐力 $\sigma_{0.2}$ 」にほぼ等しい。

$\sigma_{0.2}$ の値は、焼きなまされた工業用純アルミニウムで30～60N/mm²、合金2014-O材で100N/mm²、5083-O材で145N/mm²、7075-O材で105N/mm²程度である。³⁾

またこの弾性範囲の直線の傾斜で $\sigma_1/\epsilon_1=E$ が「縦弾性係数」又は「ヤング率」であり、すべてのアルミニウム合金で70kN/mm²程度である。それゆえ、図5.2(b)の弾性限の応力 Y のときの弾性ひずみは、 $(30\sim105)/70\times10^3=0.0004\sim0.0015$ であって、目に見えない位、微小である。この弾性ひずみは、鍛造の際、材料から力を受ける金型にも生じ、その大きさはやはり微小ではあるが、ネットシェイプ鍛造品を作る際には鍛造品寸法誤差にとって無視できない大きさである。

図5.2(b)において、応力 σ が Y を越えて塑性変形が始まると、 σ は前よりゆっくり上昇するようになる。ある応力 σ_2 で荷重を除くと弾性回復によってひずみは破線に沿って直線的に ϵ_2 から ϵ_2' にもどる。このときも傾斜は E に等しく $\sigma_2/(\epsilon_2-\epsilon_2')=E$ である。

次に再び荷重を加えると、室温では σ が σ_2 に達するまで同じ破線に沿って弾性変形し、それから先は再び塑性変形が始まる。このように塑性変形によって材料の塑性変形進行応力が上昇する傾向を「加工硬化」と呼ぶ。上で述べた工業用純アルミニウムに $\epsilon=0.9$ のひずみを与えたものの $\sigma_{0.2}$ は215～285N/mm²にも及ぶ。加工硬化の程度も、合金の種類により高低がある。

応力をもっと加えるとある値 σ_3 で材料にクラックが発生する。材料に縦傷がなければ、このクラックは斜めに出る。このときのひずみ ϵ_3 は「破断ひずみ」と呼ばれ、材料の「変形能」又は「延性」の尺度とされる。 ϵ_3 も合金によって大幅に異なり、純アルミニウムではいくら据込みひずみを与えても破壊しないのに対し変形能の低いA390 (Al-17Si-4.5Cu-1Mg) では ϵ_3 は約0.6である。⁴⁾

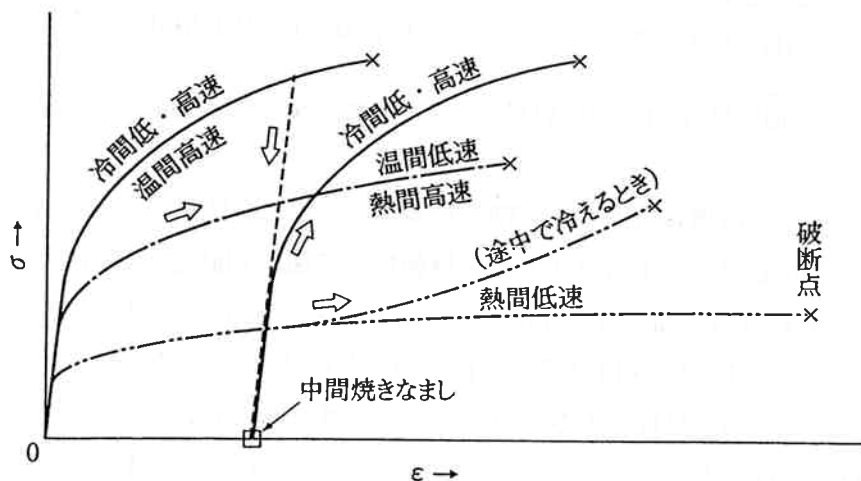


図5.3 金属材料の真応力-ひずみ線図に及ぼす変形温度、速度及び中間焼きなましの影響を示す模式図

冷間鍛造で材料の変形抵抗が高すぎ、あるいは変形能が不足する場合には図5.3の実線、

破線で示すように加工を中断し(口印)、材料を「中間焼きなまし」してからさらに加工を進めれば、図の実線に見られるように加工硬化が消失し、変形能は回復する。必要に応じてこれを繰り返せばよい。

5.2.2 加熱温間・熱間変形

焼きなましの手間を避けるには、材料を最初から加熱して加工する温間あるいは熱間鍛造を行えばよい(図 5.3 一点及び二点鎖線)。温間と熱間の区別は、変形中に材料が再結晶によって焼きなまされる温度以下か以上かによってなされる。この材料軟化現象にはある程度の時間が必要なので、高速加工では低速加工に比べて軟化効果が少ない(図 5.3)。しかし、高速加工では低速に比べて材料の温度は高くなる傾向があるので、それによる軟化が勝る場合もある。なお室温変形では速度の影響はわずかである。

5.3 鍛造の金属学的な側面

5.3.1 結晶構造と塑性変形

金属材料の表面を平らに磨いて適当に腐食した面を拡大して見ると図 5.4 のような沢山の結晶の集合が見える⁵⁾。この個々の結晶の大きさは条件によって様々で、数mmから数 μm にわたっている。

各結晶の中では、例えばアルミニウムのような原子が規則正しく整列して結晶格子構造になっている。これを単純化して模式図にしたのが図5.5である。これに弾性限以上のせん断応力 τ が働くと、結晶のすべり面と呼ばれる特定の面上ですべりを生じて図のように塑性変形する(もっと厳密に言えば、このすべりは転位線と呼ばれる格子欠陥の移動によって起こるのであるが、ここでは立ち入らない)。

このすべりの進行とともに結晶構造のひずみがひどくなり、すべりに必要なせん断応力が高くなって加工硬化の原因となる。このような結晶が加熱されてひずみが小さくなったり、再結晶によって新しい結晶に生まれ代わると塑性変形の抵抗は低くなる(図 5.3 実曲線参照)。



0.2 mm

図5.4 1050アルミニウム材料の結晶粒組織

据込(50%圧下率) → 350℃焼きなまし

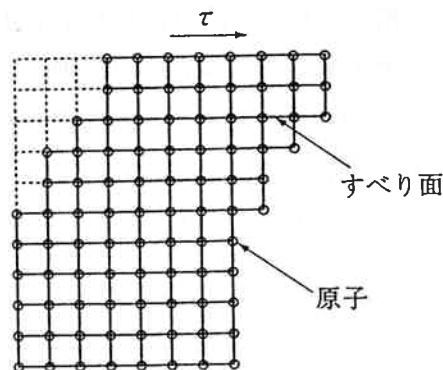


図5.5 結晶格子構造とすべり変形の模式図

5.3.2 多結晶体の鍛造による組織変化

実際の金属材料は図 5.5 に示したような構造をもつ結晶粒のいろいろな形状、寸法、格子方位のものが集まってできた多結晶体である(図 5.4)。図 5.6 (a) は鑄造された多結晶体の組織を模式的に示したもので、結晶粒は比較的粗大であり、また、結晶粒界には変形能が低くて割れやすい粒子(例えば酸化物、不純物)がある。

いまこれが上下から押しつぶされると、結晶粒は図 5.6 (b) のように横に伸びるとともに幾つかに別れる。一方、鑄造の際に生じた空洞欠陥は押しつぶし変形によって閉じて密着する。同時に、低変形能粒子は細かく割れて横方向に分布する。こうして多結晶体は木の柂目のような繊維状組織をもって変形抵抗はどの方向にも高くはなるが、せんい方向に直角方向に引張られるときの伸びは小さい。

このような材料を焼きなましすると、結晶は再結晶によって新しく細かい多結晶体となる(図 5.6 (c))。このとき、割れて分散した低変形能粒子の分布は、一般にそのまま残るが、せんい方向への変形能は十分高い。図 5.6 の(a) から(c) への組織改善がいわゆる鍛錬である。

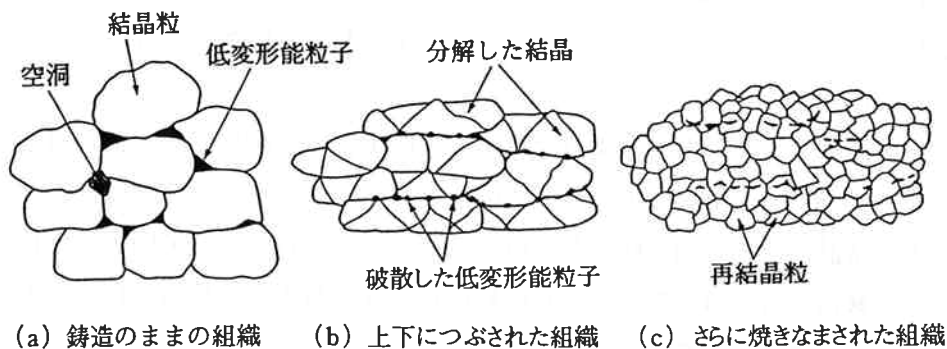


図5.6 多結晶体の組織の加工と熱処理による変化の模式図

5.3.3 鍛流線

図 5.6 (b), (c) のようなせんい状組織を持つ素材(図 5.7 左)を鍛造すると、図の右のような組織が見られる。この模様を鍛流線と呼び、鍛造品が用いられるときに受ける引張応力が鍛流線の方に沿っていけば、靱性が高くなる。このようにするのも鍛造工程のノウハウである。

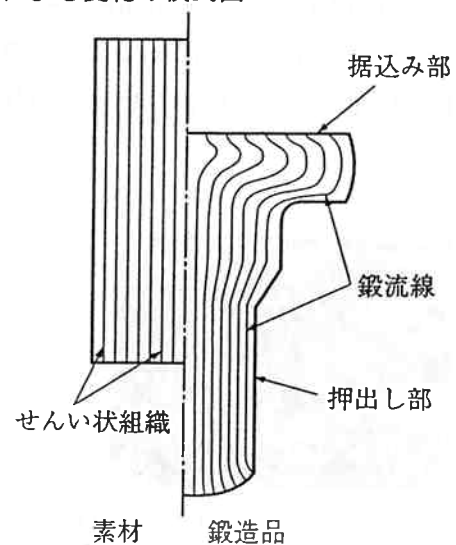


図5.7 鍛流線の鍛造による形成

5.4 鍛造加工の長所

前の5.2, 5.3で述べた鍛造加工の二つの側面から、加工の長所と短所が生まれる。長所は次の通りである。

- a) 塑性加工であるから、うまくすれば材料屑を出さないで加工できる。
- b) 材料全体を機械的に成形するので、材料を局部的に順々に加工する切削加工や、冷却・凝固が必要な鋳造に比べて作業速度が高い。
- c) 他の塑性加工に比べて加工中に生じる応力は主として圧縮なので、材料は断が起こり難く、室温でも大きく変形できる。
- d) 鍛錬効果によって鍛造品は強度、靱性が高く、一体化設計も加わって軽量化ができる。

5.5 鍛造加工の短所

- a) 加工荷重や必要動力が大きいため、加工機械のたわみが大きく、騒音、振動が問題になる。
- b) 加工に必要な単位面積当たりの圧力が大きいため、金型の寸法、形状の変化による鍛造品の不正確さのもととなる一方、金型の割れ、摩耗による短寿命の原因となる。
- c) 大変形による加工品のかぶさり傷、欠肉、破断などを生じる。
- d) 素材の体積・寸法・形状誤差、表面傷などが鍛造品にそのまま移される。
- e) 温間、熱間変形では、金型の軟化、潤滑膜切れによる、摩耗が生じる。

5.6 長所を伸ばし短所を補うには

多品種少量生産品を低コスト高付加価値で鍛造加工するには、鍛造の長所と短所の根本を深く理解し、以下の全項目について検討の上、最適な組み合わせを行う必要がある。それには、本マニュアルに引用されている各種文献、書籍、ハンドブックから学ぶとともに、あちこちで紹介されている実生産の事例と自分の経験とを合わせて考えるとよい。

- a) 鍛造品の材料と設計の工夫：カスタマーの指定する材料と鍛造品設計がベストとは限らないことに注意。
- b) 変形の種類と工程の選択、工夫：鍛造にもいろいろ特徴のある変形の種類があり、鍛造以外の塑性加工（曲げ、板の深絞り、しごき、打抜きなど）、塑性加工以外の加工方法（切削など）、加熱、熱処理等々を組み合わせる。
- c) 素材（ピレット）の作り方の選択、工夫：せん断、鋸切断、突切りのほか、鋳造、粉末焼結もある。
- d) 金型の設計、材料、製作法の選択、工夫：材料の変形を助け、寸法精度を良くしながら、寿命を長くする設計、金型材料、加工法、表面処理法をあわせ考える。
- e) 潤滑剤と潤滑法の選択、工夫：摩擦抵抗を少なく、型と材料の焼付を防ぎ、金型を冷

やすなどの役目がある。

f) 検査、工程管理の選択、工夫と自動化。

g) 環境保護、資源節約の考慮：アルミニウムの得意

以下の各章においてこれらのそれぞれについて詳しく説明する。

参考文献

- 1) 鍛造用語集作成委員会：鍛造用語辞典、鍛造技術研究所、(1993)
- 2) 日本塑性加工学会編集：塑性加工用語辞典、日本塑性加工学会 (1998)
- 3) 40 周年記念事業実行委員会記念出版部会：アルミニウムの組織と性質、軽金属学会 (1991)
- 4) 本村、関口：アルトピア (1989)、2, 41
- 5) 小林、李、佐久田：軽金属 40 (1990)、11, 805

6. 鍛造における基本的変形の種類

塑性加工法の中で鍛造加工は、工具による圧縮力を作用させて素材を変形させる総称であり、その歴史は古く紀元前より金、銀、銅が用い始められたときから自由鍛造の形で行われている。鍛造の分類法の一つは加工温度によりなされ、被加工材の再結晶温度以上で行われる熱間鍛造、室温または再結晶温度以下で行われる冷間鍛造、両者の中間温度で行われる温間鍛造に大別される。いずれの分類の鍛造においても、工具による圧縮力で変形を与え、加圧方向に直接的に被加工材をつぶし、それと直角方に広げる直接圧縮と被加工材を拘束している他の工具部分から間接的に力を受け、それによって被加工材がつぶされ伸ばされる間接圧縮およびそれらの組合せによる直接・間接圧縮にも分類される。また、第13章のような金型を用いるか否かすなわち、型鍛造・自由鍛造を基本においた分類の方法もあるが、ここでは前者による分類に従い基本的材料流動の種類により述べてみる。

6.1 直接圧縮

6.1.1 据込み

図 6.1 に示すように、上下から工具により圧縮する加工法で、鍛造の中では最も基本的な手法であり、5.2 で据込みの塑性変形に対する力学的考察がなされている。据込みでは、被加工材の上下面は工具による拘束を受け、たる形に変形し圧縮量が多くなると、工具と被加工材は固着状態が中心から半径方向に広がり、固着領域ではせん断変形となる。圧縮面の平均圧力 p_m は摩擦係数の増加により増大して行く。図 6.2 はスラブ法で計算し

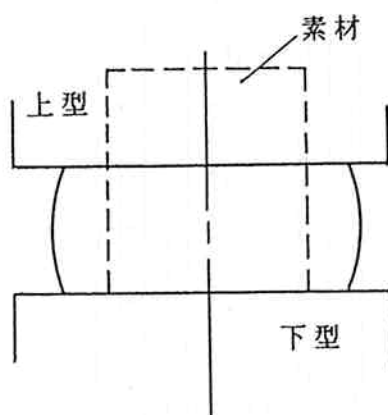


図 6.1 据込み

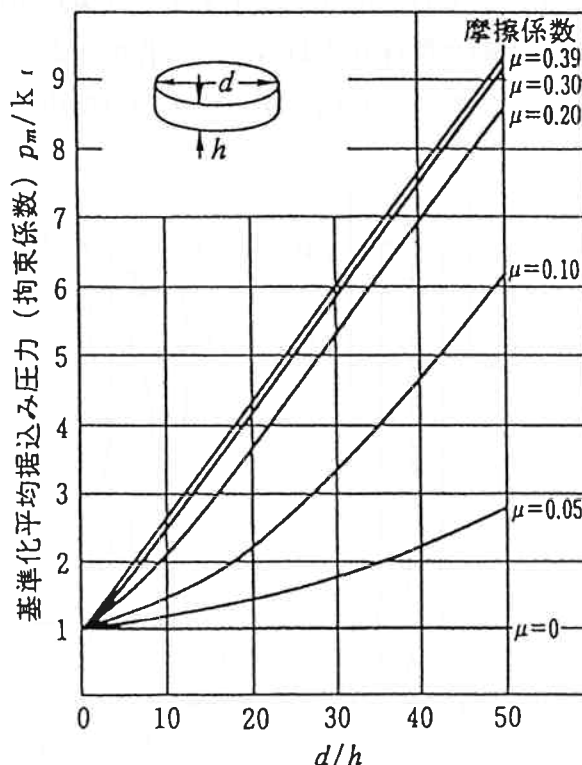


図 6.2 円板の据込み圧力¹⁾

たクーロン摩擦状態での円板のすえ込みににおける平均圧力の変化を、直径と高さの比(d/h) に対して示したものである。ここで、 k_r は円板の変形抵抗であり、 d と h は変形中の値である。据込みの限界は変形前後の高さを h_0 および h とすると、 $\{(h_0 - h)/h_0\} \times 100 \leq 40 \sim 70\%$ である。

素材の頂部を据込む場合はヘッディングと呼ばれ、据込みの一種である。図 6.3 にその変形状態を示す。図 6.4 は据込みの荷重－ストロークの関係を示す。据込みの限界は、素

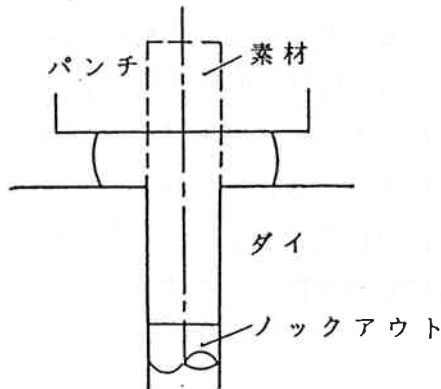


図 6.3 ヘッディング

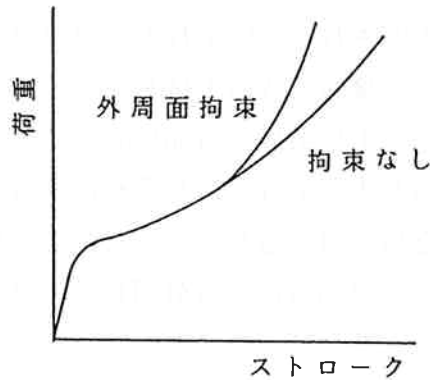
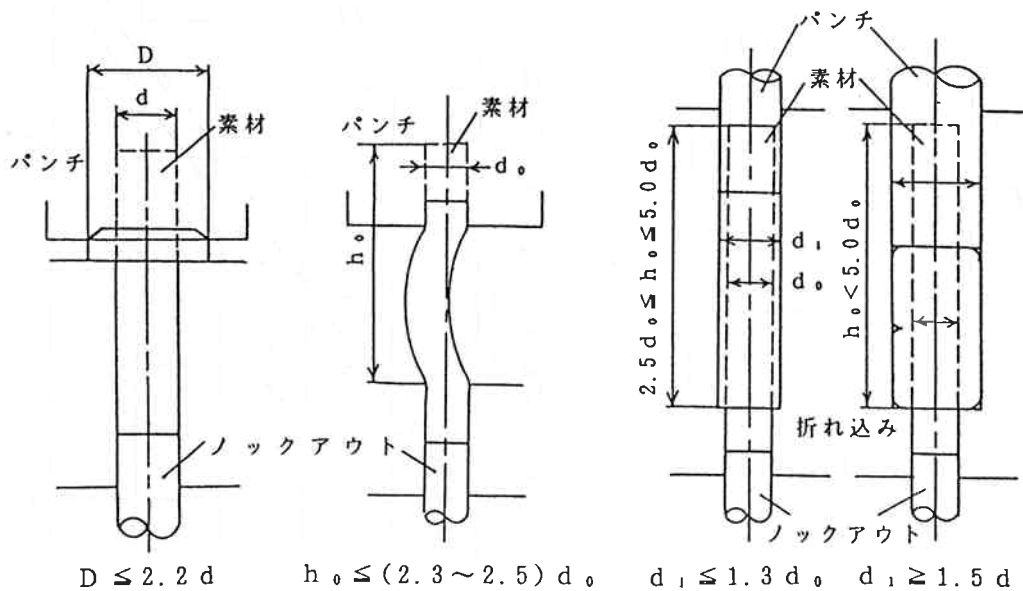


図 6.4 据込みにおける荷重－ストローク

材の延性の程度により異なるが、圧縮量が多くなると軸（負荷）方向に対し約 45 度の最大せん断応力の方向である斜めのクラックが発生するか、表面の軸方向の圧延または引抜き傷によっては、縦クラックが発生する。また、図 6.2 で示したように d/h が大になると変形に要する圧力が大となり、加工力が極端に増大し工具の許容応力との関係で限界が定まる。

ヘッディングでは、図 6.5 に示すような実用上の限界がある。図 (a) は中間焼なましなしの場合工程数に関係なく $D \leq 2.2 d$ 程度であり、図 (b) では 1 工程で座屈なしで成形するには $h_0 \leq (2.2 \sim 2.5) d_0$ とする。広がり拘束のある場合は据込み前の直径と高さによっ



$D \leq 2.2 d$ $h_0 \leq (2.3 \sim 2.5) d_0$ $d_1 \leq 1.3 d_0$ $d_2 \geq 1.5 d_0$
(a) 通常のヘッディング (b) 座屈の生ずる場合 (c) 広がり拘束のある場合

図 6.5 ヘッディングの成形限界²⁾

て異なり図 (c)に示す。

6.1.2 コイニング

コイニングは圧印加工とも呼ばれ、熱間鍛造品の表面状態もしくは寸法の仕上げに軽い圧縮を与える場合に用いられる。また、コイニングは図 6.6(a) に示すように彫込みのある上下の工具で被加工材を、主として密閉型で貨幣のような形状のものを成形する加工法で鍛造加工の一種である。図 (b), (c) は半密閉型および開放型コイニングである。開放型コイニングは型面直下の材料のみが変形して外方への材料の充満を図っている。なお、半密閉型コイニングは直接圧縮だけでなく間接圧縮との組合わせ圧縮で、後述の型鍛造と同様の变形となるが、名称の上でここに記載する。半密閉型コイニングでは一部は外方に一部は型穴内へ押出されるが、図に示す寸法で $h < b/2$ になると裏側にひけが発生する。また、端部にフラッシュを設け材料流動拘束し、型内への材料の充満を図っている。

コイニングの一種でエンボス加工と呼ばれるものがある。これは、板材を上下型によって圧縮し、被加工材の板厚を変化させないで凹凸をつける加工で、板材のプレス成形法の中に入れる場合もある。

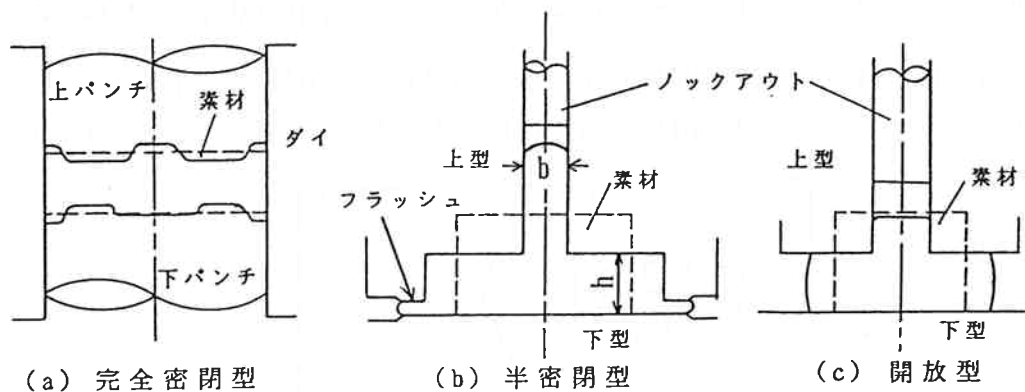


図 6.6 コイニング

6.1.3 幅広げ

図 6.7(a) は平行平面の間で丸棒全体を横圧縮することによる幅広げであり、図(b) は中間部の幅広げである。図中破線は変形前の素材の形状である。圧縮に伴う被加工材の变形は 3 次元的であり、長手方向および横方向への流動量は l_0/d_0 の比、摩擦および高さの減少率によって異なる。すなわち(a) の全体の幅広げでは l_0/d_0 が小さい程、また潤滑

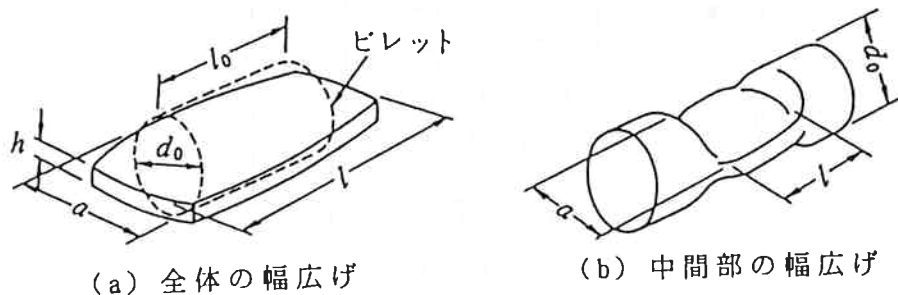


図 6.7 平行型による丸棒の広げ³⁾

を行った方が伸び易いが、高さ減少率約25%までは $l_0/d_0 \geq 0.6$ であれば、全長の伸び率は l_0 の約10%以下と小さく接触面はほぼ長方形となる。

図 6.8は型工具と被加工材との接触面の輪郭形状であり、アルミニウム材の実験結果である。実線は無潤滑、破線は最初だけテフロンスプレイ潤滑で圧縮した結果である。 l_0/d_0

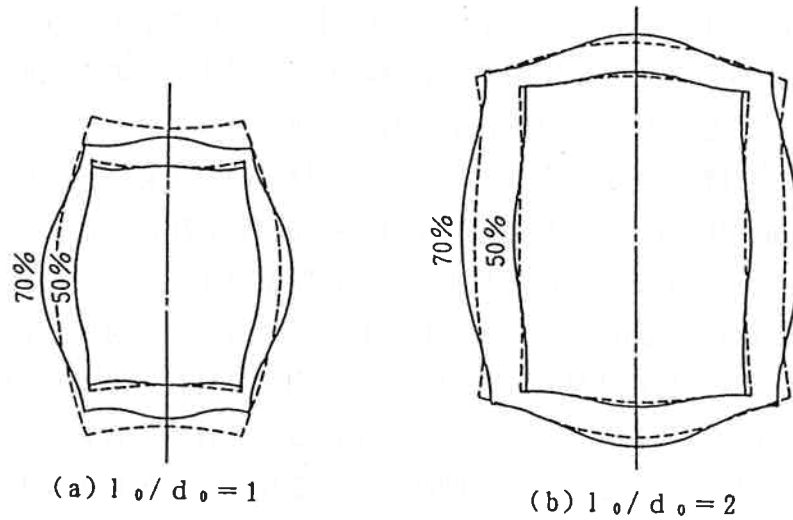


図 6. 8 丸棒の全長横広げにおける変形状態¹⁾ (図中の数字は据込み率)

$d_0 = 1$ の場合には、高さ減少率が60%を超えると潤滑した方が長手方向への伸び量が大となる。しかし $l_0/d_0 = 2$ では潤滑による差はほとんどない。また、図 6.9は上下の幅

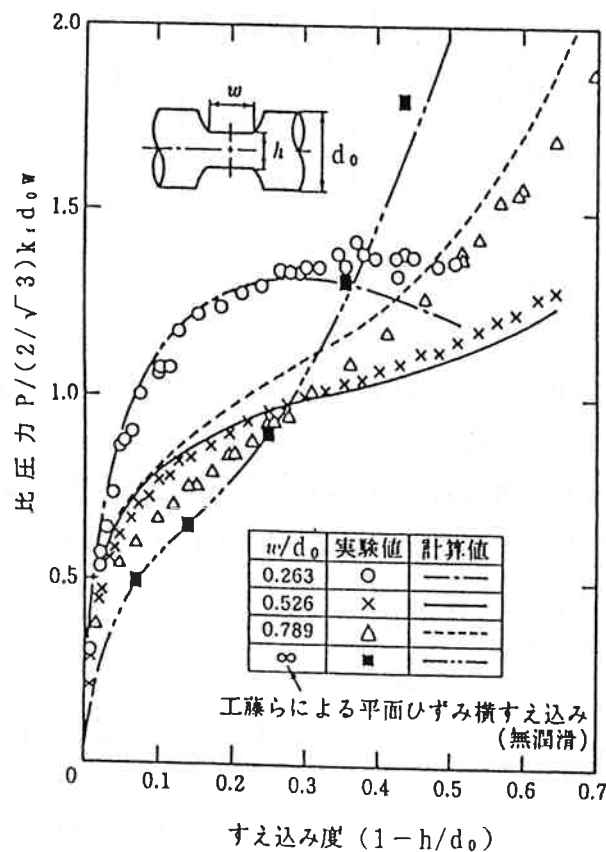


図 6. 9 丸棒の局部広げにおける比圧力と据込みの関係⁵⁾

wの平行型で直径 d_0 のアルミニウムの丸棒の中間部を高さhまで圧縮したときの変形の実験結果および上界法で計算した結果を示し、圧縮荷重Pを $(2/\sqrt{3})k_r d_0 w$ で除して無次元化した公称平均面圧と高さの減少率との関係である。ここで k_r は被加工材の平均変形抵抗であり、直径を一定に削った高さの異なる数個の円柱を軸方向に圧縮し、真応力-対数ひずみ関係の変形抵抗曲線より求めたものである⁵⁾。

6.1.4 その他の直接圧縮

いままで述べた外に、工具ならびに素材に回転を与え連続的に鍛造する揺動鍛造、ロール鍛造およびリングローリングなどがあり これらについては図 6.10 に示すに止める。

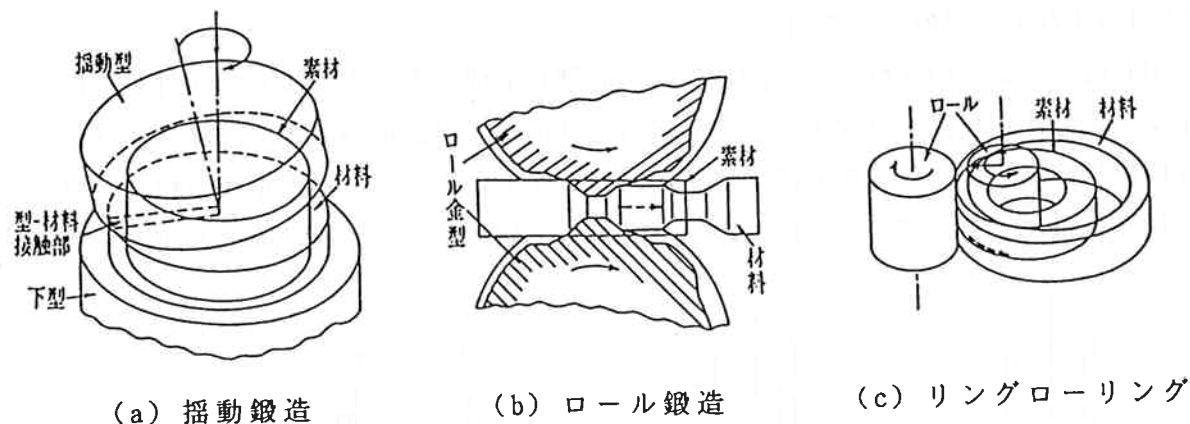


図 6.10 回転を伴う直接圧縮⁶⁾

6.2. 間接圧縮

6.2.1 前方押し出し・後方押し出し

押し出し鍛造法（以後単に押し出し）は、主として冷間で行われる間接圧縮による鍛造法である。前方押し出しは、いわゆる押し出し加工と原理は同じであるが、その相違は被加工材の長さが比較的短いことである。図 6.11(a)は中実材、図(b)は中空材の前方押し出しを示し

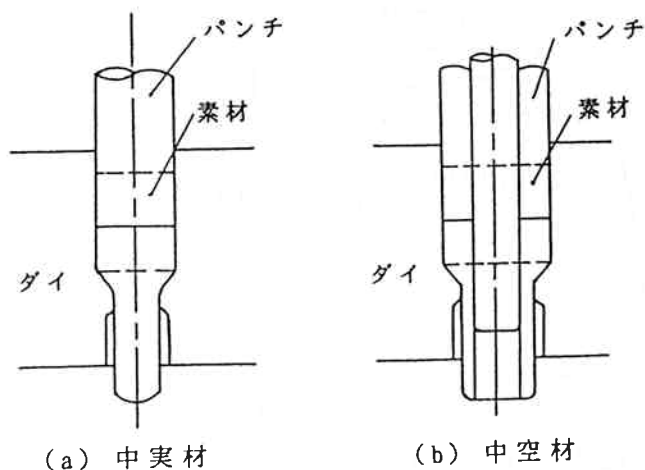


図 6.11 前方押し出し

ている。押出し荷重はダイの押出し角 α およびダイと被加工材との間の摩擦により大きく影響を受ける。成形の程度を示す値は断面減少率を用いる。これは、変形前の断面積 A_0 から変形後の断面積 A_1 を差し引いて、変形前の断面積で除した値を百分率で表したものである。断面減少率の少ないときは、材料流動が被加工材の外側と内側ではあまり変わらずせん断変形による影響はほとんどないが、断面減少率が大きくなるダイの傾斜部を長くしないかぎり押出し角は大となり、被加工材の外側と内側では材料流動が大きく変化する。その結果ダイ出口付近に材料流動が起こらないすなわちデッドメタル領域が生ずる。したがって、ダイの押出し角 α には摩擦係数と断面減少率による最適角が存在する。実用上の押出し角の値は後述の図 6.18 に示してある。また、前方押出しと同じ手法であるが、わずかな量を押出し、成形品の精度の向上を図るものにしごきまたは押通しがある。図 6.12 は中実材および中空材のしごき加工を示す。

後方押出しは、パンチの進行と逆方向に材料が流動して成形される方法で図 6.13 に代表例を示す。後方押出しは、パンチの先端形状例えば平底、円錐角の大きい円錐および球頭により押出し荷重が変化し、断面減少率が70%前後までは球頭、円錐、平底の順に大であるが、70%を超える断面減少率ではこの順が逆転する結果もある。通常の後方押出しで

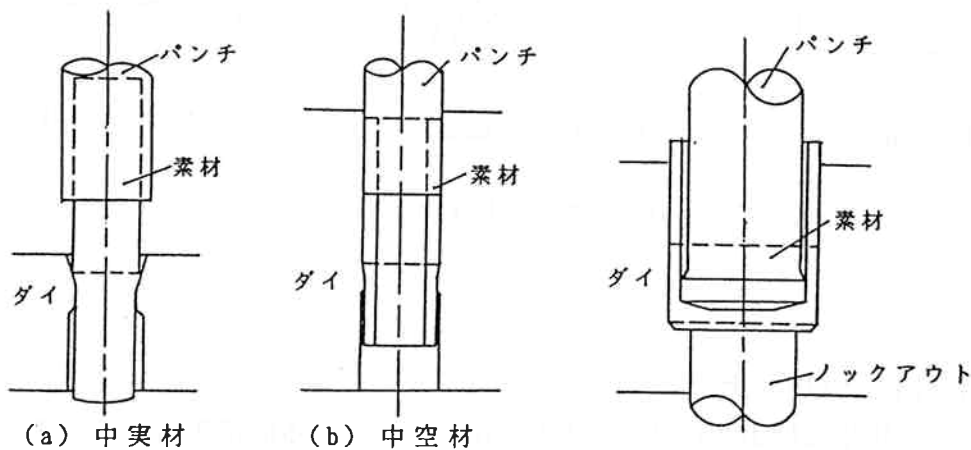


図 6.12 しごきまたは押通し

図 6.13 後方押出し

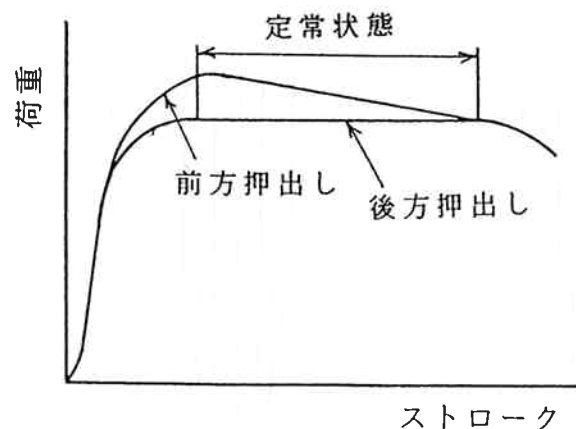


図 6.14 前・後方押出しにおける荷重－ストローク

は、製品形状の拘束がなければ平底または円錐形が多い。また、後方押出しでは被加工材とコンテナ（ダイ）との相対運動がないのに対し、前方押出しでは被加工材全体がコンテナと摩擦を生じながら滑るため、荷重－ストローク関係が後方押出しとは少し異なる。前方押出しでは、パンチストロークの進行とともに摩擦面が減少するので、定常状態での荷重が減少する。一方後方押出しでは一定である。図 6.14 に両者の荷重－ストローク関係を模式的に示す。

図 6.15 に押出しの際の寸法を示し、断面減少率を用いた前・後方の押出しの実用的な成形限界が次式により表される、ここで、 D_0 は素材外径、 D_1 は前方押出し後の外径、 d_0 お

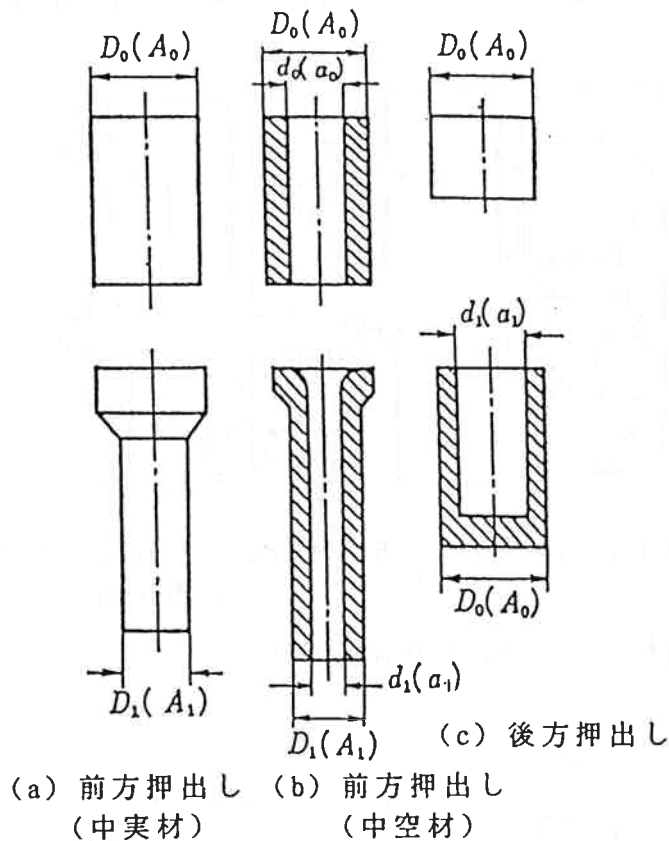


図 6.15 前・後方押出しにおける記号¹⁾

前方押出し（中実）： $R_{fs} = \{(A_0 - A_1)/A_0\} \times 100 \leq 50 \sim 75\%$

前方押出し（中空）： $R_{fp} = \{1 - (A_1 - a_1)/(A_0 - a_0)\} \times 100$
 $\leq 50 \sim 75\%$

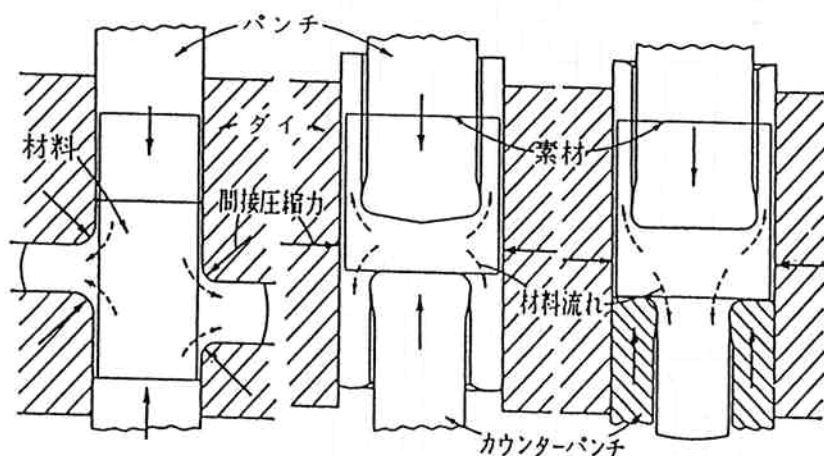
しごきまたは押通し： $R_{ft} = \{(A_0 - A_1)/A_0\} \times 100 \leq 24 \sim 28\%$

後方押出し： $R_b = \{A_0 - (A_0 - a_1)\} / A_0 \times 100$
 $= (a_1/A_0) \times 100 \leq 40 \sim 70\%$

よび d_1 は中空材の前方押出し前・後の内径、また後方押出しでは d_1 は押出し後の内径であり、 A_0 、 A_1 、 a_0 、 a_1 は図に示すそれぞれの直径に対応する断面積である。

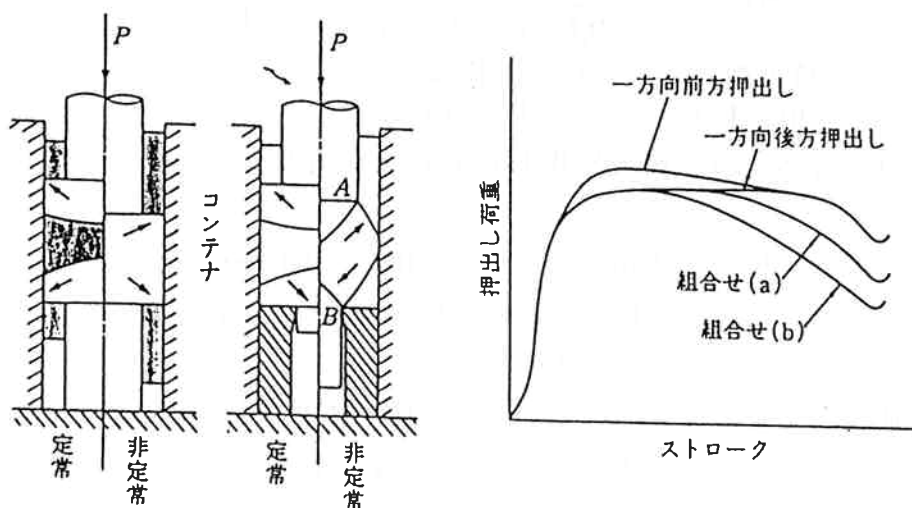
6.2.2 組合わせ押出し

間接圧縮による押出し加工であるが、一般には前述の前方押出しと後方押出しを組合わせた加工法で図 6.16 にその代表例を示す。図 (a) は側方押出しと呼ばれている。図 (b), (c) は前・後方押出しの組合わせであり、図 (b) は前方押出しと後方押出しの組合わせにより両方へ容器を押出している。また、図 (c) は同様に前方押出しと後方押出しの組合わせであるが、前方へは円柱の中実材を後方へは容器を押出している。なお、カウンターパンチは固定式の場合もある。また、組合わせ押出しでは、各方向への押出し抵抗に差があるとそれらの方向に同時に押出すことは難かしので、加圧順序などに工夫が必要である。図 6.17 は組合わせ押出しの荷重-ストローク関係を模式的に示す。前方、後方とも同じ



(a) 側方押出し (b) 前・後方容器押出し (c) 前・後方中実材押出し

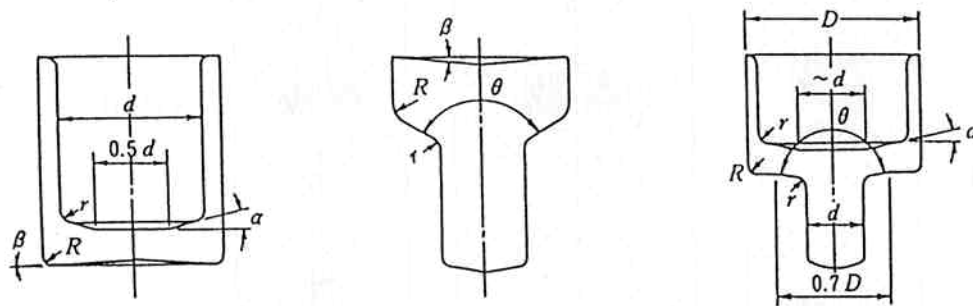
図 6.16 組合わせ押出し⁸⁾



(a) 容器-容器押出し (b) 丸棒容器押出し

図 6.17 組合わせ押出しにおける荷重-ストローク⁹⁾

押し出し比およびパンチまたはダイ形状の組合わせでは加工のごく初期には材料は上下両方向に流動するが、その後は押し出し荷重の小さな後方へ移動する。しかし、さらに加工が進んで非定常状態に入ると、前方と後方押し出しの両変形域が合体し、境界面で生じていた大きなせん断変形域がなくなる。その結果押し出し荷重も低くなり、材料は再び上下両方向に流動するようになる。ここで押し出し比は、素材断面積 A_0 と製品断面積 A_1 との比 A_0/A_1 である。図 6.18 は経験に基づく標準的な形状が提案されている。組合わせ押し出しは基本的に、前方と後方押し出しの組合わせであり流動条件についてはそれぞれの特徴を考慮し工程を設定することになる。



被加工材	後方押し出し				前方押し出し				組合わせ押し出し			
	r	R	α	β	r	R	θ	β	r	R	θ	α
低炭素鋼	0.2~0.5	0.5~1	0.5'~3'	0.5'	0.5~1.0	3	120'~170'	0.5'	0.2~0.5	1~2	140'~175'	0.5'~3'
中炭素鋼	0.5~1.5	1~2	3'~5'	1'	1.0~1.5	3~5	110'~140'	1'	0.5~1.0	2~3	130'~150'	3'~5'
高炭素鋼	1.5~3.0	2~3	5'~7'	1.5'	1.5~2.0	5~8	100'~130'	1.5'	1.0~2.0	3~5	120'~140'	5'~7'
低炭素合金鋼	0.5~1.2	1~2	2'~5'	0.5'	1.0~1.5	3~5	120'~150'	1'	0.5~1.0	1~2	130'~170'	2'~5'
中炭素合金鋼	1.0~2.0	2~3	5'~7'	1'	1.5~2.5	5~8	110'~130'	1.5'	1.0~1.5	2~3	120'~140'	5'~7'
高炭素合金鋼	2.0~3.0	3~5	5'~7'	1.5'	2.0~3.0	8~12	100'~120'	2'	1.5~2.0	3~5	110'~130'	5'~7'
アルミ合金	0.2~0.5	0.5~1.0	0'~2'	0'	0.2~0.5	3~5	140'~170'	0'	0.2~0.5	0.5~1.0	150'~178'	0'~2'

図 6.18 押し出し製品の標準状態¹⁰⁾ (断面減少率 40%以上)

6.3 直接・間接の組合わせ圧縮

この代表的なのは図 6.19 に示す型鍛造である。この例の場合、通常熱間で行われ、材料の充満を図るためフラッシュが設けられ、鍛造品にはばりが発生するので打抜き工程で除去する。図から明らかなように、型で直接圧縮する部分と型からの間接的な力によって材料が流動する部分がある。また、冷間で行われる場合は、閉そく鍛造といわれる方法があり図 6.20にその原理図に示す。この特徴は、(1)複数個のパンチを用いて、多方向から変形を与えることができるため、被加工材の圧力分布が比較的均一にすることができる、

(2) パンチを用いて加工するため、局部変形を与えることができる、(3) 被加工材とパンチとの接触面積が大きく変化せず、また、ばりの圧縮がないので加工圧力が低い、(4) 加工圧力ならびに材料流動の制御がし易い¹²⁾。

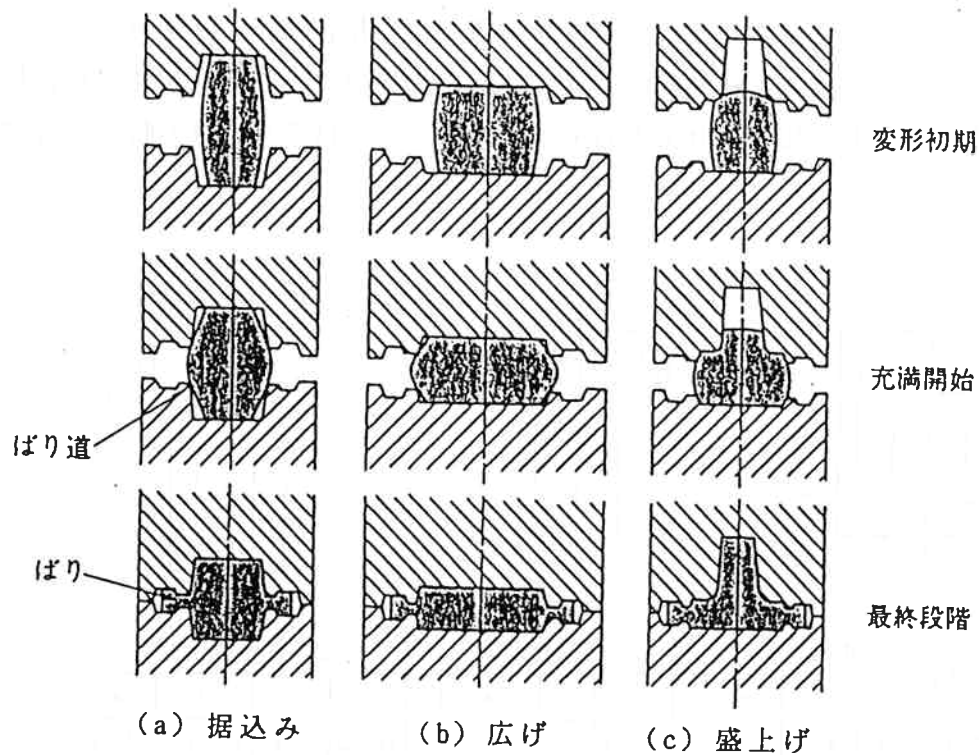
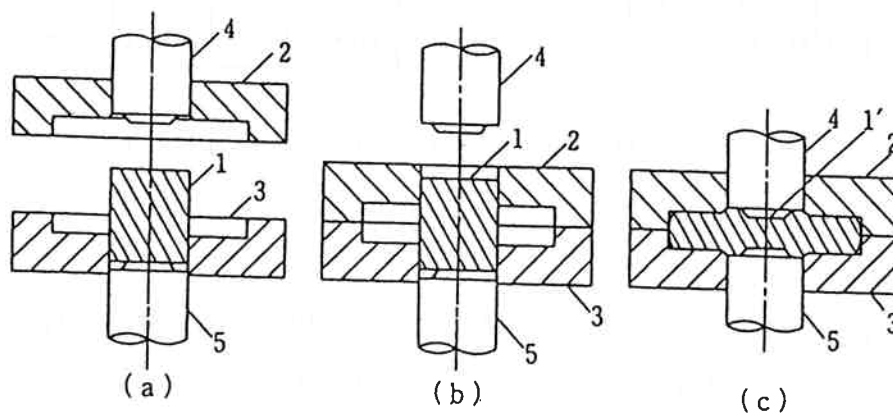


図6.19 直接・間接圧縮の組合わせ鍛造（型鍛造）¹¹⁾



1. 素材, 1'. 鍛造品, 2. 上型, 3. 下型, 4. 上パンチ, 5. 下パンチ

図6.20 閉そく鍛造の原理図¹²⁾

参考文献

- 1) 日本塑性加工学会編：鍛造，コロナ社，1995，p87.
- 2) 鍛造ハンドブック編集委員会編：鍛造ハンドブック，日刊工業新聞社，1968，p296.
- 3) 文献 1) p. 99.
- 4) 文献 1) p. 100.
- 5) 難波樹人，和田知之：塑性と加工，25-282(1984)，p625～630.
- 6) 鈴木 弘編：塑性加工，裳華房，1980，p. 195.
- 7) 文献 2) p. 281.
- 8) 文献 6) p. 196.
- 9) 文献 1) p. 120.
- 10) 文献 2) p. 364.
- 11) 文献 1) p. 132.
- 12) 文献 1) p. 142.

7. 工程全体の流れ

7.1 熱間鍛造

熱間鍛造工程の特徴は、素材を加熱する工程が入ることであり、加熱温度はアルミ合金の成分によって温度設定差があり、300から480℃までの範囲である。素材を加熱する目的は、難加工材を加熱して変形抵抗を下げるためである。

熱間鍛造の一般的な工程は表7.1のようになっており、各工程の詳細については、各章を参照されたい。

表7.1 熱間鍛造の一般的な工程

工程 項目	素材受入	切断	加熱	鍛造	熱処理	検査	出荷
図解	—	図7.1	図7.2	図7.3	図7.4	—	—
設備名	—	鋸切断	熱風循環炉	リンクプレス	熱風循環炉	自動検査機	*
内容	寸法、数、 化学成分の 確認	丸棒より所定 の長さに切断	所定の温度まで 加熱を行い、変 形抵抗を下げる	1工程にて、素材 から最終形状を成 形する	焼入れなどによ り、製品を所定 の硬度にする	鍛造不良および 寸法規格外品の 選別	客先指定の通い 箱に、製品を梱 包する
管理ポ イント	・ミル シート	・直角度 ・切断寸法	・炉内温度 ・素材温度	・鍛造荷重 ・製品厚さ・外観	・炉内温度 ・硬度	・欠肉不良 ・板厚	・梱包数

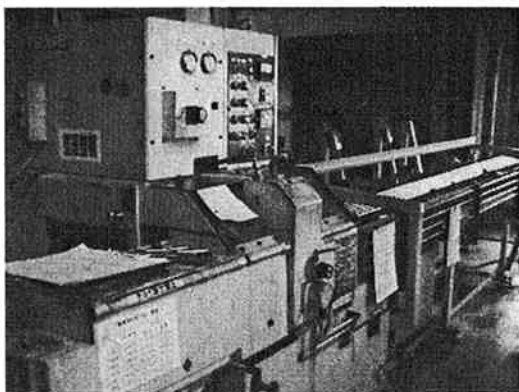


図7.1 鋸切断機

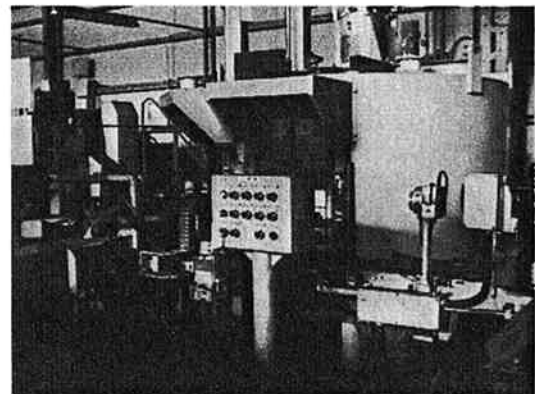


図7.2 熱風循環炉



図7.3 プレス機

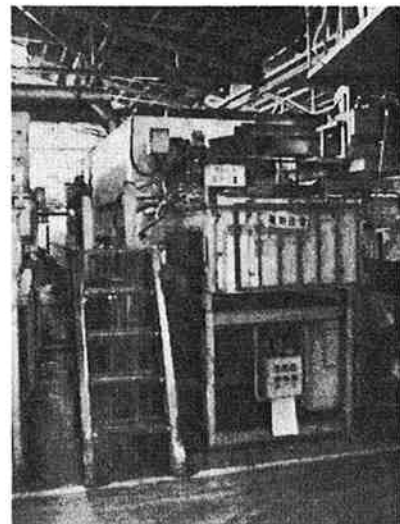


図7.4 熱風循環炉

7.2 冷間鍛造

冷間鍛造とは、被加工物を加熱せず常温で変形加工させる工法のため、生産性が高く、寸法精度、表面粗さも良好である。一方、常温での加工のため被加工材が割れ易く、また大型のプレス機を必要とする。

冷間鍛造の一般的な工程とそれに必要な設備を以下に、またVTR用シリンダーの冷間鍛造工程例およびその設備を表7.2¹⁾、図7.5¹⁾に示す。

<工 程>		<設 備>
(1) 鍛造素材取り	・ 鋸切断	…………丸鋸
	・ シャー切断	…………ビレットシャー
	・ 押切切断	…………プレス
(2) 焼なまし(0材処理)		…………流気式電気炉
(3) 潤滑	・ 皮膜化成処理	…………ボンデ処理装置
	・ 油性、その他	…………回転バレル、スプレー
(4) 鍛造		…………鍛造プレス
(5) 熱処理(溶体化&時効処理)		…………流気式電気炉

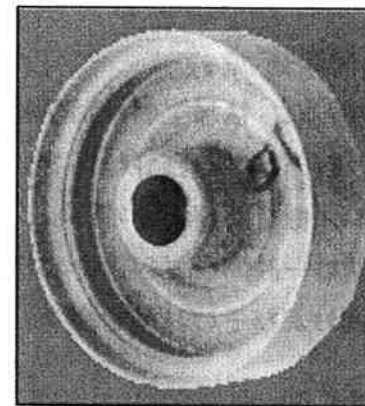
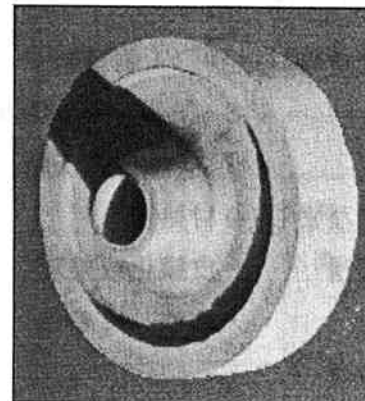
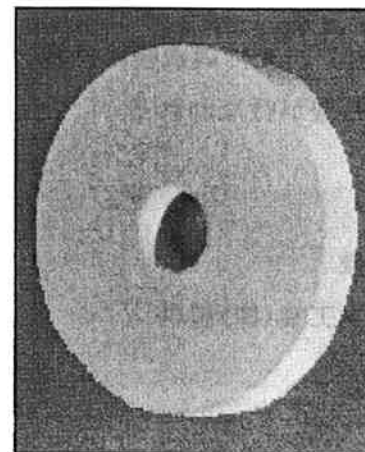
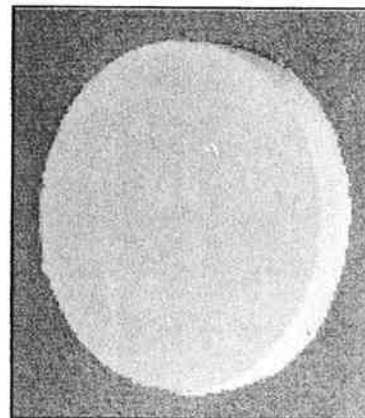
※検査は、一般に鍛造後に外観、寸法精度、欠陥、熱処理後に硬度、機械的性質(引張り)、欠陥の検査が行なわれる

参考文献

- 1) 宮本工業(株)提供

表 7.2 V T R 用下シリンダーの冷間鍛造工程例

工 程	切 断	焼 な ま し ①	潤 滑 ①	重 量 選 別	穴 抜 き	焼 な ま し	潤 滑	鍛 造	熱 処 理	洗 浄	検 査
設 備	丸 鋸	バッチ式	回転ドラム 容器	自動電子秤	60トン プレス	焼 鈍 ① に 同 じ		630トン ナックルプレス	連続炉	浸漬槽	工具顕微鏡 3次元測定 硬度計など
条 件、 内 容	回転速度、 送り速度 管理	410℃× 1.5H(炉冷)	ステアリン 酸亜鉛 (20g/300kg)	自動選別	—	潤 滑 ① に 同 じ		荷重410トン	510℃× 1.5H ↓ 170℃×8H	混酸：50℃ 酸：R T	規格(図面 値)の確認
ポ イ ン ト	平行度 厚さ(重量)	温度、時間、 材料、リダグジョ ンで異なる	適正量管理 少：ガザリ 多：潤滑ダマリ	寸法精度維持のための 重量管理	破断面なき こと			荷重管理 (精度、型寿 命に影響)	温度分布 (硬度)、置 き方(変形)	薬品の劣化 管理	不良品流出 防止と生産 性より測定 頻度の設定



(下型側)

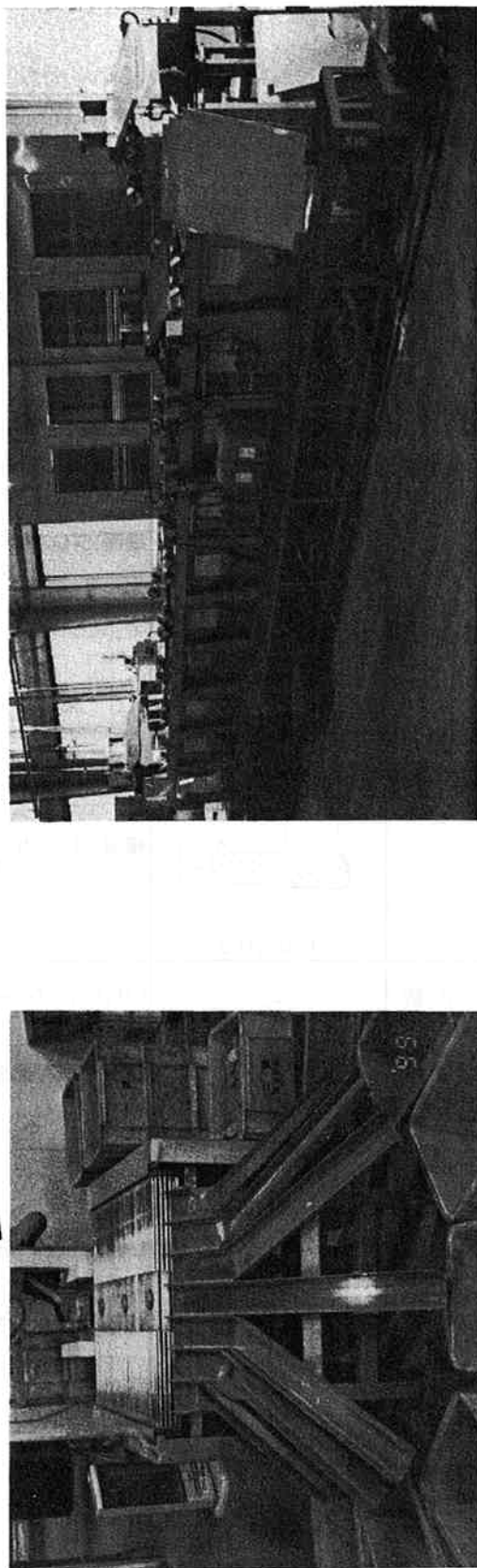
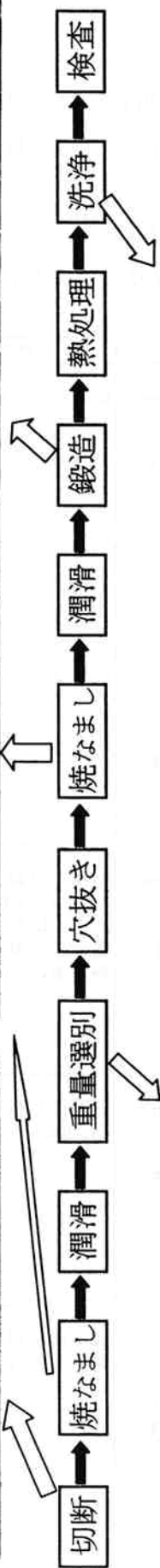
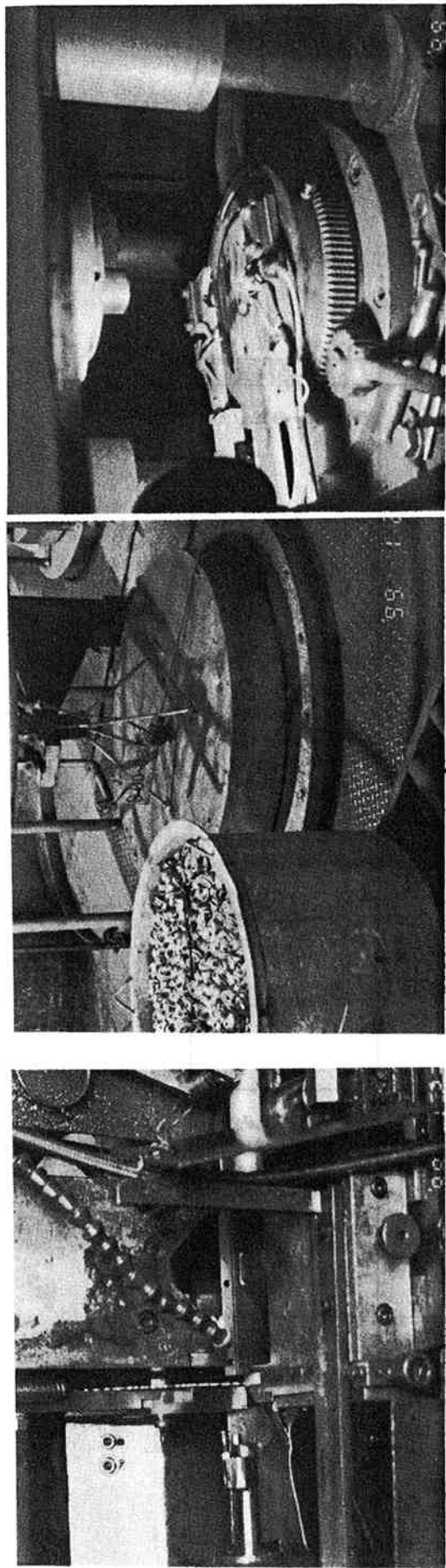


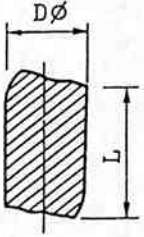
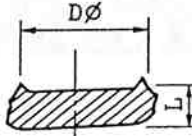
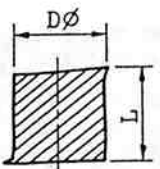
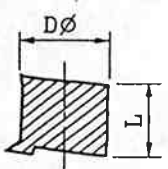
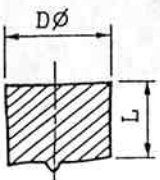
図 7. 5 冷間鍛造工程と設備¹⁾

8. 切断

鍛造用素材としてのアルミニウムを切断する場合には、丸のこ盤・帯のこ盤などが使われているのをはじめ、ビレットシャーによる切断・板材の打ち抜きなどの方法がとられている。

表 8.1 は鍛造用の素材取り方法と精度・処理量についてまとめたものである。

表 8.1 素材取り方法と精度¹⁾

方 法	形 状	精 度	処理量	その他特徴
1 プレス切断	 $L/D \geq 0.8$	L寸法: $L \pm 0.1\text{mm}$ 端面: ダレ、カエリ発生	60~100ヶ/分	歩留: 98~99%
2 プレス打抜	 $L/D \geq 0.5$	D寸法: $D \sim D + 0.1$ 端面: ダレ、カエリ発生	60ヶ/分	歩留: 60% (一列抜き) $L > 10\text{mm}$ は不可
3 丸ノコ切断	 $L/D \geq 0.1$	L寸法: $L \pm 0.2\text{mm}$ 端面: カエリ発生	$\phi 20$ の材料 鋼S20C: 10ヶ/分 アルミニウム: 55ヶ/分 銅: 40ヶ/分 銅合金: 50ヶ/分	歩留: カッタ厚み分の材料損失 約 2.5mm
4 帯ノコ切断	 $L/D \geq 0.2$	L寸法: $L \pm 0.25\text{mm}$ 端面: カエリ発生 段残る	$\phi 20$ の材料 鋼S20C: 9ヶ/分	歩留: カッタ厚み分の材料損失 約 1mm 精度が悪く冷鍛には不向き
5 旋 削	 $L/D \geq 0.1$	L寸法: $L \pm 0.075\text{mm}$ 端面: センタボス残る	$\phi 20$ の材料 鋼S20C: 7ヶ/分	歩留: バイト厚み分の材料損失 約 4mm

8.1 丸のこ盤

図8.1は丸のこ盤である。

アルミニウム材の切断では高速切断が可能ことから丸のこ盤による切断が最も多く利用されている。

比較的剛性のある刃で切断をおこなうため直角度、平行度などの寸法精度・形状は他の切断方法に比べ優れているが、切断しろが大きく厚みが薄い素材の切断では歩留まりが悪い。

最近では刃先に超硬合金を使つたものなどがあり、寿命の向上と共にランニングコストは比較的安価に押さえられている。

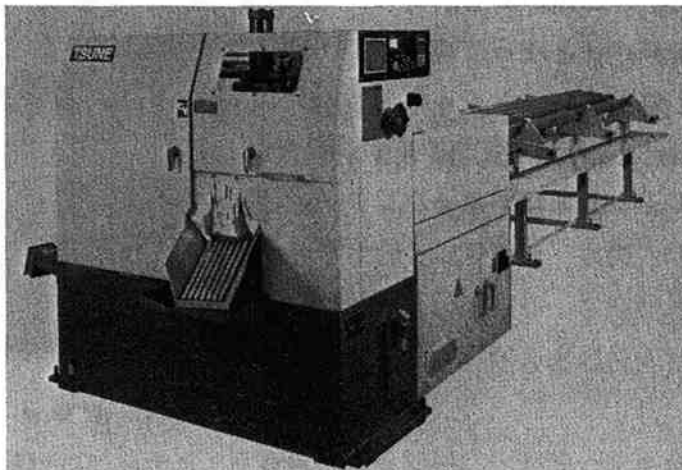


図8.1 丸のこ盤²⁾

8.2 帯のこ盤

図8.2は帯のこ盤である。

帯のこ盤は大きな径の材料の切断、小さな径の材料の束ね切りなどに使われている。

刃の厚みは1mm程度で丸のこ盤に比べ歩留まりは良いが、刃が流れるため切断面の平行度、直角度が悪く重量ばらつきも大きく、切削速度も遅いなどの欠点がある。

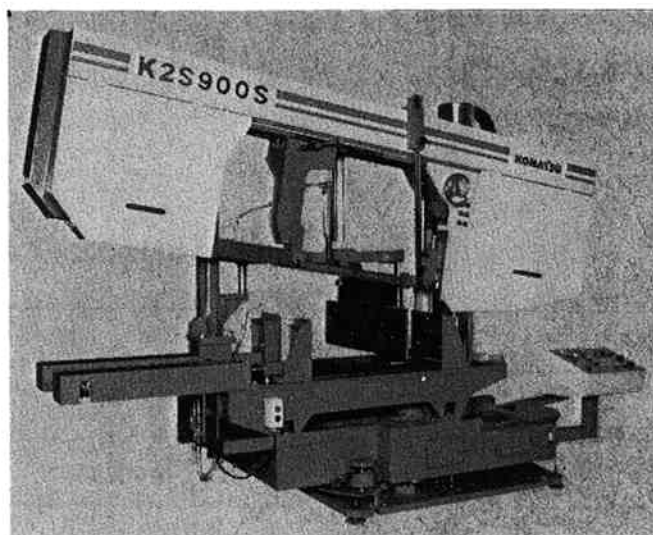


図8.2 帯のこ盤³⁾

8.3 ビレットシャー

図8.3はビレットシャーの外観である。

切断速度が速いため生産性が高く、長さをコントロールして切断するため重量ばらつきが小さく、のこ切断に比べ切り粉によるスクラップが無く歩留まりが良いなどのメリットがあるため鋼の切断では最も広く使われている。

アルミニウム材は鋼材に比べて軟質であるため、切断による変形が大きく、切断面に欠陥が発生しやすくなるなどの問題がある。そのため切断面がバリとなって廃却される場合に限りビレットシャーによる切断が行われている。図 8.3 にビレットシャーの外観を示す。

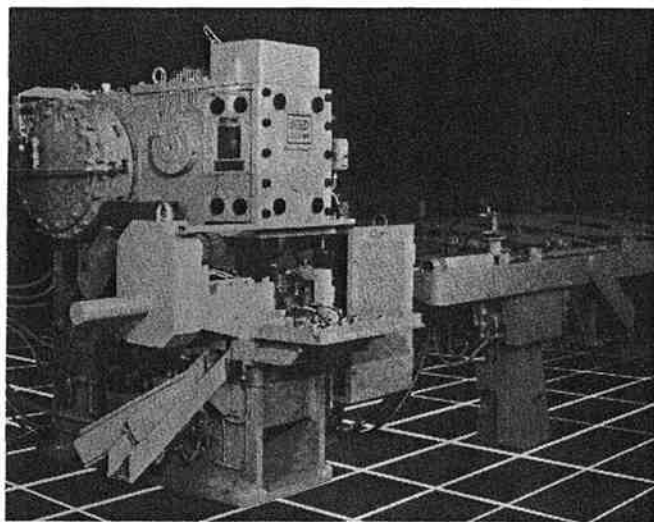


図 8.3 ビレットシャー 4)

参考文献

- 1) コマツ技術資料より.
- 2) 津根マシンツール(株)カタログより.
- 3) コマツのカタログより.
- 4) ㈱万陽のカタログより.

9. 鍛造用素材

9. 1 材料の呼称

J I Sでは個々のアルミニウム合金材料に次のような表示で呼称を付けている。ここではA 6 0 6 1 B E - T 6を取り上げて説明する。

- a) 最初のAはアルミニウム合金を示しており、Aを省略しても通用する。
- b) 続く4桁の数字は合金分類で、千の位の数字は合金系を意味し本例では6 0 0 0系のA l - M g - S i系合金を指している。十と一の位の数字は合金の識別で、本例では6 0 0 0系の内の6 1番すなわちM g ; 0 . 8 ~ 1 . 2 % , S i ; 0 . 4 ~ 0 . 8 %などの成分組成を意味している。百の位の数字は十と一の位の数字で識別された合金の改良または派生合金であることを示す。
- c) 4桁の数字の後のローマ字は材料の形状および寸法許容度を示し、本例ではB Eで押出し棒を意味している。
- d) ハイフンの後の記号は、加工硬化状態または熱処理状態などの調質を示し、本例ではT 6処理すなわち溶体化処理後人工時効硬化していることを意味している。

参考として、表9. 1に製品形状を示すJ I S記号、表9. 2にJ I S規格で用いられる調質記号の主なものを示す。

表9. 1 製品形状を示す記号 J I S 記号

記 号	意 味	記 号	意 味	記 号	意 味	記 号	意 味
P	板, 条, 円板	BD	引 抜 棒	TD	引抜継目無管	S	押 出 形 材
P C	合 せ 板	W	引 抜 線	TW	溶 接 管	F D	型 打 鍛 造 品
B E	押 出 棒	T E	押出継目無管	TWA	アーク溶接管	F H	自 由 鍛 造 品

表9. 2 J I S規格で用いられる調質記号 (J I S H 0 0 0 1)

(1) 基本記号

記 号	定 義	意 味
F ⁰⁾	製造のままのもの	特に調質の指定なく製造された状態を示す。押出しのまま、鋳放しのもまで調質をうけない材料がこれにあたる。
H 112	展伸材においては積極的な加工硬化を加えずに、製造されたままの状態で機械的性質の保証されたものを示す。	
O	焼なましにより最も軟かい状態となったもの	焼なましにより完全に再結晶した状態を示す。熱処理合金の場合は、焼なまし温度より緩かな冷却をおこない、焼入れの効果を完全に防止することが必要である。

(2) H X の細分記号及びその意味

記 号	意 味
H 1	加工硬化だけのもの： 所定の機械的性質を得るために追加熱処理を行わずに加工硬化だけしたもの。
H 2	加工硬化後適度に軟化熱処理したもの： 所定の値以上に加工硬化した後に適度の熱処理によって所定の強さまで低下したもの。常温で時効軟化する合金については、この質別は H 3 質別とほぼ同等の強さを持つ。そのほかの合金については、この質別は、H 1 質別とほぼ同等の強さをもつが、伸びは幾分高い値を示す。
H 3	加工硬化後安定化処理したもの： 加工硬化した製品を低温加熱によって安定化処理したもの。その結果、強さは幾分低下し、伸びは増加する。 この安定化処理は、常温で徐々に時効軟化するマグネシウムを含む合金にだけ適用する。

(3) H X Y の細分記号及びその意味

細分記号	意 味	参 考
H X 1	引張強さが O と H X 2 の中間のもの。	$\frac{1}{8}$ 硬質
H X 2	引張強さが O と H X 4 の中間のもの。	$\frac{1}{4}$ 硬質
H X 3	引張強さが H X 2 と H X 4 の中間のもの。	$\frac{3}{8}$ 硬質
H X 4	引張強さが O と H X 8 の中間のもの。	$\frac{1}{2}$ 硬質
H X 5	引張強さが H X 4 と H X 6 の中間のもの。	$\frac{5}{8}$ 硬質
H X 6	引張強さが H X 4 と H X 8 の中間のもの。	$\frac{3}{4}$ 硬質
H X 7	引張強さが H X 6 と H X 8 の中間のもの。	$\frac{7}{8}$ 硬質
H X 8	断面減少率ほぼ 75 % 冷間加工したとき、得られる引張強さのもの。	硬 質
H X 9	断面減少率ほぼ 75 % 以上冷間加工したとき、得られる引張強さのもの。	特 硬 質

(4) T X の細分記号及びその意味

細分記号	意 味
T 1	高温加工から冷却後自然時効させたもの： 押出材のように高温の製造工程から冷却後積極的に冷間加工を行わないで、十分に安定な状態まで自然時効させたもの。したがって、矯正してもその冷間加工の効果が小さいもの。
T 2	高温加工から冷却後冷間加工を行い、更に自然時効させたもの： 押出材のように高温の製造工程から冷却後強さを増加させるため冷間加工を行い、更に十分に安定な状態まで自然時効させたもの。
T 3	溶体化処理後冷間加工を行い、更に自然時効させたもの： 溶体化処理後強さを増加させるため冷間加工を行い、更に十分に安定な状態まで自然時効させたもの。
T 4	溶体化処理後自然時効させたもの： 溶体化処理後冷間加工を行わないで、十分に安定な状態まで自然時効させたもの。したがって、矯正してもその冷間加工の効果が小さいもの。
T 5	高温加工から冷却後人工時効硬化処理したもの： 鋳物又は押出材のように高温の製造工程から冷却後積極的に冷間加工を行わないで、人工時効硬化処理したもの。したがって、矯正してもその冷間加工の効果が小さいもの。

細分記号	意 味
T 6	溶体化処理後人工時効硬化処理したもの： 溶体化処理後積極的に冷間加工を行わないで、人工時効硬化処理したもの。したがって、矯正してもその冷間加工の効果が小さいもの。
T 7	溶体化処理後安定化処理したもの： 溶体化処理後特別の性質に調整するため、最大強さを得る人工時効硬化処理条件を超えて過剰時効処理したもの。
T 8 ^㉑	溶体化処理後冷間加工を行い、更に人工時効硬化処理したもの： 溶体化処理後強さを増加させるため冷間加工を行い、更に人工時効硬化処理したもの。
T 9 ^㉑	溶体化処理後人工時効硬化処理を行い、更に冷間加工したもの： 溶体化処理後人工時効硬化処理を行い、強さを増加させるため、更に冷間加工したもの。
T 10	高温加工から冷却後冷間加工を行い、更に人工時効硬化処理したもの： 押出材のように高温の製造工程から冷却後強さを増加させるため冷間加工を行い、更に人工時効硬化処理したもの。

(5) T X Y^㉑の細分記号及びその意味

細分記号	意 味
T 31 ^㉑	T 3 の断面減少率をほぼ 1 % としたもの： 溶体化処理後強さを増加させるため断面減少率ほぼ 1 % の冷間加工を行い、更に自然時効させたもの。
T 351 ^㉑	溶体化処理後冷間加工を行い、残留応力を除去し、更に自然時効させたもの： 溶体化処理後強さを増加させるため冷間加工を行い、1.5 % 以上 3 % 以下の永久ひずみを与える引張加工によって残留応力を除去した後、更に自然時効させたもの。
T 3511 ^㉑	溶体化処理後冷間加工を行い、残留応力を除去し、更に自然時効させたもの： 溶体化処理後強さを増加させるため冷間加工を行い、1 % 以上 3 % 以下の永久ひずみを与える引張加工によって残留応力を除去した後、更に自然時効させたもの。ただし、この引張加工後わずかな加工は許容される。
T 361 ^㉑	T 3 の断面減少率をほぼ 6 % としたもの： 溶体化処理後強さを増加させるため断面減少率ほぼ 6 % の冷間加工したもの。
T 37 ^㉑	T 3 の断面減少率をほぼ 7 % としたもの： 溶体化処理後強さを増加させるため断面減少率ほぼ 7 % の冷間加工したもの。
T 42 ^㉑	T 4 の処理を使用者が行ったもの： 使用者が溶体化処理後十分な安定状態まで自然時効させたもの。
T 451 ^㉑	溶体化処理後残留応力を除去し、更に自然時効させたもの： 溶体化処理後 1.5 % 以上 3 % 以下の永久ひずみを与える引張加工によって残留応力を除去し、更に自然時効させたもの。
T 4511 ^㉑	溶体化処理後残留応力を除去し、更に自然時効させたもの： 溶体化処理後 1 % 以上 3 % 以下の永久ひずみを与える引張加工によって残留応力を除去し、更に自然時効させたもの。ただし、この引張加工後わずかな加工は許容される。
T 61	展伸材の場合、温水焼入れによる溶体化処理後人工時効硬化処理したもの： 焼入れによるひずみの発生を防止するため温水に焼入れし、次に人工時効硬化処理したもの。 鋳物の場合、溶体化処理後人工時効硬化したもの： T 6 処理によるものよりも高い強さを得るために人工時効硬化処理条件を調整したもの。
T 62 ^㉑	T 6 の処理を使用者が行ったもの： 使用者が溶体化処理後人工時効硬化処理したもの。
T 651 ^㉑	溶体化処理後残留応力を除去し、更に人工時効硬化処理したもの： 溶体化処理後 1.5 % 以上 3 % 以下の永久ひずみを与える引張加工によって残留応力を除去し、更に人工時効硬化したもの。

細分記号	意 味
T 6511 ⁽²⁾	溶体化処理後残留応力を除去し、更に人工時効硬化処理したもの： 溶体化処理後 1 % 以上 3 % 以下の永久ひずみを与える引張加工によって残留応力を除去し、更に人工時効硬化したもの。ただし、この引張加工後わずかな加工は許容される。
T 652 ⁽²⁾	溶体化処理後残留応力を除去し、更に人工時効硬化処理したもの： 溶体化処理後 1 % 以上 5 % 以下の永久ひずみを与える圧縮加工によって残留応力を除去し、更に人工時効硬化処理したもの。
T 73	溶体化処理後過時効処理したもの： 溶体化処理後機械的性質と応力腐食割れ性を調整するため過時効処理したもの。
T 7352 ⁽²⁾	溶体化処理後残留応力を除去し、更に過時効処理したもの： 溶体化処理後 1 % 以上 5 % 以下の永久ひずみを与える圧縮加工によって残留応力を除去し、更に機械的性質と応力腐食割れ性を調整するため過時効処理したもの。
T 74	溶体化処理後過時効処理したもの： 溶体化処理後機械的性質と応力腐食割れ性を調整するため過時効処理したもの。
T 7452 ⁽²⁾	溶体化処理後残留応力を除去し、更に過時効処理したもの： 溶体化処理後 1 % 以上 5 % 以下の永久ひずみを与える圧縮加工によって残留応力を除去し、更に機械的性質と応力腐食割れ性を調整するため過時効処理したもの。
T 81 ⁽²⁾	T 8 の断面減少率をほぼ 1 % としたもの： 溶体化処理後強さを増加させるため断面減少率ほぼ 1 % の冷間加工を行い、更に人工時効硬化処理したもの。
T 83 ⁽²⁾	T 8 の断面減少率をほぼ 3 % としたもの： 溶体化処理後強さを増加させるため断面減少率ほぼ 3 % の冷間加工を行い、更に人工時効硬化処理したもの。
T 851 ⁽²⁾	溶体化処理後冷間加工を行い、残留応力を除去し、更に人工時効硬化処理したもの： 溶体化処理後強さを増加させるため冷間加工を行い、1.5 % 以上 3 % 以下の永久ひずみを与える引張加工によって残留応力を除去し、更に人工時効硬化処理したもの。
T 852 ⁽²⁾	溶体化処理後冷間加工を行い、残留応力を除去し、更に人工時効硬化処理したもの： 溶体化処理後強さを増加させるため冷間加工を行い、1 % 以上 5 % 以下の永久ひずみを与える圧縮加工によって残留応力を除去し、更に人工時効硬化処理したもの。
T 861 ⁽²⁾	T 361 を人工時効硬化処理したもの： 溶体化処理後強さを増加させるため断面減少率ほぼ 6 % の冷間加工を行い、更に人工時効硬化処理したもの。
T 87 ⁽²⁾	T 37 を人工時効硬化処理したもの： 溶体化処理後強さを増加させるため断面減少率ほぼ 7 % の冷間加工を行い、更に人工時効硬化処理したもの。

注 (1) 展伸材については、機械的性質を適用しない。

(2) 展伸材についてだけ適用。

(3) Y は、二つ以上の数字を述べて用いることがある。

9. 2 代表的なアルミニウム鍛造用合金の特性

鍛造用素材としては一般に展伸用アルミニウム合金が多く用いられてる。それらの特性をまとめると以下のようなになる。

- a) 7 0 5 0, 7 0 7 5 ; 強度が最も優れている。
- b) 2 2 1 9, 2 N 0 1 ; 耐熱強度に優れている。
- c) 4 0 3 2 ; 熱膨張率が小さい。

d) 5056, 5083, 6061, 6151; 強度はやや劣るが耐食性は良好。

e) 7175, 7475; 靱性・強度・耐応力腐食割れ性の向上材。

参考として、表9.3に代表的な鍛造用アルミニウム合金の特性、表9.4にアルミニウムの標準的な機械的性質、表9.5にJIS規格アルミニウム合金展伸用材の化学成分を示す。

また、鍛造品の機械的性質は鍛錬成形比とメタルフローによって影響を受け、図9.1に示すように鍛錬成形比の増加に従って機械的性質が改善され展伸材としての特性が得られてくる。そして、塑性変形を受けた材料は図9.2に示すようにメタルフローによって機械的性質に異方性を帯びてくる。図9.2中のL方向はメタルフローと平行な方向を意味しており機械的強度と伸びは最も優れるようになる。ST方向はメタルフローに直角で鍛造時のプレス方向を意味しており、機械的強度と伸びは最も劣ってくる。LT方向はL方向とST方向の中間の性質になる。

表9.3 代表的な鍛造用アルミニウム合金の特性と用途

分 類	合金・調質	強 度	耐食性	切削性	溶接性	特 性	主 な 用 途
高力合金	2914-T6	B	C	A	D	鍛造性、延性に優れる典型的な高力合金。耐食性に劣る。	航空機部品、車両自動車部品 一般構造部品
	7075-T6	A	C	A	D	鍛造用合金中最高強度を有するが、耐食性、耐応力腐食割れ性に劣る。	航空機部品
	7075-T73	B	B	A	D	過時効処理により耐応力腐食割れ性を改善した合金。強度はT6より劣る。	航空機部品、船用部品、自動車部品
	7175-T74	A	B	A	D	強度、靱性、耐応力腐食割れ性に優れる新合金。	航空機部品
	7050-T74	A	B	A	D	強度、靱性、耐応力腐食割れ性に優れる新合金。とくに厚物強度に優れる。	航空機部品、高速回転体
耐熱合金	2219-T6	B	B	A	A	高温での強度、耐クリープ性に優れ、溶接性良好である。	ロケット部品
	2618-T61	B	C	A	C	高温強度に優れる。	ピストン、過給機の扇車、ゴム金型、一般耐熱用途部品
	4032-T6	C	C	C	B	中温（約200℃）での強度が高く、熱膨張係数が小さく、耐摩耗性に優れる。	ピストン
耐食合金	1100-0	D	A	C	A	強度は低いが、耐食性、熱間・冷間加工性に優れる。切削性は悪い。	電算機用メモリードラム
	5083-0	C	A	C	A	耐食性、溶接性および低温での機械的性質（とくに靱性）に優れる。	LNG フランジ
	6061-T6	C	A	B	A	延性、靱性、耐食性に優れる典型的な中力合金。	理化学用ローター、自動車用ホイールレシーバータンク
	6151-T6	C	A	B	A	延性、靱性、耐食性に優れる。6061より強度がやや高い。	過給機の扇車、自動車用ホイール

備考 (1) A: 良→D: 悪

表9.4 アルミニウムの標準的機械的性質

材 質	引 張 性 質				ブリネル か た さ (10/500)	せ ん 断 強 さ (kgf/mm ²)	疲れ強さ ⁽¹⁾ (kgf/mm ²)	縦弾性係数 ⁽²⁾ × 1000 (kgf/mm ²)
	引張強さ (kgf/mm ²)	耐 力 (kgf/mm ²)	伸 び (%)					
			板 (1.6mm 厚)	棒 (12.7mm φ)				
1060-O	7.0	3.0	43	－	19	5.0	2.0	7.0
1060-H12	8.5	7.5	16	－	23	5.5	3.0	7.0
1060-H14	10.0	9.0	12	－	26	6.5	3.5	7.0
1060-H16	11.0	10.5	8	－	30	7.0	4.5	7.0
1060-H18	13.5	12.5	6	－	35	7.5	4.5	7.0
1100-O	9.0	3.5	35	45	23	6.5	3.5	7.0
1100-H12	11.0	10.5	12	25	28	7.0	4.0	7.0
1100-H14	12.5	12.0	9	20	32	7.5	5.0	7.0
1100-H16	15.0	14.0	6	17	38	8.5	6.5	7.0
1100-H18	17.0	15.5	5	15	44	9.0	6.5	7.0
2011-T3	38.5	30.0	－	15	95	22.5	12.5	7.2
2011-T8	41.5	31.5	－	12	100	24.5	12.5	7.2
2014-O	19.0	10.0	－	18	45	12.5	9.0	7.5
2014-T4, -T451	43.5	29.5	－	20	105	26.5	14.0	7.5
2014-T6, -T651	49.0	42.0	－	13	135	29.5	12.5	7.5
2014-O 合せ板	17.5	7.0	21	－	－	12.5	－	7.4
2014-T3 合せ板	44.5	28.0	20	－	－	26.0	－	7.4
2014-T4, -T51 合せ板	43.0	26.0	22	－	－	26.0	－	7.4
2014-T6, -T651 合せ板	48.0	42.0	10	－	－	29.0	－	7.4
2017-O	18.5	7.0	－	22	45	12.5	9.0	7.4
2017-T4, -T451	43.5	28.0	－	22	105	26.5	12.5	7.4
2018-T61	43.0	32.0	－	12	120	27.5	12.0	7.6
2024-O	19.0	7.5	20	22	47	12.5	9.0	7.5
2024-T3	49.0	35.0	18	－	120	29.0	14.0	7.5
2024-T4, -T351	48.0	33.0	20	19	120	29.0	14.0	7.5
2024-T361	50.5	40.0	13	－	130	29.5	12.5	7.5
2024-O 合せ板	18.5	7.5	20	－	－	12.5	－	7.5
2024-T3	45.5	31.5	18	－	－	28.0	－	7.5
2024-T4,-T351 合せ板	45.0	29.5	19	－	－	28.0	－	7.5
2024-T361 合せ板	47.0	37.5	11	－	－	29.0	－	7.5
2024-T81,-T851 合せ板	45.5	42.0	6	－	－	28.0	－	7.5
2024-T861 合せ板	49.0	46.5	6	－	－	29.5	－	7.5
2025-T6	41.0	26.0	－	19	110	24.5	12.5	7.3
2117-T4	30.0	17.0	－	27	70	19.5	10.0	7.2
2218-T72	33.5	26.0	－	11	95	21.0	－	7.6

表9.4 アルミニウムの標準的機械的性質（つづき）

材 質	引 張 性 質				ブリネル か た さ (10/500)	せ ん 断 強 さ (kgf/mm ²)	疲れ強さ ⁽¹⁾ (kgf/mm ²)	縦弾性係数 ⁽²⁾ × 1000 (kgf/mm ²)
	引張強さ (kgf/mm ²)	耐 力 (kgf/mm ²)	伸 び (%)					
			板 (1.6mm 厚)	棒 (12.7mm φ)				
2618-T61	45.0	38.0	—	10	115	26.5	12.5	7.6
2219-O	17.5	7.5	18	—	—	—	—	7.5
2219-T42	36.5	19.0	20	—	—	—	—	7.5
2219-T31, T351	36.5	25.5	17	—	—	—	—	7.5
2219-T37	40.0	32.5	11	—	—	—	—	7.5
2219-T62	42.0	29.5	10	—	—	—	10.5	7.5
2219-T81, T851	46.5	36.0	10	—	—	—	10.5	7.5
2219-T87	48.5	40.0	10	—	—	—	10.5	7.5
3003-O	11.0	4.0	30	40	28	7.5	5.0	7.0
3003-H12	13.5	12.5	10	20	35	8.5	5.5	7.0
3003-H14	15.5	15.0	8	16	40	10.0	6.5	7.0
3003-H16	18.5	17.5	5	14	47	10.5	7.0	7.0
3003-H18	20.5	19.0	4	10	55	11.0	7.0	7.0
3003-O 合せ板	11.0	4.0	30	40	—	7.5	—	7.0
3003-H12 合せ板	13.5	12.5	10	20	—	8.5	—	7.0
3003-H14 合せ板	15.5	15.0	8	16	—	10.0	—	7.0
3003-H16 合せ板	18.5	17.5	5	14	—	10.5	—	7.0
3003-H18 合せ板	20.5	19.0	4	10	—	11.0	—	7.0
3004-O	18.5	7.0	20	25	45	11.0	10.0	7.0
3004-H32	22.0	17.5	10	17	52	12.0	10.5	7.0
3004-H34	24.5	20.5	9	12	63	12.5	10.5	7.0
3004-H36	26.5	23.0	5	9	70	14.0	11.0	7.0
3004-H38	29.0	25.5	5	6	77	15.0	11.0	7.0
3105-O	12.0	5.5	24	—	—	8.5	—	7.0
3105-H12	15.0	13.5	7	—	—	10.0	—	7.0
3105-H14	17.5	15.5	5	—	—	10.5	—	7.0
3105-H16	19.5	17.5	4	—	—	11.0	—	7.0
3105-H18	22.0	19.5	3	—	—	12.0	—	7.0
3105-H25	18.5	16.0	8	—	—	10.5	—	7.0
4032-T6	38.5	32.3	—	9	120	26.5	11.0	8.0
5005-O	12.5	4.0	25	—	28	7.5	—	7.0
5005-H12	14.0	13.5	10	—	—	10.0	—	7.0
5005-H14	16.0	15.5	6	—	—	10.0	—	7.0
5005-H16	18.5	17.5	5	—	—	10.5	—	7.0
5005-H18	20.5	19.5	4	—	—	11.0	—	7.0
5005-H32	14.0	12.0	11	—	36	10.0	—	7.0
5005-H34	16.0	14.0	8	—	41	10.0	—	7.0
5005-H36	18.5	17.0	6	—	46	10.5	—	7.0
5005-H38	20.5	19.0	5	—	51	11.0	—	7.0

表 9.4 アルミニウムの標準的機械的性質 (つづき)

材 質	引 張 性 質				ブリネル か た さ (10/500)	せん 断 強 さ (kgf/mm ²)	疲れ強さ ^{a)} (kgf/mm ²)	縦弾性係数 ^{b)} × 1000 (kgf/mm ²)
	引張強さ (kgf/mm ²)	耐 力 (kgf/mm ²)	伸 び (%)					
			板 (1.6mm 厚)	棒 (12.7mm φ)				
5052-O	19.5	9.0	25	30	47	12.5	11.0	7.2
5052-H32	23.0	19.5	12	18	60	14.0	12.0	7.2
5052-H34	26.5	22.0	10	14	68	15.0	12.5	7.2
5052-H36	28.0	24.5	8	10	73	16.0	13.5	7.2
5052-H38	29.5	26.0	7	8	77	17.0	14.0	7.2
5056-O	29.5	15.5	—	35	65	18.5	14.0	7.2
5056-H18	44.5	41.5	—	10	105	24.0	15.5	7.2
5056-H38	42.0	35.0	—	15	100	22.5	15.5	7.2
5082-O	28.0	14.0	22	—	—	—	—	—
5082-H34	33.5	22.0	16	—	—	—	—	—
5082-H38	37.5	30.5	8	—	—	—	—	—
5083-O	29.5	15.0	—	22	—	17.5	—	7.2
5083-H321	32.5	23.0	—	16	—	—	16.0	7.2
5086-O	26.5	12.0	22	—	—	16.0	—	7.2
5086-H32	29.5	21.0	12	—	—	—	—	7.2
5086-H34	33.0	26.0	10	—	—	19.0	—	7.2
5086-H112	27.5	13.5	14	—	—	—	—	7.2
5154-O	24.5	12.0	27	—	58	15.5	12.0	7.2
5154-H32	27.5	21.0	15	—	67	15.5	12.5	7.2
5154-H34	29.5	23.0	13	—	73	17.0	13.5	7.2
5154-H36	31.5	25.5	12	—	78	18.5	14.0	7.2
5154-H38	33.5	27.5	10	—	80	19.5	15.0	7.2
5154-H112	24.5	12.0	25	—	63	—	12.0	7.2
5182-O	29.5	15.0	21	—	—	—	—	—
5182-H34	33.5	23.5	18	—	—	—	—	—
5182-H38	39.0	31.5	9	—	—	—	—	—
5254-O	24.5	12.0	27	—	58	15.5	12.0	7.2
5254-H32	27.5	21.0	15	—	67	15.5	12.5	7.2
5254-H34	29.5	23.0	13	—	73	16.5	13.5	7.2
5254-H36	31.5	25.5	12	—	78	17.0	14.0	7.2
5254-H38	33.5	27.5	10	—	80	19.5	15.0	7.2
5254-H112	24.5	12.0	25	—	63	—	12.0	7.2
5454-O	25.5	12.0	22	—	62	16.0	—	7.2
5454-H32	28.0	21.0	10	—	73	17.0	—	7.2
5454-H34	31.0	24.5	10	—	81	18.5	—	7.2
5454-H111	26.5	18.5	14	—	70	16.0	—	7.2
5454-H112	25.5	12.5	18	—	62	16.0	—	7.2

表 9.4 アルミニウムの標準的機械的性質 (つづき)

材 質	引 張 性 質				ブリネル か た さ (10/500)	せ ん 断 強 さ (kgf/mm ²)	疲れ強さ ^① (kgf/mm ²)	縦弾性係数 ^② × 1000 (kgf/mm ²)
	引張強さ (kgf/mm ²)	耐 力 (kgf/mm ²)	伸 び (%)					
			板 (1.6mm 厚)	棒 (12.7mm φ)				
5652-O	19.5	9.0	25	30	47	12.5	11.0	7.2
5652-H32	23.0	19.5	12	18	60	14.0	12.0	7.2
5652-H34	26.5	22.0	10	14	68	15.0	12.5	7.2
5652-H36	28.0	24.5	8	10	73	16.0	13.5	7.2
5652-H38	29.5	26.0	7	8	77	17.0	14.0	7.2
5N01-O	10.5	4.0	23	—	—	—	—	—
5N01-H24	15.0	12.0	12	—	—	—	—	—
5N01-H26	18.0	15.5	8	—	—	—	—	—
5N01-H28	20.0	18.0	3	—	—	—	—	—
6061-O	12.5	5.5	25	30	30	8.5	6.5	7.0
6061-T4, -T451	24.5	15.0	22	25	65	17.0	10.0	7.0
6061-T6, -T651	31.5	28.0	12	17	95	21.0	10.0	7.0
6N01-O	10.0	5.5	—	25	29	8.0	—	7.0
6N01-T5	27.5	23.0	—	12	88	17.5	9.5	7.0
6N01-T6	29.0	26.0	—	12	95	18.0	10.0	7.0
6063-O	9.1	5.0	—	—	25	7.0	5.5	7.0
6063-T1	15.5	9.0	20	—	42	10.0	6.5	7.0
6063-T4	17.5	9.0	22	—	—	—	—	7.0
6063-T5	19.0	15.0	12	—	60	12.0	7.0	7.0
6063-T6	24.5	22.0	12	—	73	15.5	7.0	7.0
6063-T83	26.0	24.5	9	—	82	15.5	—	7.0
6063-T831	21.0	19.0	10	—	70	12.5	—	7.0
6063-T832	29.5	27.5	12	—	95	19.0	—	7.0
7050-T7451	53.5	48.0	—	10	—	31.0	—	7.3
7075-O	23.0	10.5	17	16	60	15.5	—	7.3
7075-T6, T651	58.5	51.5	11	11	150	33.5	16.0	7.3
7075-O 合せ板	22.5	10.0	17	—	—	15.5	—	7.3
7075-T6, T651 合せ板	53.5	47.0	11	—	—	32.5	—	7.3
7003-T5	32.0	26.0	15		85	18.0	12.7	7.3
7N01-T4	36.5	22.5	16	—	95	—	—	7.3
7N01-T5	35.0	30.0	15		100	18.5	13.0	7.3
7N01-T6	37.0	30.0	15	—	100	19.5	13.0	7.3

注 (1) 回転曲げ, 5×10^8 回, 10,000rpm。

(2) 引張, 圧縮の平均値, 圧縮の場合は引張りよりおよそ 2% 高い。

表9.5 J I S規格アルミニウム合金展伸材の化学成分

種 類 (JIS 呼称)	化 学 成 分 ^{m)} (%)									
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti		Al
1N99	—	0.004	—	—	—	—	—	—	Cu+Si 0.010	99.99 以上
1N90	—	0.030	—	—	—	—	—	—	Cu+Si 0.080	99.99 以上
1085	0.10	0.12	0.03	0.02	0.02	—	0.03	0.02		99.85 以上
1080	0.15	0.15	0.03	0.02	0.02	—	0.03	0.03		99.80 以上
1070	0.20	0.25	0.04	0.03	0.03	—	0.04	0.03		99.70 以上
1060	0.25	0.35	0.05	0.03	0.03	—	0.05	0.03		99.60 以上
1050	0.25	0.40	0.05	0.05	0.05	—	0.05	0.03		99.50 以上
1230 ^{m)}	0.7		0.10	0.05	0.05	—	0.10	0.03		99.30 以上
1N30	0.7		0.10	0.05	0.05	—	0.05	—		99.30 以上
1100	1.0		0.05~0.20	0.05	—	—	0.10	—		99.00 以上
1200	1.0		0.05	0.05	—	—	0.10	0.05		99.00 以上
1N00	1.0		0.05~0.20	0.05	0.10	—	0.10	0.10		99.00 以上
2011	0.40	0.7	5.0~6.0	—	—	—	0.30	—	Pb 0.20~0.6 Bi 0.20~0.6	残 部
2014	0.50~1.2	0.7	3.9~5.0	0.40~1.2	0.20~0.8	0.10	0.25	—	Zr+Ti 0.20	"
2017	0.20~0.8	0.7	3.5~4.5	0.40~1.0	0.40~0.8	0.10	0.25	—	Zr+Ti 0.20	"
2117	0.8	0.7	2.2~3.0	0.20	0.20~0.50	0.10	0.25	—		"
2018	0.9	1.0	3.5~4.5	0.20	0.45~0.9	0.10	0.25	—	Ni 1.7~2.3	"
2218	0.9	1.0	3.5~4.5	0.20	1.2~1.8	0.10	0.25	—	Ni 1.7~2.3	"
2618	0.10~0.25	0.9~1.3	1.9~2.7	—	1.3~1.8	—	0.10	0.04~0.10	Ni 0.9~1.2	"
2219	0.20	0.30	5.8~6.8	0.20~0.40	0.02	—	0.10	0.02~0.10	Zr0.10~0.25 V0.05~0.15	"
2024	0.50	0.50	3.8~4.9	0.30~0.9	1.2~1.8	0.10	0.28	—	Zr+Ti 0.20	"
2025	0.50~1.2	1.0	3.9~5.0	0.40~1.2	0.05	0.10	0.25	0.15		"
2N01	0.50~1.3	0.6~1.5	1.5~2.5	0.20	1.2~1.8	—	0.20	0.20	Ni 0.6~1.4	"
3003	0.6	0.7	0.05~0.20	1.0~1.5	—	—	0.10	—		"
3203	0.6	0.7	0.05	1.0~1.5	—	—	0.10	—		"
3004	0.30	0.7	0.25	1.0~1.5	0.8~1.3	—	0.25	—		"
3104	0.6	0.8	0.05~0.25	0.8~1.4	0.8~1.3	—	0.25	0.10	Ga0.05,V0.05	"
3005	0.6	0.7	0.30	1.0~1.5	0.20~0.6	0.10	0.25	0.10		"
3105	0.6	0.7	0.30	0.30~0.8	0.20~0.8	0.20	0.40	0.10		"
4032	11.0~13.5	1.0	0.50~1.3	—	0.8~1.3	0.10	0.25	—	Ni 0.50~1.3	"
5005	0.30	0.7	0.20	0.20	0.50~1.1	0.10	0.25	—		"
5052	0.25	0.40	0.10	0.10	2.2~2.8	0.15~0.35	0.10	—		"
5652	0.40		0.04	0.01	2.2~2.8	0.15~0.35	0.10	—		"
5154	0.45		0.10	0.10	3.1~3.9	0.15~0.35	0.20	0.20		"
5254	0.45		0.05	0.01	3.1~3.9	0.15~0.35	0.20	0.05		"

表9.5 JIS規格アルミニウム合金展伸材の化学成分（つづき）

種類 (JIS呼称)	化 学 成 分 ^{a)} (%)									
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti		Al
5454	0.25	0.40	0.10	0.50~1.0	2.4~3.0	0.05~0.20	0.25	0.20		"
5056	0.30	0.40	0.10	0.05~0.20	4.5~5.6	0.05~0.20	0.10	—		"
5082	0.20	0.35	0.15	0.15	4.0~5.0	0.15	0.25	0.10		"
5182	0.20	0.35	0.15	0.20~0.50	4.0~5.0	0.10	0.25	0.10		"
5083	0.40	0.40	0.10	0.40~1.0	4.0~4.9	0.05~0.25	0.25	0.15		"
5086	0.40	0.50	0.10	0.20~0.7	3.5~4.5	0.05~0.25	0.25	0.15		"
5N01	0.15	0.25	0.20	0.20	0.20~0.6	—	0.03	—		"
5N02	0.40	0.05	0.10	0.30~1.0	0.3~4.0	0.50	0.10	0.20		"
6101	0.30~0.7	0.50	0.10	0.03	0.35~0.8	0.03	0.10	—	B 0.06	"
6003 ^{b)}	0.35~1.0	0.6	0.10	0.8	0.8~1.5	0.35	0.20	0.10		"
6151	0.6~1.2	1.0	0.35	0.20	0.45~0.8	0.15~0.35	0.25	0.15		"
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		"
6N01	0.40~0.9	0.35	0.35	0.50	0.40~0.8	0.30	0.25	0.10	Mn+Cr 0.50	"
6063	0.20~0.6	0.35	0.10	0.10	0.45~0.9	0.10	0.10	0.10		"
7003	0.30	0.35	0.20	0.30	0.50~1.0	0.20	5.0~6.5	0.20	Zr0.05~0.25	"
7N01	0.30	0.35	0.20	0.20~0.7	1.0~2.0	0.30	4.0~5.0	0.20	Zr0.25V0.25	"
7050	0.12	0.15	2.0~2.6	0.10	1.9~2.6	0.04	5.7~6.7	0.06	Zr0.08~0.15	"
7072 ^{c)}	0.7		0.10	0.10	0.10	—	0.8~1.3	—		"
7075	0.40	0.50	1.2~2.0	0.30	2.1~2.9	0.18~0.28	5.1~5.6	0.20	Zr+Ti 0.25	"

注 (1) 範囲で示していない数字は、最大値を示す。

(2) 2024 合せ板の皮材に用いる（アメリカ、アルミニウム協会合金名）

(3) 2024 合せ板の皮材に用いる（アメリカ、アルミニウム協会合金名）

(4) 7075 合せ板の皮材に用いる（アメリカ、アルミニウム協会合金名）

9. 3 鍛造性と鍛造温度

図9. 3に代表的な鍛造用アルミニウム合金の鍛造温度と鍛造性を示す。6061と6151は鍛造性が良好で複雑な形状の製品が得られやすいが、5083や7075は鍛造が難しく、形状が複雑な製品が要求されるときは液圧プレスなどの成形速度の遅いプレスで成形されている。なお、適切な鍛造温度は成形速度・金型温度・鍛造工程数によって変わってくるので個々に確認する必要がある。

9. 4 材料選定の指針

アルミニウムおよびアルミニウム合金の強度は純アルミニウム（1000系）、Al-Mg合

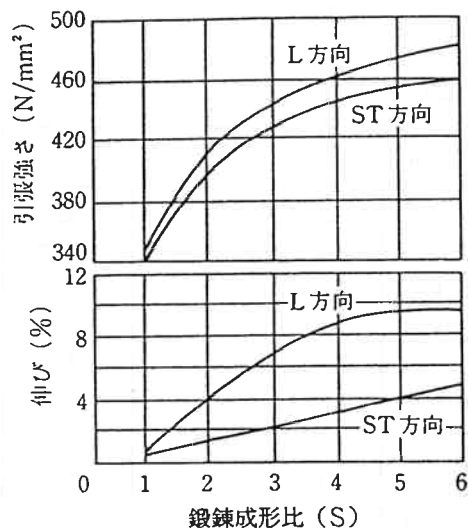


図9.1 2014-T6の鍛錬成形比による機械的性質の変化

金(5000系), Al-Mg-Si合金(6000系), Al-Cu合金(2000系), Al-Zn-Mg合金(7000系)の順に大きくなるので, 製品強度を重視する場合はこれらの順位を念頭において選定すると良い。そして, 鍛造加工で使用される代表的な合金を示すと以下のようなのである。

- ・ 5000系; 5052, 5053
- ・ 6000系; 6061, 6063
- ・ 2000系; 2014, 2017
- ・ 7000系; 7003, 7N01, 7075

耐食性はAl-Cu合金(2000系) Al-Zn-Mg合金(7000系) Al-Mg-Si合金(6000系), Al-Mg合金(5000系), 純アルミニウム(1000系)の順に向上してくるので, 耐食性を重視する場合はこれらの順位を考慮して選定すると良い。なお, 耐食性は製品使用環境によって大きく異なってくるので確認が必要である。

鍛造加工性に関しては9.3節を参考にするとよい。切削加工性に関しては, 一般にAl-Mg合金(5000系), Al-Mg-Si合金(6000系), Al-Zn-Mg合金(7000系), 純アルミニウム(1000系), Al-Cu合金(2000系)の順に切削しやすくなる。特に, 2021は切削加工しやすい。

参考文献

- 1) 社団法人 軽金属協会: アルミニウムハンドブック(第5版)(1994年7月)

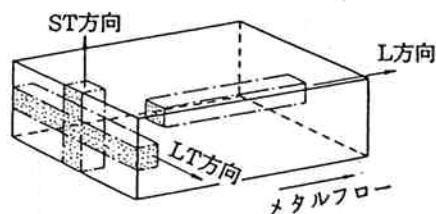


図9.2 鍛造品のメタルフローと異方性

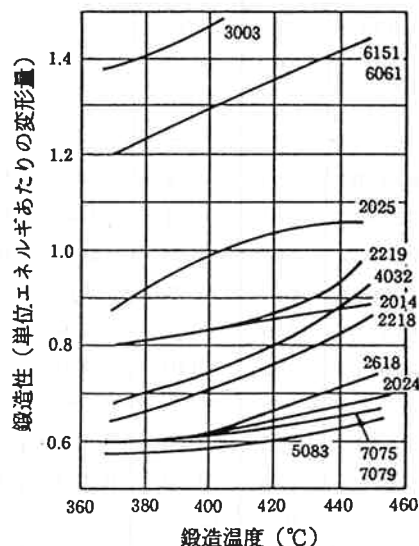


図9.3 代表的な鍛造用アルミニウム合金の鍛造温度と鍛造性

11. 金型の製作

11.1 熱間鍛造の型設計

型鍛造は、ばり溝を設けた一対の型で一方向あるいは対向方向から材料を圧縮し、インプレッション内で三次元方向に拘束されて変形する。図14・1にその変形過程を示す。

最初は型の拘束度が比較的小さく、インプレッション内に充満が徐々に進むにつれ、材料の表面が型に接し、拘束度が大きくなり、摩擦抵抗が増大し、これにより型内部の圧力も増大する。これに伴い、未充満部分とフラッシュ部に材料が流れ込む。

その際、狭いフラッシュ部を流れることにより材料の流れが制動されると同時に、薄いばりの温度低下により材料そのものの変形抵抗が増大し、インプレッション内部の圧力が高まり、完全にインプレッション内は材料が充満する。

余分な材料は、ばりとなり、ばりだまり(ガッター部)に溜まる。

以上は普通の型鍛造の材料挙動を示すものである。型が完全に密閉された閉塞鍛造の場合は、材料はインプレッション内で三次元方向に完全に拘束された状態で成形される。

材料は全くばりとはならないが、材料の流れを制動する目的でなく、単に余分な材料を逃すためのわずかなばりとなる。図14・2に閉塞型を示す。

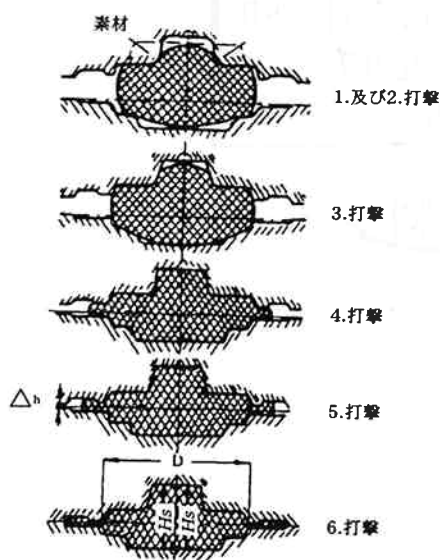


図11・1 型鍛造の変形形状

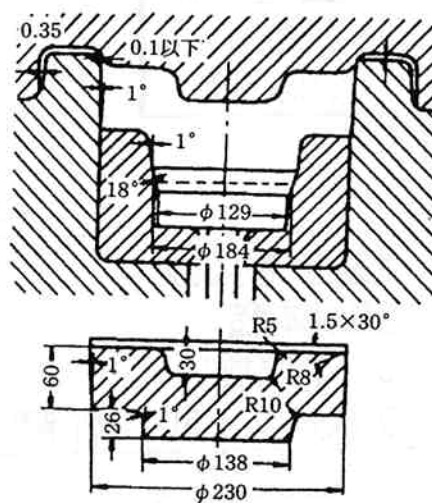


図11・2 閉塞型の鍛造

11.2 鍛造品の設計

鍛造品に対する要求は、部品の軽量化、機械加工代の減少等により、形状の複雑化、寸法精度の向上と、益々要求品質が高くなる一方で、より経済的に生産することも要請されている。これらの要請に対応するために、部品機能、機械加工方法を把握し、最適形状及び最適鍛造工法を設定する必要がある。一般的な型設計の手順を図14・3に示した。

金型設計の具体的な手順

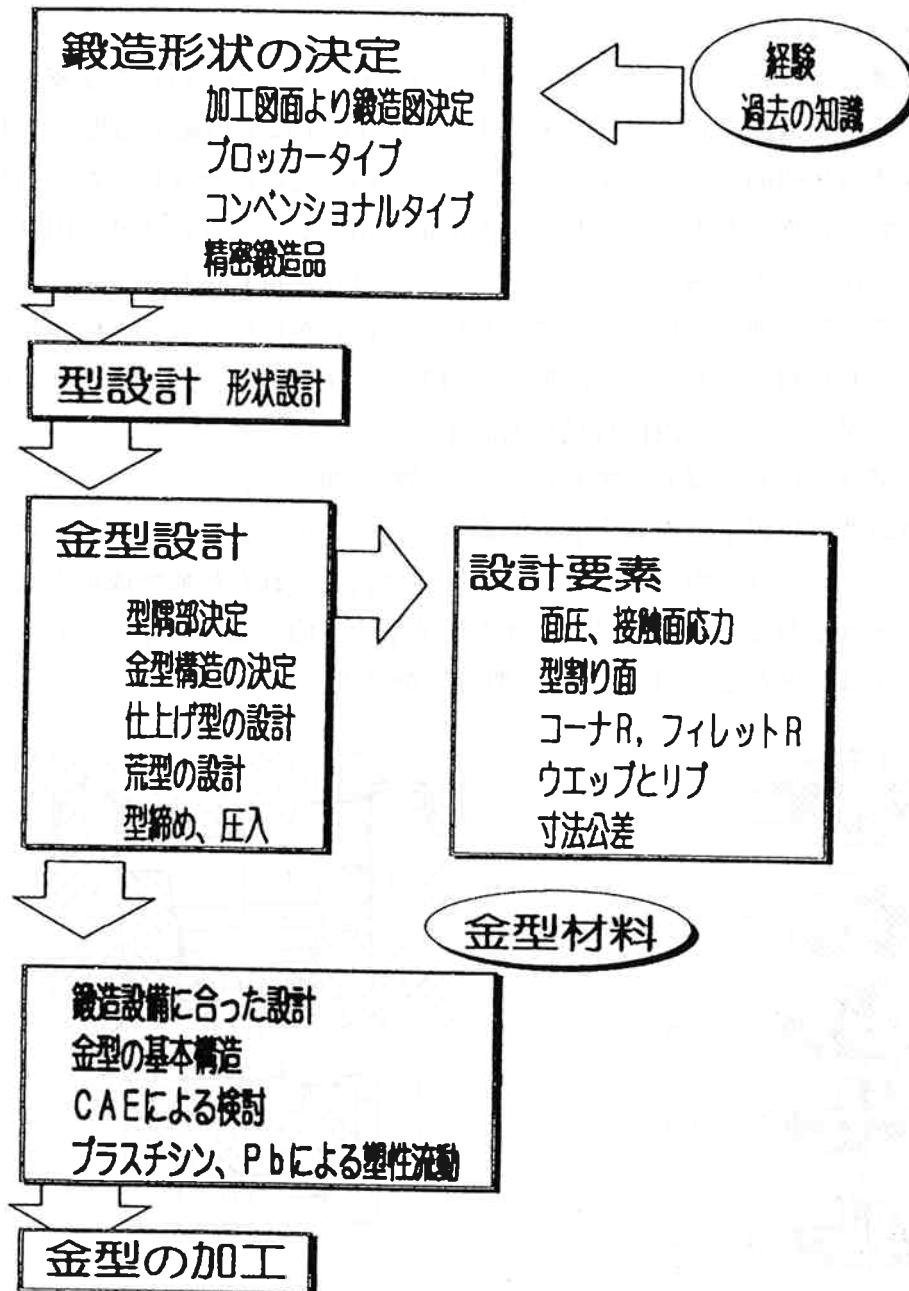


図 11・3 一般的な型設計の手順

熱間鍛造の型設計には、入手した製品図から過去の経験、知識を生かし鍛造図を設計するのが一般的であった。しかし、これでは新しい工法は生まれず、世の中の潮流に遅れることになる。このため、最近ではコンピュータを使った設計、CADとシミュレーションを融合したエキスパートシステムによる設計が取り入れられつつある。

この様な最新システムでなくても鍛造設計を合理的に実施する試みがなされている。先

ず鍛造品の形状が決定され、形状決定、金型設計と進んでいく。この時、鍛造時の金型面圧、接触面応力を考慮して型割り面、コーナR、フィレットR等が決定される。

11・3 アルミニウム鍛造品型設計の手順

アルミニウム合金に限らず、ある部品を鍛造で製造するに当たっては、型設計までの手順が共通している。また金型には、部品に要求される様々な仕様を、その時点で考えられる最高の製造技術と設備をもって、実現する役割を負っている。従って、型図を完成させるまでに、色々な観点からの検討が必要となる。

11・3・1 製品図の作成

一般に、客先から提示される部品図は、最終的な使用状態を表す完成部品であることが多い。従って型設計の前に、部品図と仕様あるいは要求項目を基に、鍛造品としたときの鍛造品図とその仕様を作成しなければならない。これを製品図と呼ぶ。

製品図は、部品に要求される機能、品質及びその経済性を考慮して作成する。一方、適用される材料特性も、鍛造材料の特性を盛り込み、且つ鍛造技術あるいは設備上の制約条件を加味して総合的に決定する。

11・3・2 製造工程の検討

製品図を基に型設計するに際し、主要な製造工程を決めなければならない。一般的には、素材の形状によって鍛造回数や荒型の形状を変えたり、使用する鍛造設備によって型の構造を変える。

鍛造設備の選択に当たっては、鍛造所要力の推定が必要となる。また、鍛造後に行う熱処理、機械加工などとの相関も配慮して決定する。

11・3・3 金型の設計

製品図と主要製造工程が確定した後、金型設計に入るが、この時の型設計を大別すると次の様になる。

1) 型構造設計

金型材料・調質の決定、鍛造機への着脱機構、上下型あるいはポンチ・コアのガイディング、ばりだまりの設計等。これは、仕上げ型、荒型に限らず、一般的に適用される項目である。

2) 仕上げ型の設計

最終工程の金型であり、形状的には製品図そのものとなる。キャビティの配置、金型材の大きさなどが検討項目となる。場合によっては、多数個取りや荒型との一体型の検討も必要となる。

3) 荒型の設計

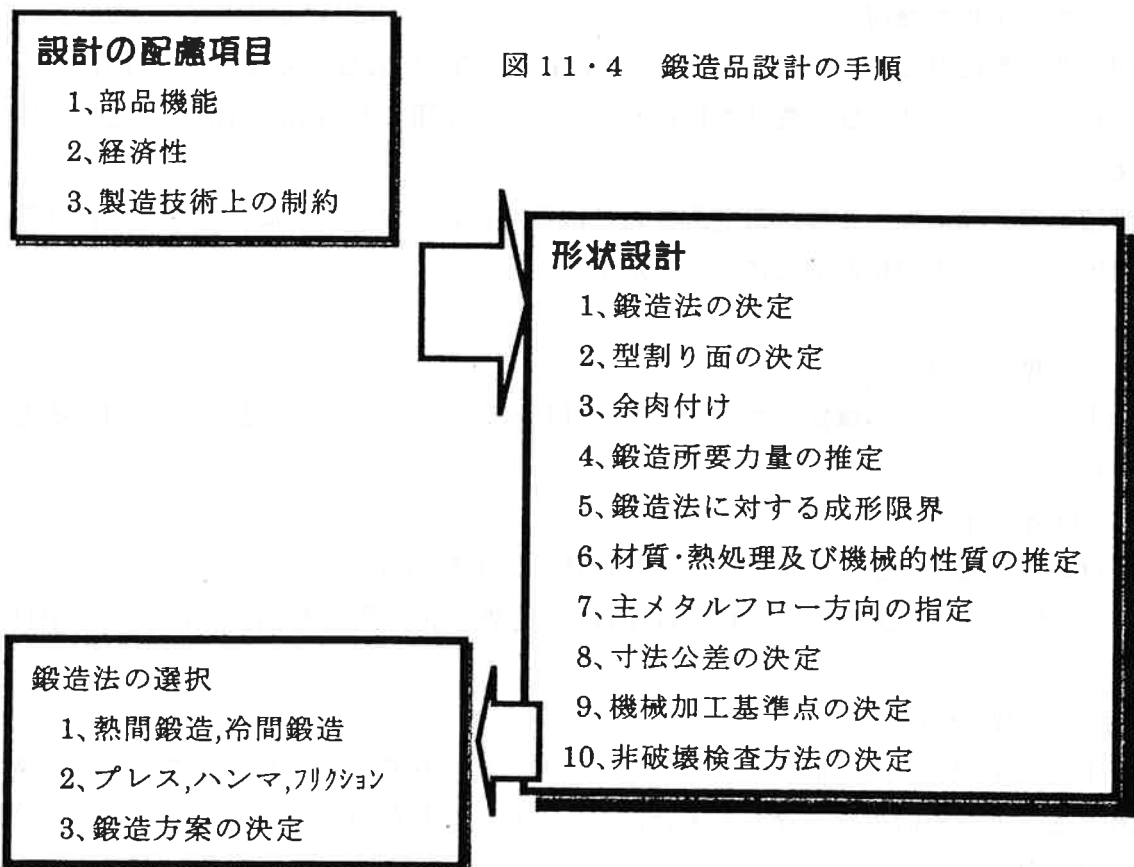
型設計の中で最も創造的で、自由度が大きいので、定量化しにくく、その設計次第で製品の出来映えが変わるのが荒型の設計である。単純な形状の素材から製品形状に変形する中間工程にあって、鍛造欠陥を防止し、著しいメタルフローの乱れを生ずることなく、材料歩留りをよくすることを目的として荒型を用いる。鍛造工程を何段階に分けるか、仕上げ型の形状を基準にした荒型形状の決定、体積配分などが設計の要点となる。

11・3・4 鍛造品の設計

鍛造品を設計するための主項目は、部品の機能に関するものと、その経済性とがある。更に製造技術上の制約条件が加わった3項目に分かれる。

形状設計は、1、鍛造法の決定、2、型割面の決定、3、余肉付けがあり、鍛造法が決まれば、4、鍛造所要力量の推定ができ、鍛造設備が決まる事になる。また同時に、5、鍛造法に対する成形限界が考察され、余肉付けを再度考慮する。

一方、材料面では、6、材質・熱処理及び機械的性質の決定。7、主メタルフロー方向の指定が必要である。寸法・形状については、妥当な8、寸法公差と、9、機械加工基準点を決めることになる。また、強度、材料品質については、非破壊、破壊検査項目を加える。これを図式化すると次の様になる。



11・3・5 鍛造法の分類と選択

鍛造は自由鍛造法と型鍛造法に大別される。自由鍛造法は、平金敷や種々の工具を用いて、角柱、円柱、円盤、リングなど比較的単純な形状に成形する方法である。

この鍛造法は、型鍛造法の前工程で、荒成形するのに用いられることもある。型鍛造法は、金型を用いて特定形状に成形する方法である。

最終の部品形状に対する余肉の程度あるいは形状の忠実さにより、ブロッカ・タイプ鍛造、コンベンショナル・タイプ鍛造及び精密鍛造に分類できる。

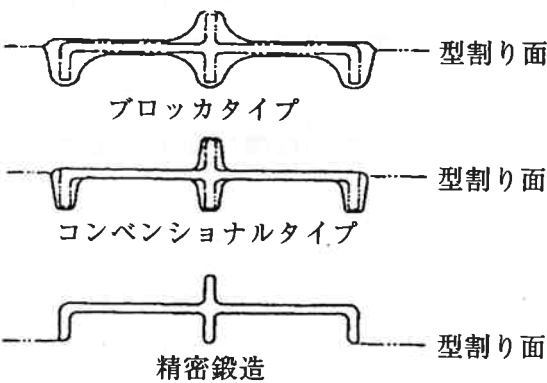


図 11・5 型鍛造の 3 タイプ

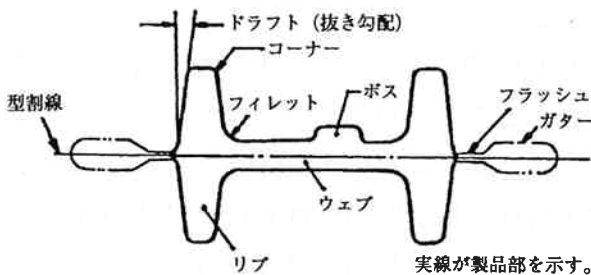
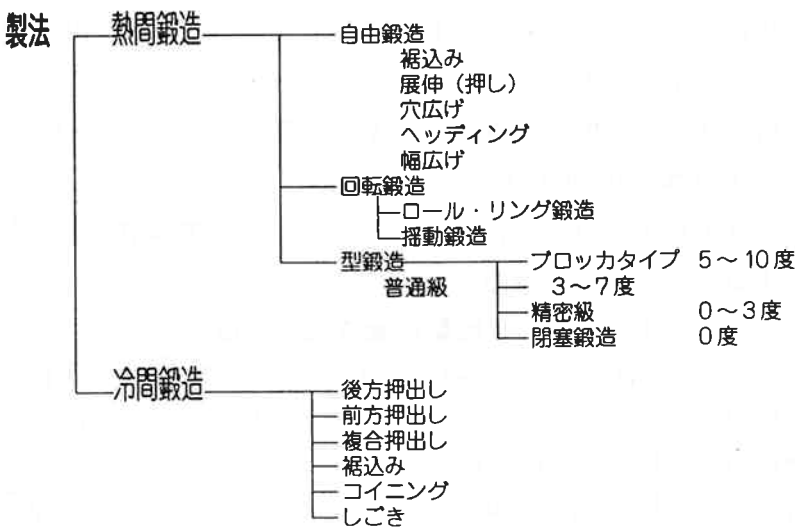


図 11・6 鍛造品の各部の名称

図 11・7 鍛造加工の分類



1) ブロッカ・タイプ

フィレット、コーナーRが大きく、ウェブ、リブが厚く、抜勾配も大きく取って鍛造する。完成部品にするにはほぼ全面機械加工を要する。型設計の面からみれば、基本的な金型構造や設計思想は、後述するコンベンショナル鍛造と変わらないが、形状変化が緩やかで鍛造欠陥が生じにくい。鍛造所要圧力は平均 $1.5 \sim 3.0 \text{ t/cm}^2$ 程度である。

2) コンベンショナル・タイプ

ブロッカ・タイプに比べて、より余肉を少なく成形する。コーナー、フィレットRが小さくなり、ウェブやリブでも薄く設計される。製品の一部は黒皮で使用されるので、鍛造品の寸法公差もそれなりに要求される。

しかし、型割面に垂直な方向には $3 \sim 10^\circ$ の抜勾配が必要で、リブ壁は機械加工しなければならない、鍛造圧力は $2.5 \sim 4 \text{ t/cm}^2$ と高くなる。

3) 精密鍛造

精密鍛造は大きく2つの鍛造法に分かれる。第1は、ブロッカ、コンベンショナル・タイプ鍛造の延長上にあつて、プレシジョン・タイプというべきもので、更に最終部品形状に忠実に成形する領域である。

金型は、前の1)、2)と同じく、上下型に分割した構造をとる。鍛造品はその大部分を黒皮のまま使用することを前提に製品設計するので、フィレット・コーナーRはより小さく、リブ・ウェブも薄くなり、寸法精度も高くなる。鍛造圧力も $3.5 \sim 8.0 \text{ t/cm}^2$ と高くなり、金型の加工精度や鍛造時の弾性変形、熱膨張などの配慮が必要である。

このタイプに適用される抜勾配は $1 \sim 3^\circ$ と小さく、特に10前後の場合、後述するノードラフト鍛造と区別して、ロードラフト鍛造と称することもある。

精密鍛造の第2は、ノードラフト鍛造に代表される鍛造法である。抜勾配を 1° 以下として、最終製品形状に忠実に成形することを主目的としている。この鍛造法では、すべて黒皮のまま使用することを前提としている。

金型は、前述の鍛造法と根本的に異なり、型割面を製品の端面に沿ってとるため、構造は複雑となる。鍛造圧力は $4.0 \sim 8.0 \text{ t/cm}^2$ である。

これらの鍛造法を適宜選択する根拠は、主に経済性にある。型製作費、機械加工費等、製品コストを最小にする方法が選択される。

表 11・1 3種類の鍛造法の特徴

鍛造法	鍛造荷重 N/mm^2	抜き勾配 度	隅R
ブロッカタイプ	150~250	5~10	1~3
普通級鍛造	250~400	3~5	0.6~2
精密鍛造	400~800	0~1.5	0.2~0.8

11・4 アルミニウム鍛造品の型設計の注意点^{1) 2)}

鍛造品の設計に当たっては、一般的に次のことに注意する必要がある。

- 1) なるべく左右対称形状とし、横方向に力が作用しないようにする。
- 2) 急激な断面変化、鋭い角、薄くて広い面はなくす。
- 3) 型割面は、なるべく型加工が容易なように、一平面、直線とする。
- 4) 熱処理で、割れ、曲りの発生しない形状にする。
- 5) ばり抜きによる寸法変化、カエリの発生しない形状にする。
- 6) 形状の急激な変化を避けること加工が著しく困難となったり、工程数が増加するので、形状変化のゆるやかなものとした方がよい。
- 7) 貫通孔は避け、くぼみ程度とすること原則的には、型鍛造では貫通孔は作らない。
後加工で打抜き、旋削穴あけなどする部分は、くぼみとするのが良い。この時のクボミの深さ及びクボミ底面の曲率半径は、クボミ部直径の 1/2 以下とする。また、側面からの穴やくぼみも避けるようにする。
- 8) 鍛流線を有効に利用すること鍛造後は鍛流線ができるため、流線方向の強度が増加し、素材の強度から設計したものより軽量の部品とすることができる（異方性の有効利用）。しかし、上、下型の合わせ面に設けたフラッシュ・ランドに流出したばりを後加工で切断するとか、鍛造品の仕上げ切削工程で鍛流線を横切って切断することも少なくない。こうしたときには、使用時に応力負担の少ない箇所を切断するように留意しなければならない。
- 9) 抜けこう配を設けること
鍛造後に鍛造品の型離れをよくするために型に抜け勾配を設けるのが普通である。
- 10) ウェブ及びリブを薄くしないこと、型内の材料流れをよくするため、型割面に平行なウェブ部分の厚さは薄くしないほうがよい。およその値を表 14・3 に示す。薄く高いリブは成形が難しく、型寿命も短いので、表 2 に示す高さに対して最小厚さ以下とすること。

表 11・2 ウェブの最小厚さ

鍛造品の最大寸法で包まれる全体の 形状の鍛造方向の投影面積 cm ²	最小厚さ mm
50 未満	3
50~100	4
100~250	5
250~500	8
500~800	10
800~1 200	14
1 200~2 000	18

表 11・3 リブの最小厚さ

高 さ	8 未満	8~20	20~35	35~50
上 端 の 最小厚さ	4	5	7	10

11) かど及びすみの丸みをつけること(図 14・5、表 14・5～8)

鋭いかど部やすみかど部には材料が流入しにくく、ひだ、重なり、割れ等の鍛造欠陥を生じやすい。また、型の強度・寿命の面からも好ましくない。このため一般の鍛造作業では、次に示す値をとるとよい。同一部刷こ含まれる多くの丸みの値はなるべく同じ値にしておくと、型を製作する際に都合がよい。

図 11・7 鍛造品の隅み角

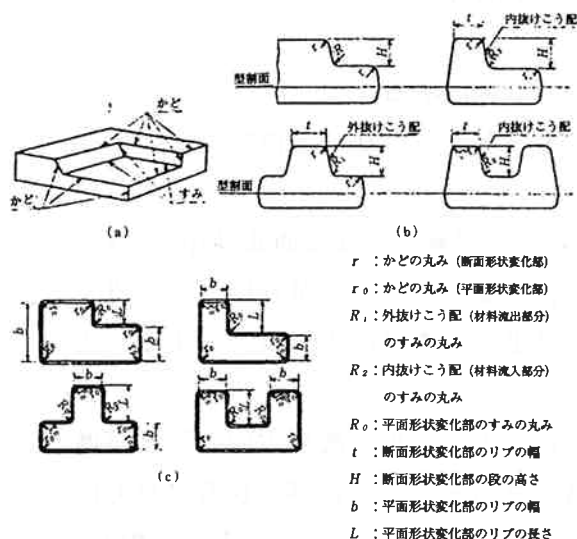


表 11・4 角の丸味として使用する数値

-	2	2.5	3	-	4	5	6	8	10	12
16	20	25	30	(35)	40	50	60	-	100	-

- 備考 1. かっこ内の丸みの値は、なるべく使用しない。
 2. 丸みの値が100mmを越える場合は、JIS Z 8601 (標準数) のR10による。

表 11・5 断面形状変化部の角丸み

表 11・6 断面形状変化部外抜け勾配の隅丸み

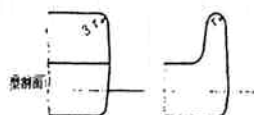
単位 mm

段の高さ H	10 以下	10 を超え 16 以下	16 を超え 25 以下	25 を超え 40 以下	40 を超え 63 以下	63 を超え 100 以下	100 を超え 160 以下
t/H の区分							
0.5 段上 1 以下	2.5	2.5	3	4	5	8	12
1 を超えるもの	2	2	2.5	3	4	6	10

- 備考 1. 下図のような2段以上の段付形状において上段のかどの丸み r_1 が、下段のかどの丸み r_2 より小さい値となる場合には、なるべく下段の大きいのかどの丸みの値に合わせることを望ましい。



2. 下図のような鞍部のかどの丸みは、表 6.5 の丸みの約3倍の値とし、表 6.4 の丸みの値から選ぶ。



単位 mm

段の高さ H	10 以下	10 を超え 16 以下	16 を超え 25 以下	25 を超え 40 以下	40 を超え 63 以下	63 を超え 100 以下	100 を超え 160 以下
t/H の区分							
0.5 段上 1 以下	6	8	12	16	20	30	50
1 を超えるもの	5	6	8	12	16	20	30

- 備考 1. 下図のように平面形状変化部の交差角度が90° 以下の場合には、断面形状変化部のすみの丸みの値は、表 6.7 の丸みの約2倍の値とし、表 6.4 の丸みの値から選ぶ。

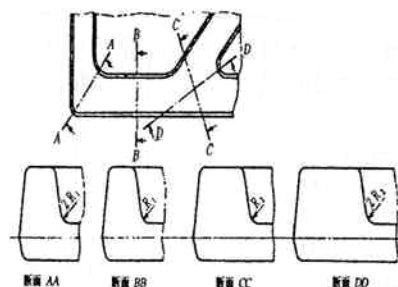
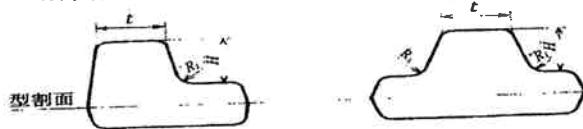
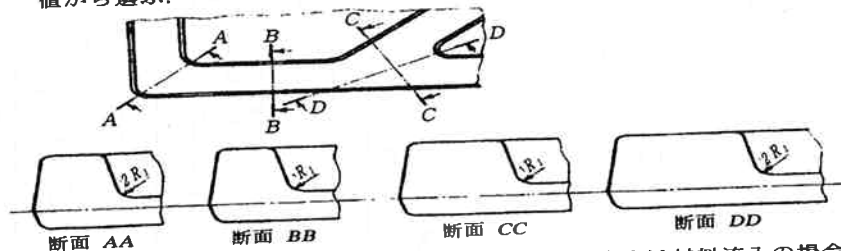


表 11・7 断面形状変化部の打抜き勾配のまるみ



単位 mm							
段の高さ H	10 以下	10 を超え 16 以下	16 を超え 25 以下	25 を超え 40 以下	40 を超え 63 以下	63 を超え 100 以下	100 を超え 160 以下
t/H の区分							
0.5 以上 1 以下	4	5	6	8	10	16	25
1 をこえるもの	3	4	5	6	8	12	20

備考 1. 下図のように平面形状変化部の交差角度が 90° 以下の場合には、断面形状変化部のすみの丸みの値は、表 6.6 の丸みの約 2 倍の値とし、表 6.4 の丸みの値から選ぶ。

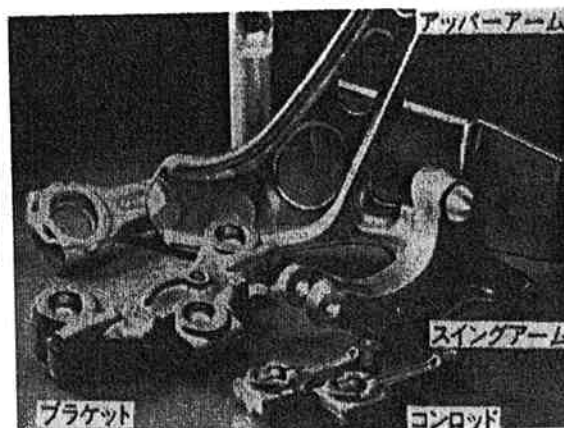
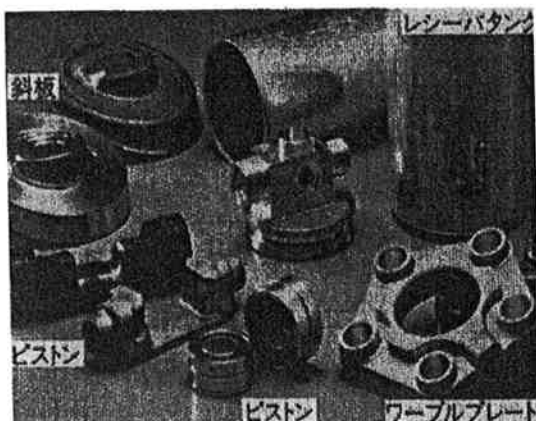


2. 断面形状のうえでは外抜きこう配の場合でも、製作上は材料流入の場合には、表 6.7 の R_2 の値をとる。

12) 鍛造品として適切な精度を指示すること

精密鍛造も比較的広く利用されるようになってきたが、一般の鍛造作業で許容される範囲の精度を指示する必要がある。高い精度を要求したため、鍛造作業が困難となつて不良率が増えたり、工程数増加のため原価に影響を与えることもあるからである。鍛造品を最終製品として使用する場合と後加工として機械加工などを行う場合とがある。後者では仕上げ代を見込んでおかなければならない。

各種熱間鍛造品



11.2 冷間鍛造用金型

冷間鍛造用の金型設計にあたって大切なことは加工方案、型構造、型材質、熱処理、パンチ・ダイ形状などの検討である。

11.2.1 金型に加わる荷重の推定

鍛造方案によって金型に加わる荷重の状態が変わってくるため、加工方案を決定し荷重を推定することは非常に重要である。

表 11. 8 はアルミニウム合金の冷間での鍛造性を材質別に比較したものである。

図 11. 9 は代表的なアルミニウム合金の変形抵抗を示したものである。

表 11. 8 各種アルミニウム合金の
冷間鍛造性の比較³⁾

材質	加工性		
	鍛造性	仕上り精度	型寿命
1050	良好	普通以下	良好
2014	困難	多少ばらつく	短命
2017	やや困難	良	短命のほう
2024	やや困難	良	短命のほう
3003	良	良	長命のほう
5052	良	良好	長命のほう
5056	やや困難	ばらつく	短命
6061	良	良	長命のほう
6063	良	良好	良好
7N01	やや困難	良	短命のほう

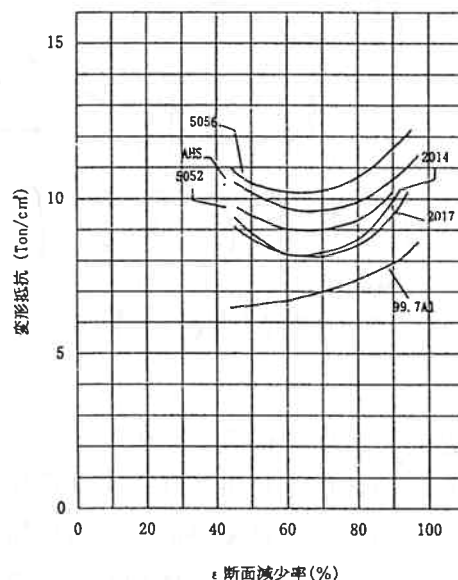


図 11. 9 アルミニウム合金の
後方押出しにおける変形抵抗⁴⁾

11.2.2 材質の選定

金型に用いられている材料の選択基準を表 11. 9 に示す。

表 11. 9 型材質の選定⁵⁾

要求される特性	使用箇所		材質の選定と熱処理硬度				
圧縮耐力	パンチ,カウンタパンチ,ダイ、ブ ノックアウト,パンチプレート	材質	SUJ2→SKD1→SKH9→SKH54→SKH57→GM3				
		硬度	HRC60	HRC61	HRC63	HRC64	HRC65
圧縮耐力＋靱性	パンチ,カウンタパンチ,ダイ、ブ ダイプレート,マントレル	材質	SUJ2→SKD11→SKH9→SKH54→GM6→GM7				
		硬度	HRC60	HRC60	HRC62	HRC63	HRC85
靱性	ダイ、ブ、マントレル	材質	SKD11→GM70				
		硬度	HRC59	HRC82			
引張強さ＋靱性 ＋圧縮耐力	シュリンクリング	材質	SNC2→SNCM8→SKD61→SNCM5				
		硬度	HRC42	HRC42	HRC47	HRC52	

代表的な金型の材質とその特性を表 11. 10、表 11. 11 および表 11. 12 に示す。

表 1 1 . 1 0 型材の化学成分と特性 (1) ⁵⁾

材質	化 学 成 分								温 度(℃)		硬度 HRc	圧縮耐力 kg/mm ²
	C	Si	Mn	Cr	Mo	W	V	Co	焼き入れ	焼戻し		
SKS3	0.90 ~1.00	<0.35	0.90 ~1.20	0.50 ~1.00	—	0.50 ~1.00	—	—	800~850	150~200	58~62	—
SKD1	1.80 ~2.40	<0.40	<0.60	12.00 ~15.0	—	—	—	—	950~1000	150~200	>61	250
SKD11	1.40 ~1.60	<0.40	<0.60	11.00 ~13.0	0.80 ~1.20	—	0.20 ~0.50	—	970~1020	500~550	>61	230
SKD12	0.95 ~1.05	<0.40	0.60 ~0.90	4.50 ~5.50	0.80 ~1.20	—	0.20 ~0.50	—	900~950	150~200	>61	—
SKD5	0.25 ~0.35	<0.40	<0.60	2.00 ~3.00	—	9.00 ~10.0	0.30 ~0.50	—	1000~1050	600~650	<50	160
SKD6	0.32 ~0.42	0.80 ~1.20	<0.50	4.50 ~5.50	1.00 ~1.50	—	0.30 ~0.50	—	1000~1050	530~600	<51	160
SKD61	0.32 ~0.42	0.80 ~1.20	<0.50	4.80 ~5.50	1.00 ~1.50	—	0.80 ~1.20	—	1000~1050	550~680	<53	—

表 1 1 . 1 1 型材の化学成分と特性 (2) ⁵⁾

材質	化 学 成 分								温 度(℃)		硬度 HRc	圧縮耐力 kg/mm ²
	C	Si	Mn	Cr	Mo	W	V	Co	焼き入れ	焼戻し		
SKH9	0.80 ~0.90	<0.40	<0.40	3.80 ~4.50	4.50 ~5.50	5.50 ~6.70	1.60 ~2.20	—	1200~1230	550~580	63	290
SKH54	1.20 ~1.35	<0.35	<0.60	4.00 ~5.00	4.00 ~5.00	6.00 ~7.00	3.30 ~4.20	—	1190~1215	550~580	64	325
SKH57	1.20 ~1.30	0.15 ~0.35	0.25 ~0.45	3.80 ~4.50	9.00 ~11.0	3.00 ~4.00	3.20 ~3.70	9.50 ~10.5	1220~1250	550~590	65	340

表 1 1 . 1 2 超硬の化学成分と特性 ⁵⁾

材質	化 学 成 分(%)				硬度 HRA	圧縮耐力 kg/mm ²
	W	Co	Ta	C		
GM3	81~86	9~12	<2	5.3~5.6	>87.5	>180
GM4	80~85	10~13	<2	5.3~5.6	>86.6	>200
GM5	78~84	11~14	<2	5.3~5.5	>85.5	>220
GM6	75~81	14~17	<3	5.0~5.3	>84.6	>240
GM7	71~77	18~21	<3	4.8~5.1	>82.0	>260
GM70	66~72	24~27	<3	4.4~4.7	>82.0	>280
GM80	63~69	27~30	<3	4.2~4.6	>81.8	>280

一般にパンチやダイに使われている工具鋼の圧縮耐力は約250 kg/mm²程度であり、設計上は220 kg/mm²を越えないようにしなければならず、220 kg/mm²を越えるような加工では方案の変更や型材質を超硬に変更するなどの対応が必要である。

鋼材に比べアルミニウム材の場合は加工面圧が低く200 kg/mm²を越えることが少ないため、型材の選定にあたって必ずしも鋼材と同じ選定基準を採用する必要はない。

たとえば、パンチなどにはSKD11、SKH51などのように高い硬度が要求されな

い場合には熱処理が比較的容易で、靱性が高く、鋼の熱間鍛造に多く用いられているSKD61などが使用されている。

11.2.3 型材の熱処理

図11.10、図11.11、図11.12に各材質における熱処理のパターンの代表的なものを示した。最終的には要求される硬度・靱性によって焼き入れ温度や焼戻し温度を変更しているのが現状である。

図11.10 SKH9
の熱処理パターン⁵⁾

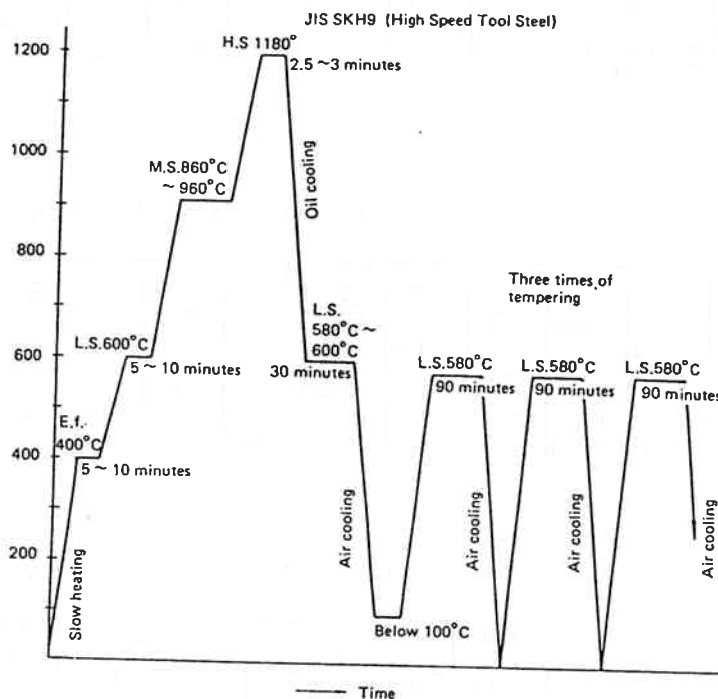


図11.11 SKD11
の熱処理パターン⁵⁾

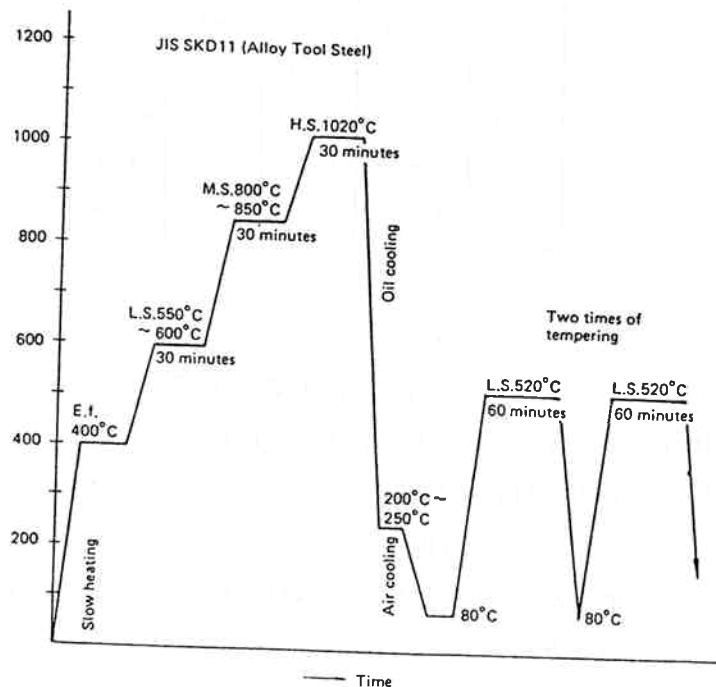
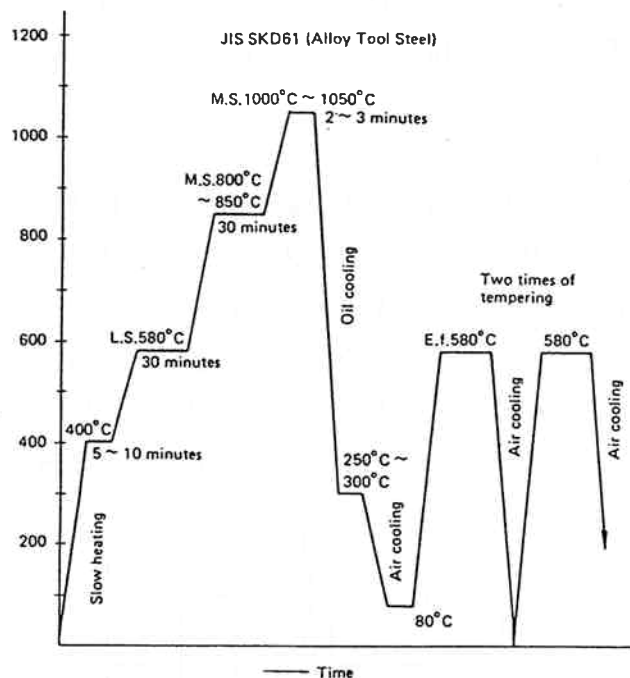


図 11.12 SKD61
の熱処理パターン⁵⁾



型材の熱処理では焼入れの温度が重要であるが、焼戻し温度・焼戻し回数などが靱性に大きく影響するため、焼戻し温度を低くしたり、焼戻し回数を減らしたりしてはならない。

11.2.4 パンチの形状

図 11.13 は後方押し用パンチの代表的な例を示す。

冷間鍛造用のパンチで重要なのは先端のパンチ角と先端平面やランド部の形状である。パンチ角は成形品形状である程度決定されるが、パンチ角の無い先端フラットの場合にはパンチ先端に接する材料の塑性流れが極端に悪くなり、成形品の側面部に焼付きや割れを生じることがある。

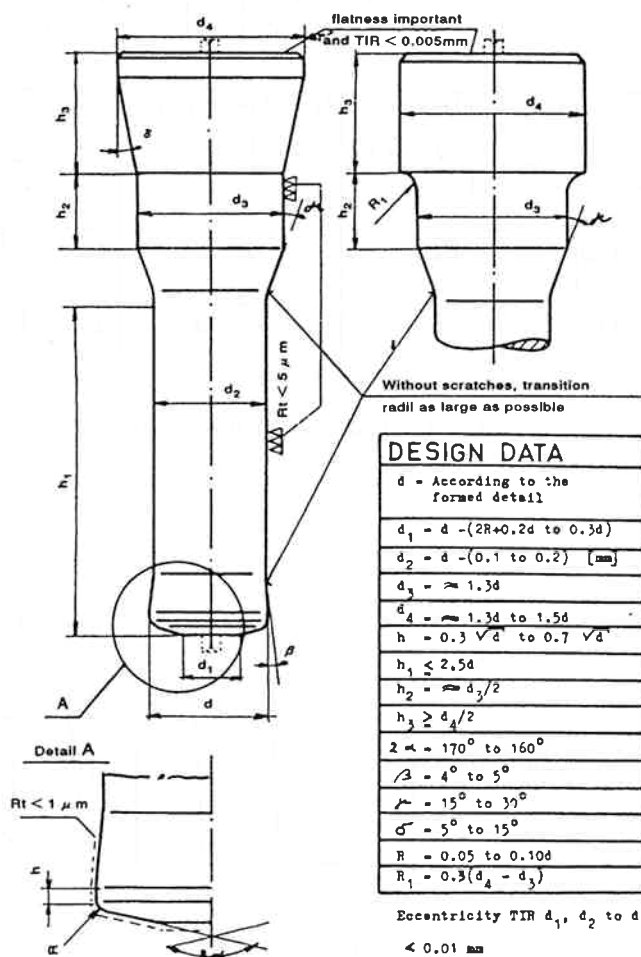


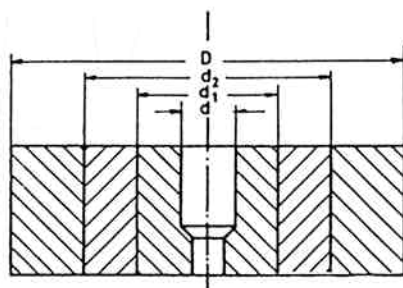
図 11.13 後方押しパンチの形状例⁶⁾

ランド長さは、長すぎると工具と材料との摩擦距離が長くなって焼き付き易くなり、逆に短すぎると摩耗が速く進み寸法精度の維持が難しくなる。

11.2.5 ダイの形状

ダイには成形荷重による半径方向の内圧と軸方向の加工圧力が作用する。円周方向の引張り応力に対しては、シュリンクリングを圧入することによって予め内壁に圧縮応力を与え、成形によって発生する引張り応力を低減している。

成形による半径方向の内圧が大きい場合には、補強用のシュリンクリングを2重にして金型の破損を防ぐことがある。加工内圧の大きさとシュリンクリングの選定基準を図11.14に示す。図11.15は後方押出し用の代表的なダイ形状である。



ダイス内圧 kg/mm ²	必要シュリンク リング数	ダイス内外径比 D/d	ダイス内・外径寸法
~100	不要	4~5	—
100~160	1個	4~6	$d_1 \cong 0.9\sqrt{Dd}$
160~200	2個	4~6	$d:d_1:d_2:D \cong 1:1.6\sim1.8:2.5\sim3.2:4\sim6$

図11.14 補強用シュリンクリングの設計基準⁶⁾

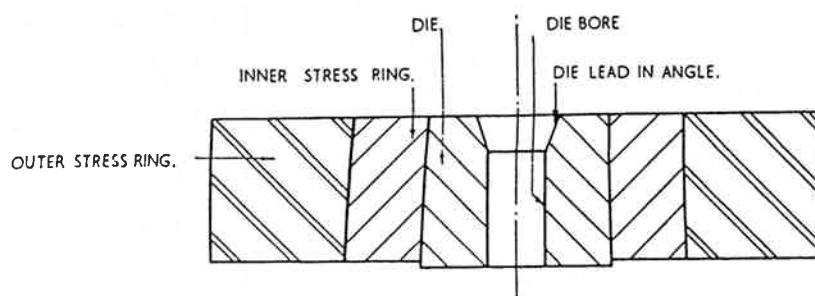
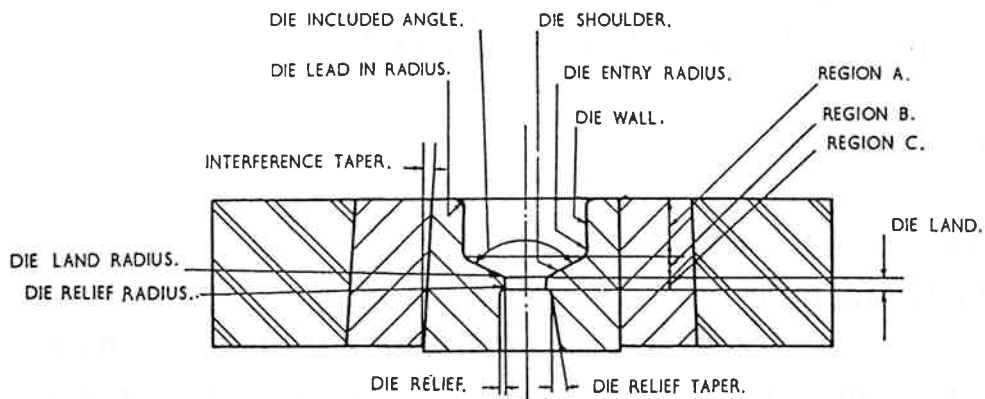


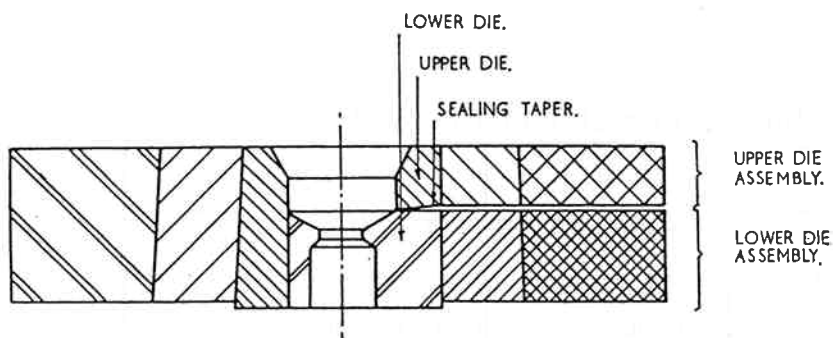
図11.15 後方押出し用ダイス形状⁶⁾

図 11.16 および図 11.17 に示すように、ダイ内径部に大きな段差がある場合、応力の集中によって段差のコナ部から割れが発生することが多いため、予めダイを横方向に分割したり、縦方向に分割をして金型寿命の延長を図っている。



(A) ダイの逃がしが小さい場合 (B) ダイの逃がしが大きい場合

図 11.16 一体型の前方向押し用ダイ形状⁶⁾



(A) 縦方向の分割

(B) 横方向の分割

図 11.17 分割型の前方向押し用ダイ形状⁶⁾

参考文献

- 1) 鍛造技術研究所：鍛造技術講座, 1981
- 2) Al Forging design manual: Aluminum Association, 1967
- 3) 日本塑性加工学会編：鍛造、コロナ社、1995、p178.
- 4) ショウテックの技術資料より
- 5) コマツの技術資料より
- 6) AMERICAN SOCIETY FOR METALS : SOURCE BOOK ON COLD FORMING、1975、p286、307、313

1 2. 潤 滑

鍛造加工における潤滑は、加工法の是非や金型寿命を左右する重要な役割を有している
ので、潤滑剤の特徴や機能を十分に考慮して選定を行う必要がある。

本章では、冷間および熱間鍛造に用いられている潤滑の種類と性能、ならびに潤滑剤
の性能評価方法として代表的なリング圧縮試験について説明する。

1 2. 1 冷間鍛造用潤滑剤

1 2. 1. 1 冷間鍛造用潤滑剤の主な種類

アルミニウム冷間鍛造潤滑剤として、ボンデと呼ばれるフッ化アルミ皮膜+リン酸亜鉛
皮膜（以下、ボンデまたはボンデ成皮膜と略す）が一般的に使用されている。その選定は、
ボンデを基準として鍛造品の加工度・製品表面の複雑度・潤滑剤のコストなどを考慮して
行う必要がある。

表 1 2. 1 に主な潤滑剤の一例を示すが、近年各潤滑のメーカーから、低コストでボン
デ皮膜に匹敵する高性能な潤滑剤も開発されているので、その詳細を問い合わせると
良い。

表 1 2. 1 冷間鍛造品の加工度別潤滑剤の使用例

加工度および製 品の複雑度	大	中	小
製品例	スクロール	一般的な製品	局部的な成形の製品
潤滑剤	○アルボン ド (フ化アルミ) + パループ (反応型石鹼) ○アルボン ド (フ化アルミ) + 二硫化モリブ デン または 極圧添加油	○アルボン ド (フ化アルミ) + パループ (反応型石鹼) ○アルボン ド (フ化アルミ)	○二硫化モリブ デン ○極圧添加油 ○エマルジョン タイプ (二硫化モリブ デン系、黒鉛系) ○パウダー タイプ (ステアリン酸系)

(出：水谷 蔵 第17回鍛造実務講座34p (昭和61年))

1 2. 1. 2 アルミニウム用ボンデの処理工程

アルミニウム用ボンデ処理の手順は、例えば表 1 2. 2 に示すように 9 工程かけて行わ
れている。そのため、性能はともかく他の潤滑剤と比較してコスト的に不利な部分がある。
冷間鍛造品のコスト内訳で潤滑剤コストが全体の 2 ～ 3 割を占める場合もあり、鍛造メー
カーの中にはボンデ処理を自社で行うところも少なくない。

表 1 2 . 2 アルミ用化成皮膜の一般的な処理工程

工数	工程名	処理時間(分)	管理項目		備 考
1	脱脂洗浄	10	温度 アルカリ度	70~80℃ 30~40Pt	アルキレンF500Y
2	水 洗	1.5	—	—	—
3	中 和	13	濃度	10%	硝酸
4	水 洗	1.5	—	—	—
5	水 洗	1.5	—	—	—
6	皮膜化成	10	全酸度 温度	30~50Pt 75~85℃	フェロナイズDD-1
7	水 洗	1.5	—	—	—
8	湯 洗	3.5	温度	70~80℃	—
9	石 鹼	11	油脂濃度 温度	1.5~2.5pt 70~80℃	フェロリユーベ#1

(出：貴和化学薬品株)

1 2 . 1 . 3 ポンデの基本性能

ボンデ皮膜が他の潤滑剤と比べて優れている点は、面積拡大への潤滑皮膜の追従性が良いことである。その理由はボンデ皮膜が化学反応によって、素地のアルミニウム系合金と結合しているからであり、他の潤滑剤のような付着とは異なるためである。さらにボンデ皮膜は、図 1 2 . 1 および表 1 2 . 3 に示すように異なる性能を持つ潤滑皮膜層から成り立っている。

冷間鍛造において金型内にボンデかすが堆積して、欠肉不良が生じるという問題がある。これはボンデ皮膜の石鹼層部分が原因で、対策として石鹼層の膜厚を少なくする、あるいは鍛造品の加工率の程度から、可能ならば石鹼層そのものを湯洗にて除去して鍛造する方法などがある。

なお、潤滑皮膜がどのような形態でアルミニウム系金属と反応しているかを理解しておくことも、潤滑皮膜を選定する上で重要である。

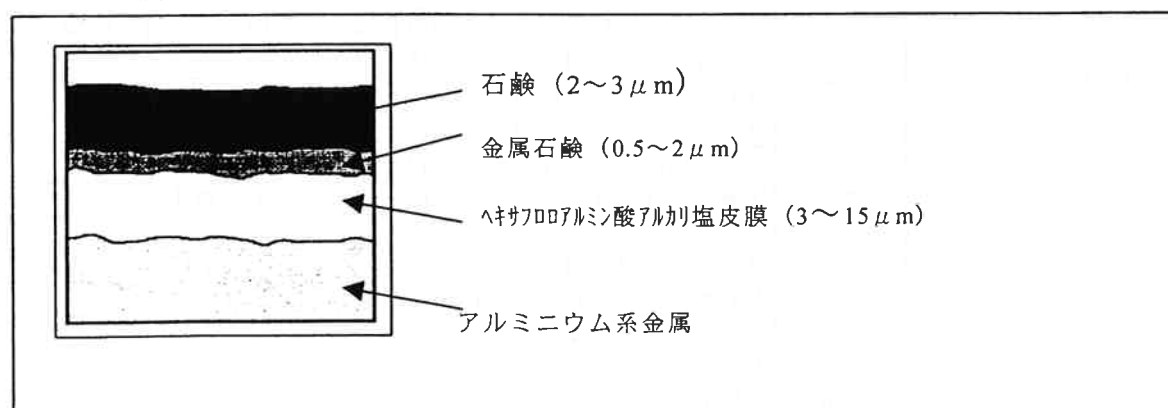


図 1 2 . 1 ポンデ皮膜の詳細

表 1 2 . 3 ボンデ皮膜の各層の特徴

皮膜名称	膜厚 (μm)	基本性能		反応
		耐焼付	耐磨耗	
石鹼 (ステアリン酸ナトリウム)	2~3	△	◎	沈着
金属石鹼	0.5~2	○	△	
ヘキサフロアルミン酸アルカリ塩 (弗化アルミ)	3~15	○	×	沈着
(アルミニウム系金属)	—	—	—	

記号の意味：◎=特に優れている、○=優れている、△=普通、×=なし

1 2 . 2 熱間鍛造用潤滑剤

熱間鍛造用潤滑剤は多種あるが、分類すると黒鉛タイプなど表 1 2 . 4 のようになる。
なお、比較として冷間鍛造用潤滑剤の分類も示す。

表 1 2 . 4 熱・冷間鍛造の主な潤滑剤

潤滑処理法	鍛造法	工程および特徴
黒鉛	熱間鍛造	比較的高温で使える (RT~450℃)
		摩擦係数が小さい (0.15~0.6)
		安価である
		工具表面で自己拡散性がよい (油性)
		発火の危険 (希釈剤灯油) 煙公害の問題あり
低融点ガラス	熱間鍛造	作業環境がよい
		価格は黒鉛と同程度
		型寿命はやや劣る
		水ガラス、カルボン酸Na、マイカ (雲母)、タルカ (滑石) ガラス熔融皮膜は10~3000ポイズの粘度
二硫化モリブデン	熱間鍛造	極圧性は黒鉛より良い 使用温度は350℃が限界
窒化ホウソ	熱間鍛造	BN、高価である 比較的高温まで効果がある
珪素	熱間鍛造	高温、高圧では不可 型磨耗が大きい
化成皮膜+リュウベ	冷間鍛造	脱脂、水洗、酸洗、水洗、皮膜化成、水洗中和、潤滑、乾燥 潤滑費用は廃液処理を含め高価 複雑形状品の鍛造には欠かせられない 冷間鍛造の全加工に適用
		脱脂、潤滑 (バレル研磨で塗付) 作業性は良くないが、表面粗度、ドロ加工に適す 表面光沢向上
		脱脂、潤滑 (浸漬付け、塗付) 作業性は良くないが、表面粗度が良い ドロ加工に適す (コンパウンドより良い) 表面光沢向上
ラリン、パラフィン、黒鉛等	冷間鍛造	各種あるが用途によって使用する。

出展：'95 アルミニウム鍛造ハンドブック

また、各鍛造メーカーの潤滑剤使用例を表12.5に示すが、希釈剤や希釈比率まで含めると多種多様であり、一律に潤滑剤の種類を表示することは難しい。

表12.5 熱間鍛造用潤滑剤に関するアンケート調査

回 答 企 業 名	潤滑剤の名称 製品記号	製造元または 納入先	企業での実績	主要な成分 特徴成分	使用条件、用途 特徴など
日産自動車	プロハイト	日本黒鉛工業	生産中	水性グラファイト	材料：AN4A32 AN4B32
日産自動車	エマルハイト	日本黒鉛工業	生産中	油性グラファイト	鍛造温度：370～390℃ 金型温度：120℃
神戸製鋼所	オイルダック	日本アチソン	多	油性黒鉛	型温度：～400℃ ピレット温度：400℃
神戸製鋼所	非黒鉛白色系	限定せず	試験的に使用	水溶性	型温度、ピレット温度 ：400～450℃
神戸製鋼所	非黒鉛白色系	限定せず	試験的に使用	水溶性	型温度：100～200℃ ピレット：400～450℃
住友金属工業	オイルダック	日本アチソン	2,700kg/月	人造黒鉛、分散安定剤、 精製鉱物油	コスモマシリン10と 1：1で希釈
マツオ	スミコ-ハイテン ブルオイルG	住鋳潤滑剤	大、但し黄銅 材に	グラファイト+ 溶剤精製油	比重：0.92 灰分：0.06%以下
マツオ	オイルダック	日本アチソン	大、但し黄銅 材に	—	—
豊栄工業	粉末黒鉛 +ナタネ油	日本黒鉛工業	当社の主流、 多	鱗状黒鉛 平均粒径10μm	金型にハケ塗布 Al熱間鍛造
豊栄工業	エマルハイトM1	日本黒鉛工業	1点品に 流産使用	黒鉛+油脂成分	10倍希釈でスプレー塗 付、Al熱間鍛造
日本製鋼所	オイルダック	日本アチソン	少ない	油性黒鉛潤滑剤	素材温度：430～450℃ 金型温度：180～200℃
角田鉄工所	オイルダック	日本アチソン	少ない	コロイド状人造黒鉛、 石油系精製潤滑油	—
ワシアルミ	オイルハイト	日本黒鉛工業	実績あり	精製鉱物油 精製植物油、天然黒鉛	金型（上型、下型）に スプレー塗付
三洋工業	スーパーコロハ イド15B	日本黒鉛工業	90%以上使用	99%以上黒鉛 平均粒径1.0μm	
三洋工業	アルダイス 125G	日本黒鉛工業	90%以上使用		

出展：アルミニウム鍛造委員会、田村他

1 2.3 潤滑評価試験

1 2.3.1 リング圧縮試験の概要⁽¹⁾

潤滑剤の性能の評価方法として、各種試験方法があるが、試験自体が容易でかつ実際の加工条件に近づけて評価できる利点があるリング圧縮試験を薦める。

リング圧縮試験は、リング形状の試験片を平板で圧縮する時、リングー平板間での潤滑状態によって、同じ圧縮率でも外径、内径の寸法が異なってくる。摩擦せん断係数 m （または、摩擦係数 μ ）が大きくなるにしたがって、リング試験片の内径は小さくなる傾向を示す。

リング圧縮試験は、この性質を利用して摩擦せん断係数または摩擦係数を評価する方法である。

1 2.3.2 リング圧縮試験手順

リング圧縮試験を行う代表的手順を図1 2.2に示す。

図1 2.2で示したパソコンで摩擦せん断係数を測定する方法について、以下に述べる。

ただし、計算の際には、試験片高さ h と試験片外径 R_{x0} と試験片内径 R_{xi} の間で関数近似を行うので、3通り以上の圧縮率で試験を行う必要がある。

(1) 各圧縮率でリング圧縮試験を行い、試験片形状を測定する。測定項目は表1 2.6に示している。また、表中の記号は、図1 2.2に示している。

(2) 下記の式を使用して、外径と内径を換算する。その結果、表1 2.8で示した結果を得る。

内径

$$(R_{xi})_k = \sqrt{(R_{ei})_k^2 - 4/3(R_{ei})_k\{(R_{ei})_k - (R_{ci})_k\} + 8/15\{(R_{ei})_k - (R_{ci})_k\}^2} \quad (1 2.1)$$

外径

$$(R_{x0})_k = \sqrt{(R_{eo})_k^2 - 4/3(R_{eo})_k\{(R_{eo})_k - (R_{co})_k\} + 8/15\{(R_{eo})_k - (R_{co})_k\}^2} \quad (1 2.2)$$

(3) (2)の結果を基に、以下の近似式を計算する。すなわち最小二乗法によって、係数 $a_0 \sim a_2$ と $b_0 \sim b_2$ を定める。

$$R_{x0}(h) = a_2 h^2 + a_1 h + a_0 \quad (1 2.3)$$

$$R_{xi}(R_{x0}) = b_2 R_{x0}^2 + b_1 R_{x0} + b_0 \quad (1 2.4)$$

また、(1 2.4)式を微分すると

$$dR_{xi}/dR_{x0} = 2b_2 R_{x0} + b_1 \quad (1 2.5)$$

*ここでは、(1 2.3)、(1 2.4)式を二次関数として定めたが、他の関数としてもよい。

(4) 各圧縮率での諸量を計算する。

すなわち、 h を定め、(1 2.3)～(1 2.5)式を計算する。

(5) 次の式を用いて中立面 R_n を計算する。

$$R_x = \sqrt{(ABR_{x0}^2 - R_{x1}^2) / (AB - 1)} \quad (12.6)$$

ここで、 $A = dR_{x1} / dR_{x0}$ 、 $B = R_{x1} / R_{x0}$

(6) (4)、(5) で計算した諸量を次の式に代入して、摩擦せん断係数 m の値を概算する。

① $R_n > R_{ei}$ の時

$$m = \frac{h}{R_{eo}} \frac{1}{2 \left(1 + \frac{R_{ei}}{R_{eo}} - \frac{2R_n}{R_{eo}} \right)} \ln \left\{ \left(\frac{R_{eo}}{R_{ei}} \right)^{2 \left(1 + \sqrt{1 + 3 \left(\frac{R_{ei}}{R_n} \right)^4} \right)} \frac{1 + \sqrt{1 + 3 \left(\frac{R_{eo}}{R_n} \right)^4}}{1 + \sqrt{1 + 3 \left(\frac{R_{eo}}{R_{ei}} \right)^4}} \right\} \quad (12.7)$$

② $R_n < R_{ei}$ の時

$$m = \frac{h}{R_{eo}} \frac{1}{2 \left(1 + \frac{R_{ei}}{R_{eo}} \right)} \ln \left\{ \left(\frac{R_{eo}}{R_{ei}} \right)^{2 \left(1 + \sqrt{1 + 3 \left(\frac{R_{ei}}{R_n} \right)^4} \right)} \frac{1 + \sqrt{1 + 3 \left(\frac{R_{eo}}{R_n} \right)^4}}{1 + \sqrt{1 + 3 \left(\frac{R_{eo}}{R_{ei}} \right)^4}} \right\} \quad (12.8)$$

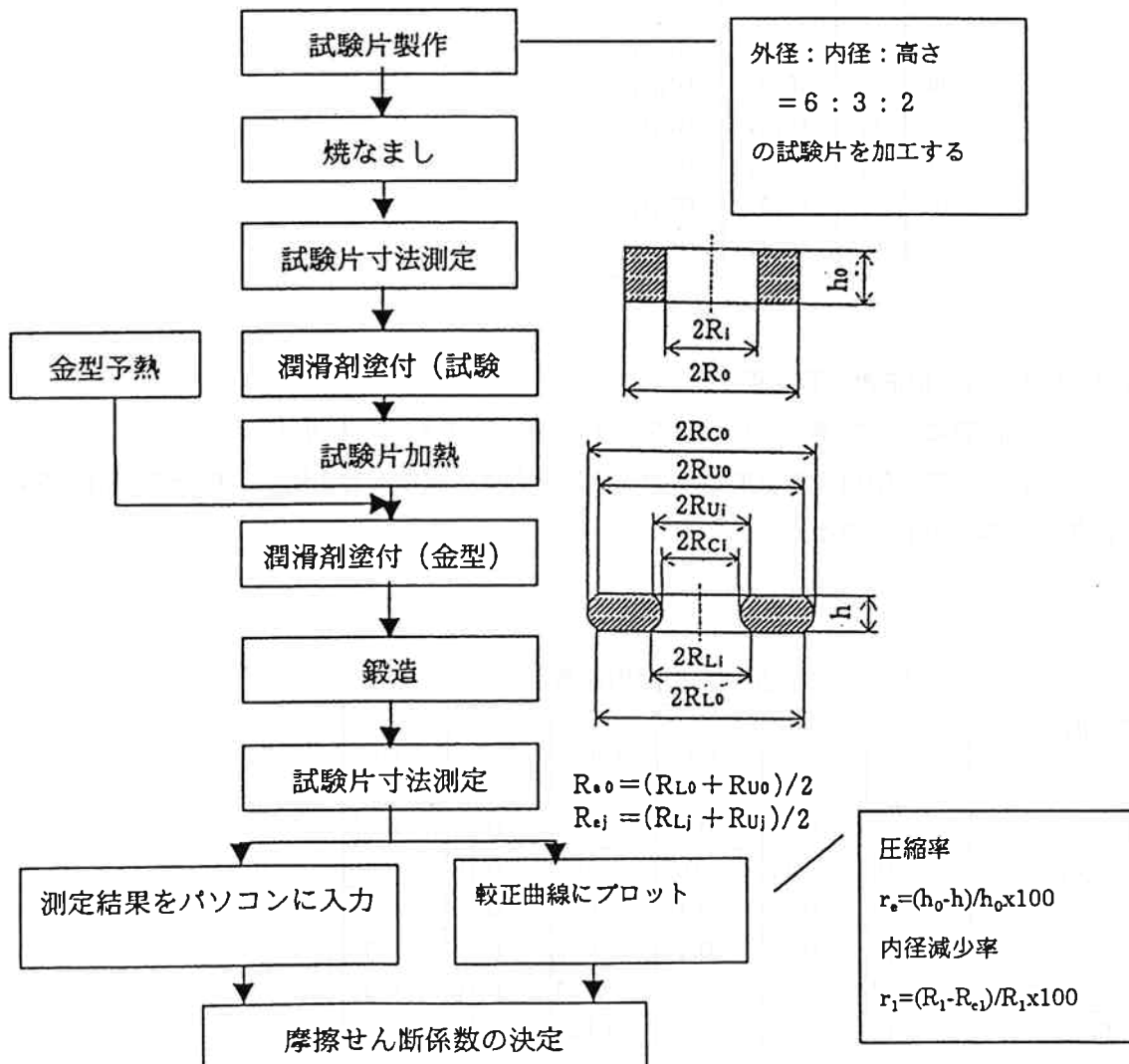


図 12.2 リング圧縮試験の手順

表 1 2 . 6 データ・シート 1

圧縮率 r_e	高さ h	TP内径		TP外径	
		R_{e1}	R_{c1}	R_{e0}	R_{c0}
0	h_0	$(R_{e1})_0$	$(R_{c1})_0$	$(R_{e0})_0$	$(R_{c0})_0$
10	h_1	$(R_{e1})_1$	$(R_{c1})_1$	$(R_{e0})_1$	$(R_{c0})_1$
20	h_2	$(R_{e1})_2$	$(R_{c1})_2$	$(R_{e0})_2$	$(R_{c0})_2$
30	h_3	$(R_{e1})_3$	$(R_{c1})_3$	$(R_{e0})_3$	$(R_{c0})_3$
40	h_4	$(R_{e1})_4$	$(R_{c1})_4$	$(R_{e0})_4$	$(R_{c0})_4$
50	h_5	$(R_{e1})_5$	$(R_{c1})_5$	$(R_{e0})_5$	$(R_{c0})_5$

表 1 2 . 7 データ・シート 2

圧縮率 r_e	高さ h	換算内径 R_{x1}	換算外径 R_{x0}
0	h_0	$(R_{x1})_0$	$(R_{x0})_0$
10	h_1	$(R_{x1})_1$	$(R_{x0})_1$
20	h_2	$(R_{x1})_2$	$(R_{x0})_2$
30	h_3	$(R_{x1})_3$	$(R_{x0})_3$
40	h_4	$(R_{x1})_4$	$(R_{x0})_4$
50	h_5	$(R_{x1})_5$	$(R_{x0})_5$

1 2 . 3 . 3 各潤滑剤の試験結果

リング圧縮試験によって得られた結果を表 1 2 . 8、図 1 2 . 3 に示す。

このように、実際に使用する温度域・加工率に合わせて試験を行えば、多種ある潤滑剤を統一して評価する事が可能である。

表 1 2 . 8 各潤滑剤の摩擦係数

温度(°C) 名称	25	50	100	150	200	250
ボンデ	0.09	0.09	0.07	0.05	0.06	0.28
スピンドル油	0.18	0.17	0.2	0.2	0.18	0.19
マシン油	0.15	0.15	0.16	0.18	0.19	0.18
ダイナモ油	0.12	0.13	0.15	0.16	0.15	0.15
シリンダ油	0.12	0.125	0.14	0.14	0.16	0.15
合成油	0.12	0.13	0.137	0.128	0.11	0.115

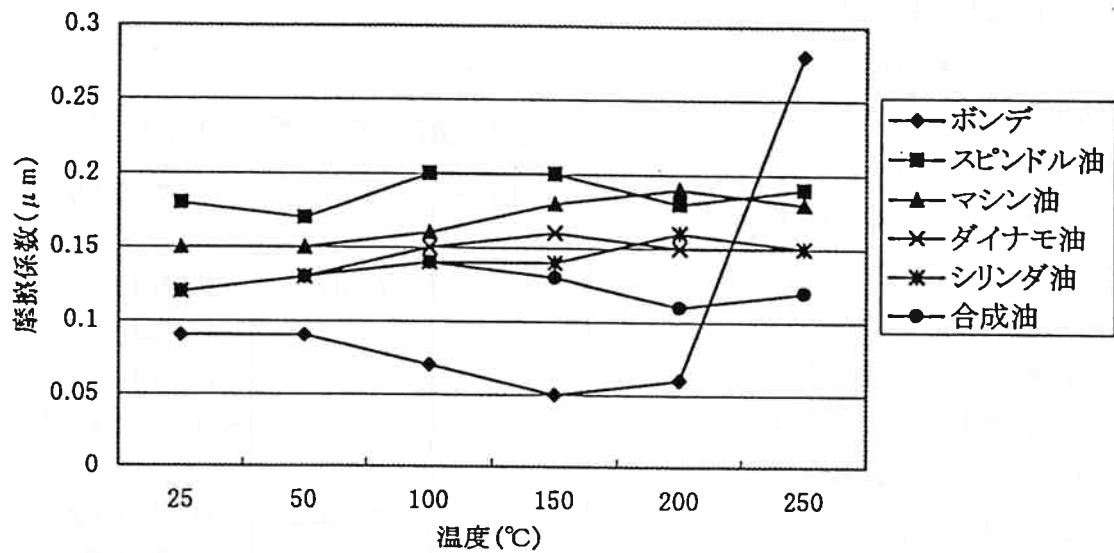


図12.3 潤滑剤の各温度における摩擦係数

《参考出展》

- 1) 本村 貢：鍛造加工の基礎 アルミニウム鑄造鍛造技術便覧（P1005-1009）（1991）

13. 鍛造（熱間／冷間）

13.1 鍛造加工の分類

5章と6章で論じているように、これまでに数多くの鍛造加工法が提案され活用されてきている。それらを参考に整理してみると、例えば、表13.1のようになる。作業温度あるいは鍛造用機械形式で整理すると、表13.2となる²⁾。そして、これらの鍛造法を単独あるいは組合わせて活用することにより、各種工業用部品が生産されている。

鍛造品の付加価値向上は生産コストの低減と高精度化であり、鍛造後の仕上げ切削がわずかですむニアネットシェイプ鍛造か、せいぜい研削仕上げですむネットシェイプ鍛造で製品を作る精密鍛造が最近の努力目標となっている。

これより、各種アルミニウム合金の鍛造に活用されている鍛造法を熱間鍛造と冷間鍛造に大別し、その特徴を概説する。

表13.1 鍛造加工の分類（その1）¹⁾

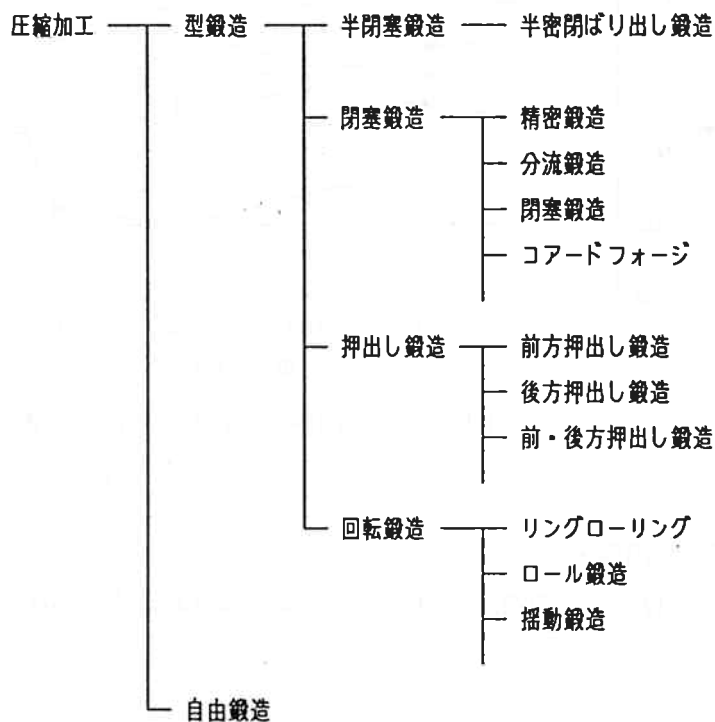
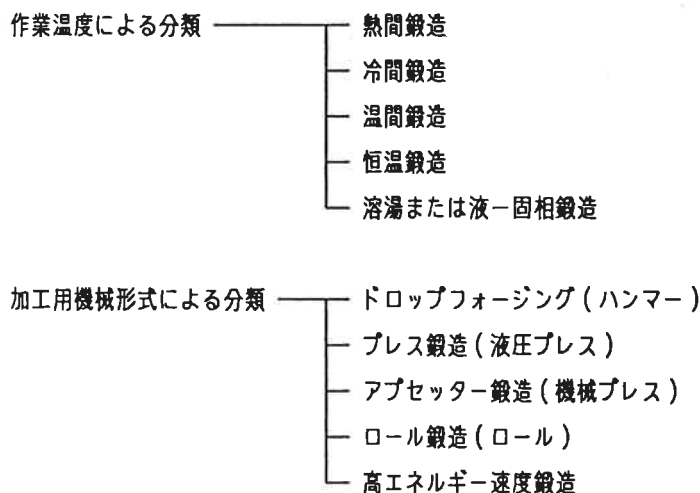


表13.2 鍛造加工の分類（その2）



13.2 鍛造方法

熱間鍛造では、材料が加熱されるため軟化し、展延性が増すので、室温では硬く・もろい材料の加工、大寸法製品の加工、大変形・複雑形状の加工が可能になる。そして、製品の材質改善も期待できる。各種アルミニウム合金の熱間鍛造温度や熱間鍛造時の金型温度は鋼材の熱間鍛造の場合と比較してかなり低く、精密鍛造に有利である。

習慣的には図13.1の横方向に余剰材料をばりとして出す金型を用いる作業を（狭義の）型鍛造と呼んでおり、鍛造品の各部は図13.2に示す名称で呼ばれている。また、鍛造品の断面形状には図13.3に示すようにブロッカータイプ、普通級、精密級がある。図13.4に熱間型鍛造によるアルミニウム鍛造品の幾つかを示す。

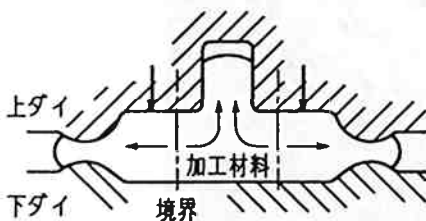


図13.1 （狭義の）型鍛造³⁾

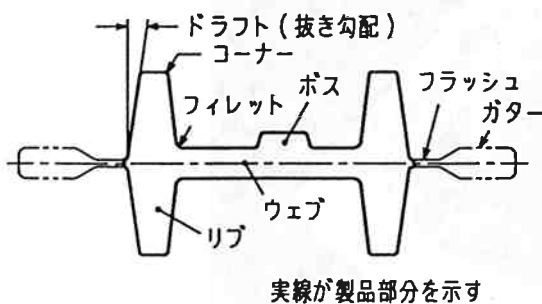
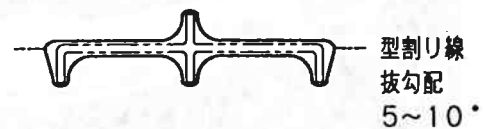
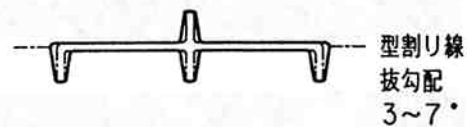


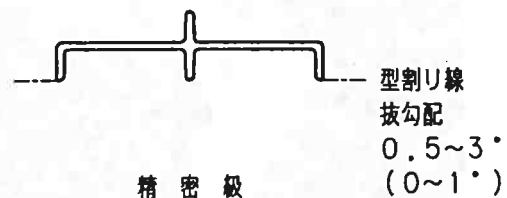
図13.2 型鍛造品の各部の名称⁴⁾



ブロッカータイプ



普通級



精密級

図13.3 型鍛造品の断面形状の比較⁵⁾

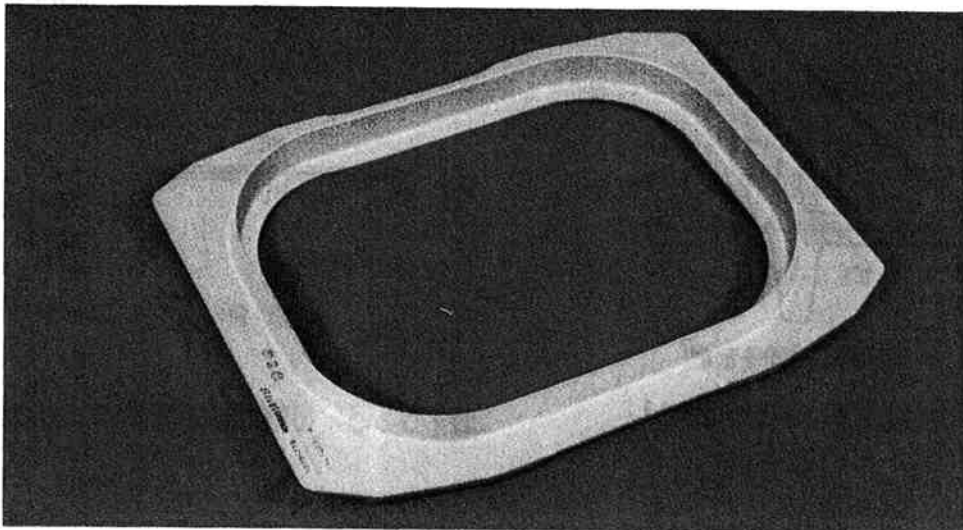
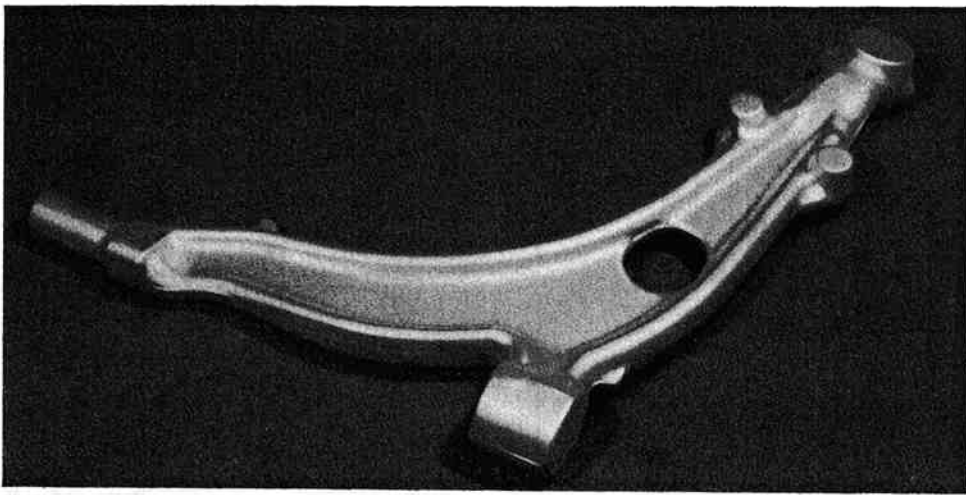
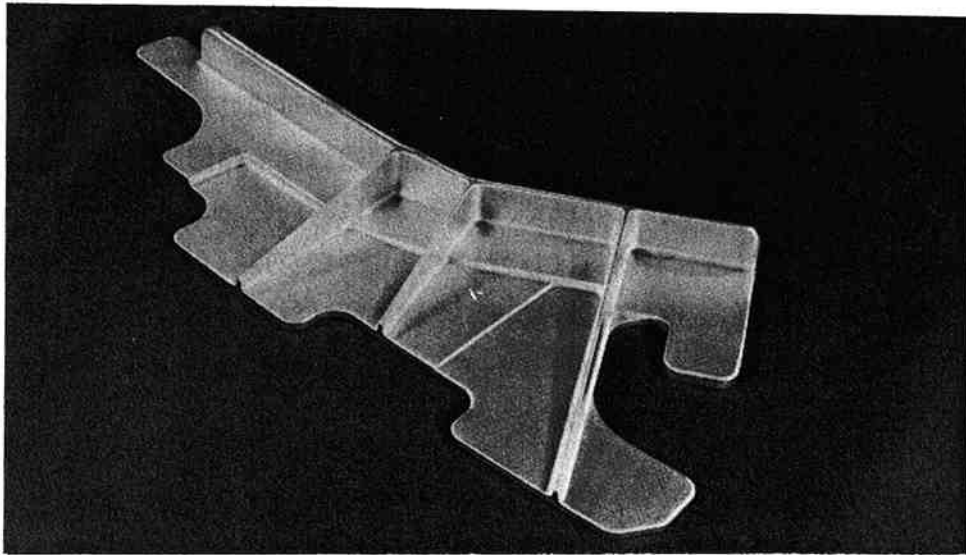


図 13.4 アルミニウム熱間型鍛造品の例（神戸製鋼所提供）

冷間鍛造は積極的に材料を加熱しないで、室温または室温に近い温度で加工するため、作業環境の改善、金属組織の微細化や加工硬化による製品強度の向上に加えて、滑らかな表面性状の生成による製品精度の向上が期待できる。その反面、加工力や加工圧力が急増し、加工設備の大型化、型工具破損、型工具表面の損傷・摩耗、材料表面の焼付きなどの問題が生じてくる。図13.5に冷間型鍛造によるアルミニウム鍛造品の幾つかを示す。

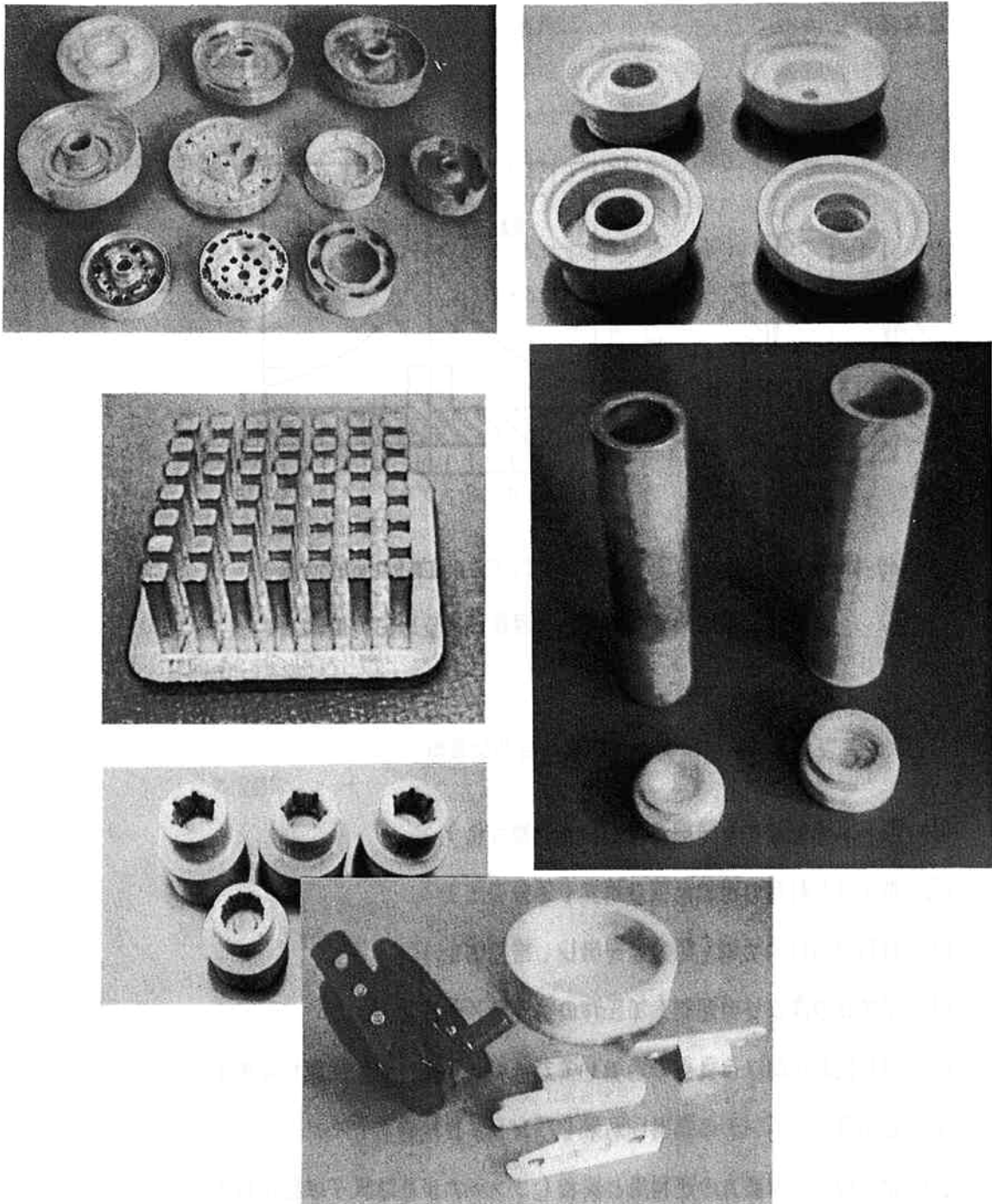


図13.5 アルミニウム冷間型鍛造品の例（宮本工業提供）

ところで、6章の図6.17で示しているように、押し荷重は一方向前方押し、一方向後方押し、組合せ押し順に低くなり、組合せ押しは荷重低減に有効である。また、容器の後方押しにおいて、図13.6に示すように、後で切り捨てる中実軸（捨て軸）の前方押しも同時に行えば、加工圧力が低減する⁶⁾。

このように、冷間で精密鍛造を実現するには加工力や加工圧力の低減が重要な課題であり、これまでに活用されている各種鍛造法の加工原理に基づいて着目したい知識を整理すると表13.3となる⁷⁾。

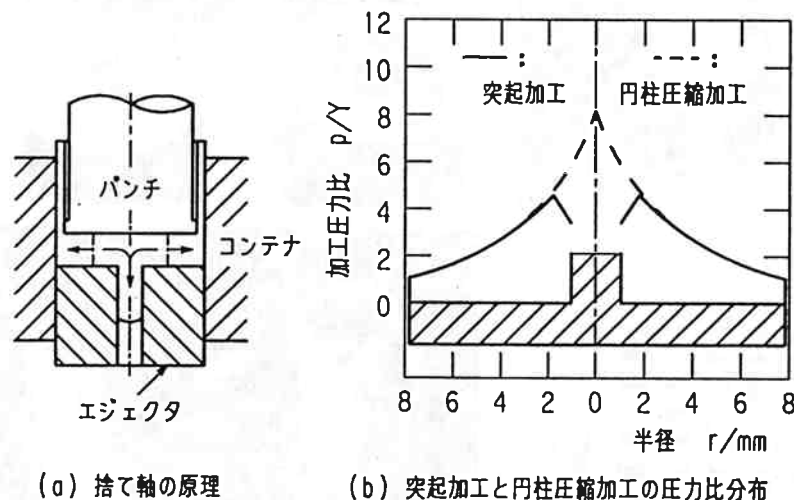


図13.6 捨て軸を用いた容器押し圧力の低減

表13.3 精密冷間鍛造に有効な着想

- ① 熱・温間鍛造と冷間鍛造の組合せ（複合化）
- ② 型工具と材料の接触面積の減少（部分加圧）
- ③ 材料流出口の増加（組合せ押し、捨て軸）
- ④ 摩擦丘の高まりの抑制（加圧時の幅寸法／厚さ寸法）
- ⑤ 材料流動を助ける負荷の追加（張力付加、背圧付加、組合せ荷重）
- ⑥ 密閉鍛造＋パンチの張出し効果（パンチ単独作動）
- ⑦ 密閉鍛造＋摩擦力の逆利用と緩和（コンテナまたはダイ単独作動）
- ⑧ 密閉鍛造＋断面減少率の高まりの抑制（捨て軸、逃がし穴）

13.3 鍛造作業および鍛造欠陥（原因と対策）

アルミニウム合金の鍛造では常に品質危険予知を念頭に入れて作業をしなければならない。図13.7に鍛造欠陥とその要因を示すが、金型異常を含む鍛造作業に起因する欠陥は非常に多く、これらを未然に防止するには、金型のメンテナンス、鍛造用機械・加熱炉などのTPM (Total Productive Maintenance) や決められた鍛造条件内の作業が重要である。

熱間鍛造作業の中で最も重要な項目の1つに温度管理がある。表13.4にアルミニウム合金の材質別鍛造温度、図13.8に鍛造性（単位成形エネルギー当たりの変形量）を相対比較した結果を示すが、アルミニウム合金は鍛造温度および材質により変形抵抗が変化するので、その特性を知り、鍛造荷重を設定しなければならない。

また鍛造加熱では、加熱炉仕様にに基づき、素材の中心が目標温度に達するまで実施するとともに、局部過熱（オーバヒート）、水素ガス吸収などを確実に防止する必要がある。

鍛造時のハンドリングは人手によるものあるいはロボットやトランスファなどの自動設備で行われるが、アルミニウム合金では打ち傷やつかみ傷などが問題となる場合が多く、製品形状に合った治具やハンドの準備が必要である。

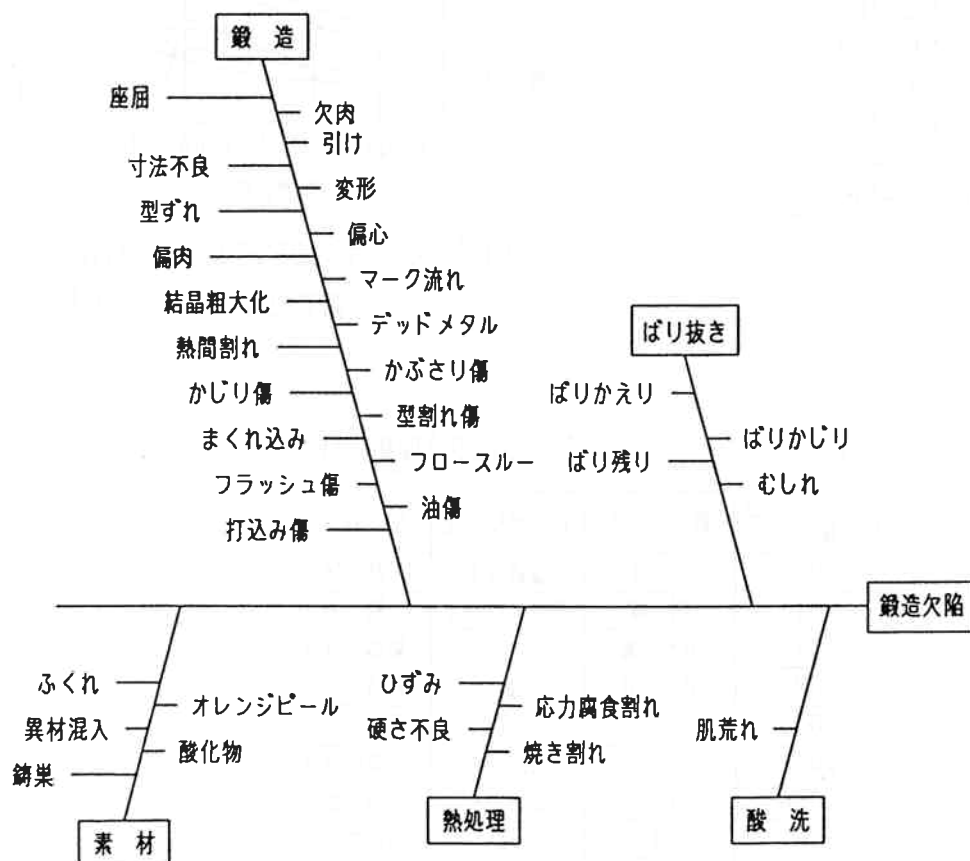


図13.7 鍛造欠陥とその要因 8)

冷間鍛造においては加熱工程はないが、材質別の機械的特性に注意して作業しなければならない。表13.5はアルミニウム合金の材質別の冷間鍛造性を示しており、6000系合金の鍛造性は熱間でも冷間でも良さそうである。

ところで、図13.7に示す鍛造欠陥において、寸法不良、型ずれ、かじり、型割れ傷、ばり抜き時の傷などの種々の欠陥は金型に起因するものであり、これらの未然防止には定期的な金型のメンテナンスが重要である。表13.6にアルミニウム鍛造で発生する代表的な鍛造欠陥の原因とその対策を示す。なお、その他の鍛造欠陥の原因と対策についてはアルミニウム鍛造ハンドブックを参照されたい¹²⁾。

表13.4 アルミニウム合金
の材質別鍛造温度⁹⁾

材 質	鍛造温度 (℃)
2014	420~460
2025	420~450
2218	405~450
2219	425~470
2618	410~455
4032	415~460
5083	405~460
6061	430~480
6151	430~480
7075	380~440
7079	405~455

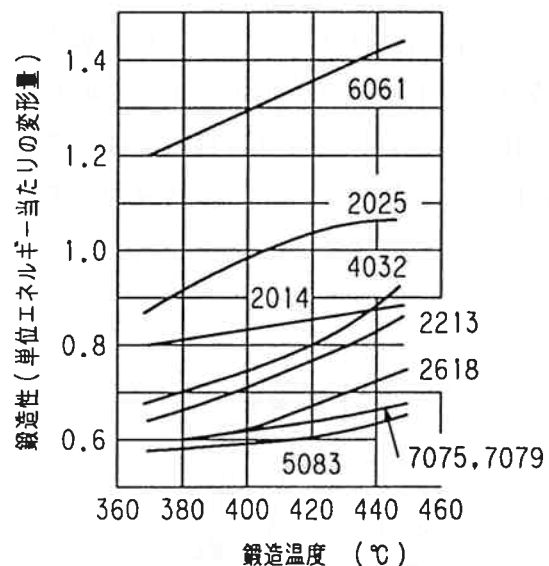
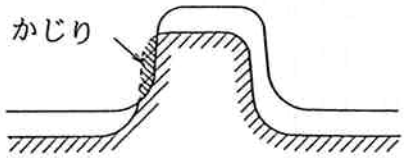
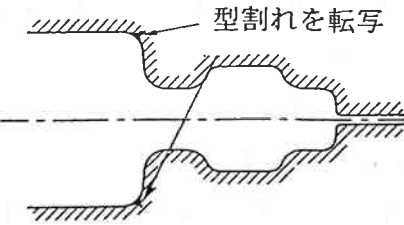
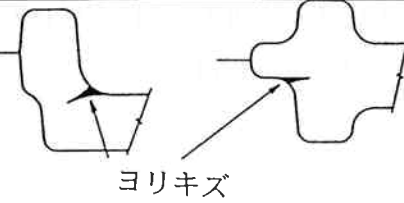
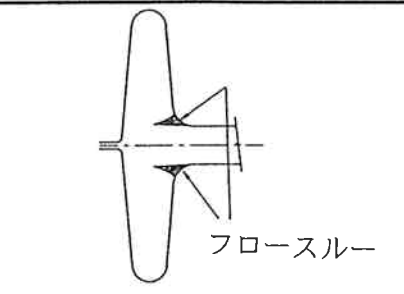
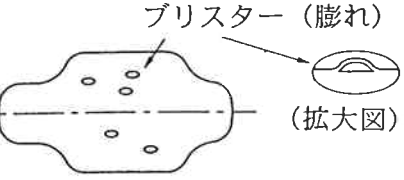
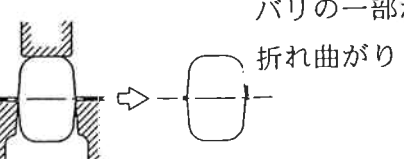
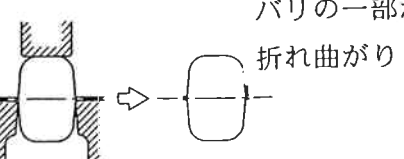
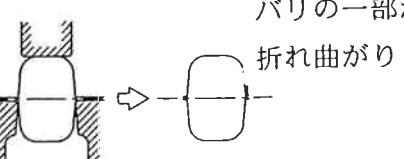


図13.8 代表的なアルミニウム合金
の鍛造温度と鍛造性¹⁰⁾

表13.5 アルミニウム合金の冷間鍛造性¹¹⁾

加工性 材 質	鍛 造 性	仕上がり精度	型 寿 命
1050	良 好	普通以下	良 好
2014	困 難	多少ばらつく	短 命
2017	やや困難	良	短命のほう
2024	やや困難	良	短命のほう
3003	良	良	長命のほう
5052	良	良 好	長命のほう
5056	やや困難	ばらつく	短 命
6061	良	良	長命のほう
6063	良	良 好	良 好
7N01	やや困難	良	短命のほう

表13.6 代表的な鍛造欠陥の原因と対策¹²⁾

名称	かじりきず：Galling	
定義	鍛造時一部がかじり取られた傷	
原因	型 mismatches、型の手入れ不十分、潤滑状態不良	
対策	抜け勾配・潤滑を見直し型の焼き付きを改善 偏芯荷重を避ける方案とする	
名称	型割れきず	
定義	型コーナー部の割れに肉が差し込んだきず	
原因	型コーナー部の割れ、型表面の割れ	
対策	集中応力を避ける、隅Rを大きく取る	
名称	よりきず	
定義	リップ部の下部に流れがぶつかって発生した傷	
原因	荒地の不適正、荒型と仕上げ型の肉量のアンバランス	
対策	鍛造方案の適正化、仕上げ型で成型時にフローが逆流しないような肉量の確保	
名称	フロースルー：Flow Through	
定義	ひけ、さし込み傷、サックイン	
原因	製品形状に沿った材料流れとならず、折れ曲がった材料流れとなる	
対策	体積配分の見直し、潤滑、隅R、フィレットRの見直し、金型温度管理(リップ部の温度低下防止)	
名称	膨れ：Blister	
定義	材料内部ガスが膨張し、盛り上がったもの	
原因	材料のガス量が多い、加熱温度が高い、加熱雰囲気中に水素源がある、潤滑剤巻き込み	
対策	素材製造時ガス量を少なくする、加熱温度の低下、加熱雰囲気の見直し	
名称	ばりかえり：Burr	
定義	バリの一部が鍛造品に残留したもの	
原因	不適切な抜き工程（抜き方案）、金型不良	
対策	抜き型のクリアランスの適正化、ダイとパンチの切れ味を良好に保つ、ガイドポスト設置	

参考文献

- 1) 軽金属協会アルミニウム鍛造委員会編：'95アルミニウム鍛造ハンドブック、1995,p.94.
- 2) 日本塑性加工学会編：鍛造、コロナ社、1995,p.1~10.
- 3) 文献 2) p.6.
- 4) 文献 1) p.47.
- 5) 文献 1) p.99.
- 6) R.Geiger: Blech Pohre Profile、25-4(1978),176.
- 7) 大賀・村越：第24回アルミニウム鍛造技術講座、軽金属協会アルミニウム鍛造委員会、(1997),
p.33~40.
- 8) 文献 1) p.67.
- 9) 文献 1) p.91.
- 10) Amer. Soc. Metals: Metals Handbook II、(1970),128,ASM.
- 11) 丸茂：塑性と加工、24-271(1983),p.849~853.
- 12) 文献 1) p.69~74.

1 4、熱処理（調質と質別記号）

1 4・1 加工硬化と焼なまし軟化(非熱処理合金……加工により強度を増す合金)

一般にアルミニウム材料も冷間(常温)で変形させると硬くなる。例えば1xxx系、3xxx系、5052等の板も常温で圧延すると引張強さ、耐力、硬度等が高まり伸びは減少する。

低下する程度は合金により異なり、加工した時の硬さの程度によりH12(1/4H)、H14(1/2H)、H16(3/4H)、H18(H)と表し、H18(H)が最も硬い。

この表示法は合金名の後にハイフンで示す。(例えば1100-1/2H、5052-Hなど)

又加工により硬化したものを加熱すると再び元に戻る性質がある。この処理を焼なましといい加熱温度を変えることにより所定の引張強さ、伸びにすることが出来る。

この時の硬さの程度によりH28(H)、H26(3/4H)、H24(1/2H)、H22(1/4H)と表す。最も軟い焼なまし処理をした材料をOで表す。

Al-Mg合金の加工材を常温で放置すると引張り強さは余り変らないが、耐力が徐々に低下して伸びが増大する。120~180℃で強制加熱して冷却し、人工的に常温放置と同じようにした物を安定化処理といい、H3nの記号で表わす。即ちH14を安定化処理したものはH34で表わすことになります。

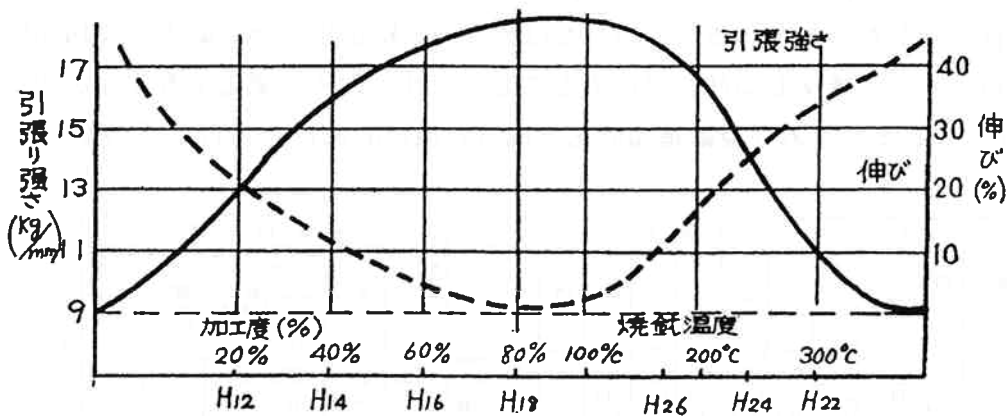


図 14・1 アルミニウムの加工硬化

1 4・2 焼入れ焼もどし硬化(熱処理合金……熱処理により強度を増す合金)

ある種のアルミニウム合金は高温(合金により異なるが約450~530℃)から急冷することにより機械的性質が良くなり、引張り強さや耐力が高まります。

合金によっては焼入れしたものを更に焼戻す(合金により異なるが120~180℃で数時間から24時間)と、更に強度が高くなります。(A6063、A2017、A7075)

熱処理の仕方により次のような記号で表わします。(例えば、A6063-F、A6063-T5)

F：通常の方法で製造(押出し)したままのもの。

T4：焼入れで硬化させたもの。

T5：焼もどしたもの。

T6：焼き入れ、焼戻し処理を実施したもの。

工業用純アルミニウムの軟化した板は引張強さ(以下強さといいます)は数 kgf/mm²(数十 N/mm²)前後で、伸びは 30~40%ある。こうした軟質材を強化するにはどうしたらよいか？。

鍛造の様な塑性変形は転位の移動によって行われる。転位の移動を阻止したら変形は困難になる。言い換えれば、材料を強化したことになる。この様に考えると材料を強化するには次の様に 3つの方法があることが判る。

- 1) 加工硬化による強化
- 2) 合金化による強化
- 3) 熱処理による強化(溶体化強化、析出硬化)

純金属に合金元素を加えて溶解すると、固体の中に新しい別の結晶体の固体を作って固溶体というものになり、純金属に比べてかなり著しい強度や硬度の増加が起こる。このように現象を固溶体硬化または溶体化(固溶体)強化と呼ぶが、殆どの合金は他の金属中に溶解した単数、複数の金属の固溶体であると言える。

固溶体合金を作るベース金属の原子(溶媒原子)と合金元素の原子(溶質原子)の溶け込み具合には或る一定の限度(固溶限と言う)があつて、その限度を越えて無理に固溶した合金を作ると、不安定な状態となり、何とか余分の溶質原子を吐き出して安定な状態になろうとする。これが析出硬化である。溶体化強化も析出強化も合金化して、金属の転位を押えこむことで強度を向上する方法である。表 14・1 は各種アルミニウム合金の組成と熱処理後の特性を示したものである。表 14・2 は代表的な鍛造用合金である A2014, A6061 合金の時効曲線である。焼戻し条件を変化することで特性が大きく変化することが判る。

表 14・1 アルミニウム合金鍛造品の化学成分と機械的性質 FEDERAL 規格 QQ-A367g

合金名	調質	化 学 成 分 / %										機 械 的 性 質					
		Cu	Si	Fe	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Ni	Al	メタルソーに平行な方向			メタルソーに平行な方向		
												耐 力 kgf mm ²	引張強さ kgf mm ²	伸 び %	耐 力 kgf mm ²	引張強さ kgf mm ²	伸 び %
2014	T4	3.9~5.0	0.50~1.2	1.0 以下	0.40~1.2	0.20~0.8	0.25 以下	0.10 以下	0.15 以下	—	残部	21.1	38.7	11(16)	—	—	—
	T6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	残部	38.7	45.7	6(8)	38.0	45.0	3
2018	T61	3.5~4.5	0.9 以下	1.0 以下	0.20 以下	0.45~0.9	0.25 以下	0.10 以下	—	1.7~2.3	残部	28.1	38.7	7(10)	—	—	—
	T6	3.9~5.0	0.50~1.2	1.0 以下	0.40~1.2	0.05 以下	0.25 以下	0.10 以下	0.15 以下	—	残部	23.2	38.7	11(16)	—	—	—
2218	T61	3.5~4.5	0.9 以下	1.0 以下	0.20 以下	1.2~1.8	0.25 以下	0.10 以下	—	1.7~2.3	残部	33.8	40.8	7(10)	—	—	—
	T6	5.8~6.8	0.20 以下	0.30 以下	0.20 以下	0.02 以下	0.10 以下	—	0.02~0.10	—	残部	26.7	40.8	8(10)	25.4	39.4	4
2618	T61	1.9~2.7	0.25 以下	0.9~1.3	—	1.3~1.8	—	—	0.04~0.10	0.9~1.2	残部	33.8	40.8	4(6)	25.3	38.7	4
	T6	0.50~1.3	11.0~13.5	1.0 以下	—	0.8~1.3	0.25 以下	0.10 以下	—	0.50~1.3	残部	29.5	38.6	3(5)	—	—	—
5083	H-111	0.10 以下	0.40 以下	0.40 以下	0.30~1.0	4.0~4.9	0.25 以下	0.05~0.25	0.15 以下	—	残部	15.5	29.5	14(16)	14.0	27.4	12
	T6	0.15~0.40	0.40~0.8	0.7 以下	0.15 以下	0.8~1.2	0.25 以下	0.04~0.35	0.15 以下	—	残部	24.6	26.7	7(10)	24.6	25.3	5
6066	T6	0.7~1.2	0.9~1.8	0.50 以下	0.60~1.1	0.8~1.4	0.25 以下	0.04 以下	0.20 以下	—	残部	31.7	35.2	8(12)	—	—	—
	T6	0.35 以下	0.6~1.2	1.0 以下	0.20 以下	0.45~0.8	0.25 以下	0.15~0.35	0.15 以下	—	残部	26.0	30.9	10(14)	26.0	30.9	6
7049	T-73	1.2~1.9	0.25	0.35	0.20	2.0~2.9	7.2~8.2	0.10~0.22	0.10	—	残部	44.8	50.4	7(10)	42.7	49.7	3
	T6	1.2~2.0	0.50 以下	0.7 以下	0.30 以下	2.1~2.9	5.1~6.1	0.18~0.40	0.20 以下	—	残部	45.7	52.7	7(10)	43.6	49.9	3
7075	T6	0.40~0.8	0.30 以下	0.4 以下	0.10~0.30	2.9~3.7	3.8~4.8	0.10~0.25	0.10 以下	—	残部	43.6	50.6	7(10)	42.3	49.2	3
	T6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	残部	—	—	—	—	—	—

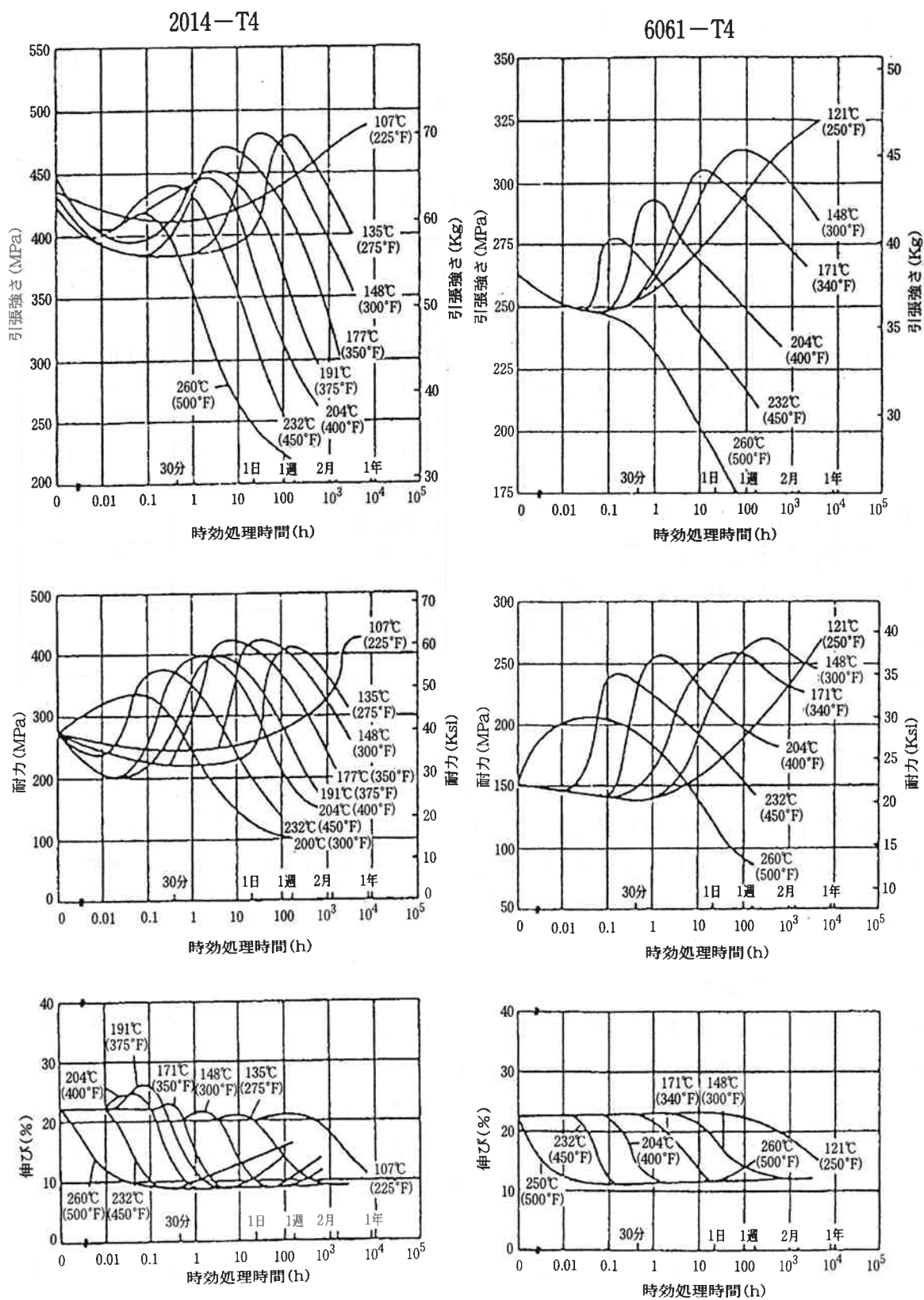


図 14・2 A2014, A6061 合金の各温度での時効曲線

15. 検 査

アルミニウム鍛造品は高強度・高靱性・高品質が期待できるため、重要なところに使用される。そのため、鍛造品の形状だけでなく、表面および内部に欠陥が無く、グレインフローが良好であるなどの厳しい品質保証が要求され、これらに対処するための検査を行なうことが重要である。表15.1に品質項目と代表的な検査方法を示す。

表15.1 鍛造品の品質項目と代表的検査方法

No.	品質項目	内 容	検査方法代表例	J I S 規格
1	形 状	寸法及び精度, 歪み	寸法検査	
		表面状態(粗さ, 肌)	目視, 粗さ計	
2	化学成分	合金成分, 不純物	発光分光分析	H4140
3	機械的性質	引張り特性(引張強さ, 耐力, 伸び)	引張り試験	Z 2201
		疲労強度	疲労試験	
		硬 さ	ブリネル, ロックウェル, ビッカース	Z 243, 22441
4	化学的性質	耐食性	塩水噴霧	Z 2371
		耐応力腐食割れ性	応力腐食割れ	
5	健全性	内部欠陥(介在物, クラック)	超音波探傷	Z 2344
		表面欠陥(割れ, キズ, カブリ)	蛍光探傷	Z 2343
6	金属組織	グレインフロー(方向, 乱れ, デッド・マトリ)	マクロエッチング*	
		結晶組織(大きさ, 不均一性)	マクロ&ミクロエッチング*	

15.1 寸法検査

寸法検査は試作時や初回量産時には必要な部分すべてに行い、量産開始後は特定の部分についてのみ全数あるいは抜取りで行われている。特に、鍛造品の場合、型割面をまたぐ厚さ方向などの寸法が変動しやすい部分を日常管理の測定項目に入れることが重要である。

15.2 蛍光浸透探傷検査

蛍光浸透探傷検査は製品の表面欠陥を検出するため、図15.1に示すように浸透液の毛細管現象を利用し、紫外線を当てて欠陥部を蛍光させる方法である。

鍛造品の場合には、表面欠陥が密着していることも考えられるので、欠陥検査はいわゆるカラーチェックである染色浸透探傷法ではなく、図15.2に示す感度の良い蛍光浸透探傷法が用いられている。航空機などの重要部品では、蛍光浸透探傷法で全数検査されている。

蛍光浸透探傷検査工程は、前処理、浸透、洗浄、現像、観察の順に行われ、注意事項を以下に示す。

a) 前処理

通常、溶剤洗浄であるが、表面欠陥が密着していたり、酸化膜におおわれている場合もあるので、アルカリ洗浄により軽くエッチングした方がよい。

b) 浸透

浸漬などにより浸透液を塗布し、欠陥部に十分浸透液が浸透するように塗布後一定の時間をおくのがよい。

c) 洗浄

浸透後浸漬またはシャワーリングで行なうが、洗い不足・洗い過ぎにならないように注意が必要である。最初はブラックライトで様子を見ながら行ない、洗浄条件を決定するのがよい。

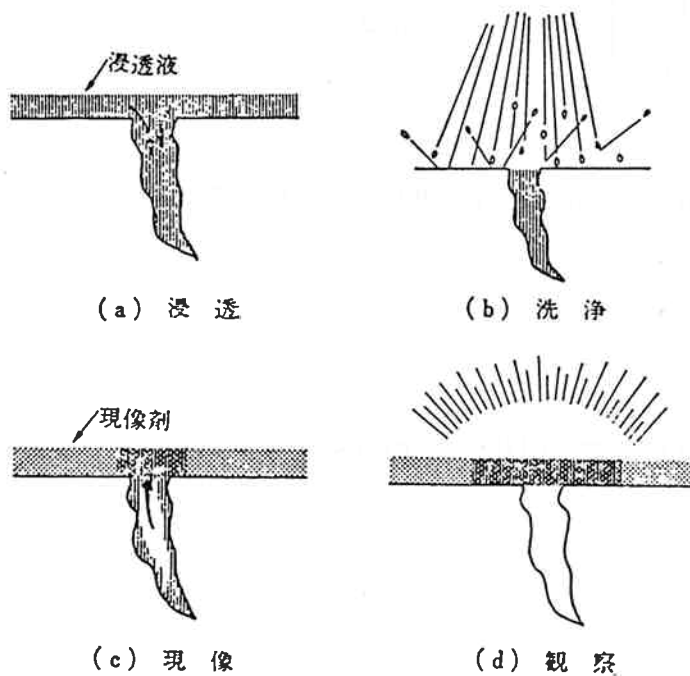


図 15.1 蛍光浸透探傷検査の原理¹⁾

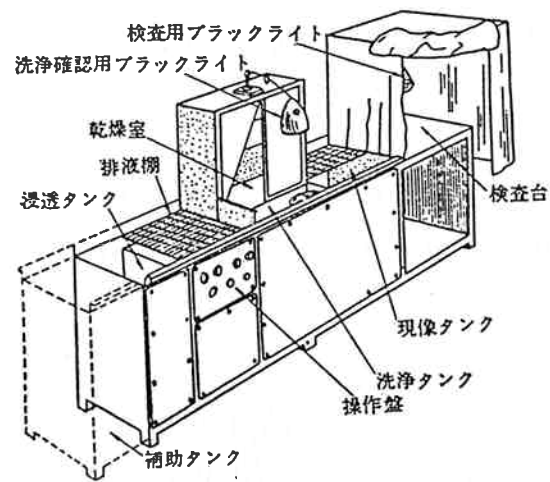


図 1 5 . 2 蛍光浸透探傷装置(一体型)²⁾

参考文献

- 1) 日本非破壊検査便覧：日刊工業新聞社, (1986)705
- 2) 1) に同じ p 729

16. 製品のできるまで

16.1 鍛造生産工程

8章から15章までを通して、製品ができるまでの生産工程の流れをまとめると、例えば、図16.1のようになる。ここでは冷間鍛造の場合を示しているが、熱間鍛造では焼なまし作業に代え、加熱作業が加わると考えればよく、製品によっては活用しない工程もある。そして、各工程に対応して諸機械・装置がラインを構成している。

また、鍛造工程の内部には数多くの鍛造作業があり、それらが単独あるいは組合わされて活用されている。鍛造工程に投入する素材の準備や鍛造品の後処理・後加工・検査などにも数多くの工程が入っている。これらの全工程が首尾良く行われることによって初めて要求される品質と寸法を保証する製品ができる。そして、最近では、環境・リサイクルも含めて工程設計するコンカレントエンジニアリングが重要となっており、リサイクルにおけるアルミニウムの優位性が注目されている²⁾。

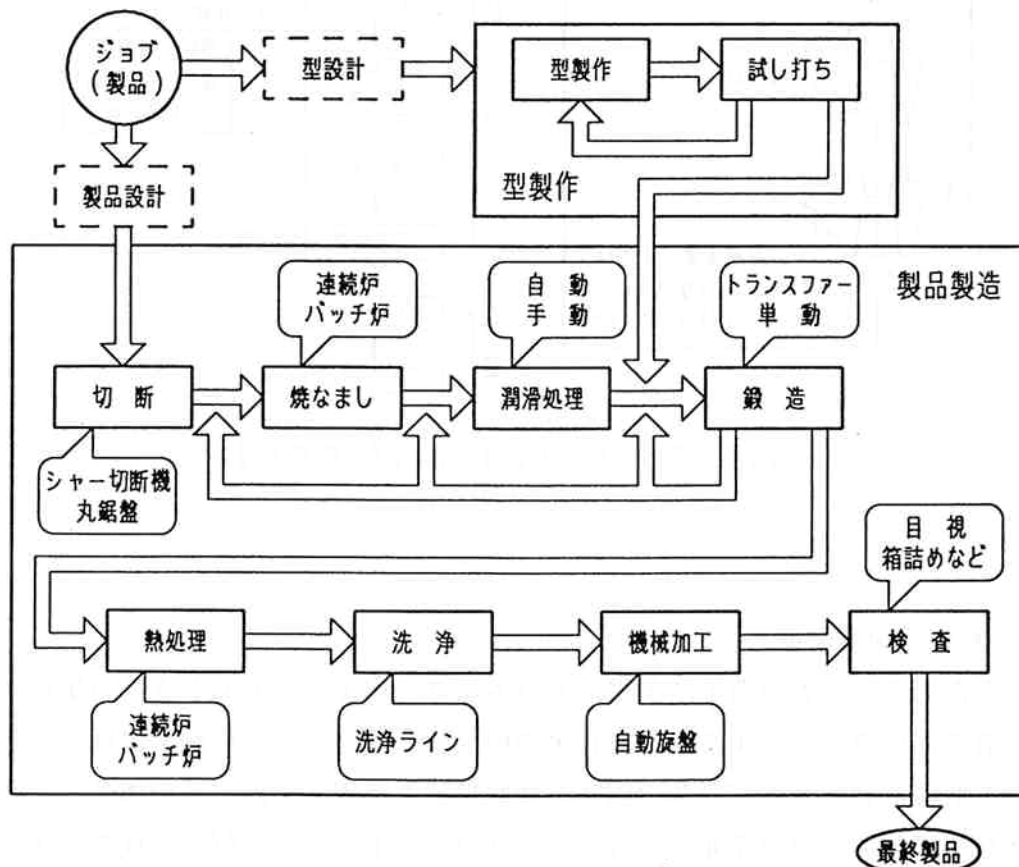


図16.1 鍛造生産工程の例：冷間鍛造¹⁾

(製品によっては加工しない工程もある)

図16.2に一例としてフロントホイールハブの熱間鍛造生産工程を示す。切断工程、鍛造工程、熱処理工程、検査工程などは具体的には図16.2に示す作業から成り立っており、各作業が定められた基準に従って行われることが重要である。なお、これまでに生産されてきた各種アルミニウム鍛造品の製作事例が18章に示されている。

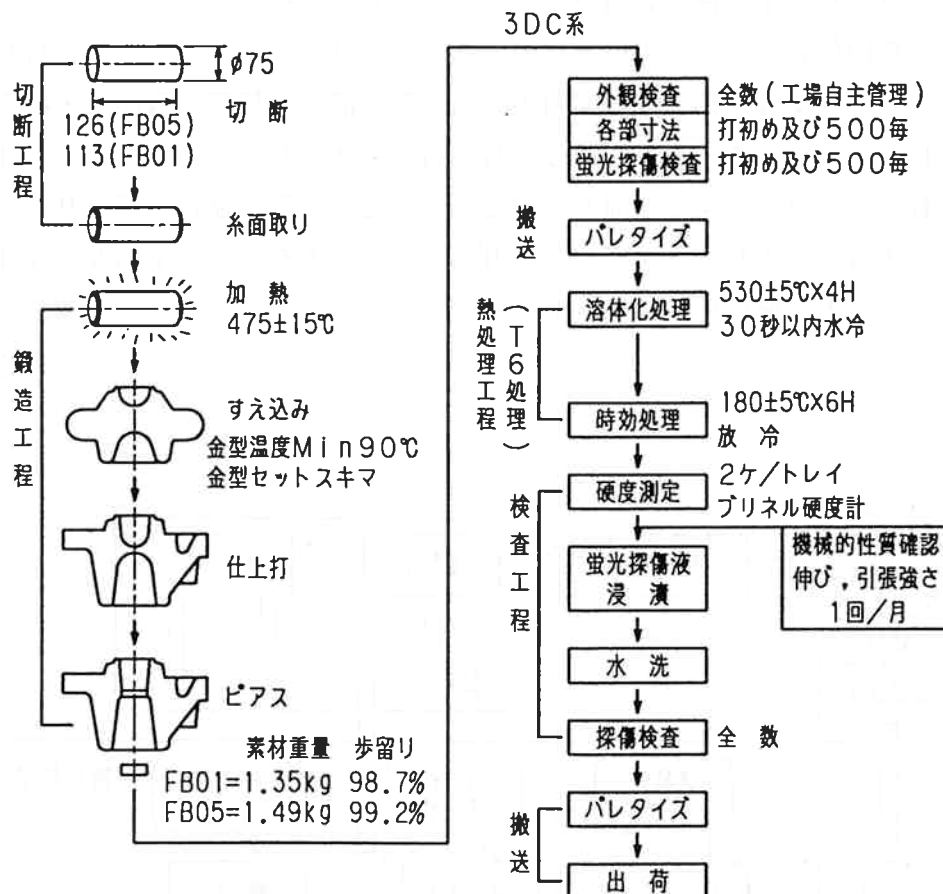


図16.2 フロントホイールハブの鍛造工程³⁾

16.2 鍛造技術の動向

素材から後加工に至る鍛造生産工程における流れの中で着目しておきたい事項を図16.3に示す。鍛造性に優れたアルミニウム合金の開発⁴⁾、環境に優しい潤滑処理の試み、実質加圧時間を増加させたメカプレスの開発、精密鍛造を実現する鍛造法の開発⁵⁾、金型製作に有利な高速切削加工機の開発、CAD/CAMソフトの普及、解析精度を向上させたCAE技術など種々の試みや開発がおこなわれている。

ところで、図16.1に示すように、合理的な製品製作には型設計と製品設計が重要なかなめとなっている。これより、CAE技術を活用した解析事例を紹介し、その有用性を示す。

図16.4は鍛造解析手法の基本構成図である。目的の製品形状に対して、素材の変形解析（剛塑性FEM）と金型の応力解析（弾性FEM）を組み込んで展開していくことが必要である。そして、材料歩留まりを高くし、金型への負荷を小さくして工具寿命を延長するための荒地（予備成形品）形状の決定、および、製品精度向上のための金型弾性変形量の補正などが行われている。

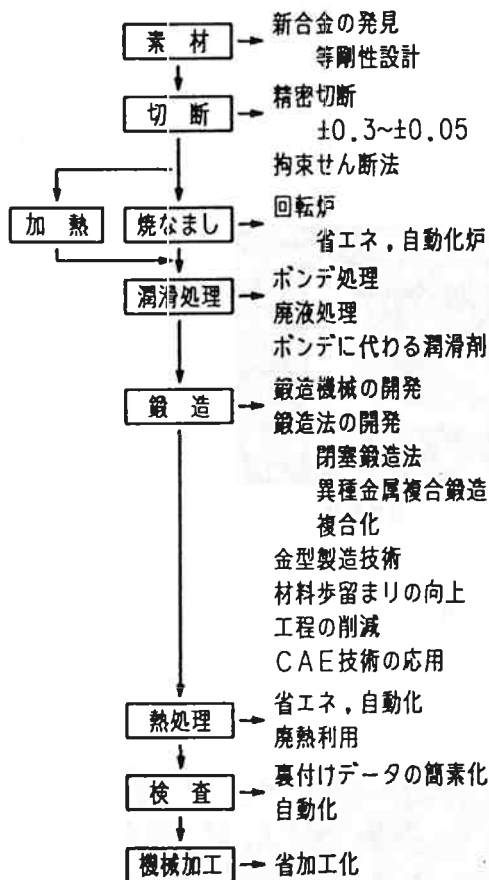


図16.3 鍛造技術の動向 6)

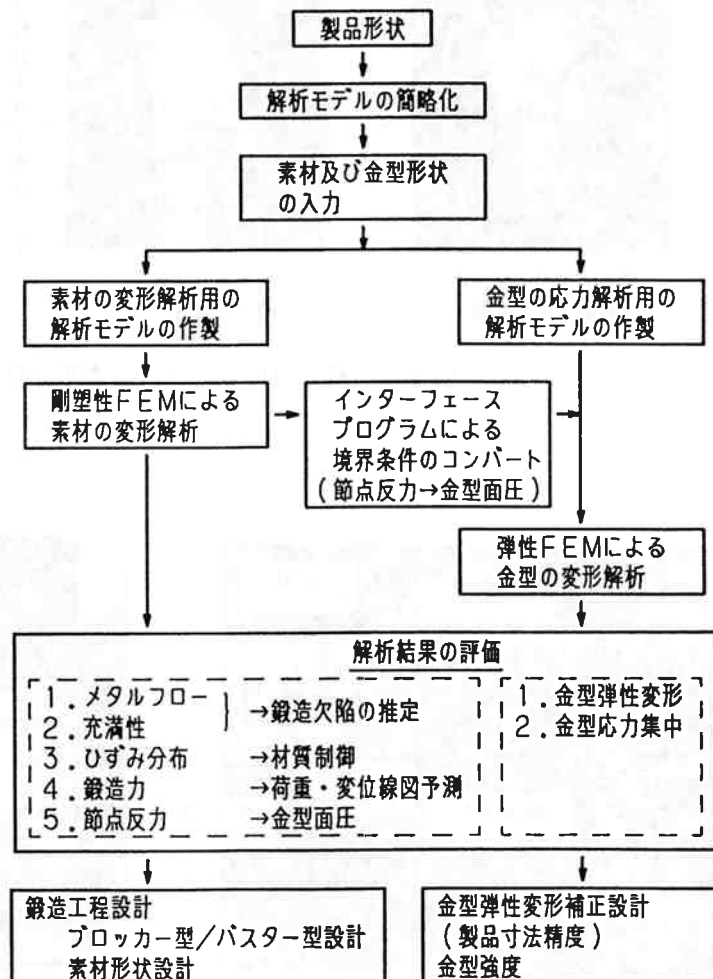


図16.4 鍛造解析手法の基本構成図 7)

図16.5はリメッシュを組み込んだ解析手法の一例で、製品形状が複雑になるとリメッシュを組み込まねば解析精度は低下するし、解析続行も不可能となる。図16.6は欠肉などの鍛造欠陥を予測した場合の結果で、これらの欠肉は前工程の金型形状を変更することで解消させることができる⁸⁾。

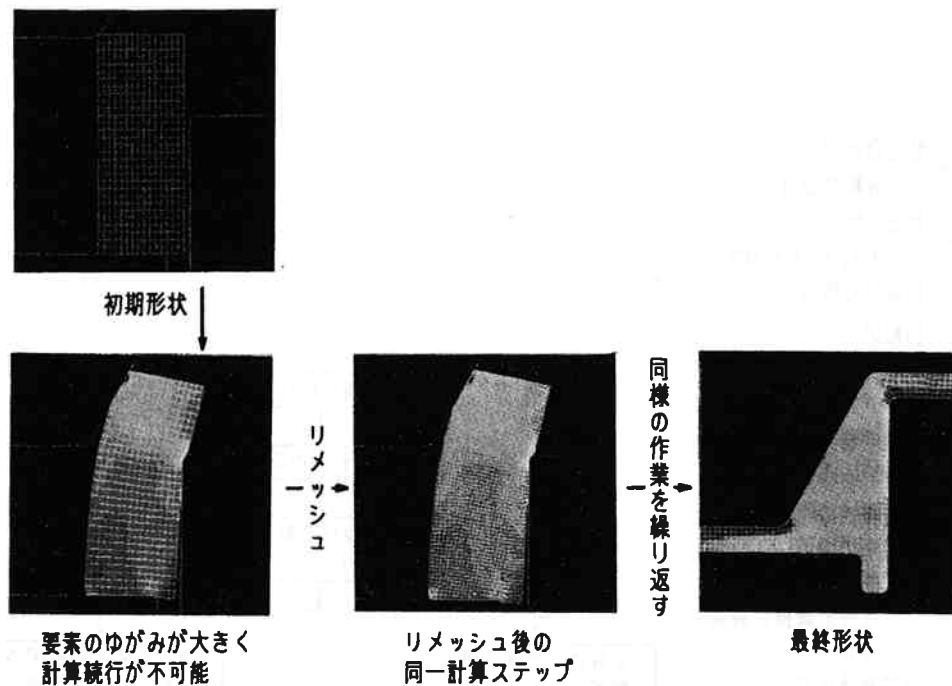


図16.5 アルミニウム鍛造品の解析手順

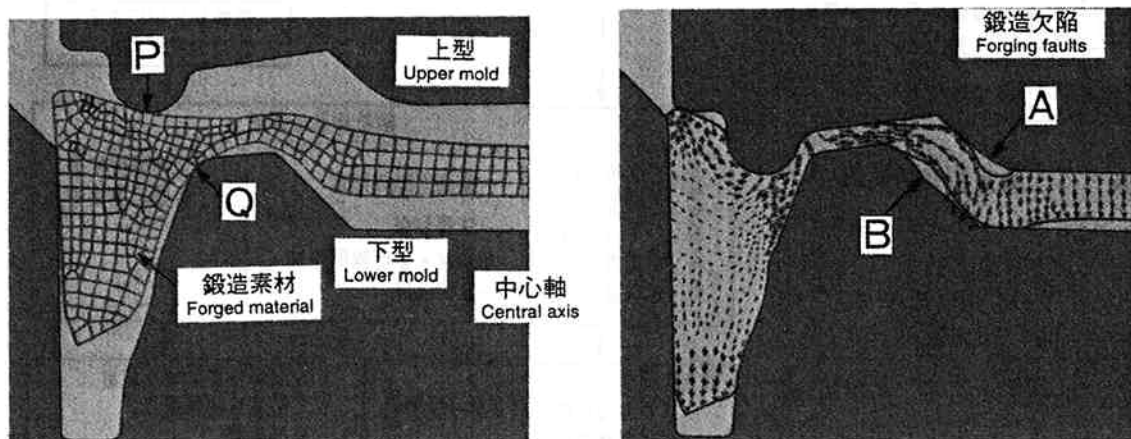


図16.6 鍛造欠陥の予測

また、図16.7は金型の弾性変形量を予測した結果である。金型中心部圧力75kgf/mm² (約750MPa) に対して0.5mm もの弾性変形量が予測され、製品寸法精度に及ぼす金型の弾性変形の影響はかなり大きい。なお、製品の実測値を●印で図16.7中に示すが、予測値は実測値と一致しており、解析精度が高いことが知られる。図16.8は製品強度を予測した結果である。加えられる負荷に対して各メッシュにおける発生応力が予測でき、最適形状設計が可能となる。図16.5～図16.8は神戸製鋼所提供に依る。

このように、最近のFEMシステムの解析能力は格段に進歩しており、積極的な活用が望まれる。

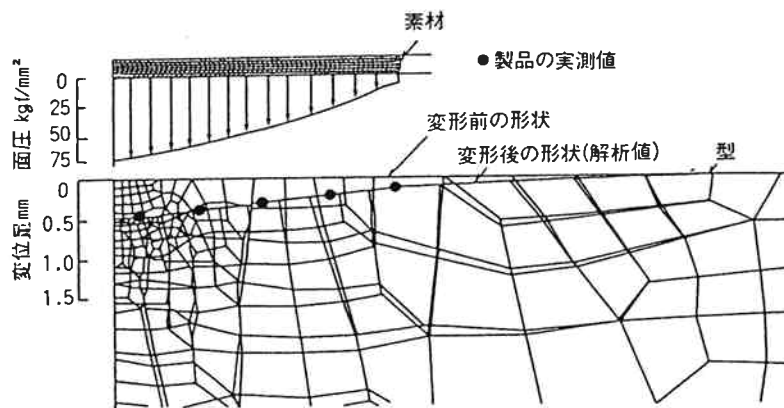


図16.7 金型弾性変形量の予測

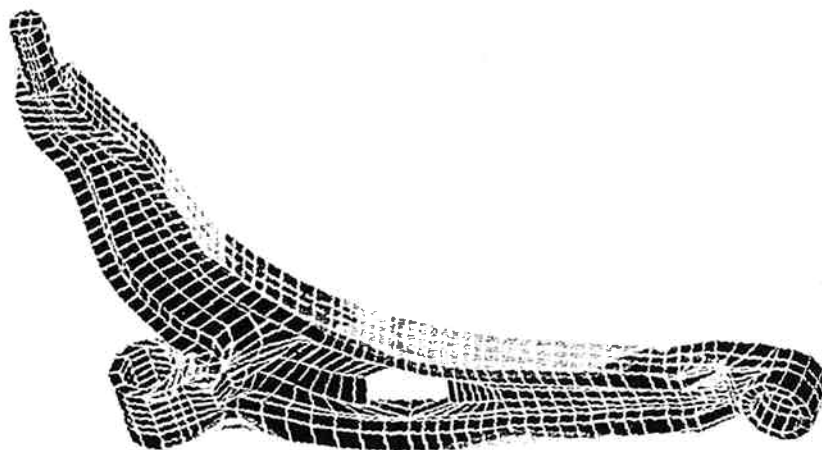


図16.8 製品強度の予測

参考文献

- 1) 中小企業事業団、軽金属協会アルミニウム鍛造委員会提案書(1998年3月).
- 2) 関口：第23回アルミニウム鍛造技術講座、軽金属協会アルミニウム鍛造委員会、(1997),p.1~10.
- 3) 軽金属協会アルミニウム鍛造委員会編：'95アルミニウム鍛造ハンドブック、1995,p.98.
- 4) 神尾ほか：軽金属、47-2(1997),p.114~122.
- 5) 吉村：第24回アルミニウム鍛造技術講座、軽金属協会アルミニウム鍛造委員会、(1997),p.27~32.
- 6) 文献 3) p.100.
- 7) 文献 3) p.56.

17. 鍛造工程製品事例

これまでに生産されてきたアルミニウム鍛造品のいくつかを紹介し、今後の展開・発案への一助としたい。特にここでは、鍛造事例として表17.1に示すように、熱間鍛造、リングロール鍛造、冷間鍛造、インパクト成形および鋳造+鍛造の複合成形に類別し、個々の製品ごとに、製品名称・鍛造形状・製法・鍛造機・素材材質・製品重量・金型材質・鍛造速度・鍛造条件・製造工程などを紹介する。加えて、工程設計において特に重要となる加工および処理上のポイントを簡潔に示す。

アルミニウム材料は鋼材に比較して変形抵抗が低く鍛造加工しやすいことに加えて、その比重は鋼材の約3分の1程度と軽く比強度（単位重量当たりの強度）が高く、高剛性の製品設計が可能な材料である。また、再生地金をつくるのに必要なエネルギーは、新地金をつくる場合と比べてわずか3%ですみ、最近重要視されている環境問題におけるリサイクルに優位性を持つ材料でもある。さらに、耐食性・電気伝導性・熱伝導性に優れ、美しく、毒性もなく、低温にも強い材料でもある。これらの特徴を十分に認識して、工業ならびに日用部品のアルミ化を積極的に考えてみるのが今後重要になってくるものと思われる。

ここで紹介した各種アルミニウム鍛造技術が基盤となり、より有効で高効率の生産技術が展開・開発されていくことを期待している。

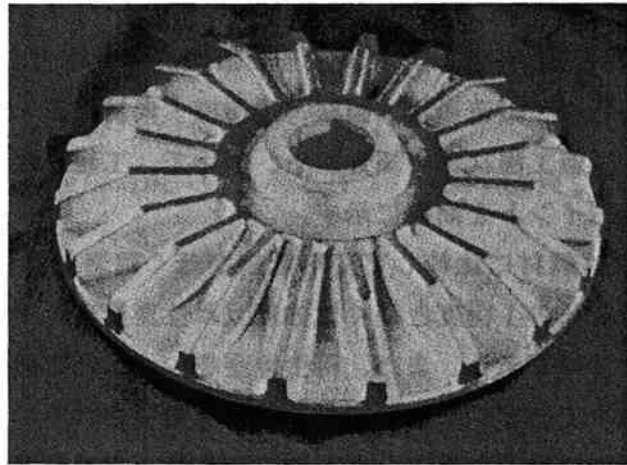
表17.1 鍛造事例の数々

鍛 造 法	製 品 事 例
熱 間 鍛 造	1.インペラ 2.ビーム 3.リアハウジング 4.チェンジペダル 5.フランジ 6.ピストン 7.ワッフルプレート 8.斜板
リングロール鍛造	9.フランジ
冷 間 鍛 造	10.モーターハブ 11.ヒートシンク 12.ビデオシリンダー 13.リール 14.ゲートボール本体・ヘッド 15.マウント
インパクト成形	16.金属押し出しチューブ 17.アルミカン
複 合 成 形 (鋳造+熱間鍛造)	18.アルミロードホイール

鍛造工程製品事例－１

製品名称：インペラ（用途：ディーゼルエンジン過給機）

鍛造形状



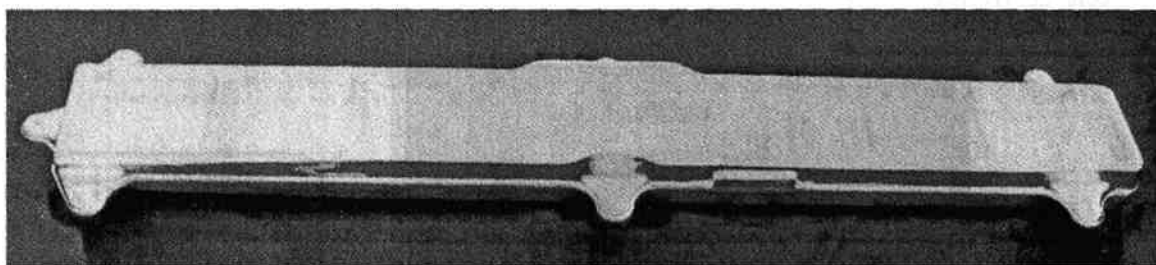
材質：2618-T61
寸法：φ390×80H
重量：11kg

製 法	熱間鍛造	
鍛造機	5000トン油圧プレス	
素材材質	2618-F（選定理由：高温強度特性）	
重 量	11kg	
型材質	SKT4	
鍛造速度	10～20mm/sec	
鍛造条件	成形荷重	3600トン
	鍛造温度	400℃前後
	型温度	400℃前後
	潤滑剤	油性黒鉛系潤滑剤
製造工程		切断 → 加熱 → 1次鍛造(荒型) → キズ取り → 加熱 → 2次鍛造(仕上型) → バリ取り → 熱処理(T6) → 洗浄 → 検査
工程のポイント	1次鍛造	・丸棒材料を縦方向から据え込み時点で金型中心で曲がりなく行うこと
	2次鍛造	・羽根先端部の欠肉防止のため、潤滑油残滓の除去、潤滑油塗布は均一に行うこと ・金型の精度維持、成形性確保のため鍛造力量の管理
	熱 処 理	・熱処理歪の防止、焼入冷却を均一にするため、鍛造品のセット時適正な間隔をとる ・熱処理温度、時間の管理と確認

鍛造工程製品事例－2

製品名称：ビーム（用途：ヘリコプター一次構造材）

鍛造形状



材質：7075-T73
寸法：360W×1800L×100H
重量：63kg

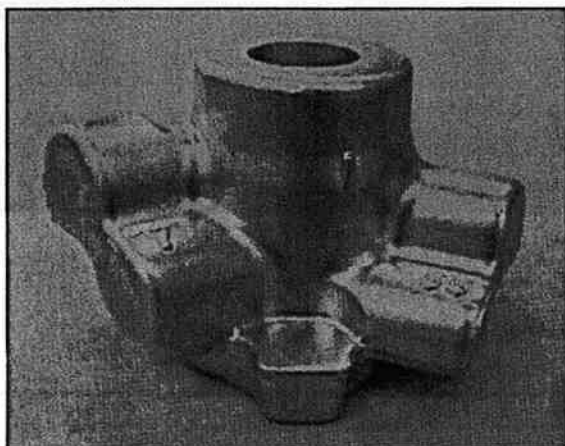
製 法	熱間鍛造
鍛造機	8000トン油圧プレス
素材材質	7075-F（選定理由：高強度特性）
重 量	63kg
型材質	SKT4
鍛造速度	10～20mm/sec
鍛造条件	成形荷重 8000トン
	鍛造温度 400℃前後
	型温度 400℃前後
	潤滑剤 油性黒鉛系潤滑剤
製造工程	鍛伸 → 外削加工 ↑ 型打鍛造（荒型） → バリ/キズ取り ↓ 型打鍛造（仕上型） → バリ/キズ取り → 洗浄 → 熱処理（T6） → 洗浄 → 検査
工程のポイント	鍛 伸 鍛伸キズ、曲がりなきこと
	型打鍛造 （荒型） （仕上型） ・材料の金型装入時の位置ずれなきこと ・角部欠肉防止のため、潤滑油残滓の除去、潤滑油塗布は均一に行う ・離型時に曲がりなきこと
	熱 処 理 ・熱処理歪の防止、焼入冷却を均一にするため鍛造品のセット時、適正な姿勢、間隔をとる ・熱処理温度、時間の管理と確認
	洗 浄 ・薬液の鍛造品ポケット部への残留防止

鍛造工程製品事例－3

(1/2)

製品名称：リアハウジング（用途：パワーステアリング用）

鍛造形状



＜粗材主要寸法＞
上部外径：φ40
下部外径：φ60
高さ：69

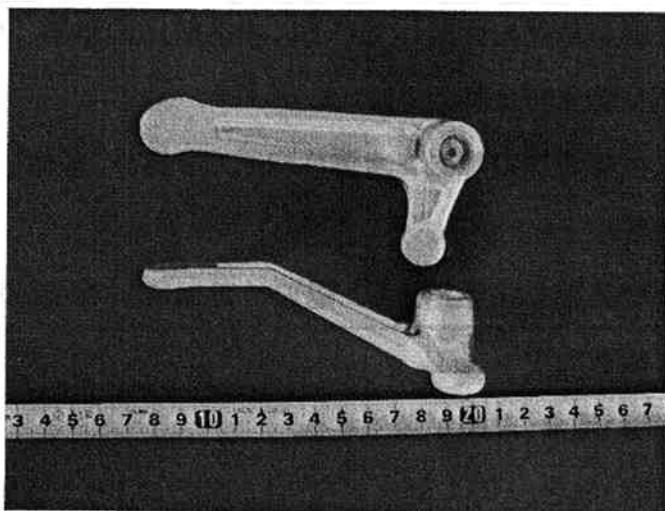
製 法		熱間鍛造
鍛造機		1600ト クラック リ
素材材質		A4032系（理由：引張強さ,耐摩耗性,熱膨張性）
重 量		0.4kg
型材質		SKD61
鍛造速度		6～9秒／個（マニュアル）
鍛造条件	成形荷重	約1000ト
	鍛造温度	360℃
	型温度	上型：140℃、下型：130℃
	潤滑剤	水性グラファイト系と油性グラファイト系潤滑剤併用
製 造 工 程		材料切断・加熱・鍛造・トリム・溶体化・時効処理・蛍光探傷・亜鉛ショット
工程のポイント	材 料	成形能を向上する為、Sb等微量元素の調整や鑄造棒の採用による共晶Si微細化が必要。
	鍛 造	金型温度、鍛造温度は、品質確保の為、重点的に管理。金型形状は、フラッシュランドの幅を10～20mm、バリ厚を1.6～2.4mm、ドラフトアングルは2～4°とし、面粗度は3S程度。
	溶体化	鍛造→トリム直後に、製品がまだ熱い状態で溶体化炉に投入し、省エネルギー、省人、処理時間短縮を実施。

工 程	工程の内容、ポイント
切断	丸鋸切断機を使用している。キズ防止のため、付着切粉除去及び切断面バリ発生防止要。 <付着切粉の除去> 水溶性切削液を使い、水槽どぶ付けで無人で簡単に切粉除去している。 <切断面バリ発生防止> 鋸刃材質SKH-9。鋸刃交換時期に設備自動停止。
鍛造	<鍛造温度> ・低い場合: 欠肉が発生する。 ・高い場合: バリに割れが発生し、場合によっては製品に影響が出る。さらに高いと、製品に亀甲状の割れが生じる。 本部品の場合、350～390℃が適正領域である。 成形速度が速いためか、ハンドブックの数値と異なっている。 <型温度> ・低い場合: 欠肉が発生したり、深穴成形用インサートが折損する。 ・高い場合: 型の隙間にバリが刺したり、製品表層に極浅いキズが発生する。 本部品の場合、上型120～180℃、下型110～170℃が適正領域である。 電気ヒーターを型に埋め込み温度管理をしている。 <潤滑剤> M o -樹脂系やテフロン系など様々試作したが、揮発ガスにより作業者が気分悪くなる。型内にカスが残って欠肉やキズが出る。 等の問題があり、グラファイト系を用いた。 前述の適正型温度との関係で、水性か油性か決定している。 <鍛造設備> 既存鋼鍛造用クランクプレスのモータープーリー変更により、成形速度を遅くし割れ防止を行った。

鍛造工程製品事例－４

製品名称： チェンジペダル (用途：二輪車)

鍛造形状



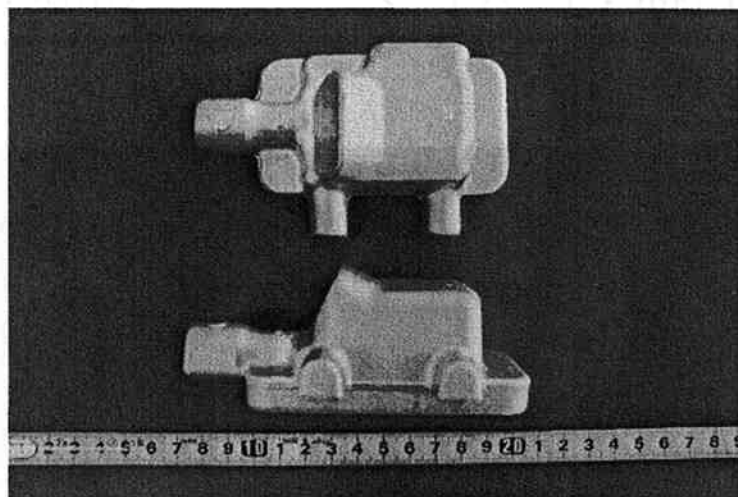
製 法		熱間鍛造
鍛造機		スクリーブプレス (630 t o n)
素材材質		A7N01-T6 (理由：溶接性、強度)
重 量		55 g
型材質		SKT-4
鍛造速度		(マニュアル)
鍛造条件	成形荷重	約700 t o n
	鍛造温度	420℃
	型温度	150 ～ 200℃
	潤滑剤	水溶性 (ホワイトルブ)
製造工程		切断 → 加熱 → 荒成形 → 仕上成形 → トリミング → 熱処理 → 歪検査 → バレル → 酸洗 → 検査 → 梱包
工程のポイント	鍛 造	・ 型冷却防止の潤滑剤を加熱 (80℃) して使用する
	トリミング	・ トリミングによる歪防止のため製品を上下型で拘束して行う
	熱処理	・ 7N01は、溶体化処理後自然時効を72時間行った後人工時効を行う

鍛造工程製品事例－5

製品名称：フランジ

（用途：カーエアコン）

鍛造形状



製 法

熱間鍛造

鍛造機

スクリーブレス（630ton）

素材材質

A2011-T6（理由：切削性）

重 量

360g

型材質

SKT-4

鍛造速度

（マニュアル）

鍛
造
条
件

成形荷重

約600ton

鍛造温度

420℃

型温度

150 ～ 200℃

潤滑剤

水溶性（ グラファイト ）

製造工程

切断 → 加熱 → 荒成形 → 仕上成形 →
トリミング → 熱処理 → ショットブラスト（SUS0.6） →
検査 → 梱包

工
程
の
ポ
イ
ン
ト

切 断

①切断切粉の除去のため切断後シャワー洗浄をする

鍛 造

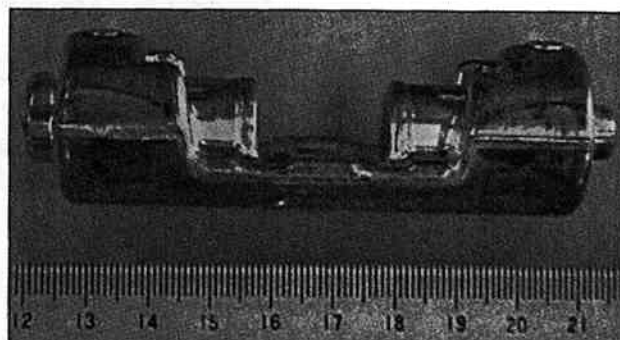
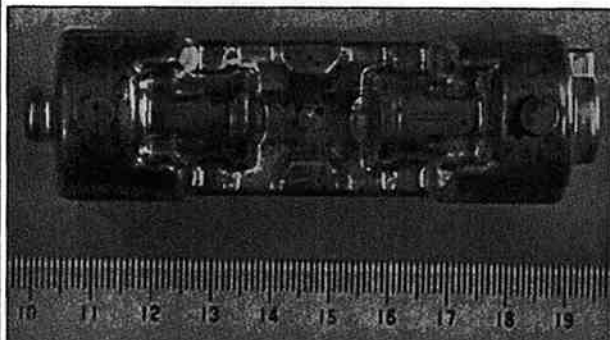
①潤滑剤が乾燥せずに溜まりとなり、浮き出し文字が
欠けない様型温をキープすること
②上型凸で素材が転がない様、材料置きを深く付ける
こと

鍛造工程製品事例－6

製品名称：ピストン

(用途：コップレッサー部品)

鍛造形状

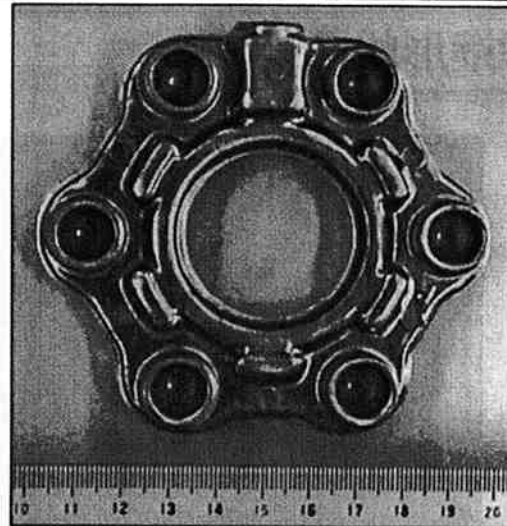
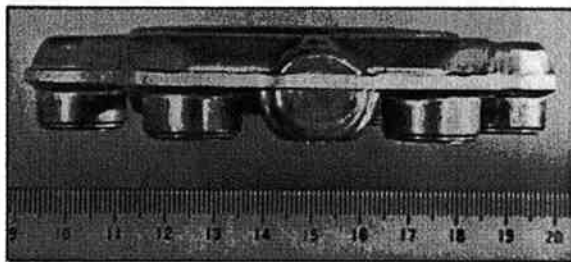


製 法		熱間バリ出し鍛造
鍛造機		コマツ社製400トクランク・プレス
素材材質		A4032相当 (理由：耐摩耗性)
重 量		145g
型材質		SKD61
鍛造速度		30spm (自動)
鍛造条件	成形荷重	300ト
	鍛造温度	400～430℃
	型温度	250℃
	潤滑剤	鉱物油＋灯油(希釈)
製造工程		<pre> graph LR A[材料受入] --> B[材料切断] B --> C[加熱] C --> D[鍛造] D --> E[T6] E --> F[検査] F --> G[出荷] </pre>
工程のポイント	材料切断	シヤー切断で材料切断を行っているため、破面状態・直角度・素材重量が重要な管理項目である。 破面状態・直角度が悪いと搬送ミスが発生する。

鍛造工程製品事例－7

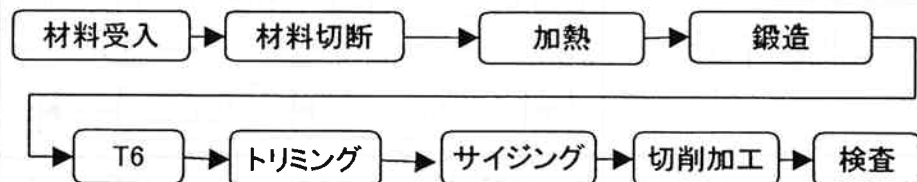
製品名称：ワッブル・プレート（用途：コンプレッサ-部品）

鍛造形状



製 法	熱間鍛造
鍛造機	エノモト社製400トフリクション・プレス
素材材質	A4032相当（理由：耐摩耗性）
重 量	180g
型材質	SKD61
鍛造速度	（手動）
鍛造工数	1工程
鍛造条件	成形荷重
	鍛造温度 400～430℃
	型温度 200℃
	潤滑剤 黒鉛＋灯油（希釈）

製造工程



工程のポイント

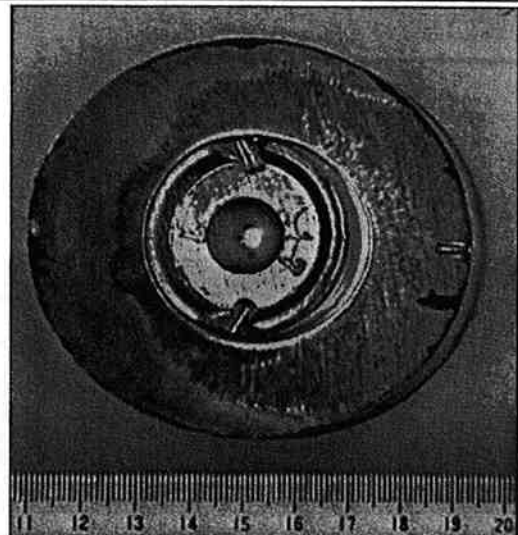
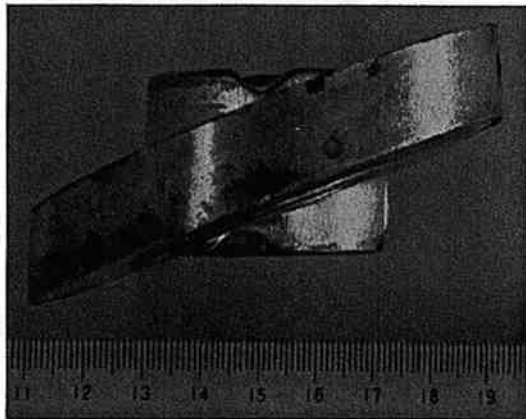
サイジング

5箇所ある半球部の加工レスを実施するため、サイジング工程を追加して鍛造品の新球度を向上している。
サイジング型の新球度が鍛造品の新球度に影響するため、管理が必要

鍛造工程製品事例－8

製品名称：斜板（用途：コンプレッサ-部品）

鍛造形状

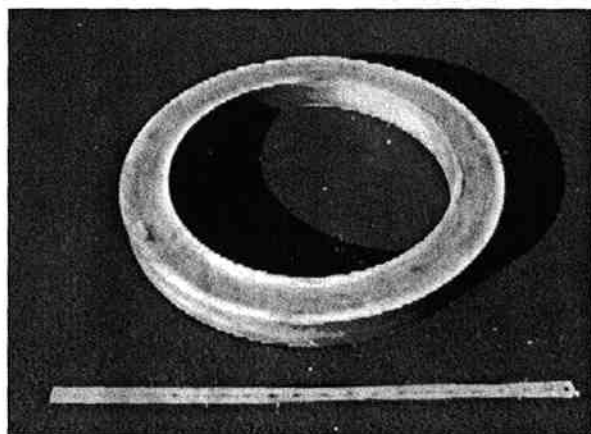


製 法		熱間閉塞鍛造
鍛造機		コマツ社製630トリンク・プレス
素材材質		A390（理由：耐摩耗性）
重 量		270g
型材質		SKD11
鍛造速度		20spm(自動)
鍛造条件	成形荷重	320ト
	鍛造温度	400～430℃
	型温度	250℃
	潤滑剤	黒鉛＋灯油（希釈）
製造工程		<pre> graph LR A[材料受入] --> B[材料切断] B --> C[加熱] C --> D[鍛造] D --> E[T6] E --> F[検査] F --> G[出荷] </pre>
工程のポイント	鍛 造	材料を金型の斜面に置くため、置き座を設けているが、置き座位置によって材料のボリューム・バランスが変化し斜面の欠肉が発生する。高Siの材料を加工しているので、金型表面摩耗が問題となっており、金型材質をSKD61からSKD11+チツ化処理を行っている。

製品名称：フランジ

(用途：圧力容器部品)

鍛造形状



製 法

リングローリング

鍛造機

1次：1000t油圧プレス 2次：リングローリングミル

素材材質

A6061 (理由：強度、鍛造性)

重 量

72.9Kg

型材質

SKT4

鍛造速度

———— ()

鍛
造
条
件

成形荷重

鍛造温度

450℃

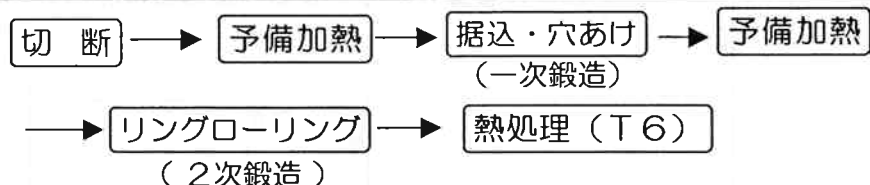
型温度

————

潤滑剤

クーラント

製造工程



工
程
の
ポ
イ
ン
ト

切 断

- ・素材帯鋸切断時の斜め切りに注意する。(長手方向公差+1、-0mm)
- ・コンケーブ発生分、焼入れ歪分を考慮して切断寸法を決める。

据込・穴あけ
リングローリング

- ・据込後の真円度、穴あけ位置に注意する。
- ・コーナー部の不連続変形(コナーク)を小さくするようリングローリングする。(厚肉品は特にコンケーブが発生しやすい。)
- ・リング材とテーブルとの摩擦による焼付きを小さくするため潤滑剤を使用する。

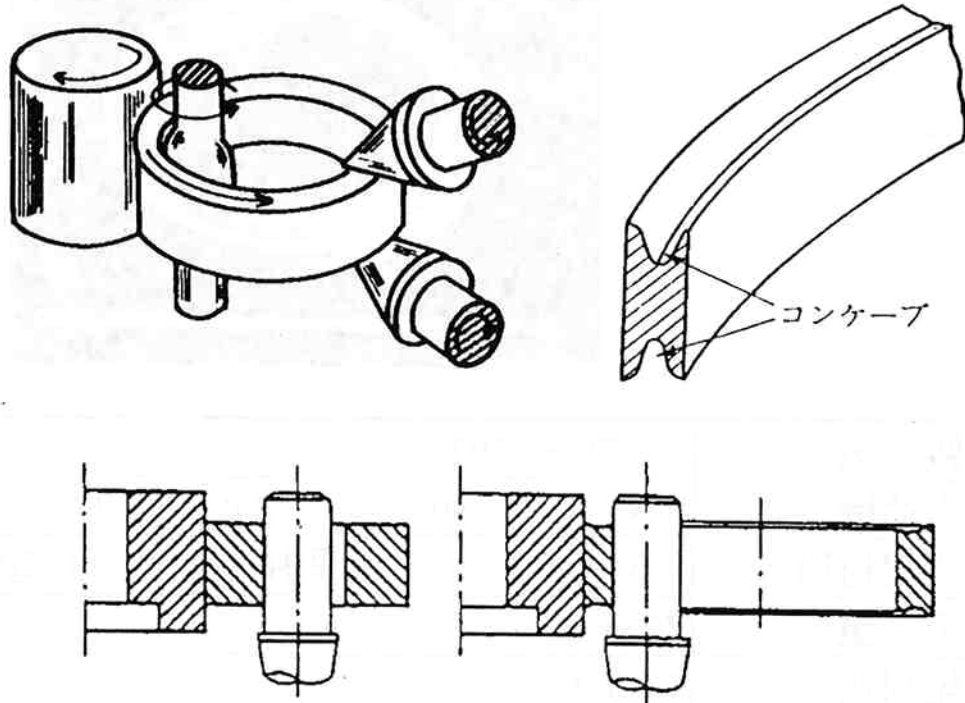
T 6 処 理

- ・焼入れ歪が小さく、かつ焼きムラの小さくなる熱処理条件で管理する。

工 程

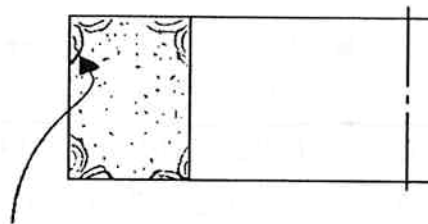
工 程 の 内 容、 ポ イ ン ト

コンケーブの説明



肉の盛り上りとヒケ（コンケーブ）の発生

コンケーブはキングロールとマンドレルによる圧延と上下のコンカルロールによる圧延の双方で発生する。リングロール終了後、見かけ上は矩形断面であっても下図の如く4コーナーにコンケーブの影響が残り、変形不連続部は割れにつながることもある。

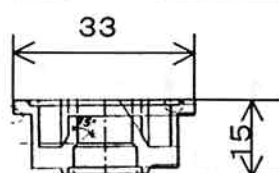


不連続部 … 4コーナー（8ゾーン）に存在する。コンケーブ発生部分は他の部分に比べ特に変形が大きく、結果として、変形の大小によって不連続部が発生する。

製品名称：モーターハブ

(用途：パソコンHDD用)

鍛造形状



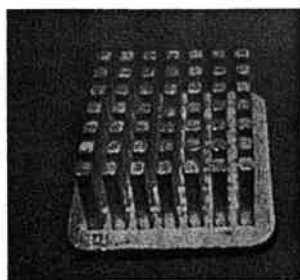
鍛造方法	冷間鍛造	
鍛造設備	1次鍛造：100トンランクプレス 2次鍛造：150トンナックルプレス	
素材材質	A2011-O（選定理由：強度、被削性）	
切断方法	丸鋸	
製造工程	切断 → 焼鈍 → 潤滑 → 重量選別 → 1次鍛造 穴抜 → 焼鈍 → 潤滑 → 2次鍛造 熱処理(T6) → 洗浄	
工程の ポイント	重量選別	鍛造品の寸法精度（長手方向公差±0.05mm）が厳しいためスラグの重量管理
	潤滑	鍛造品の後加工代が少ないため、コーナー部のダレ防止の目的で潤滑量、時間の管理
	2次鍛造	鍛造品の制度維持、金型の寿命伸長の目的で成型荷重の管理
	熱処理 ・洗浄	鍛造品の真円度精度を0.03以下に維持するため、熱処理時の鍛造品のセット方法、温度、時間を管理する。薬剤、温度、時間を管理し、寸法変化を防止。

品名 (2/2)
モーターハブ

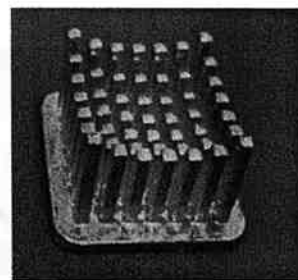
-142-

製品名称：CPU用ヒートシンク（用途：パソコン用）

鍛造形状



背 圧



背圧なし

鍛造方法

冷 間 鍛 造

鍛造設備

250トンナックルプレス（背圧装置）

素材材質

A1070

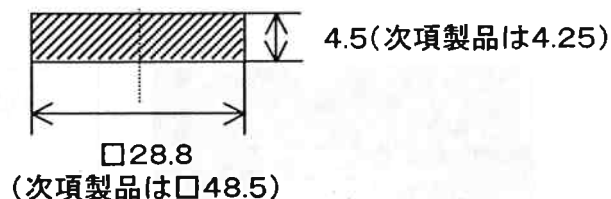
スラグ

打ち抜き

素材重量

11g（次項の製品は27g）

素材寸法



成形荷重

60トン

製造工程



工程の
ポイント

圧延・スラグ
打ち抜き

鍛造品の寸法精度維持の目的でスラグの重量管理＝圧延精度（板厚精度0.05mm以下）

潤 滑

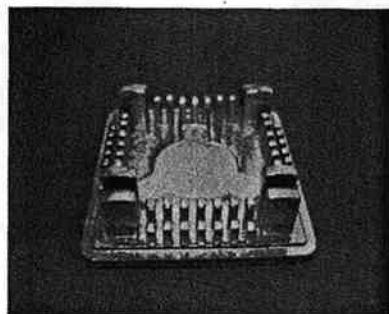
潤滑溜まり防止の目的で潤滑量、時間の管理

鍛 造

鍛造品の制度維持→背圧装置の使用（圧力の管理）
金型の寿命伸長の目的で成形荷重の管理→鍛造品の精度（フィンの伸び）に与える背圧の影響は、写真を参照。

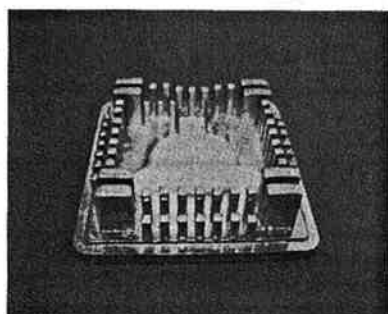
ヒートシンク 背圧荷重例

No.1



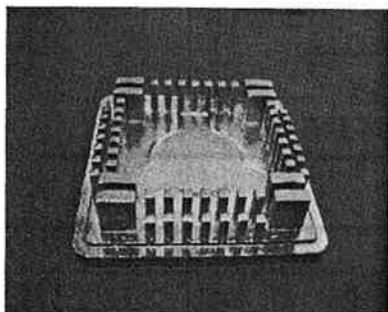
成形荷重：143 t
空 圧：0kg/cm²
背 圧：0 t

No.2



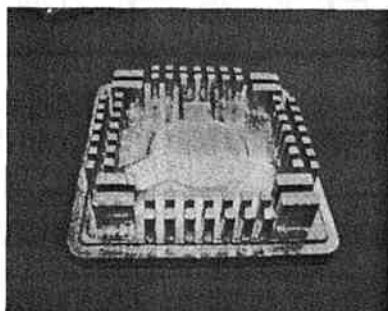
成形荷重：152 t
空 圧：0.5kg/cm²
背 圧：0.37 t

No.3



成形荷重：161 t
空 圧：1.0kg/cm²
背 圧：0.74 t

No.4



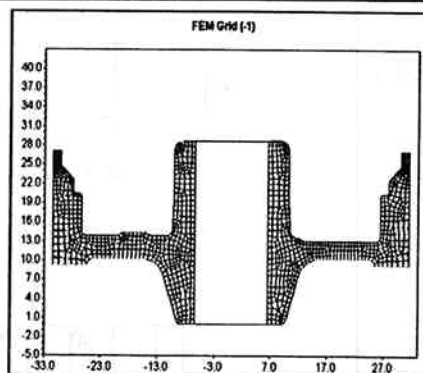
成形荷重：173 t
空 圧：2.2kg/cm²
背 圧：1.63 t

鍛造工程製品事例－12

(1/2)

製品名称：ビデオシリンダー（用途：VTR用下シリンダー）

鍛造形状

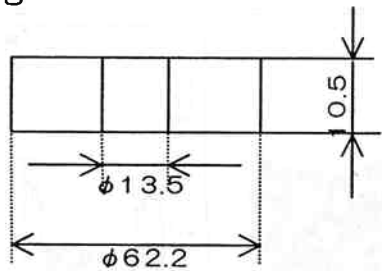
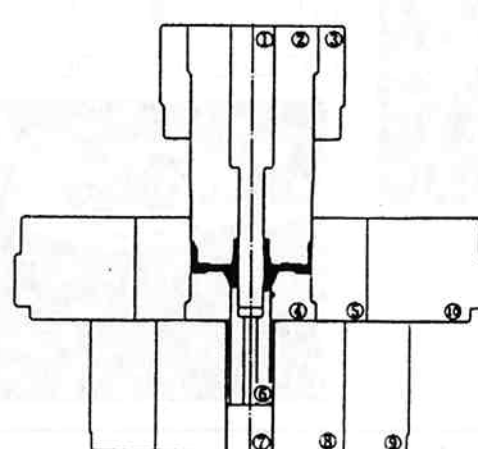


ビデオ
シリンダー
完成品

鍛造方法	冷間鍛造	
鍛造設備	630トンナックルプレス	
素材材質	A2218（選定理由：強度、被削性、テープとのナジミ性）	
切断方法	丸鋸	
製造工程	<pre> 切断 → 焼鈍 → 潤滑 → 重量選別 → 穴抜 → 焼鈍 → 潤滑 → 鍛造 → 熱処理(T4/T6) → 洗浄 </pre>	
工程の ポイント	重量選別	鍛造品の寸法精度が厳しいため鍛造素材の重量管理
	鍛造の 自動化	パーツフィーダーによる鍛造の自動化 （大量生産、コスト）
	鍛造加工	鍛造品の精度維持、金型の寿命伸長の目的で成型荷重の管理
	熱処理	鍛造品の真円度精度の維持のため、熱処理時の鍛造品のセット方法

工程のポイント(付表)

品名 (2/2)
VTRシリンダー

工 程	工程の内容、ポイント																																												
1. 素材重量	100g																																												
2. 素材形状																																													
3. 型材質	 <table><tr><th></th><th>部 品 名</th><th>材質</th><th>硬度HRC</th></tr><tr><td>①</td><td>パンチ A</td><td>SKD61</td><td>53</td></tr><tr><td>②</td><td>パンチ B</td><td>SKD61</td><td>53</td></tr><tr><td>③</td><td>パンチカバー</td><td>SKD61</td><td>53</td></tr><tr><td>④</td><td>ダイインサート</td><td>SKD11</td><td>55</td></tr><tr><td>⑤</td><td>ダイ</td><td>SKD61</td><td>50</td></tr><tr><td>⑥</td><td>ノックアウト</td><td>SKD11</td><td>55</td></tr><tr><td>⑦</td><td>ノックアウトプレート</td><td>SKH 9</td><td>55</td></tr><tr><td>⑧</td><td>ダイプレート</td><td>SKD61</td><td>53</td></tr><tr><td>⑨</td><td>ダイプレートカバー</td><td>SKD11</td><td>55</td></tr><tr><td>⑩</td><td>シュリンクリング</td><td>SKD11</td><td>55</td></tr></table>		部 品 名	材質	硬度HRC	①	パンチ A	SKD61	53	②	パンチ B	SKD61	53	③	パンチカバー	SKD61	53	④	ダイインサート	SKD11	55	⑤	ダイ	SKD61	50	⑥	ノックアウト	SKD11	55	⑦	ノックアウトプレート	SKH 9	55	⑧	ダイプレート	SKD61	53	⑨	ダイプレートカバー	SKD11	55	⑩	シュリンクリング	SKD11	55
	部 品 名	材質	硬度HRC																																										
①	パンチ A	SKD61	53																																										
②	パンチ B	SKD61	53																																										
③	パンチカバー	SKD61	53																																										
④	ダイインサート	SKD11	55																																										
⑤	ダイ	SKD61	50																																										
⑥	ノックアウト	SKD11	55																																										
⑦	ノックアウトプレート	SKH 9	55																																										
⑧	ダイプレート	SKD61	53																																										
⑨	ダイプレートカバー	SKD11	55																																										
⑩	シュリンクリング	SKD11	55																																										
4. 成形荷重	410トン																																												
5. 潤滑油	ステアリン酸亜鉛 20g/300kg																																												
6. 焼 鈍	410℃×1.5H 260℃炉冷 25℃/Hr																																												
7. 熱処理	温度 T4 510℃ ×1.5時間保持、 T6 170℃ ×8時間以上																																												
8. 生産量	50,000~100,000個/月																																												
9. 自動化	切断、プレス加工自動化。																																												

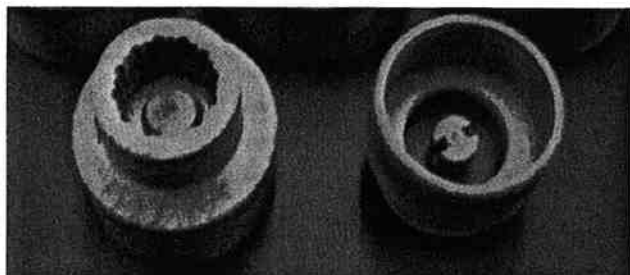
鍛造工程製品事例－13

(1/1)

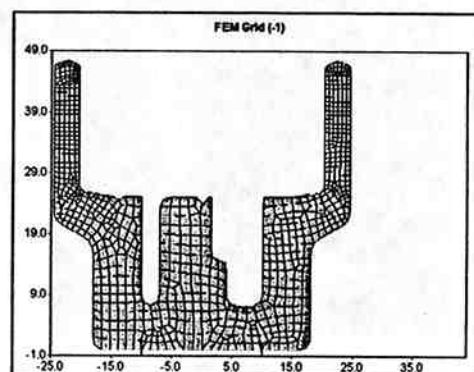
製品名称：リール

(用途：釣 具 用)

鍛造形状



リール製品写真



鍛造方法

冷 間 鍛 造

鍛造設備

400トンナックルプレス

素材材質

A6063、A6061

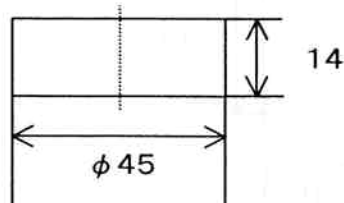
切断方法

丸 鋸

素材重量

60 g

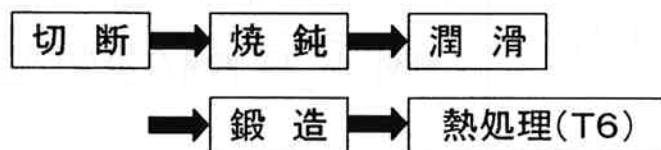
素材寸法



成形荷重

250トン

製造工程



工程の
ポイント

切削レス

冷間鍛造によるギヤ部の一体成型及び切削レスを実現

熱処理

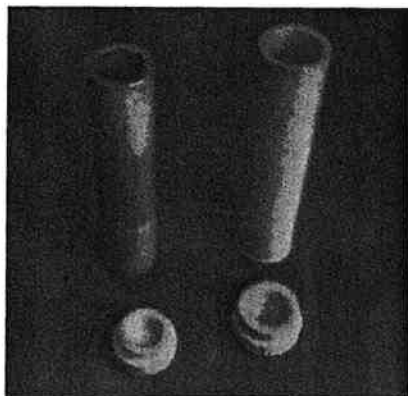
熱処理合金の使用による高強度実現

鍛造工程製品事例－14

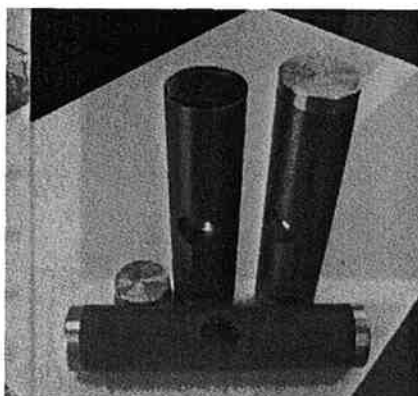
(1/1)

製品名称：ゲートボール本体・ヘッド（用途：ゲートボール用）

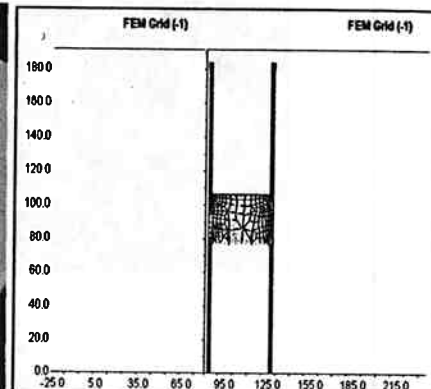
鍛造形状



鍛造写真



製品写真



鍛造方法

冷間鍛造

鍛造設備

800トンナックルプレス

素材材質

A2017、A5056、A7001

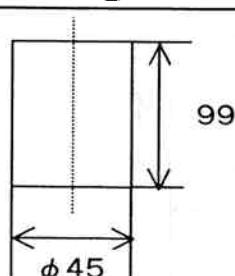
切断方法

丸鋸

素材重量

420g

素材寸法



製造工程



工程の
ポイント

重量選別

鍛造品の寸法精度が厳しいため、スラグの重量管理

前後方押出

前後方押出工法による長尺物の成形（前、後方のバランス）

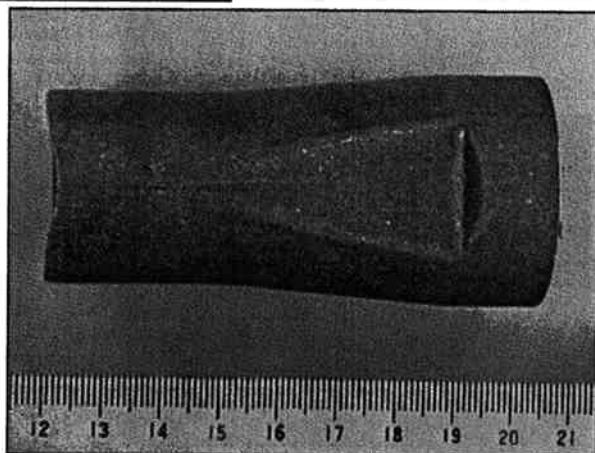
高強度

A7001の採用により高強度

鍛造工程製品事例－15

製品名称：ボディ・マウント（用途：自動車部品）

鍛造形状



製 法 冷間鍛造

鍛造機 アイダ社製630トプレス

素材材質 A6061（理由：鉄→Al軽量化）

重 量 168g

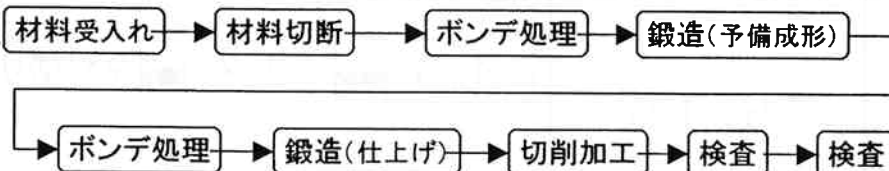
型材質 SKH51

鍛造速度 (手動)

鍛造工数 2工程

鍛造条件	成形荷重	70ト
	鍛造温度	常温
	型温度	常温
	潤滑剤	ボンデ

製造工程



工程のポイント

材料切断

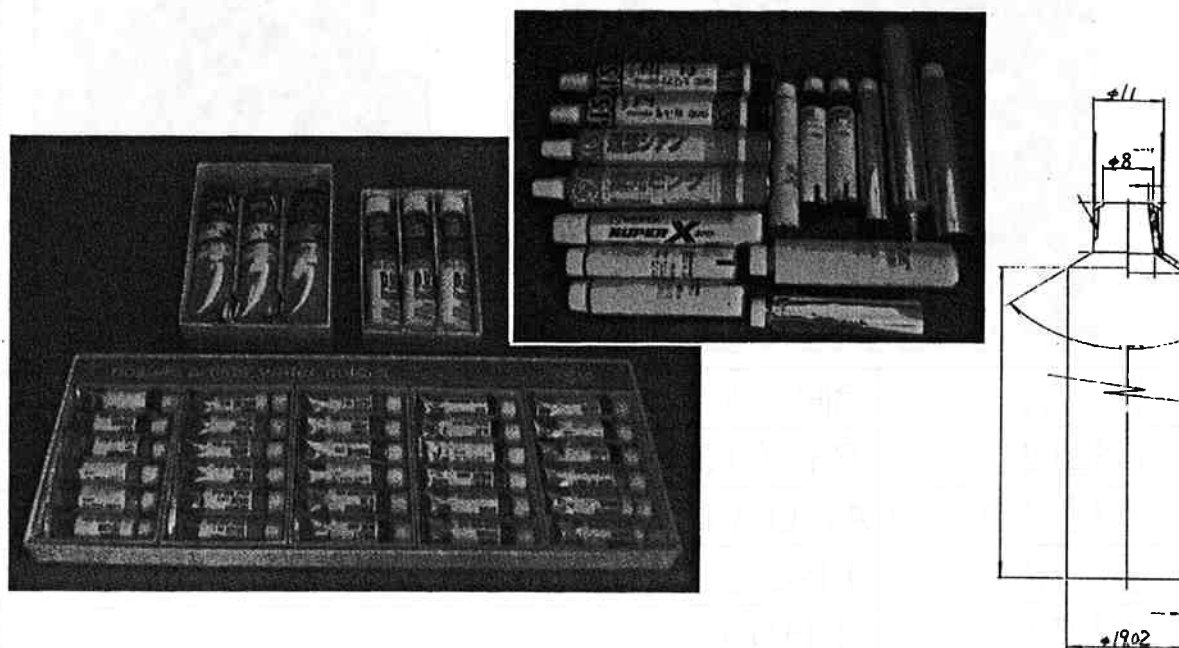
製品全長のバラツキを基準内おさえるため、切断寸法管理巾は±0.1

鍛造工程製品事例－16

(1/1)

製品名称：金属押出チューブ（用途：油絵具、接着剤、薬用等の押出チューブ）

鍛造形状



鍛造方法	インパクト成形	
鍛造設備	A1：200tプレス Sn/Pb：80～150tプレス	
素材材質	Al、Sn、Pb	
素材状態	圧延板材打ち抜き	
製造工程 (A1)	潤滑 → プレス → ネジ切り → 焼鈍 → 印刷 → ピンホール検査 → 目視検査 → 仕上	
工程の ポイント	自動化	プレスからネジ切り、地塗り、印刷、キャップ掛け、仕上まで完全自動化（大量生産、コスト）
	検査	ピンホール自動検出システムによる品質保証

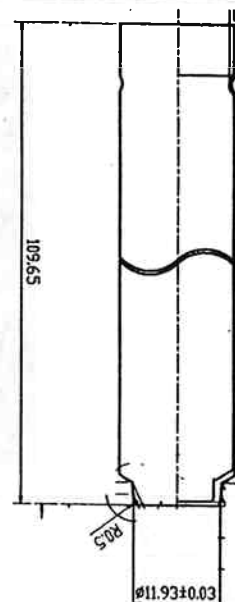
鍛造工程製品事例－17

(1/1)

製品名称：アルミカン

(用途：サインペン、
エアゾールカン用)

鍛造形状



鍛造方法

インパクト成形

鍛造設備

60 t プレス

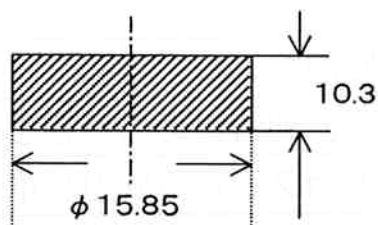
素材材質

A1 (A1070)

素材状態

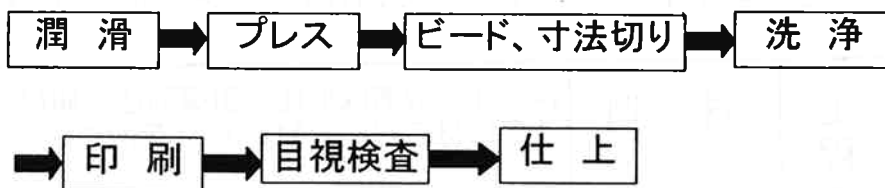
圧延板材

素材寸法



重量 5.35 g

製造工程



工程の
ポイント

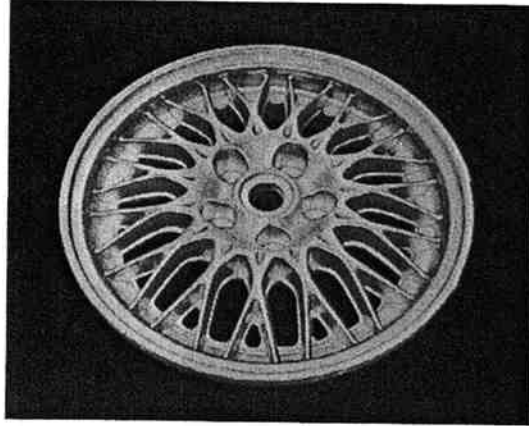
自動化

プレスから寸法、ビード付け、洗浄、地塗り、印刷、仕上まで完全自動化（大量生産、コスト）

鍛造工程製品事例－18

製品名称：アルミロードホイール（用途：乗用車用）

鍛造形状



<粗材主要寸法>

外径：φ450

高さ：90

製 法	鋳造＋熱間鍛造	
鍛造機	6300トン クランクプレス	
素材材質	AC4CH改良材（理由：鋳造性、成形性、機械的性質）	
重 量	9.2kg	
型材質	-----	
鍛造速度	-----（オート）	
鍛造条件	成形荷重	
	鍛造温度	400℃前後
	型温度	成形荷重、潤滑材ののりを考慮し設定。
	潤滑剤	水溶性ガラス＋芳香族カルボン酸系の白色離型剤
製造工程		鋳造・1次鍛造・2次鍛造・T6処理・ショットブラスト
工程のポイント	材 料	鋳造性、鍛造成形性、引張強さ、伸び、耐力を満足する為、AC4CH材に対し、Mg,Cuを増やし、Si,Feを減らした。
	鍛 造	機械的性質を鍛造品と同等にする為、鍛造工程での圧下率を個別に設定する。本件の場合は15%以上とした。
	T6処理	肉厚差が大きい為、溶体化処理時は2段階で加熱しないと、肉薄部が過昇温となる。

18. 本マニュアル、ビデオの位置付けと将来展望

18. 1 はじめに：アルミニウム鍛造の現状と本マニュアル、ビデオとの関連

アルミニウム鍛造の熱間、冷間加工の、製品設計から型製作工程と製品製造工程全てについて対象とした技術・技能の客観化、マニュアル化されたものはなかった。アルミニウム鍛造の工程は、製品設計から始まって、型設計、型製作、試し打ちの型製作工程と、材料購入、切断、焼鈍、潤滑処理、加熱処理、鍛造加工、熱処理、洗浄、機械加工、表面処理、検査等の製品製造工程等の工程からなる。さらに、型製作工程においては、FEM解析装置、CAE/CAD/CAM、各種型加工機械、切断においてはシャー切断機、帯鋸盤、丸鋸盤、精密切断機等、焼鈍、加熱処理および熱処理においては連続炉、バッチ炉等、潤滑・洗浄処理・表面処理においては脱脂、水洗、酸洗い、リン酸皮膜（ボンデ）処理、中和、乾燥処理炉等により黒鉛潤滑、白色系潤滑、リン酸皮膜潤滑等やアロジン、鍍金、アルマイト等が施され、鍛造加工においては、油圧、機械、フリクションプレス等が、また機械加工においては、各種NC旋盤、ボールミル、タッピング等が用いられる。検査においては目視に始まり、真円度、あらさ、硬さ等の測定や、顕微鏡による観察や、蛍光探傷、X線探傷、超音波探傷等がある。

また、製品構成からみると、第二次世界大戦後航空機部品から始まった我が国の鍛造は民需への展開をし今日に至っている。先ず、カメラ部品、コンデンサーチューブ、絵の具チューブ、歯磨きチューブ、サインペン用ケース等のインパクト製品、さらには自転車部品、オートバイ部品、カーキラー部品、そして自動車部品へと大きな流れがある。時代の変遷と共に、市場ニーズは変化し、今や忘れ去られる物造り技術すら出てきている。

そこで、我々は、上記製造工程全般にわたっての技術・技能について、専門技術者・技能者向けに出来るだけ詳細に、同時に初心者向けにより簡潔なビデオを製作すると共に、技術ノウハウを含めた現場技術者に活用してもらえるマニュアルを作成することとした。

ご存知のように、1997年12月の地球環境を考える京都会議で、CO₂削減の必要性が審議され、日本も6%削減を受け入れることとなった。一方、アルミニウム鍛造品は、自動車、産業用機械、電子・電気製品、日用品まで広範囲な産業分野に広く用いられている。その技術の方向は、軽量化、部品点数削減、複合化、リサイクル化、ネットシェイプ化、コストダウンにあり、アルミニウム鍛造業界で鋭意その解決、努力がなされてきている。特に、自動車業界においては、軽量化を目的としてアルミニウム製品が多量に使用される方向にあり、電子・電気業界においては、軽量化、高い熱的特性、高いネットシェイプ生産特性から需要が大きくなっている。同時に、その技術は上記項目を解決すべく、高度化が要求されてきており、より高度の技術・技能の伝承と創造が必要になってきている。このためにも専門技術者・技能者向けのビデオ、技術ノウハウを含めたマニュアルが必要になってきている。さらに次の世代に対して正しいアルミニウム製品への認識を高めてい

くことによって、地球環境に優しい製品の需要を喚起するためのも、ユーザや小中学生から若手技術者を対象とした初心者向けに、より簡潔なビデオ（製品特性を含めて）を製作し、正しい認識を次の世代に伝えていく必要がある。

アルミニウム鍛造業界は、従業員が10名から100名位と多岐にわたっているが、前述のように技術が日に日に高度化してきており、新入技術者、技能者を出来るだけ早急に訓練、教育していく必要にかられている。さらに、鍛造技術は、型と被加工材料との組み合わせによる、レオロジー現象、材料の変形能、塑性流動を主にしているため、型技術、加熱技術、潤滑技術等に多くの経験とノウハウが必要になっている総合技術である。現在かつ今後も要求されていくアルミニウム鍛造の活路が開ける軽量化、部品点数削減、複合化、リサイクル化、ネットシェイプ化によるコストダウンは、個々の技術が完成されても達成されるものではないため、アルミニウム鍛造加工工程全般にわたって、ビデオ、マニュアルの作成が必要となる。

以前からもビデオ、マニュアルの製作の必要性が会員各社より要望されていた。その要望の主は、熟練技術者、技能者の高齢化が顕著になり、それに変わる新入技術者、技能者を出来るだけ早急に訓練、教育していくにも、製造現場での熟練技術者、技能者の多忙さにより、指導時間が割けず、技術・技能の伝承が十分ではないことからでている。本ビデオ、マニュアルが製作されたので、経験の深いアルミニウム鍛造委員会委員が分担し、本ビデオ、マニュアルを材料として、年数回にわたって、かつ各地域で、あるいは各企業の現場の機械を使って体系的な研修会を開催し、技術・技能の客観化と技術・技能の伝承を確たるものにしていく予定である。

同時に将来は、初心者向けの簡潔なビデオを、ユーザや初心者を対象にした、製品特性、使用例を含めて製作し、将来の適切なアルミニウム鍛造品の使用拡大を目指すことが大切である。公的機関（学校等）には教材として使用してもらうために、原則無料（ダビング代、郵送料は別）配布としたい。

ここで、アルミニウム鍛造業界として、技術・技能の伝承に必要性と考えられることを列記すると以下のようにになると考える。

18. 2 今までの経過と歴史との関連

1986年（昭和61年）アルミニウム鍛造委員会が創設されて以来活発な活動の基に、各種資料の作製、発表からアルミニウム鍛造の技術の向上や需要の拡大、アルミニウム鍛造の中小企業の活性化を進めてきたが、これからはそれらに加えて、現場技術の技術・技能の伝承、環境の整備が業界をあげての急務の課題である。

以前「21世紀の鍛造工場調査研究報告書（Ⅱ）（モデル工場の概念設計と21世紀へ向けての提言）」（平成5年3月、素形材センター研究調査報告書445）を報告したが、

その中で、人間と機械の機能分担を明確にした、「人にやさしく、開放感に満ちあふれた水と緑の清潔空間」をコンセプトとした、徹底的に自動化・省力化をはかった、快適な作業空間で楽しく人間が働ける工場を目指した。その際は、委員の英知を出し合って、その時点では手の届かない未来工場を設計し、図面化し、工場内の設備の位置などについても提案をした。しかし、そこに無かったものが各加工技術（製造）に存在する特有の設備、ノウハウである。夢の設備ができて、それを動かし、生産するのは人間であり、その英知、技術・技能である。今後新しい加工技術が1つの製造技術として具現化されていった場合には、それらの設備や利点を備えた新しい工場とその技術・技能が創造されて行かなければならない。将来のそのようなためにも、本マニュアル、ビデオは多くの企業の製造実態を詳細に整理、整頓したもので、これらを参考にして、未知な点に対する理解を深め、かつ新しいことを洞察・予測するさいに有効に役立つものと思う。

18.3 求められるニーズ

自動車の軽量化、環境問題、高齢化社会への対応として、アルミニウム鍛造品のより一層の新製品開発とコスト低減が最大の課題となっている。以前委員会で述べたが、「アルミニウム合金の特性を最大限に生かす加工技術的手法の考え方のキーワードを列記すると下記ようになる。

- | | |
|---------------------|-----------------|
| a) 地球環境問題 | j) 極薄化 |
| b) リサイクル化 | k) 複合加工 |
| c) 低コスト化 | l) 工程の短縮化 |
| d) 多品種少量生産 | m) 歩留り向上 |
| e) 自動化・省力化 | n) 高速、あるいは急速加工化 |
| f) 検査の自動化 | o) ダイレクトプロセス化 |
| g) ニアネット or ネットシェイプ | p) 難加工材加工化 |
| h) 複雑形状化 | q) 特殊機能化 |
| i) 精密化 | r) 知能化技術 |

これらを具現化するには新しい加工技術の適用、新しい学問の構築が必要で、素材の高コストな面をクリアできていき、アルミニウム鍛造がユーザにより一層関心が持たれることであろう。今後はアルミニウム鍛造を極める基礎的研究や鍛造技術の高度化をめざした応用的研究とその一般化がより必要となる。」ことを強調してきた。そのためにも、企業のトップから現場技術者に至るまで、同一認識を持ってそれらの基礎となる現場技術の技術・技能の継承と改善が必要となってくると考えると、本マニュアル、ビデオの存在価値が出てくると信じる。

18.4 今後の対応と世界のリーダーとして

昨年度の複合技術部会で提案したことであるが、21世紀の地球環境問題を解決していく点から、現在自動車、産業用機械、電子・電気製品、日用品まで広範囲な産業分野に広く用いられているアルミニウム鍛造品は、新たな視点に立った技術の革新が希求されている。そのためにも現在の技術技能の伝承を早急に行うシステムを確立しなければならない。

日本は世界に冠たる物造り国家と言われて久しいが、21世紀に日本は物造り創造国家にするためには、今日まで培われてきた多くの物造りに対する知識・知恵・ノウハウを用いて、より高度な人間が物造りを具現化していく必要がある。

企業の特徴としては、

1) アウトソーシング：

経営資源を極力外部から調達；Agility の最優先、

2) コアコンピタンス（中核能力）：

独自の強さを内部保留；強みに特化、

3) ネットワーキング：

幅広い連携、緩い連携；短サイクル、伸縮的に変化、

4) 多産多死：

アイディアの現場での実現・検証・淘汰、

等が言われている。この企業という言葉をも、加工技術と置き換えても当てはまることである。日本が最近落ち目にあると言われている点は、上記戦略を十分認識する前に、他の外乱意見に気を取られてしまって、マインドの低下を起こしているのも一因である。上記のAgility, 独自の強さ、幅広い連携、短サイクル、アイディアの現場での実現・淘汰を行っていくことが、物造り現場で重要になってくるのは当たり前であり、それを得意とするのが日本の本来の製造業であった。それは再認識し、高揚することによって、日本の製造業の復権がある。そのためにも、21世紀を担う中堅、若手の研究者、開発者、技術者、製造者が真に、世界に冠たる技術能力を身につけて、世界の指導者たる創造者にならなければならない。その実現の一つとして、ベンチャー・キャピタル、ベンチャー・ビジネス的発想の重要性が日本でもより認識され、将来の新しい産業の創出につながるものである。世界は、メガコンペティション（大競争時代）、ボーダレス化（国境の垣根がない）、リジヨナリゼーション（近隣諸国が広域経済圏を構築）に走り出している。大企業も、中小企業も、開発創造企業としてこのような思想を常に持ち、First One or Only One in World、世界での棲み分けをめざす気力、規模の経済性、世界的競争優位性、情報システムの高度活用、それらの時期の選択の適宜性、等十分考慮していく必要がある。大きな夢を持って、少しでもそこに近づいて行くべきである。その戦術の1つが、専門技術者・技能者向けの出来るだけ詳細なビデオと技術ノウハウを含めたマニュアルで、それによって日本の鍛造技術者、技能者は足腰を強くしていく必要がある。

18.5 若い人の活性化と育成

アルミニウム鍛造工程は多岐にわたっている上に、中小企業がほとんどであるので労働者が潤沢ではなく、かつ高齢化されてきているので、技術者・技能者は一つの工程のみを習熟すればよいという時代でない。多くの工程を経て作られるのが1つの完成品であることを再度認識し、他の工程や技術・技能を理解、行動することによって、より完成度の高い、無駄の無い、低コストな製品が生産されるものである。さらに拡大すればここで重要なことは、鍛造業界は鍛造だけで生きて行くのではないということである。技術は互いにコスト競争である。鍛造技術者は鍛造以外の周辺技術を認識するのは当たり前（他の逆も言える）であるということである。ある製品を世の中に出していく場合、一つの加工が最善ではないのは当たり前である。すなわち、鍛造（この言葉は、他の鑄造、粉末成形、塑性加工等の素形材加工の1つの技術に置き換えても良い）を優位にしたければ、他の技術を知ることが重要である。

今日新しい加工技術、技能として考え出されているものは、先人が英知を絞って考えた多くのものを、融合化、一体化して、複合化されてきたものが多い。カタストロフィ的に新たな技術、技能が創造されることもあるが、必ずしもそれは多くなく、大多数は従来技術の複合化されたものである。その意味から、過去の加工技術、技能を総まとめする必要がある、重要なことである。

最終目的を新しい加工技術の予測に置いており、多くの専門家の人からその情報とその有効利用法への現場での考え等を広く集め（Input）、confirmationとinformationを実現していく。本マニュアル、ビデオは、近視眼的には多くの研究者、技術者の知恵の有効活用の1つの支援ツールとしての知識（ものの認識）の補充にある。実際のところ、筆者を含め多くの研究者、技術者は必ずしも多くの鍛造関連技術に対する知識を持っているとは言えず、数少ない知識（認識）と経験から、分別をし、新たな技術、装置、その配置、技能を考えだそうと苦勞をしているのが実状と思う。さらに、企業の若手研究者、技術者の発想教育ツールとしても十分活用できる。その上で、日本の鍛造業界の発展のために旧技術の整理、新しい技術の構築、次世紀の技術者教育・育成等に役立つものと思う。

また、技術の高度化・先進化の加速によって、熟練技術者・技能者と若手技術者・技能者との技術格差が顕著になりだし、若手技術者・技能者をスピーディーに高度技術者・技能者に養成・対応して行かなければ、物造りの日本の未来がない。

18.6 8つの革新軸と日本の鍛造業界の今後の将来展望

加工技術に携わっていく場合、図18.1のように8つの革新軸があると考えられ、そのコンセプトとして、

- | | |
|-----------|----------|
| 1) 育 成 | : 教育の国際化 |
| 2) グローバル化 | : 世界化の進展 |

- | | |
|-----------------|---------------------|
| 3) アントレプルヌーツシップ | : 企業家マインド |
| 4) カルチャー | : 企業文化の創出と浸透 |
| 5) ソフト | : 事業のソフト化 |
| 6) マーケティング | : 伸張顧客との密着化 |
| 7) プロダクション | : ローコスト・ハイクオリティーの増進 |
| 8) テクノロジー | : 技術の先進・先端化 |

などが考えられる。

これらを実施して行くためには、企業で最終決定していく取締役を含めた企業家（多くの鍛造企業のようにオーナー企業の場合は社長等）の人達が、企業の長期発展を目指した基礎固めを重要視するマインドがより望まれる所であるのが、③である。⑥は主に営業的観点であるのでここでは深く触れないが、これからの営業は、ユーザとの製品開発の相談・アドバイス・販路拡大のために、製造技術者同様に、より多くの加工技術の知識が必要となる。②にあるように今世界は、政治・経済・技術が一国の範囲に留まらず、世界規模で影響し合い、拡大、進展してきていることはいうまでもないことである。1つの製品（例えば自動車）をとって考えれば、それを構成する約3000個の部品は、1社あるいは1国で作り上げられるわけではない。そのためにも、世界分業化にともなう、①の技術者の育成：教育の国際化のもとに、各国独自の技術の歴史に培われた技術者の教育が必要になってくる。そこに世界各国互いに独自性を持った、得意分野での物造りの国際分業や技術の高度化を目指した競争と共生の社会が構築されていくものと信じる。そのためにも、日本は早急に技術・技能の伝承を他国に先駆けてしていく必要がある。

さらに、日本の鍛造業界全体を見て、近々どのような委員会の組織が必要なのかを考えて、ヨーロッパ、アメリカで今進んでいる物造り復権戦略に負けないよう、日本の鍛造業界・協会・研究所・委員会・分科会を今見直し、大団結して、戦後50年培ってきた世界に冠たる鍛造技術を、より高度化するシステム・組織を構築しなければならない。それも、アジャイル（迅速）に、ロバスト（ノイズに強いこと）に、知識（何をするか、なぜするか）をもって、スキル（どうやってするか）とやるき（実行したい気持ちが起きる）を基本におくことが大切であると思う。

また、今後は体系的な研修会の企画・実施、情報化に乗り遅れないようにインターネットによる技術情報の交換、相談コーナー開設の検討を行う必要がある。

最後に、本マニュアル、ビデオをもとにして、教育書（マニュアルに準じ）を作成し、アルミニウム鍛造委員会が行う研修等を通じて、各中小企業やユーザに配布しながら、技術の高度化を図っていくことが重要である。ビデオについては、低学年初心者向けビデオを再編集し公的機関（学校等）に教材として使用してもらうように配布することが望ましい。

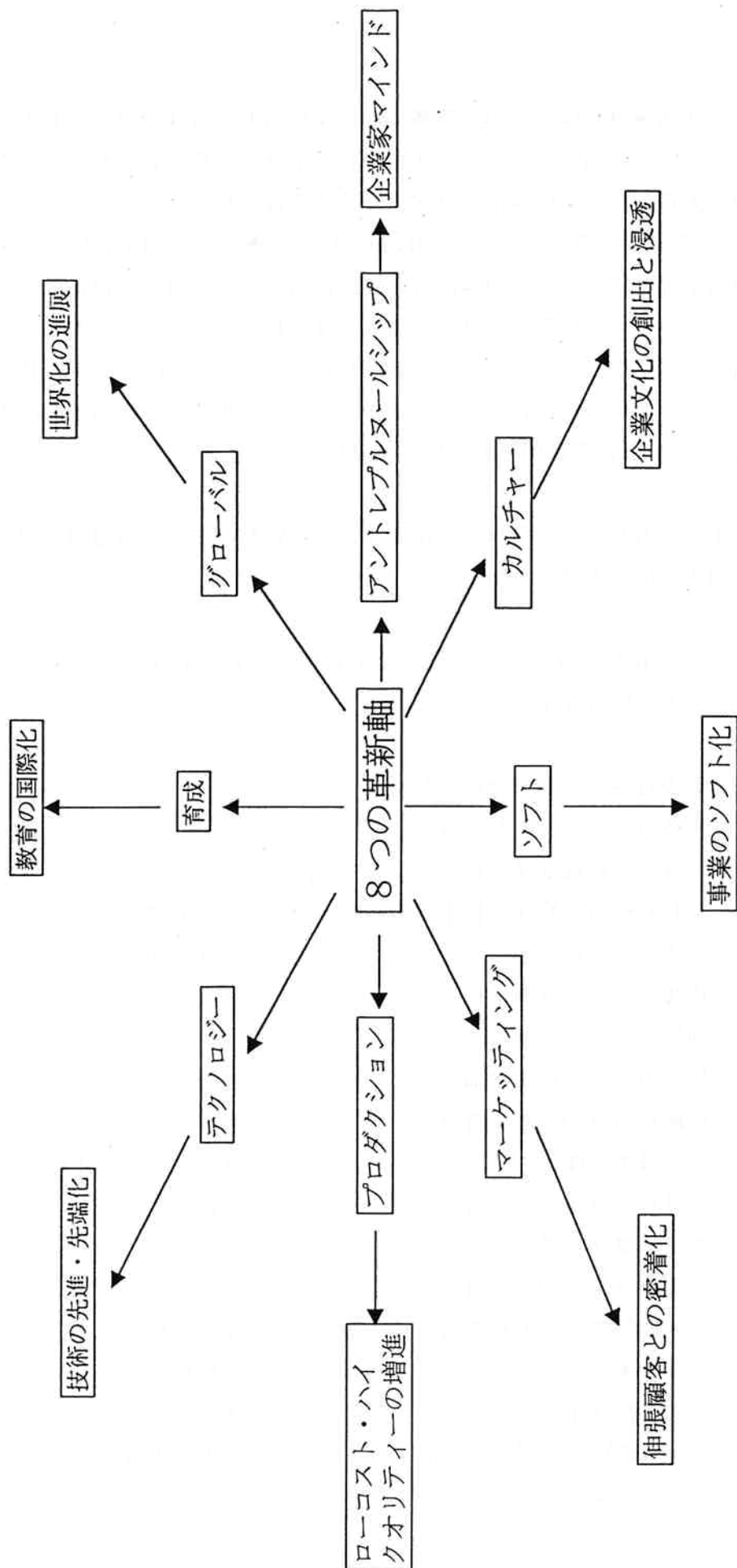


図18.1 8つの革新軸とそのコンセプト

謝辞

本書とビデオ（別途作成済み）は、中小企業事業団の平成 10 年度『ものづくり人材支援基盤整備事業に係る技能の客観化、マニュアル化等』の事業の支援をいただき、軽金属協会アルミニウム鍛造委員会に技術伝承部会（マニュアルWG、ビデオWGの下記委員）を設置し、『日本の中小製造業の現場では、熟練技術の伝承、継承の体制がしばしば未整備であり、技術者の高年齢化に相まって製造能力の維持と高度化が困難な状況になっている。日本の産業を支え、技術の高度化を今日まで発展、維持してきた、そうした中小製造業が有する高い技術を伝承可能なものとし、一般的に利用可能な形態にするために、技術・技能のマニュアル化、ビデオ化等を行い、その成果について、業界団体を通じて各中小企業に普及するものとする。』という目的のもとに、作成したものである。

ここに本書を作成するにあたり、ご指導、ご援助をいただいた中小企業事業団に深く感謝の意を表し、厚く御礼を申し上げるものである。

本書が関係方面に十分活用され、わが国アルミニウム鍛造業界・産業、および関連業界・産業の発展に寄与することを願う次第である。

《アルミニウム鍛造委員会・技術伝承部会》

部会長	関口常久	東久（株）コンプレッサ部	
主 査	安藤弘行	コマツ 産機事業本部	ビデオ担当
主 査	永田 信	ホンダ エンジニアリング（株） 栃木技術センター	マニュアル担当
委 員	内田幸彦	日本大学 理工学部	マニュアル担当
"	大賀喬一	沼津工業高等専門学校	"
"	工藤英明	横浜国立大学名誉教授	"
"	本村 貢	早稲田大学 理工学部	ビデオ担当
"	上野完治	日産自動車（株） 技術開発センター	ビデオ担当
"	榎本良夫	榎本機工（株）	ビデオ、マニュアル担当
"	河部寿雄	（財）鍛造技術研究所	ビデオ担当
"	杉原泰通	菱三工業（株） 開発部	"
"	田中 實	本田技研工業（株） 二輪事業本部	"
"	福田篤実	（株）神戸製鋼所 大安工場	マニュアル担当
"	前田元喜	豊栄工業（株）鍛造グループ	ビデオ担当
"	宮本一穂	宮本工業（株）	"
"	亘 泰夫	東久（株）コンプレッサ部	マニュアル担当
"	岡田健三	（社）軽金属協会	事務局

和 文
(五十音順)

【あ】

圧印加工	53
圧縮圧力	95
アッパー・アーム	15
	35
圧力低減	112
後加工	123
後処理	123
荒型の設計	88
あらさ	153
粗さ計	120
荒地形状	125
アリカリ洗浄	121
アルボンド	100
アルミ化	36
アルミカン	151
アルミ鍛造部品	36
アルミナ	4
アルミニウム鍛造	153
アルミニウム鍛造委員会	15
アルミニウム鍛造の歴史	11
アルミニウムの製造方法	19
アルミニウムの特徴	4
	5
アルミニウムの歴史	9
アルミホイール	152
アルミン酸ソーダ (NaAlO ₂)	21
アルミ化	36
アルム	9
安定化処理	117
板	24
一体成形	147
異方性	73
鋳物	24
印刷	151
インパクト	153
インペラ	130
ウェブの最小厚さ	91
打ち傷	113
液圧プレス	81
絵の具チューブ	153
エルステッド	9
エレクトロニクス製品	17
エンジン	39
塩水噴霧	120
延性	46
円板のすえ込み	51
エンボス加工	53
応力ひずみ線図	45
応力腐食割れ	120
オーバーヒート	113
押し出し製品の標準状態	59
押し出し流出速度	82
押し通し	56
帯鋸盤	66
	153
温間	47
温度管理	113

【か】

カークーラ	40
カーコンプレッサ	41
介在物	120
解析精度	126
解放型コイニング	53
化学成分	120
化学的性質	120
加工原理	112
加工硬化	46,
	111, 117
加工性	94
加工面圧	95
荷重	45
荷重低減	112
かじり	114
型構造設計	87
硬さ	120
	153
型材質	145
型材質の選定	94
型材の化学成分	95
型材の熱処理	96
型寿命	91
型ずれ	114
型製作	153
型設計	85,
	125, 153
型設計の注意点	91
型設計の手順	86
型鍛造	59,
	85, 89, 109
型剖面	120
型割れ傷	114
角の丸み	92
金型異常	113
金型寿命	99
金型設計	94
金型に加わる荷重	94
金型の設計	87
金型のメンテナンス	113
加熱	153
加熱炉	113
カメラ部品	153
カラーチェック	120
環境	123
環境問題	129
	155
感光ドラム	14
間接圧縮	55
管理ポイント	62
機械	153
機械加工	153
機械的性質	120
急冷凝固粉末冶金合金	15
強度	73
局部加熱	113
金属押し出しチューブ	150
金属組織	120
クッションアーム	36
クッションコンロッド	36
	38

組合せ押し出し	58
	112
組合せ押し出しの荷重-	58
ストローク	
クラーク数	19
クランクプレス	81
グレインフロー	120
蛍光浸透探傷検査	120
蛍光探傷	153
形状設計	88
軽量化	36
	153
ゲートボール	148
欠陥検査	120
結晶	47
結晶組織	120
結晶体	118
結晶粒の粗大化	81
結晶粒の微細化	12
欠肉	126
原因と対策	114
検査	120,
	123, 153
検査の自動化	155
コイニング	53
航空機	11
航空機用プロペラ	11
工具寿命	125
格子構造	47
拘束度	85
剛塑性 FEM	125
工程設計	129
工程の短縮化	155
工程の流れ	62
降伏点	45
後方押し出し	56
	112
黒鉛潤滑	153
コストダウン	153
固着状態	51
固溶限	118
固溶体	118
固溶体硬化	118
コロナ放電	5
コンカレントエンジニアリ	123
ング	
コンケーブ	139
コンデンサーチューブ	153
コンプレッサピストン	33
コンプラプライアンス	35
コンプレッサー	16
コンプレッサー斜板	16
コンプレッサー部品	40
コンベンショナル・タイプ	89

【さ】

再結晶	47
材質改善	109
再生地金	25
	129
最適形状設計	127
材料選定の指針	79

材料の呼称	69
材料歩留まり	125
サインペン用ケース	153
作業温度	108
サスペンション部品	15
	35
酸洗い	153
酸化膜	121
仕上げ型の設計	87
しごき	56
質別記号	117
自転車部品	11
自動化	155
自動検出	150
自動車部品	15
自動設備	113
地塗り	151
シャー切断	153
斜板	138
斜板 (コンプレッサー)	16
自由鍛造	89
重量選別	141
	145
ジュラルミン	26
	36
シュリンクリング	98
潤滑	153
潤滑処理	124
	153
衝撃押出	12
焼鈍	153
省力化	155
シリンダ油	106
真円度	153
浸透液	120
水洗	153
水素ガス	113
据込み	44
	51
据込みの荷重ースト	52
ロック	
据込みの限界	51
スクーター	37
スクリーブレス	81
スクロール	100
ステアリングボトム	36
ステアリン酸亜鉛	64
ステアリン酸系	100
捨て軸	112
スピンドルモータ	31
スピンドルモーターハブ	17
スピンドル油	106
すべり面	47
隅の丸み	92
寸法検査	120
寸法不良	114
生産コスト	108
製品強度	111
製品形状を示す記号	69
製品図	87
製品設計	125
精密化	17
	155
精密切断機	153
精密鍛造	89
	108

設計の配慮項目	88
切削加工	80
切削レス	147
切断	124
	153
線	24
前・後方押出しにおける	56
荷重-ストローク	
前・後方押出しの実用的	57
な成形限界	
前後方押出	148
洗浄	153
染色浸透探傷法	120
全数検査	120
前方押出し	55
	112
側方押出し	58
塑性変形	44
塑性流動	154

【た】

ダイカスト	24
耐食性	80
	129
ダイ内・外径	98
ダイ内圧	98
ダイナモ油	107
ダイの押出し角	56
ダイの形状	98
耐力 (0. 2%)	45
ダイレクトプロセス	155
多結晶体	48
脱脂	153
縦弾性係数	46
多品種少量生産	155
試し打ち	153
弾性FEM	125
弾性回復	46
弾性変形量	125
鍛造	24
	153
鍛造圧力	90
鍛造温度	113
鍛造解析手法	125
鍛造加工	44
鍛造加工の短所	49
鍛造加工の長所	49
鍛造加工の分類	108
鍛造加工法	108
鍛造機の種類	81
鍛造欠陥	113
	126
鍛造作業	113
	123
鍛造性	113
鍛造生産工程	123
鍛造性と鍛造温度	79
鍛造品設計の手順	88
鍛造品の各部名称	109
鍛造品の設計	85
	88
鍛造品の断面形状	109
鍛造品の付加価値	108
鍛造法の特徴	90
鍛造法の分類	89

鍛造用機械	108
鍛造用素材	69
断面減少率	56
鍛流線	48
鍛練	44
鍛練成形比	73
チェンジペダル	37
	134
地球環境問題	15
チタン	3
知能化技術	155
中間焼なまし	47
鑄造・鍛造	38
	129
超音波探傷	120
	153
超硬の化学成分	95
調質	117
調質記号	69
直接・間接の組み合わせ	59
圧縮	
直接圧縮	51
つかみ傷	113
ディスク	34
デッドメタル	56
転位	118
展延性	109
電解コンデンサー	14
電気伝導性	129
電気分解法	10
展伸用アルミニウム合金	72
電導性	4

【な】

内部欠陥	120
ニアネット	155
ニアネットシェイプ	108
日本塑性加工学会	12
二輪車のアルミ鍛造部品	36
二輪車の材料構成比率	36
抜け勾配	90
熱間鍛造	47
	108
熱間鍛造工程	62
熱処理	117,
	124, 153
熱的特性	153
熱伝導性	129
ネットシェイプ化	153
熱風循環炉	62
鋸切切断機	62

【は】

背圧荷重	143
背圧装置	143
バイヤータンク	21
箔	24
白色系潤滑	153
破断ひずみ	46
発光分光分析	120
バッチ炉	153
幅広げ	53
歯磨きチューブ	153
パラフィン	102

ばり	85
ばりだまり	109
ばり溝	85
バルーブ	100
バルブ	40
バルブボディ	39
パンチの形状	97
バン土ケツ岩	20
ハンドリング	113
ハンドルボス	36
ハンドルレバー	37
ハンマー	81
半密閉型コイニング	53
ヒートシンク	143
ビーム	131
ピストン	33,
	40, 41, 136
ピストン(コブレッサ)	16
引張り試験	120
ビデオシリンダー	32
	145
氷晶石	21
表面欠陥	120
表面処理	153
ビレット	23
ビレットシャー	66
疲労試験	120
ピンホール	150
深絞り加工	12
複合化	153
複合加工	155
複合成形	129
複雑形状化	155
フッ化アルミ	100
歩留り向上	155
部品強度	36
部品点数削減	153
フランジ	135
フリクションプレス	153
プレス機	62
ブロッカ・タイプ	89
フロントホイールハブ	124
ブンセン	10
閉塞型	85
閉そく鍛造	59
	85
ベラー	9
ヘキサフロロアルミン酸	101
ヘッディング	52
ヘッディングの成形限界	52
変形抵抗	94,
	113, 129
変形抵抗曲線	45
変形能	46
	154
ホイール	33
ホイールディスク	33
ボーキサイト	20
補機部品類	40
ボディ・マウント	149
ボンデ	100
	106
ボンデかす	101
ボンデ処理	153

ボンデ処理装置	63
ボンデ皮膜層の特徴	102

【ま】

マグネシウム	3
マクロエッチング	120
摩擦抵抗	85
マシン油	106
マニホールド	14
丸のご盤	66
	153
丸棒の局部広げ	54
丸棒の広げ	53
丸み	92
マイクロエッチング	120
ミョウバン	9
ミョウバン石	20
メカニカルプレス	81
メカプレス	124
メタルフロー	73
	120
モーターハブ	31
	141
目視	120
	153
モトクロッサ	36

【や】

焼入れ歪み	139
焼入れ焼もどし硬化	117
焼なまし	123
焼なまし軟化	117
ヤング率	46
油圧	153
溶質原子	118
溶体化(固溶体)強化	118
揺動鍛造	55
溶湯鍛造法	14
溶媒原子	118

【ら】

ランディングギヤ	39
リアハウジング	132
リール	147
リサイクル	123
	129
リサイクル化	153
リチウム	3
リブの最小厚さ	91
リム	34
リメッシュ	126
リュウベ	102
リンクプレス	62
	81
リングローリング	55
	139
リングローリングミル	139
リングロール	39
リング圧縮試験	104
磷酸皮膜処理	153
リン酸亜鉛	100
冷間鍛造	108

冷間鍛造工程	63
冷間鍛造工程と設備	65
冷間鍛造工程例	64
冷間鍛造性の比較	94
冷間鍛造分科会	12
冷間鍛造用金型	94
レジャー	42
連続鍛造	13
連続炉	153
連铸棒	14
ロア・アーム	35
	15
ロール鍛造	55

【わ】

ワッフル・プレート	137
極圧添加油	100
珪素	102
型打鍛造	39
軽量化	33
結合リング	39
結合金具	39
構造材	39
航空機	39
合成油	106
黒鉛	102
黒鉛系	100
材料構成比率	36
自動車	33
斜板	40
潤滑	100
潤滑剤(各社採用例)	103
潤滑評価試験	104
精密鍛造	39
石蝕層	101
窓枠	39
足廻り部品	33
脱脂洗浄	101
窒化ホウ素	102
低融点ガラス	102
二硫化モリブデン	100
二輪車	36
熱間鍛造品	33
熱間鍛造用潤滑剤	102
摩擦係数	102
	107
油圧ポンプボディ	33
油圧部品	39
溶湯鍛造品	33
冷間鍛造品	33
冷間鍛造用潤滑剤	100

欧 文 (アルファベット順)

A1070	143
	151
A2000系	11
	36
A2011	141
A2011-T6	135

A2014	39	A7N01-T6	134	OA機器部品	14
A2017	148	ABSブレーキ部品	16	P	69
A2218	145	AC4CH	152	PC	69
A2219	39	AHS合金	41	SKD11	96
A2618	39	BD	69	SKD61	96
A2618-T61	130	BE	69	SKH9	96
A390	41	CAD	86,	T4	117
	138		124, 153	T5	117
A4032	132	CAE	124	T6、T6処理	39,
	136		153		69, 117
A5000系	36	CAM	124	T61	39
A5056	148		153	T73	39
A6061	147	DI缶	12	T74	39
	149	F	69	T75	39
A6061BE-T6	69		117	T852	39
A6063	147	FD	69	TPM	113
A6161	34	FEM解析	153	TXの細分記号の意味	70
A7000系	36	FH	69	VTR用シリンダ	63
A7001	148	H112	69		13
A7050	39	HXYの細分記号の意味	70	W	69
A7075	39	HXの細分記号の意味	70	X線探傷	153
A7075-T73	131	NC旋盤	153		
A7175	39	O	69		

平成10年度 ものづくり人材支援基盤整備事業
—技能の客観化、マニュアル化等—
「アルミニウム鍛造マニュアル」

発行 中小企業事業団 情報・技術部 技術支援課
〒105-8453
東京都港区虎ノ門3-5-1 虎ノ門37森ビル
TEL 03-5470-1589 FAX 03-5470-1526
無断転載を禁ずる

Copyright © 1999 中小企業事業団.All right reserved.

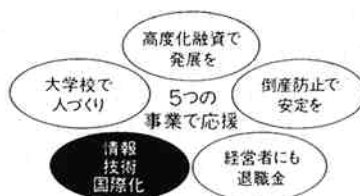
※このマニュアルは、社団法人 軽金属協会 の協力を得て中小企業事業団が作成いたしました。

※中小企業事業団は、平成11年7月1日付けで、繊維産業構造改善事業協会からの業務移管を行うとともに、中小企業信用保険公庫と統合し、中小企業総合事業団となります。

応援します 明るい未来



中小企業事業団



〒105-8453 東京都港区虎ノ門3-5-1 虎ノ門37森ビル
☎(03)5470-1589
情報・技術部
URL <http://www.jsbc.go.jp/>