



平成11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－

マグネシウム合金のダイカスト鋳造・
射出成形に係る技術・技能マニュアル

平成12年7月

中小企業総合事業団

情報・技術部

はじめに

中小企業総合事業団では、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、中小企業総合事業団では平成11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11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－マグネシウム合金のダイカスト casting・射出成形に係る技術・技能マニュアル」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・技能には訓練が伴い、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・技能を継承する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、ご協力頂きました関係者各位に厚く御礼申し上げます。

平成12年7月

中小企業総合事業団
情報・技術部
部長 鈴木 達也

マグネシウム合金のダイカスト鑄造・射出成形に係る技術・技能マニュアル目次

| | |
|--------------------|-----|
| 1. はじめに | 1 |
| 2. マグネシウムの特徴 | 2 |
| 3. マグネシウムの歴史 | 12 |
| 4. マグネシウムダイカスト成形技術 | 18 |
| 5. マグネシウムチクソ射出成形技術 | 79 |
| 6. マグネシウムの展伸材加工技術 | 97 |
| 7. マグネシウムの機械加工技術 | 114 |
| 8. マグネシウムの表面処理技術 | 130 |
| 9. マグネシウムの安全な取扱い | 144 |
| 10. マグネシウムの製品例 | 149 |
| 11. おわりに | 167 |

1. はじめに

マグネシウムは、鉄の約1/4、アルミニウムの2/3の比重であり、構造用金属材料の中で最も軽量な材料であることから、省エネルギーを実現できる貴重な材料として最近特に注目され、リサイクル可能な特性から使用が広がりつつある。

特に、マグネシウムダイカストは、マグネシウム専用のダイカスト機の開発により鑄造が容易となったことから、自動車部品を初め電子機器部品、更にはプラスチックから材料転換が始まり家庭用電気製品に至るまで幅広く使用始めている。

マグネシウムに対する認識が高まると共に、異業種からの新規参入も続き、製造加工技術の普及が多方面から期待されており、新入技術者・技能者をできるだけ早急に訓練、教育することが必要となっている。

マグネシウムダイカストに関する熟練技術者、技能者の高齢化も顕著であり、それを継ぐ新入技術者、技能者をできる限り早急に訓練、教育資し、次代への技術継承を図っていく必要があるが、熟練技術者、技能者の多忙もあり、十分な指導時間が割けず、技術・技能の伝承が十分に行われていないのが現状である。

このため、現場技術・技能のマニュアル化により、技術の標準化も図られると共に、技術指導のための基本的な素材の提供が可能となる。

更に、マグネシウムは大気中で酸化し易い特性を持ち、水分と接すると微粉等は水素ガスを放出し易いことから、現場での安全対策も重要な技術の一つであり、現場技術の伝承と共に安全技術の十分な普及も重要な課題である。

マグネシウムのダイカストや射出成形技術並びに周辺の加工技術について、貴重な技術情報として提供し、日本国内のマグネシウムに関する「ものづくり」の促進の一端を担えれば幸いである。

2. マグネシウムの特徴

2. 1 はじめに

マグネシウム精錬の歴史はかなり古く、1808年に H. Davy によってマグネシウムアマルガムからマグネシウムが製造されて以来、多くの研究者・技術者によって工業化が試みられた。初めての工業的な生産は、1886年に A. G. Fisher によって現在の商業生産の基となっているカーナライトを電気分解してマグネシウムを製造する工場がドイツに設立されたことによるが、当時の生産量は年産10 トン程度であったとされている。

資源として見れば、マグネシウムは図 1. に示すように地殻構成クラーク数^{*1}が酸素、けい素、鉄、ガリウム、ナトリウム、カリウムに次いで8番目であり、その化合物は様々な鉱物として広く分布しており、地殻の2.09%を占め、マグネサイト(MgCO₃)、ドロマイト(MgCO₃CaCO₃)などのマグネシウム鉱物として存在している¹⁾。また、海水1 ℓ中に約1.3 gのマグネシウムを含有しており、資源的には無尽蔵で、かつ国内で将来的にも自給できる唯一の金属である。金属マグネシウムは、これらの原料から電解法あるいは熱還元法(真空蒸留法)によって精錬する。しかし、現在は日本におけるマグネシウム精錬は経済的な理由などから一切行われていない。このため需要のすべてを北米や中国からの輸入に頼っている。

近年、自動車部品、ノートパソコンやAV機器の筐体などの構造材としてマグネシウムの需要は著しく増大し、1998年には過去最高量を記録している。同年における日本²⁾と世界³⁾のマグネシウム地金の総需要の内訳を図 2 に示す。日本における総需要27,196トンの内訳は、軽金属添加剤が19,707トンとその72.5%を占め、次いでダイカストの2,732トン、ノジュラー鉄添加剤の1,375トンになっている。一方、全世界の総需要は360,300トンであり、軽金属添加剤はその42.9%の146,150トンを占め、これに次ぐ需要はダイカストの95,300トンである。すなわち、日本における用途別需要構成と世界のそれには特徴的な差がある。

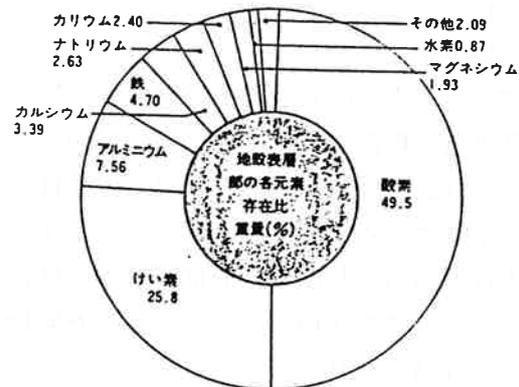
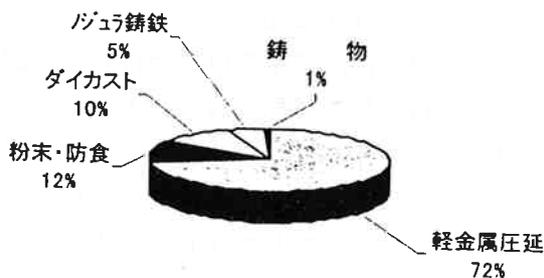
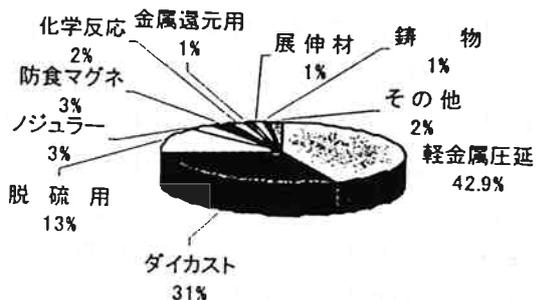


図 1 地核構成クラーク数



(a) 日本(総需要量27,196トン)



(b) 全世界(総需要量360,300トン)

図 2 1998年における日本および世界におけるマグネシウム地金の用途別需要内訳

*1 地球の表面から16kmまでの岩石圏、海洋および大気圏を含め、地球表層部の各元素の存在度を重量%で示した値

2. 2 マグネシウムの特性

2.2.1 物理的特性

純マグネシウムの物理的性質を他の金属と対比させて表1に示す⁴⁾。マグネシウムは原子番号12の周期律表第Ⅱ族の銀白色の美しいアルカリ土類の金属であり（因みに中国ではマグネシウムを「鎂」の文字で表している）、同じ軽金属のアルミニウムに比べて著しく活性な金属である。

表1 純金属の物理的性質

| 項 | 目 | マグネシウム | アルミニウム | 鉄 |
|--------|-------------------------------|--------|--------|-------|
| 原子番号 | | 12 | 13 | 26 |
| 結晶構造 | | 最密六方 | 面心立方 | 体心立方 |
| 密度 | g/cm ³ (293K) | 1.74 | 2.70 | 7.87 |
| 融点 | K | 923 | 933 | 1,809 |
| 沸点 | K | 1,376 | 2,750 | 3,160 |
| 融解潜熱 | KJ/Kg | 373 | 397 | 272 |
| 比熱 | J/Kg·K(293K) | 1,022 | 900 | 444 |
| 線膨張係数 | 10 ⁻⁶ /K(273~373K) | 26.0 | 23.5 | 12.1 |
| 熱伝導率 | W/m·K | 167 | 238 | 73.3 |
| 標準単極電位 | V(298K) | -2.37 | -1.66 | -0.44 |
| ヤング率 | GPa | 44.3 | 75.7 | 190.0 |

マグネシウムの結晶構造は図3に示すように結晶構造は最密六方格子である。このため、アルミニウムや鉄に比べると室温での延性が乏しく、室温における塑性加工では割れやすく加工が困難である。しかし、570K程度の温度に加熱すると急に延性が増し、熱間圧延や熱間押し出しなどが容易となり、アルミニウムと同等あるいはそれ以上の加工性を示す。これはマグネシウムのような最密六方格子では、室温では底面滑り系の数が限られるが、高温になると活動する滑り系の数が増加することによる。すなわち、マグネシウムは、室温では底面滑りしか起こらないが、高温になると柱面や錐面のような非底面滑りが起こり易くなることによる。

密度は室温で1.74g/cm³と実用金属材料中で最も小さく、アルミニウムの約2/3、鉄の約1/4である。このため、マグネシウムは比強度（強度を密度で割った値）の高い金属である。融点は923Kでアルミニウムとほぼ同じである。同じ容積を比較した場合、マグネシウムの比熱、溶解潜熱はアルミニウムの約2/3であり、少ない熱量で溶解をすることができる。同時に凝固潜熱も小さく、速く固まるためにダイカストにおけるショットサイクルを速めることができ、かつ金型への熱衝撃を小さくできる利点があり、ひいては金型寿命も永くなる。熱伝導率は、アルミニウムの約70%で熱の良導体である。熱膨張係数はアルミ

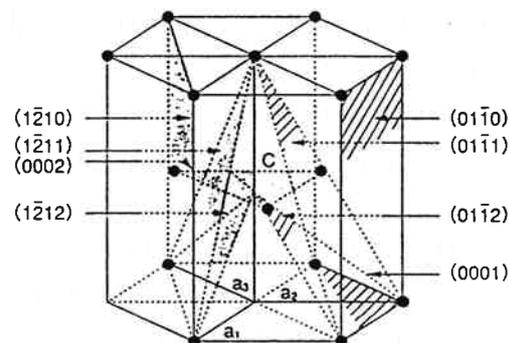


図3 マグネシウムの結晶格子と主な原子面

ニウムよりやや大きく、鉄の約2倍である。

2.2.2 化学的・電気的特性

マグネシウムは化学的に活性な金属ではあるが、乾燥大気中の保存では銀白色の表面は変化しない。湿気中では水分や炭酸ガスと反応して、水酸化マグネシウムと炭酸マグネシウムの複合した保護的皮膜を形成する。この皮膜は酸や塩などが存在しない場所では安定である。一般にマグネシウムおよびマグネシウム合金は、防食のために表面処理を施して使用するが、この他に装飾、耐摩耗性、耐熱性向上のために塗装することもある。表2に純マグネシウムの化学物質に対する耐食性を示す。

表2 純マグネシウムの化学的物質に対する耐食性

| | |
|-------|--|
| 耐食性良好 | アルカリ性薬品(苛性ソーダ, アンモニア水, 炭酸ナトリウムなど), 鉱物油, 動植物油, フッ化物, クロム酸, シアン化物, 酸素ガス, 水素ガス, 一酸化炭素ガス, 蒸留水, 中性有機化合物 |
| 耐食性不良 | 無機酸(硝酸, 塩酸, 硫酸など), 有機酸類(酢酸, 酒石酸, クエン酸ナトリウムなど), ハロゲン化物, 塩化物, 鉛, 硝酸塩, メチルアルコール, 沸騰水 |

マグネシウムは電気化学的に著しく卑な金属であり、表3に示すように実用金属中で最も低い電位を示す⁵⁾。したがって、マグネシウムを他の金属と接触すると、犠牲金属として自らを腐食しながら接触した金属へ電子を供給し、その金属の腐食を防止する。いわゆる流電陽極防食法の陽極(アノード)として利用される。また、マグネシウムは有効電位が大きく、単位面積当たりの発生電流が大きいことから、淡水中や土壌のような比抵抗の大きい環境に適しており、地下の埋設管や防食用アノード⁶⁾として使用される。ただし、このアノードはマグネシウム合金の形で使用されている。また、同じ電気的特性の利用例として電池がある。この電池は海水または水中に浸漬し、容器内に水を注入して使用する緊急装置用電池、救援装置用電池として使用されている。

マグネシウムに対する異種金属の接触電位差⁵⁾を表4に示す。電位差が0.6Vを越える異種金属の組合せではマグネシウムの接触腐食が著しくなるといわれている。すなわち、マグネシウムとの組合せが可能なのは亜鉛および亜鉛合金のみとなる。この結

表3 各種の金属の標準電極電位差

| 元 素 名 | 電 極 反 応 | 標準電極電位 V(298K) |
|--------|---------------------|-------------------|
| マグネシウム | $Mg^{2+} + 2e = Mg$ | -2.363 |
| アルミニウム | $Al^{3+} + 3e = Al$ | -1.70 |
| トリウム | $Th^{4+} + 4e = Th$ | -1.90 |
| ベリリウム | $Be^{2+} + 2e = Be$ | -1.63 |
| チタニウム | $Ti^{2+} + 2e = Ti$ | -1.534 |
| ジルコニウム | $Zr^{4+} + 4e = Zr$ | -1.18 |
| マンガン | $Mn^{2+} + 2e = Mn$ | -0.7628 |
| 亜鉛 | $Zn^{2+} + 2e = Zn$ | -0.4402 |
| 鉄 | $Fe^{2+} + 2e = Fe$ | -0.4029 |
| カドミウム | $Cd^{2+} + 2e = Cd$ | -0.342 |
| インジウム | $In^{3+} + 3e = In$ | -0.283 |
| ニッケル | $Ni^{2+} + 2e = Ni$ | -0.250 |
| すず | $Sn^{2+} + 2e = Sn$ | -0.136 |
| 鉛 | $Pb^{2+} + 2e = Pb$ | -0.126 |
| 水素 | $2H^{+} + 2e = H_2$ | ±0.000 |
| 銅 | $Cu^{2+} + 2e = Cu$ | +0.153 |
| 銀 | $Ag^{+} + e = Ag$ | +0.799 |
| パラジウム | $Pd^{2+} + 2e = Pd$ | +0.987 |
| 金 | $Au^{3+} + 3e = Au$ | +1.50 |

果、自動車部品などに使用する場合には、鉄、アルミニウムなどの異種金属との接触部には適切な座金、塗装などにより電気回路を作らないように互いに隔離する設計が必要となる。

2.2.3 耐くぼみ性

他の金属材料から重量を等しくした（板の表面積当たりの重量が等しくなっている）耐くぼみ正の比較を⁷⁾を図4に示す。マグネシウムやその合金がアルミニウム合金や軟鋼に比較して耐くぼみ性（くぼみ抵抗性）に優れることを示している。

2.2.4 減衰能

マグネシウムは振動吸収性が高いことから繰返し運動や断続運動をする部品に使用すると、それらの振動を吸収して機械の寿命を長くする。図5に種々の金属材料の減衰係数⁸⁾と強度の関係を示す。重い材料ほど減衰能が高いことが一般的であるが、マグネシウムは例外的に、軽量で高い減衰能をもつ唯一の金属材料である。この特性を生かして、チエンソー、釘打ち機などの携帯品でかつ振動の発生する機器の筐体や自動車のエンジカバーなどに用いている。

表4 マグネシウムに対する異種金属の電位差

| 名 称 | 電位差(V) |
|----------------|--------|
| マグネシウム | 0 |
| 亜鉛・亜鉛合金 | 0.05 |
| アルミニウム | 0.7 |
| 軟 鋼 | 0.9 |
| ジュラルミン | 1.0 |
| クロムメッキ | 1.1 |
| 銅・銅合金 | 1.35 |
| オーステナイト系ステンレス鋼 | 1.4 |
| ニッケルメッキ | 1.45 |
| 金 | 1.75 |

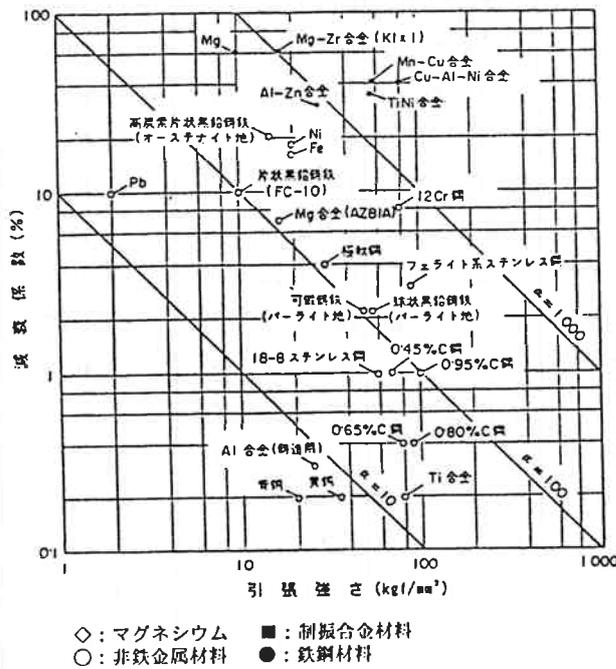


図4 各種金属の強度と減衰係数

2.2.5 寸法安定性

マグネシウム合金は270K程度の温度に長時間晒されても寸法安定性に優れ、変形はほとんど認められない。420Kで100時間加熱してもその変形量は 6×10^{-6} と小さい。

2.2.6 電磁波遮蔽性

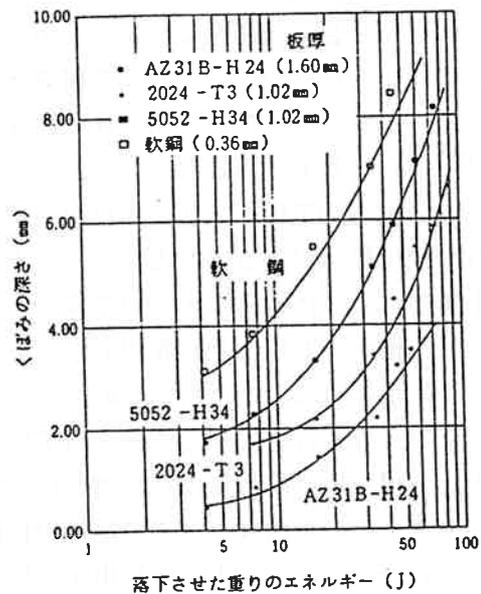


図5 各種金属の落下荷重に対する耐くぼみ性

⁸⁾ 材料の0.2%永久ひずみに相当する引張応力の大きさを $\sigma_y/10$ のせん断応力振幅を用いて測定したものの。

携帯電話、ノートパソコンなどの筐体にプラスチックを使用する場合には、発生する電磁波を遮蔽するために、その内面にNi、Cuメッキなどを施しているが、これらのメッキ層がプラスチックのリサイクルに際して問題となっている。マグネシウム合金は広い周波数帯で高い電磁波遮蔽性とリサイクル性が認められ、現在ではプラスチックに代わる地位を占めている。

2.2.7 切削性(被削性)

マグネシウムおよびその合金は、他の金属に比べて軟質で、かつ比較的脆いために切削抵抗が小さく、発熱も少なく工具は長寿命で容易に鏡面加工ができるなど被削性は極めて良好であり、切削抵抗に切削速度依存性が認められないことから高速切削が可能である。また、

切削に要する動力は図6に示すように実用金属中で最も小さい⁸⁾。

しかし、切削中の切りくずの燃焼や飛散、工具逃げ面付着物による加工面の劣化など他の金属の切削では発生しない現象が見られる。このため、マグネシウムの切削に際しては、発火燃焼に対する安全対策、切削油剤

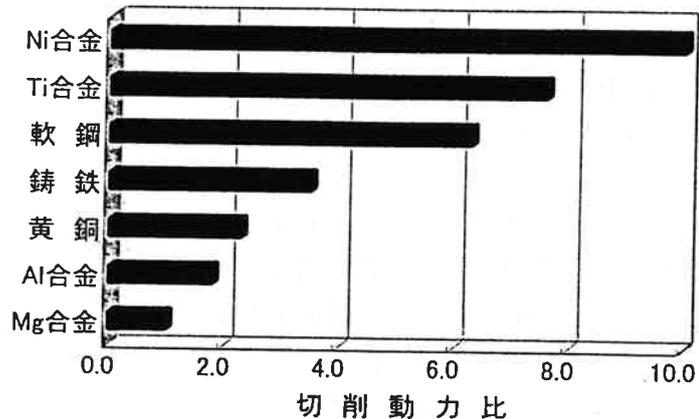


図6 マグネシウム合金を1とした場合の各種材料の切削動力比

の選択、切りくずのリサイクル処理あるいは安全処理など解決すべき問題は多い。

2.2.8 接合性

マグネシウムおよびマグネシウム合金は、熔融溶接であるTIG、MIG溶接で容易に溶接できるが、含有元素の相違によって溶接性に差があり、難溶接材料の一つである。適正な溶接条件を選定すればスポット溶接も可能である。また電子ビーム溶接、レーザ溶接、摩擦圧接、拡散接合、爆発圧接などのほとんどの接合法がマグネシウムおよびマグネシウム合金に適用できる。しかし、一部の接合法は燃焼と酸化防止のために不活性ガス雰囲気中で接合を行わなければならない。

2.3 マグネシウムの用途

構造材料以外のマグネシウムの用途には次のようなものがある。

2.3.1 添加剤

- ・アルミニウム合金への添加：ほとんどのアルミニウム合金には、マグネシウムが強度、耐食性などの諸性質改善を目的に合金元素として数%添加されている。
- ・鋳鉄への添加：ノジュラー鋳鉄、ダクタイル鋳鉄などの延性、靱性向上を目的に、あるいは黒鉛球状化剤としてマグネシウムが0.08%程度添加されている。
- ・鉄鋼への添加：鉄鋼の製鋼プロセスにおける脱硫のために、欧米ではマグネシウムが添加が古くから行われていたが、日本でこの分野にマグネシウムの利用が始まって数年を経過している。現在使用されているマグネシウム脱硫剤は、粒径1mm以下のマグ

ネシウム粉末にCaOなどの無機質粉末をコーティングしたものが用いられている。

2.3.2 金属還元剤

マグネシウムは活性なことから、Ti, Zr, V, Be, Bなどの金属精錬における還元剤に使用利用されている。特にTi精錬ではチタン塩化物をマグネシウムにより還元し、スポンジチタンを得ている。

2.3.3 防食用アノード

マグネシウムは表3に示したように電気化学的に非常に卑なる金属であり、マグネシウムに他の金属を接触させておくと、マグネシウムが先に溶出して接触している金属の腐食を防止するので、いわゆる流電陽極方式防食法の陽極（アノード）として使用されている。用途としては、埋設管、基礎鋼管、シールドトンネル、埋設トンネルなどがある。また、同じ電気的特性の利用例として杭、石油タンク・ガスタンクなどの底板、各種熱交換器、温水ボイラー、深井戸ケーシングなどがある。

2.3.4 水素吸蔵合金

将来の新しいエネルギーとして注目されている水素エネルギーの貯蔵法の一つとして、金属に水素を吸収させる水素貯蔵合金の開発が進められている。この水素貯蔵合金の中で、マグネシウム系合金は水素吸収量が大きいことから注目されているが、反応温度が高温であり解決を要す課題も多く、今後の研究が待たれる。

2.3.5 グリニヤール反応用材料

塩化ビニールの安定剤、農薬、香料など多くの製品の製造に使用される薬品にグリニヤール試薬がある。この試薬は純エーテル中で種々のハロゲン化合物を反応させて製造するが、マグネシウムは粉末で供給される。

2.3.6 高純度シリコン

半導体素子および太陽電池に利用されている高純度シリコンは、モノシラン(SiH₄)の熱分解やトリクロルシラン(SiHCl₃)の水素還元などによって製造される。モノシランの製造にはけい化マグネシウム法があり、その反応過程においてマグネシウムが使用されている。しかし、この方式による高純度シリコンの製造は数年前までは日本においても行われていたが、現在は設備を海外に移設し、国内ではこの方式による生産は行われていない。

2.3.7 その他

マグネシウムは燃焼時の輝度が高い事から、酸化剤と混合して花火、照明弾などに、古くから写真撮影のフラッシュの光源などに使用されている。

2.3 マグネシウム合金

2.3.1 マグネシウム合金の種類

純マグネシウムは非常に柔らかく構造材料には適さないが、他の金属を添加することにより改質される。その結果マグネシウムのユニークな性質を備えた合金として優れた構造材料となり、ダイカスト、砂型鋳物、鍛造、圧延、押出しなどの種々の加工法により成形され、様々な産業分野で使用されているが、ダイカスト法が主流で、圧延、鍛造などの塑性加工は極めて少ない。近年、プラスチックと同様にマグネシウム合金チップを原料に用いて、射出成形機により成形する新しい成形法が開発され、軽量化、薄肉化の要望の強い

の携帯型電子機器の筐体にマグネシウム合金が急速に使われている。

マグネシウム合金は、アルミニウムを合金成分とするAZ系、AM系、AE系など、ジルコニウム、希土類元素を合金成分とするZK系、EZ系、QE系、WE系などがある。マグネシウム合金に添加される主要添加元素と添加目的を表5に、マグネシウム合金の代表組成例を表6に示す。

表5 マグネシウム合金の主要添加元素と添加目的

| 元 素 | 記号 | 添 加 目 的 |
|---------|----|--------------------------|
| アルミニウム | A | 機械的性質の改善 |
| マンガン | M | 耐食性の改善 |
| 銀 | Q | 耐熱強度の改善 |
| 亜鉛 | Z | 耐食性・強度の改善 |
| けい素 | S | クリープ特性の改善 |
| トリウム | H | Zrとの共存で共晶粒の微細化により機械性質の改善 |
| ジルコニウム | K | 結晶粒の微細化 |
| メッシュメタル | E | 機械性質の改善 |
| イットリウム | W | Zrとの共存で共晶粒の微細化により機械性質の改善 |

表6 マグネシウム合金の代表組成例

| | %Al | %Zn | %Mn | %Si | %Cu | %Ag | %Y | %Zr | %Others |
|-------|------|-----|------|------|------|-----|-----|-----|-----------------|
| AM20 | 2.0 | | 0.3 | <0.1 | | | | | |
| AM60 | 6.0 | | 0.2 | <0.1 | | | | | |
| AS41 | 4.0 | | 0.35 | 0.7 | | | | | |
| AZ63 | 6.0 | 3.0 | 0.25 | | | | | | |
| AZ91 | 9.0 | 0.7 | 0.25 | | | | | | |
| AZ92 | 9.0 | 2.0 | 0.23 | | | | | | |
| AM100 | 10.0 | | 0.23 | | | | | | |
| ZC63 | | 6.0 | 0.5 | | 2.7 | | | | |
| EZ33 | | 2.3 | | | | | | 0.7 | 2.7 RE |
| ZE41 | | 4.2 | | | | | | 0.7 | 1.2 RE |
| ZK51 | | 4.6 | | | | | | 0.7 | |
| ZK61 | | 6.0 | | | | | | 0.7 | |
| ZE63 | | 5.8 | | | | | | 0.7 | 2.6 RE |
| QE22 | | | | | | 2.5 | | 0.7 | 2.2 RE(Nd rich) |
| EQ21 | | | | | 0.07 | 1.5 | | 0.7 | 2.2 RE(Nd rich) |
| WE43 | | | | | | | 4.0 | 0.5 | 2.2 RE(Nd rich) |

マグネシウム合金は適用範囲の拡大を求めた長時間の研究から表6に示すように多種類の合金が開発されてJISに制定されている。JISはISOに準拠した呼称を用いているが、市場ではその単純さと組成により速やかに理解できることからASTMシステムによる合金名よく用いられている。たとえば、「AZ91D-T6」の場合は、アルファベットの「AZ」は主要合金元素を示している。すなわち、A : Al, Z : Zn, : Mn, S : Si, K : Zr, Q : Ag, H : Th, W : Y, E : REを示している。つぎの「91」はそれらの元素の含有量(wt%)を示す。

この例の場合は、A(アルミニウム)とZ(亜鉛)がそれぞれ約9%と1%を含むことを意味する。つぎの「D」は同一合金種の規定された順を表している。最後の「T6」は熱処理条件を示す。

マグネシウム合金の機械的性質を他の金属材料と対比して表7¹⁰⁾に示す。マグネシウム合金の比強度、比耐力が他の金属に比較して著しく高いことから自動車や携帯用電子機器に適する合金といえる。

表7 マグネシウム合金と他の金属材料の機械的性質

| 合金 | | 比重 (g/cm ³) | 引張強さ (MPa) | 耐力 (MPa) | 伸び (%) | 硬さ (HB) | 比強度 | 比剛性 |
|--------------|-------------|----------------------------|---------------|-------------|-----------|------------|-------|-------|
| マグネシウム 合金 | 圧延材(AZ31) | 1.78 | 300 | 210 | 9 | 73 | 168.5 | 118.0 |
| | 押出材(AZ80) | 1.80 | 350 | 240 | 7 | 80 | 194.4 | 133.3 |
| | 鋳物(AZ92-T6) | 1.82 | 280 | 160 | 2 | 84 | 153.8 | 87.9 |
| アルミニウム 合金 | 圧延材(5052) | 2.67 | 290 | 250 | 14 | 85 | 108.6 | 93.6 |
| | 押出材(2017) | 2.79 | 430 | 280 | 22 | 105 | 154.1 | 100.4 |
| | 鋳物(AC6A-T6) | 2.77 | 290 | 230 | 4 | 85 | 104.7 | 83.0 |
| 鉄 鋼 | ステンレス鋼 | 8.02 | 1,220 | 1,080 | 15 | 350 | 152.1 | 134.7 |
| | 炭素鋼 | 7.86 | 630 | 430 | 22 | 175 | 80.2 | 54.7 |
| | 鋳鋼 | 7.84 | 630 | 420 | 25 | 185 | 80.4 | 53.6 |

注) 比強度=引張強さ/比重 比剛性=耐力/比重

マグネシウム合金の構造材としての使用例を表7に示す¹¹⁾。これらの中にはすでに使用されなくなったものもあるが、現在でも使用されており、我々に馴染みの深い製品は、林業機器、二輪車、自動車、スポーツ用品、靴、コンピュータ部品などである。中でも自動車への適用が盛んに検討される理由としては、軽量、寸歩安定性、振動吸収性などの特性が評価されることによる。

表7 構造材料としてのマグネシウム合金の使用例

| 区分 | 使用例 |
|-------------|---|
| 航空宇宙関係 | ジェットエンジン部品、ホイール、窓枠、椅子、ドア丁番、補助翼胴、床、ヘリコプター部品、人工衛星部品 |
| 軍需関係 | 携帯用小型フレーム、運搬具、ミサイル部品 |
| 原子力関係 | 燃料被覆材 |
| 陸上輸送機器 | 雪上車・二輪車のクランクケース、ギヤーボックス、カバー、ホイール、自転車のフレーム |
| 荷役機器 | 運搬車、パレット、ドクポート、手押車(含ゴルフクラブ用) |
| 産業用機器 | 工作用ジブ、定盤、水準器、印刷ロール、印刷板、捺染枠、タラップ、織機部品、船舶用コンテナ、セメント外枠、コンクリート仕上げ板 |
| 農林鉱業機械 | チェンソー、農薬散布機、芝刈機、削岩機・釘打機のクランクケースハウジング、燃料タンク、コンクリートカッターのケースカバー |
| 電気・通信機器 | 携帯用無線受信器筐体、電気ドリルの筐体、コンピューター部品、海難救助電池、乾電池、ターンテーブル部品、ステレオピックアップ、スピーカーフレーム |
| 事務用機器 | タイプライター・テレックスの筐体、パソコンの筐体 |
| 光学用機器 | カメラ・映写機・双眼鏡のボディ、ビデオカメラのフレーム、引伸機 |
| レジャー・スポーツ用品 | 野球バット、キャッチャーマスク、テニスラケット、洋弓のハンドル、釣用リール、スキー靴止め金具、バトミントンジョイント、ボーリングのピン |
| 雑貨・その他 | アタッシュケース、脚立、幼児用折畳湯船、車椅子のフレーム、義足、ペーパーナイフ、雪かき用具、鋳型 |

3 おわりに

これまでにマグネシウムおよびマグネシウム合金の特徴について述べてきたが、それらを要約すれば以下ようになる。

- ・ 実用金属中でもっとも軽量：マグネシウムの比重は1.74で、アルミニウムの約2/3、鉄の約1/4である。
- ・ 強さや耐力に優れる：マグネシウム合金の同一重量に当たりの強度、耐力（比強度、比耐力）が鋼の約15倍、アルミニウム合金の約1.5倍である。
- ・ 切削加工性に優れる：マグネシウム合金は切削加工が容易で高速切削ができるので、作業時間を短縮することができ、美しい加工面がえられる。
- ・ 耐くぼみ性に優れる：マグネシウム合金は、変形に対する抵抗力が高いので、衝撃による「くぼみ」が生じにくい。
- ・ 耐クリープ性に優れる：高温で一定荷重を長時間にわたってかけてもクリープが発生しにくいことを耐クリープいうが、特に希土類金属を添加した合金は耐クリープ性に優れる。
- ・ 寸法変化が少ない：マグネシウム合金は時間の経過による寸法変化がほとんど生じない。温度変化も寸法変化も他の金属に比べて高いので、厳しい使用条件に耐える。
- ・ 低温特性に優れる：マグネシウム合金は低温においても引張強さ、耐力などの機械的性質が低下しない。
- ・ 振動吸収性に優れる：材料に衝撃が加わった場合、その衝撃や振動を吸収する能力が高ければ高いほど、変形や破壊を防ぐことができる。マグネシウム合金はこの振動吸収性が高いので、繰り返し運動、断続運動をする部分に使用すると、それらの振動を吸収し機械装置の寿命を延ばすことができると同時に、騒音を減らすこともできる。
- ・ 耐食性に優れる：純度の高いマグネシウムは、大気中における表面の安定度が鉄より優れている。表面処理していないマグネシウム表面には、水酸化マグネシウム、炭酸マグネシウムからなる薄い灰色の膜が生成される。

最近の地球環境問題から派生した自動車の燃費改善には車両重量の軽減が最も有効な方法であることから、今後、マグネシウム合金製部品の採用拡大が確実である。また携帯用電子機器の利用増大は、それらから発生される電磁波の医療器械を始めとする各種の精密機器への影響が懸念されている。この問題に対しても電磁波遮蔽性に優れるマグネシウム合金に期待するところは大きい。これらに対応するためにはマグネシウム合金の製造技術の更なる向上と同時に、マグネシウムおよびマグネシウム合金の最大の欠点でもある燃えやすいうことが望まれる。

参 考 文 献

- 1) マグネシウム委員会編：マグネシウムのすべて。軽金属協会(1977), 8.
- 2) 日本マグネシウム協会統計資料
- 3) 国際マグネシウム協会(IMA)統計資料
- 4) 日本金属学会：金属データブック(改訂3版), 丸善(1993), 10~15.

- 5) 高谷松文：'92マグネシウムマニュアル，日本マグネシウム協会(1992)，103.
- 6) 西角善廣：'96マグネシウムマニュアル，日本マグネシウム協会(1996)，7.
- 7) J.A.Gusack and D.E.Ritzema：Proceedings of IMA, (1961)
- 9) Hydro Magnesium Data Sheet "Machining Magnesium", (1996), 3.
- 10) 宮原隆一：'82マグネシウムマニュアル，軽金属協会(1982)，2.
- 11) 和泉 修：講座・現代の金属学材料編5「非鉄材料」，日本金属学会(1987)，116.

3. マグネシウムの歴史

3. 1 はじめに

マグネシウム精錬の歴史はかなり古く、アルミニウムとほぼ同時代に発見された。すなわち、1808年(文化5年)に英国の化学者 Sir H. Davy がマグネシウムアマルガムからマグネシウムを製造して以来、多くの研究者・技術者によって工業化が試みられた。初めての工業的な生産は、1886年(明治19年)に現在の商業生産の基となる製造法であるカーナライトを電気分解してマグネシウムを製造する工場がドイツの Aluminium-und-Magnesium-Fabrik, A. G. によって設立されたことによる。当時の生産量は年産10トン程度であったとされている。

世界的に見ても、当初は照明用内光剤や写真撮影の光源・照明などに使用されていたマグネシウムは、1903年(明治36年)のライト兄弟による初飛行の成功による航空機の実用化に続く、第一次、第二次世界大戦における航空機の目覚ましい発達に伴って、その軽量性、高比強度が高く評価されてマグネシウムもアルミニウムと同様にその需要は増大し、航空機用のエンジン、エアフレーム、ホイールなどの部品に使用された。しかし、戦争終結により軍需は大きく減少し、民需のみでは全生産量を消費しきれず、その需要量は半減した。

一方、マグネシウムの自動車への適用は、1946年(昭和21)に開発されたフォルクスワーゲン・ビートルへの採用が最初で約17kgのマグネシウム合金鋳物が使用され、それ以降、2,500万台以上のVW車の空冷エンジンに採用された。しかし、その後、アルミニウムが軽金属材料の主流になるのに伴い、アルミニウムや鋳鉄の特性改善のための添加元素や鉄鋼脱硫剤などに代表される補助材料的な利用によって需要は支えられて今日に至っている。

わが国におけるマグネシウムの初めての輸入は、日露戦争で使用された照明弾用内光剤であった。マグネシウムの材料特性を認識し、国内生産による需要量確保を目的に研究・実験が行われ、1931年(昭和6年)に最初の精錬工場が新潟県柏崎に設立され、年産20トンの生産記録が残されている。その後の航空機の著しい発達により需要は急上昇したが、当時の生産設備も生産技術も欧米に比べて著しく遅れており、需要量を賄うにはできなかった。その後の「国家総動員法」に伴う増産に次ぐ増産により、1944年(昭和19年)には4,962トンの生産量を確保している。しかし、1945年(昭和20年)の第二次世界大戦終結と同時にわが国のマグネシウム精錬工場は操業を全面的に停止し、マグネシウム精錬が再開されたのは1954年(昭和29年)である。

わが国におけるマグネシウムはアルミニウムとほぼ同時代に工業化が進められた。今日ではアルミニウムは社会生活に不可欠な汎用金属として、その用途は広く年間450万トンの使用量で世界の2番目の地位を占めている。しかし、マグネシウムは、その主な用途が単体としてよりも、他金属への添加剤、還元剤あるいは脱硫剤などの非構造的用途を中心として工業化されたため、近年の需要量は年間3万ト弱に過ぎない。(第2章、図2参照)

最近、マグネシウムは地球環境保全の立場から、プラスチックに代わる環境に優しい材料として注目され、特に北米において自動車部品への適用が積極的に行われており、その需要は増加の一途をたどっている(図1)。一方、わが国の需要は、図2で明らかのように3万ト弱に推移しているが、近い将来、自動車部品、電子・通信機器、その他の製品へ

の適用が大幅に拡大するものと確信する。

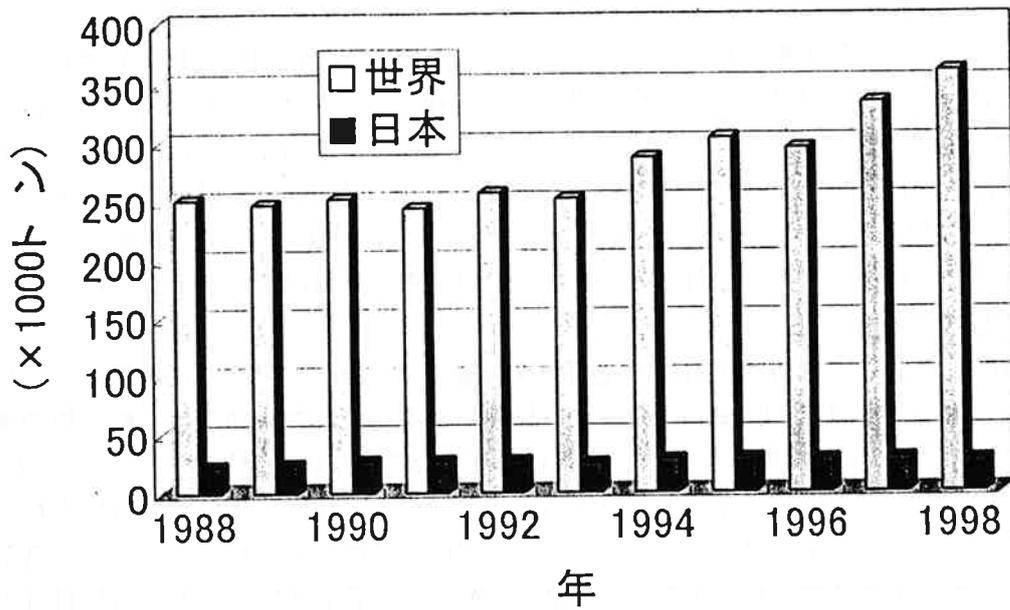


図1 世界におけるマグネシウム地金の需要の推移

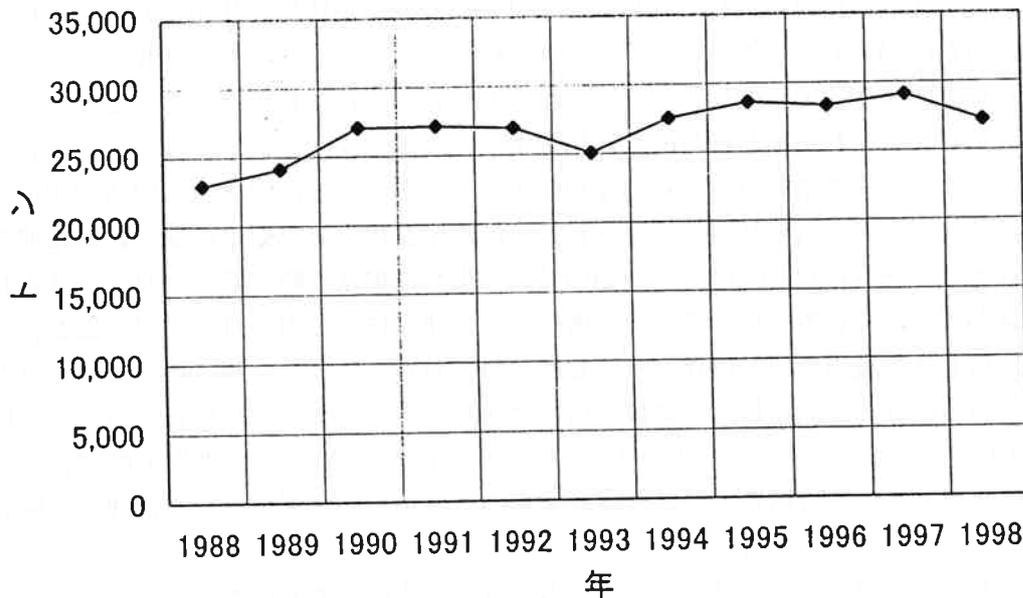


図2 日本におけるマグネシウム地金の需要の推移

3. 2 日本におけるマグネシウムの歴史

3.2.1 マグネシウム産業の曙から敗戦(1945年)まで

わが国にマグネシウムが初めて輸入されたのは、日露戦争で使用された照明弾用内光剤であった。輸入価格が高価であったことと、その材料特性から軍需用としての重要性が認められ、1921年(大正10年)に輸入カーナライトより精製した無水塩化マグネシウムから電解法でマグネシウムの抽出が初めて実験室レベルで試みられ、マグネシウム生産のための

研究が緒についた。しかし、関東大震災によってこの研究は中断された。その後1926年(大正15年)に苦汁による金属マグネシウム合金の実験的な製造に成功した。その後の研究と技術開発によって1931年(昭和6年)に年産20トンの規模の精錬工場が設立された。以後、マグネシウム単体としてのみならず軍需物資として、特に航空機材料として重要な地位確保しているアルミニウム合金への添加剤、あるいは鉄鋼脱酸剤として生産量も徐々にではあるが増加し、第二次世界大戦開戦時の1941年(昭和16年)には2,873トンの生産実績を残している。因みに、同年に北米では65,492トンが生産されており、両者の生産量には格段の差があった。この年のわが国と北米のアルミニウム合金の生産量はそれぞれ65,492トン、309,067トンであり、日本におけるマグネシウム生産量は著しく少なかったといえる。大戦中はマグネシウムは配給制となり、たとえば、1943年(昭和18年)に民需用として割り当てられたのは僅か104トンであり、真空ゲッターおよび電気機械用(電気機械統制会)、ピストン用(自動車統制会)、アルドライト用(金属工業統制会)、工作機械機械用(精密機械統制会)、信号保安用(車両統制会)、閃光および脱酸用(マグネシウム粉末協議会)、グリーニャ反应用(有機合成化学工業競技会)に使用されていた。

第二次世界大戦における航空機の重要性の認識から、その性能向上に対する要求は一段と厳しくなり、軍需物資としてのマグネシウムの生産量は増加し、マグネシウムは1944年(昭和19年)には過去最大の4,962トンを生産している。因みに、この年の北米における生産量は123,800トンであり、技術力、生産力の差をまざまざと見せつけられた。同年の日本のアルミニウム合金の生産量は136,787トンであった。

第二次世界大戦終焉の年である1945年(昭和20年)におけるわが国のマグネシウム精錬会社は、14企業16工場(満州、朝鮮のものを含む)で16,120トンの生産目標であったが、実際に空襲による工場の損耗、原料、動力、労力不足などによって僅かに2,296トンを生産して終戦を迎えた。

3.2.2 敗戦(1946年)から現代まで

わが国は第二次世界大戦の空襲によって国土は焦土と化し、主原料、副原料、電力の不足、施設の損傷、人的損失によりほとんどの工場が休止し、加えて社会的不安から混乱状態が続いていた。これにアルミニウム、マグネシウムの生産設備、圧延機などの加工機が戦時賠償の対象品に1945年(昭和20年)12月に指定され追い打ちをかけた形となり、マグネシウムの生産は完全に終結した。

しかし、その後の世界的な社会情勢から、アルミニウム、マグネシウムの生産設備、施設が賠償対象から外され、両金属の生産が再開された。1950年(昭和25年)の朝鮮動乱による特需の急増に加えて、米軍機の車輪や付属品などの払下げ品を再生したマグネシウム2次合金が、鋳物、ダイカスト、防食アノードなどの用途に向けられた。因みに、爆撃機B29は1機当たり100kg程度のマグネシウム合金が使用されていたのでその量は相当量であったと想像できる。

本格的なマグネシウムの生産は1955年(昭和30年)に、古川マグネシウム(株)によって年産150トンが生産された。これがわが国におけるマグネシウム生産再開であり、ここに至るまでに終戦から10年を要している。

1958年(昭和33年)9月に「マグネシウム委員会(現在の日本マグネシウム協会の前身)」が、産官学の協力によりマグネシウムに関する技術開発と需要分野の開拓を目的に発足を

した。この委員会は1991年(平成3年)の日本マグネシウム協会発足までの33年間に亘り、政府の補助金、関連団体からの委託などにより幅広い研究実績を残している。

一方、この間は日本経済も高度成長期にあり、需要も大きく飛躍した。特にアルミニウム産業の発展は目覚ましく、アルミニウム合金添加剤としてのマグネシウムの需要は上昇の一途を辿った。この他、脱硫剤、還元剤などの需要も増加したために、マグネシウム地金の消費量は安定した伸びを示した。構造材料としての需要拡大は、材料供給者の不断の努力にも関わらず、その成果は極めて過小であった。特に輸送機関に的を絞る、海外に比べて著しく遅れている鋳物、ダイカストに関する普及促進策についての啓蒙活動に力点を置いた活動が続けられたが、わが国における需要の伸びは遅々としたものであった。

1966年(昭和41年)9月に国内で2番目の精錬会社として宇部興産(株)が、海水を原料とする熱還元法によって年産能力2,000トで生産を開始した。同年6月に開催された「マグネシウム工業再開10周年事業」の展示会に、多くのマグネシウム製品が出品されたが、その中でも、わが国で初めてマグネシウム合金を一般自動車に採用した東洋工業(株)(現、マツダ)の軽四輪自動車「クーペ」が注目を浴びた。この展示会によりマグネシウム合金が特殊な材料でなく、一般の工業製品に極めて重要な汎用金属材料であることを一般に公開し、マグネシウム製品再認識のために大きく寄与した。

1970年(昭和45年)から翌年にかけてはマグネシウムの需要増大に対応するため、わが国における代表的な大手化学メーカーが相次いでマグネシウム精錬事業参入の旗揚げをした年であった。しかし、そのほとんどが計画段階で中止された。

わが国で3番目の精錬会社である日本重化学工業(株)は、1980年(昭和55年)から1984年(昭和59年)にかけて、金属マグネシウム精錬に関する研究を行い、1988年(昭和63年)に富山県高岡市に年産能力5,000トのマグネシウム精錬工場を建設し稼働に入った。

この結果、1988年(昭和63年)における古河マグネシウム(株)、宇部興産(株)、日本重化学(株)の3社体制による精錬能力は年産約23,000トに達し、アルミニウム合金用添加剤を中心に、鋳鉄、鉄鋼の添加剤などに好調な需要を維持したが、構造材料としての需要は少なかった。

このような情勢の中で、国内精錬のトップ企業であった古河マグネシウム(株)が古くなった精錬設備の更新を経済的な理由から諦め、1989年(昭和64年)2月に生産を停止した。操業開始から31年目であった。また、日本重化学工業(株)も操業6年目に当たる1991年(平成3年)に生産を中止した。

相次ぐ2社の精錬中止により国内で唯一精錬を行っていた宇部興産(株)の公称精錬能力は最高9,000トに達した。その後の経済情勢の変化を受けて、長期的展望が望めないとの結論から、同社も1996年(平成8年)に全てのマグネシウムに関する操業を中止した。これによりわが国のマグネシウム精錬関連の操業は消滅したことになる。

経済的な理由からわが国におけるマグネシウム精錬は中止されたが、1996年(平成8年)6月に世界各国から多数の参加者を迎えてIMA(国際マグネシウム協会)第53回大会が山口県宇部市で開催された。この会議では自動車あるいは携帯用電子機器にマグネシウムダイカストを適用した多くの事例報告と同時に製品展示会も開催され、マグネシウム産業の将来を見据えた会議であった。

わが国におけるマグネシウム精錬の火は消えたが、各企業が中国に進出し、現地企業との合弁会社を設立して、中国で精錬した地金を輸入している。また一部は板材などの加工

品、粉末も輸入されている。

精錬は中止されたが、北米からの輸入に加えて中国地金や旧ソ連からの安価な地金の輸入によって、わが国においても自動車関連部品、ノート型パソコンに代表される携帯用電子機器の筐体にダイカストやチクソモールドによった製品の需要が急増している。また最近では厚み約0.5mmの板のプレス成形品が小型電子機器に適用され始めている。

表1 内外における主なマグネシウムの協業化の経緯

| 年 | 事 項 |
|------|--|
| 1852 | 独のブンゼン (Robert Wilhelm Bunsen) が無水塩化マグネシウムを電解してマグネシウムを製造し、マグネシウム電解工業の基礎を確立。 |
| 1886 | 独の Aluminium-und-Magnesium-Fabrik, A.G. が Hemelingen で Bunsen 法の原理に基づきカーナライトを用いたマグネシウムの電解工場を設立。この技術は後に Chemische Fabrik Griesheim-Elektron A.G. (Bitterfeld 工場) に引き継がれた。さらに、この会社は後に I.G. Farbenindustrie A.G. グループの傘下に入った。 |
| 1915 | 仏の Société d'Electrochimie, d'Electrometallurgie, et des Acieries Electriques d'Ugine が塩化マグネシウムの電解工場を設立。 |
| 1915 | 米のジェネラル・エレクトリック社がマグネシウム製造開始。 |
| 1916 | 米のダウ・ケミカル社がマグネシウム製造開始。 |
| 1919 | 米のアルコア他4社がマグネシウム製造開始。 |
| 1920 | ノルウエーの De Norske Saltverker がマグネシウム製造開始 (2年後閉鎖)。 |
| 1931 | 新潟県柏崎に日本最初の製造会社・理研マグネシウム㈱設立 (年産20トン)、1932年 (70トン)、1933年 (180トン) と増産。 |
| 1933 | 山口県宇部に日満マグネシウム㈱ (理研と満鉄と共同) の電解工場建設、1935年6月より生産開始。1938年理研金属株式会社と改称、工場増設 (8ページの絵) 日本マグネシウム株式会社 (笹津、1936)、旭電化工業株式会社 (尾久、1937)、日本曹達株式会社 (岩瀬、1937)、信越窒素肥料株式会社 (直江津、1938; 信越化学工業株式会社と改称)、関東電化工業株式会社 (渋川、1938)、大倉鋳業株式会社 (島田、1938)、東亜軽金属工業株式会社 (酒田、1939、1943年に大倉鋳業と合併し、帝国マグネシウム株式会社設立)、その他外地でマグネシウム製造会社の設立、合併、改名等があったが、いずれも終戦時にはマグネシウム関連事業は閉鎖。 |
| 1934 | 英に British Magnesium (Elektronmetal) 社設立。翌年 Magnesium Elektron Ltd. と改称、独 I.G. のライセンスによりマグネシウムの製造開始。 |
| 1935 | 英の Magnesium Metal & Alloys Ltd. がマグネシウムの製造開始。 |
| 1941 | 米のダウ・ケミカル社が含水塩化マグネシウムの電解工場建設。 |
| 1942 | 加のドミニオン社がビジョン法によるマグネシウムの製造開始。 |
| 1943 | 独がノルウエーにマグネシウム電解工場を建設したが、戦災で閉鎖。 |
| 1951 | ノルウエーのノルスクヒドロ社が I.G. 法による工場建設。 |
| 1956 | 栃木県小山で古河マグネシウム㈱がビジョン法によるマグネシウムの製造開始。 |
| 1964 | 仏の Sofrem (ソフレム) 社 (ペシネー社) がマグネテルム法によるマグネシウムの製造開始。 |
| 1966 | 山口県宇部で宇部興産㈱がビジョン法によるマグネシウムの製造開始。 |
| 1969 | 米のアメリカン・マグネシウム社が塩素・マグネシウム電解工場建設。 |
| 1988 | 富山県高岡で日本重化学㈱がマグネテルム法によるマグネシウムの製造開始。 |
| 1989 | ノルスクヒドロ社がカナダでマグネシウムの製造開始。 |

注：上記の間、内外ともにマグネシウム生産事業の新規参入や撤退がみられたが、1994年12月現在、わが国でのマグネシウム地金の生産は休止状態にある。

3. 3 おわりに

マグネシウムの歴史わが国を中心に振り返ってみたが、決して平坦な道を歩んで今日に至ったのではないことは理解できる。今後は、環境対策やリサイクルなどの実現により地球環境に優しいマグネシウムとして、輸送機器部品や電子・電気機器部品としての需要は急伸するものと確信するが、それにも増してリサイクルの実現が大いに期待される。

本稿では、海外のマグネシウムの歴史にはほとんど触れていない。内外における主なマグネシウムの工業化の経緯^りを表1に示すので参考にされたい。

参 考 文 献

- 1) 諸住：マグネシウム読本，カロス出版，(1997)，7.

4. マグネシウムダイカスト成形技術

4.1 マグネシウムダイカストの基礎

4.1.1 まえがき

マグネシウムダイカストは、当初軽量化を狙いとして使用されてきたが、現在は合金の特性を活かし、高性能を重視する構造部品、超軽量化（薄肉化）を求めるOA機器・AV機器等に幅広く採用されているが、アルミニウム・亜鉛ダイカストに比べると、その生産量は非常に少ない。しかしながらユーザー仕様の厳しさに対して高純度合金の開発による耐食性の向上、表面処理技術（防錆、塗装、メッキ等）の進展及び鑄造機、その周辺機器の改良による薄肉化、後加工等の見直しによって他ダイカストの品質、コスト面等でも十分競合できるようになった。これらのことは金型の精度アップ・鑄造技術の進歩が、大きく寄与している。

最近のマグネシウムダイカストの用途は多様化してきた。昭和43年（1968年）頃までは、軽さを狙いとした手持ち機器（チェーンソー等の農林機器用他）、昭和48年（1972年）頃になり、バイクの需要が急激に増えたことでマグネシウムダイカストの生産は著しく増加した。バイクの減少により自動車のシリンダーヘッド・ステアリングホイール、釘打機及び電動工具等が前述の農林機器と共に生産されるようになった。平成8年（1996年）頃よりコンピューターの軽量化に伴い今までにない超薄肉（0.6mm）が要求されるようになり、ついでマグネシウム合金の持つ電磁波・電波障害防止性を取り入れたOA機器・AV機器や携帯電話機等の生産を担うようになった。

一方米国では、省資源・省エネルギーの見地から自動車大型部品（ミッションケース、インストルメントパネル等）の生産も始まった。当然近い将来日本においても大型部品の生産は開始されることであろう。

以上の事柄から、扱いやすい合金の開発は勿論溶解時の不活性ガス、各種溶剤、溶解関連設備の研究、大型化に対する生産設備（鑄造機・給湯機等）、加工設備、加工技術、後処理工程の対応等数多くの課題がある。それらは十分にクリアしなければならない。尚、マグネシウムダイカストにはそのほか環境浄化としてのスクラップ処理・スラッジ処理が付随するが、生産活動の一環として取り組まなければならない。図4-1-1にマグネシウムダイカストの製造工程を紹介する。

① マグネシウムダイカストの動向

マグネシウムダイカストは、今まで主として軽量化のために使用されてきた。

その使用例として

～1. 農林機器 : チェンソー、刈払機、撒粉機等

～2. 手持工具 : 釘打機、電気ドリル等の電動工具類等

～3. 車 輛 : 二輪車のエンジンカバー、四輪車のヘッドカバー、ステアリングホイール等
最近（1996～98）になってマグネシウムダイカストの利用の焦点は、大きく様変わりしてきた。

～1. 地球環境良化 : リサイクル化（省エネ、省資源）

- (大気汚染対策) 再溶解時の溶剤, 溶解時の各種不活性ガスの削減等
- ～2. 電磁波対策 : 電磁波シールド性
- ～3. 更なる軽量化 : 薄肉化
- ～4. 剛性対応 : 対プラスチック
- ～5. 資源調達の将来性 : 海水を始め地球上に多量にあり生産も向上
- ～6. 電波障害対応 : 無線周波の保護
- ～7. 大型部品の対応 : 省エネを主とする四輪車大型部品

利用面もコンピューター, 携帯電話機, ビデオカメラ等の他四輪車用品の需要が増加してきた。

これらの事に伴い, ダイカストメーカーによるマグネシウムダイカストの操業計画が多く図られ, またプラスチック成形メーカーのチクソ法による製品も生産されるようになった。このようにマグネシウムダイカストの利用とその需要拡大を予測し各々のメーカーは対応を講じている。

- ～1. 材料メーカー : 高純度化, 高品質で扱いやすい多品種合金地金の安定供給と世界的視野における価格の低減を図っている。
- ～2. マシンメーカー : 安全性と生産性の高いマシンと付帯機器(給湯機等)の製作と改善を図っている。(ホット, コールドマシン共に)
射出機構の新しいものとして, 4速制御をもつ超高速射出シリンダーが開発された。(コールドマシン)

② 最近の主な使用例

- ～1. 四輪関係 : 材質の多様化 (AZ91, AM, AS 系合金)
多くの機能部品・ミッション・ケース, 座席フレーム, ステアリング・ホイール, インストルメントパネル等
- ～2. OA, AV 機器 : コンピューター, ミニデスク等
- ～3. 通信機器 : 携帯電話機 (薄肉化)
- ～4. 光学関係 : ビデオカメラ, デジタルカメラ, 双眼鏡, 映写機, スチールカメラ
- ～5. 手持工具 : 農林機器用エンジン部品
- ～6. 玩具 (ホビー) : レーシングカー用 (シャーシー, ホイール)

③ 今後の問題点

- ～1. リサイクル方法の確立 : フラックスレス法 (大気汚染対策)
- ～2. 二次公害の防止 : スラッジ, ドロスの処置
- ～3. 後加工工程の削減 : トリミング, シェーピングプレス, 塗装 (安全性を含めて)
- ～4. 難燃性合金の開発 : 金属カルシウム等の添加 (規格化)
- ～5. 安全性, 公害防止策の公表 : 各企業の積極的な研究とその発表

最近の生産量（アルミ，マグネダイカストの比較） 1997年

アルミ D/C（年間） 820,000トン

マグネ D/C（年間） 2,600～2,800トン（アルミの0.34%）

マグネダイカストは，今後年間5～10%の伸びが期待できると思われる。（特に電気・電子分野のミニデスク，ビデオカメラ，コンピューター及び携帯電話機部品のマグネ化が進んでいる）

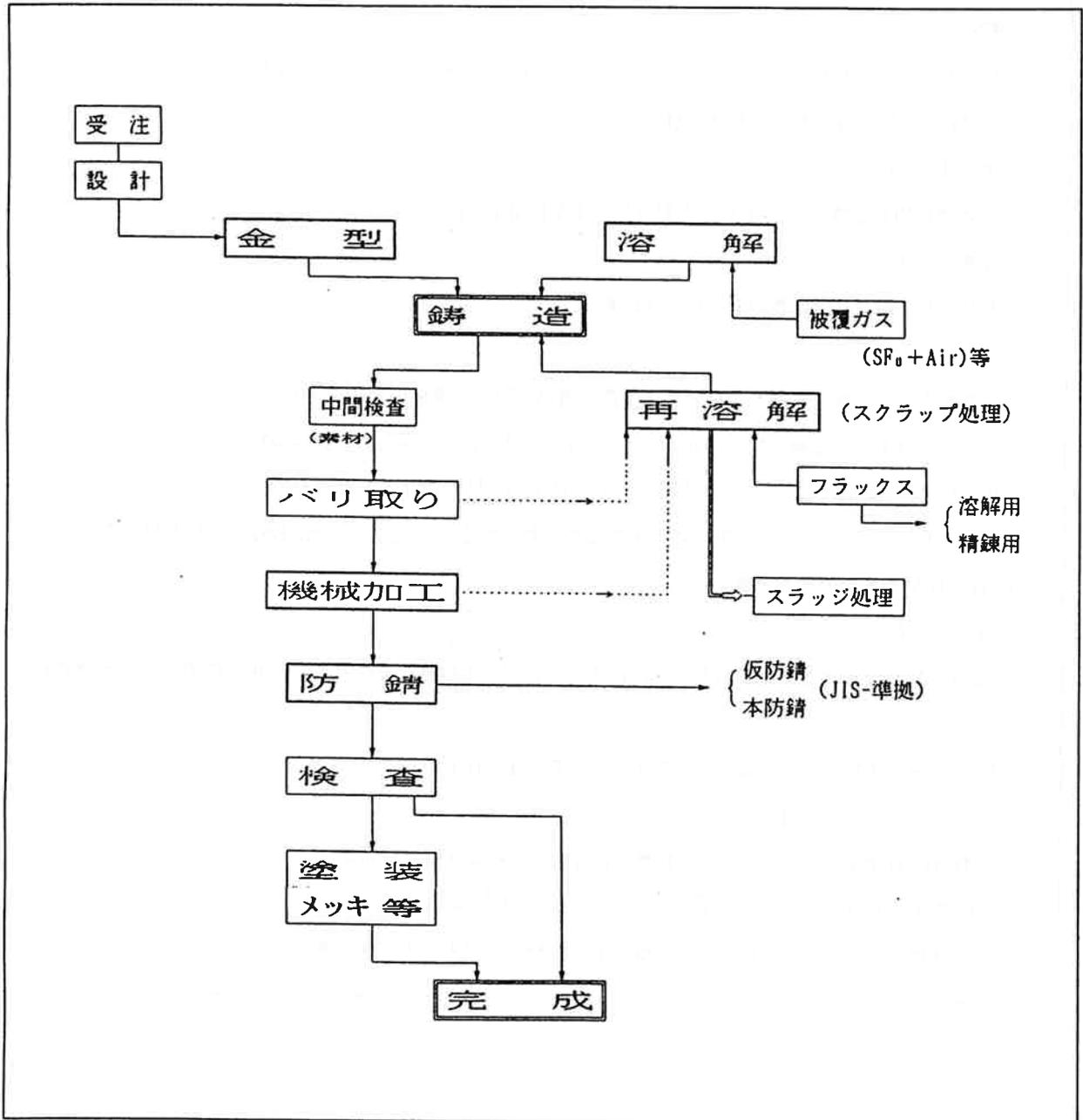


図4-1-1 マグネシウムダイカスト製造工程

表 4-1-1 Mg 合金に及ぼす元素の影響

主な添加元素（有効元素）：Al, Zn, Mn, Si, Be, Ca

その他の元素 : Cu, Fe, Ni, Co

1. アルミニウム：(Al)

湯流れの改善，鬆け巣，鑄造割れ防止に効果がある。固溶体強化（Mg素地の強化）や $Mg_{17}Al_{12}$ の晶出により引張り強度，耐力は向上するが，伸びは低下する。

2. 亜鉛：(Zn)

固溶体組織の強度の向上，重金属元素による耐食性低下を抑制する。Znが増えると（2～5%位）凝固温度範囲が広がるため，鑄造割れをおこす。

3. マンガン：(Mn)

Feと化合物を生成して，Feによる耐食性低下を抑制する。

4. 珪素：(Si)

高温強度，耐クリープ性の向上に効果がある。

5. ベリリウム：(Be)

溶湯表面に薄い酸化皮膜を形成して，酸素の透過を防いで溶湯の酸化を防止する。

マグネシウム合金溶湯の酸化防止に効果がある。添加量：(0.0005～0.0015%)

Beがあまり多くなると合金組織が粗くなり鑄造割れの原因になると言われている。

繰り返し溶解するとBeは減耗するので添加が必要となる。Be母合金（Al-Be2.5%）を使用する。

Beは毒性があるので注意を要する。

6. カルシウム：(Ca)

Caは当初，酸化防止に使われたが，持続性がないので使われなくなり割れ防止に添加されたとされる。（鑄物）

Ca（1～5%）含有合金は，難燃性合金として研究されている。

7. その他の元素：不純物（Cu, Fe, Ni, Co）

これらは耐食性を低下させる。不純物の含有量は，下記数値以下がよい。

Cu：900^{ppm}（0.09%） Fe：100^{ppm}（0.01%） Ni：50^{ppm}（0.005%） Co

溶解時には原材料，返り材，及び溶解治工具等からの混入の防止を考慮する。

4.1.2 ダイカストマシン

4.1.2.1 ダイカストマシン

ダイカストマシンは、一般的には、コールド・チャンバーマシンとホット・チャンバーマシンの2機種に分類される。その他形式別に分類すると次のようになる。

～1. 射出方向による分類

a. 水平方向射出式

イ. 横型コールド・チャンバー

ロ. 横型ホット・チャンバー

b. 垂直方向射出水平型締式（ポーラック式）

c. 垂直方向射出垂直型締式（エッケルト式）

～2. 型締方式による分類

a. 直圧式

b. トグル式

c. ウェッジロック式

d. コンビネーション式

～3. 動力源による分類

a. 手動式

b. 水圧式

c. 油圧式

d. 電動式（機械式）

e. 空圧式

～4. その他（鑄造方式による）

a. アキュラッド方式

b. 真空方式

c. 無孔性方式

以上のようにマシンの構造，機構や動力源により分類できるが，本質的にはコールド，ホットチャンバーに大別される。（加圧室方式による分類）

動力源分類の手動式は大正年間にわが国に初めてダイカストが，導入された時より昭和20年頃まで使われていた。溶湯はアスベストカップに注がれ手動によりトグル方式で型締めし，長いレバーを介して手動で圧入する方式である。いまでこそダイカストマシンのほとんどが，油圧ポンプで作動しているが，昭和20年後半までは水圧ポンプによるマシンが，大半を占めていた。ダイカストマシンは型締力5トンより4,000トン以上のものまで製造されている。小型機は空圧，電動モーターで駆動され多くはホット・チャンバー機で亜鉛合金，その他低溶融合金用として使われる。マシンの大きさは一般的に型締能力のトン数で表している。型締力は，コールド・チャンバーで射出力の

10～20倍位，ホット・チャンバーで20～40倍が普通である。

ダイカストマシンは型締機構と射出機構及びポンプ等駆動部分から構成されている。型締めは確実に早く締めり金型を保護できる機構であればよい。射出機構についてはメーカー各社が各々特徴を活かしたものを製造しているが一長一短がある。ダイカストメーカーは，製品設計思想，使い勝手を考慮してマシンとの適合性を調べるべきである。

プランジャー速度 低速：0.1～0.6m/sec

高速：2.0～8.0m/sec

プランジャー変位 2段，3段（低速，高速，増圧）最近4段変位もある

（低速，高速，減速，増圧）←

サージ圧発生抑止 型開きによるフラッシングの防止機構

以上3項目は特に検討が必要である。

ポンプの吐出量の大小，油圧機器の容量が適切でないと生産性，操作上に影響が出るので充分確かめる必要がある。特に生産性向上のためのサイクルアップに追従できない，油圧機器の流量不足による作動不具合，自動化対応が満足にできない等支障が起きる。

4.1.2.2 マグネシウム D/C 用マシン

コールド・チャンバー機には特にマグネシウム合金専用としてはないが，現在使用中のコールド・チャンバー機の大部分のものが使用できる（図4-1-2）。

ホット・チャンバー機には特にマグネシウム合金専用のものがある。亜鉛ダイカストホット・チャンバー機との相違は溶解保持炉とグースネック部分で型締，射出機構は殆ど同じである。

次頁以降に各種ダイカストマシンの略図とコールド・チャンバー，ホット・チャンバー機の射出部の動作過程を表示する。

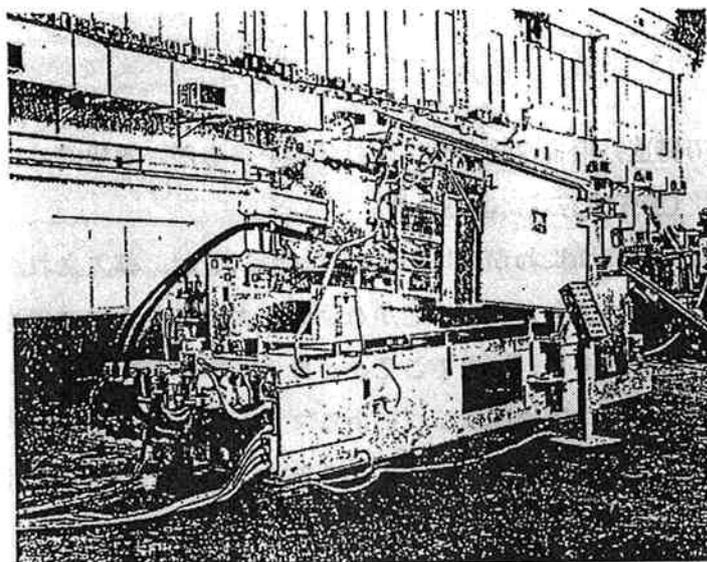
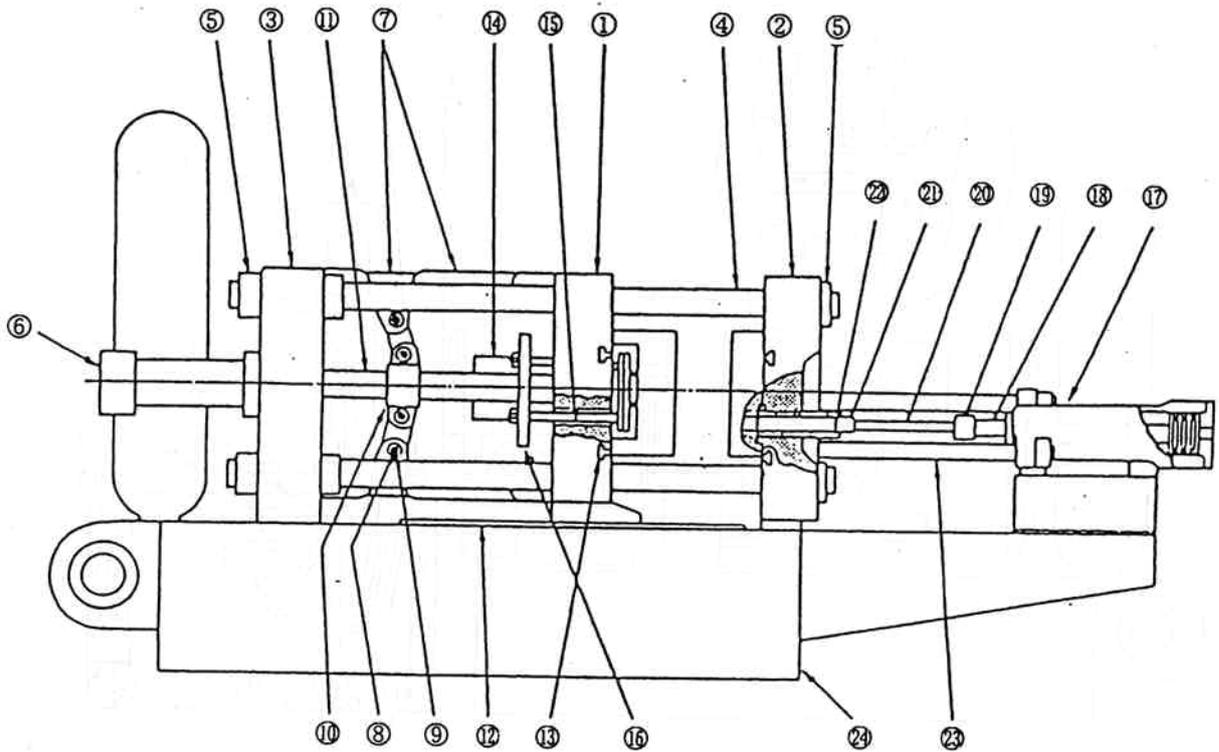


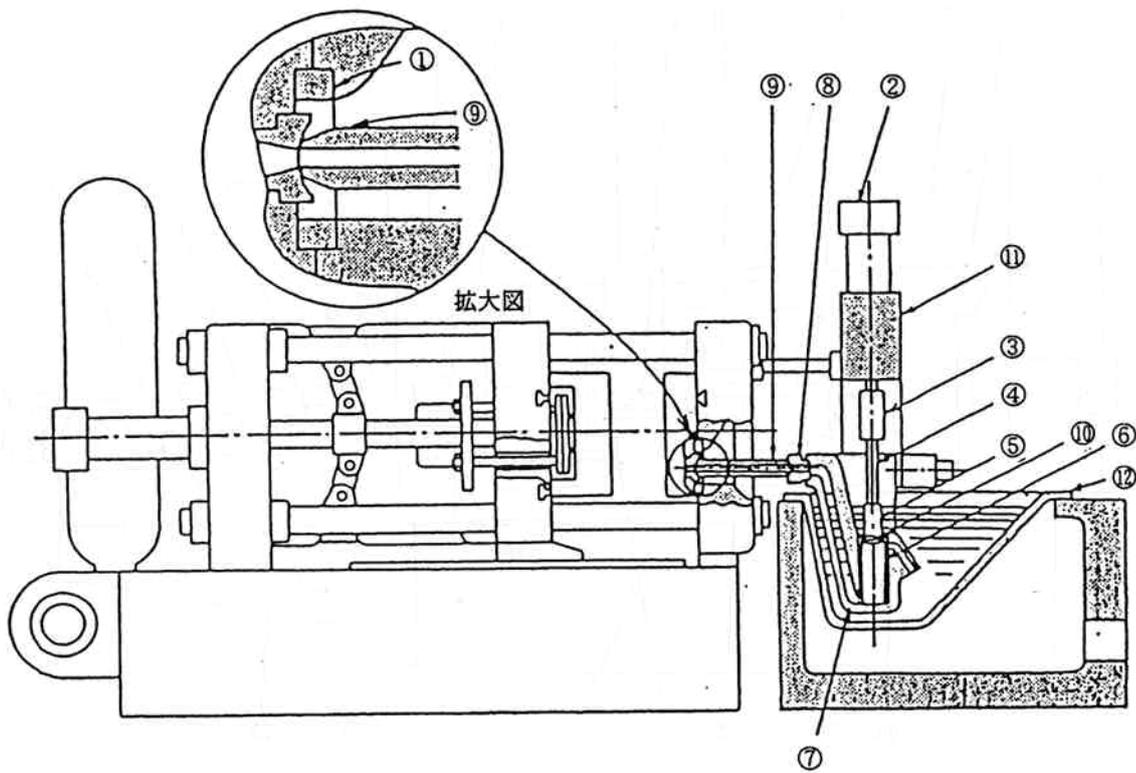
図4-1-2 ホットチャンバーダイカストマシン



| 番号 | 名 称 |
|----|----------|
| ① | 可動盤 |
| ② | 固定盤 |
| ③ | リンクハウジング |
| ④ | タイバー |
| ⑤ | タイバーナット |
| ⑥ | 型締シリンダ |
| ⑦ | リンク |
| ⑧ | リンクピン |
| ⑨ | リンクピンブシュ |
| ⑩ | クロスヘッド |
| ⑪ | ガイドバー |
| ⑫ | 可動盤滑り板 |

| 番号 | 名 称 |
|----|----------------|
| ⑬ | Tみぞ |
| ⑭ | 押出シリンダ |
| ⑮ | 押出ロッド |
| ⑯ | 押出バンパプレート |
| ⑰ | 射出シリンダ |
| ⑱ | 射出ピストンロッド |
| ⑲ | ブランジャロッドカップリング |
| ⑳ | ブランジャロッド |
| ㉑ | ブランジャチップ |
| ㉒ | スリーブ |
| ㉓ | 射出タイバー |
| ㉔ | ベースフレーム |

図 4-1-3 コールドチャンバーダイカストマシンの各部の名称と機構



| 番号 | 名称 |
|----|----------------|
| ① | ロケートリング |
| ② | 射出シリンダ |
| ③ | プランジャロッドカップリング |
| ④ | プランジャロッド |
| ⑤ | プランジャチップ |
| ⑥ | スリーブ |
| ⑦ | グースネック |
| ⑧ | グースネックチップ |
| ⑨ | ノズル |
| ⑩ | プランジャリング |
| ⑪ | ヨーク |
| ⑫ | メルティングポット |

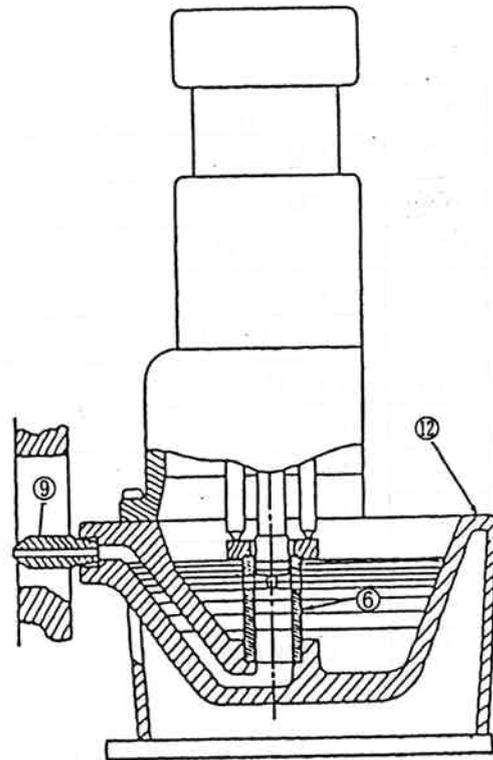


図4-1-4 ホットチャンバーダイカストマシンの各部の名称と機構

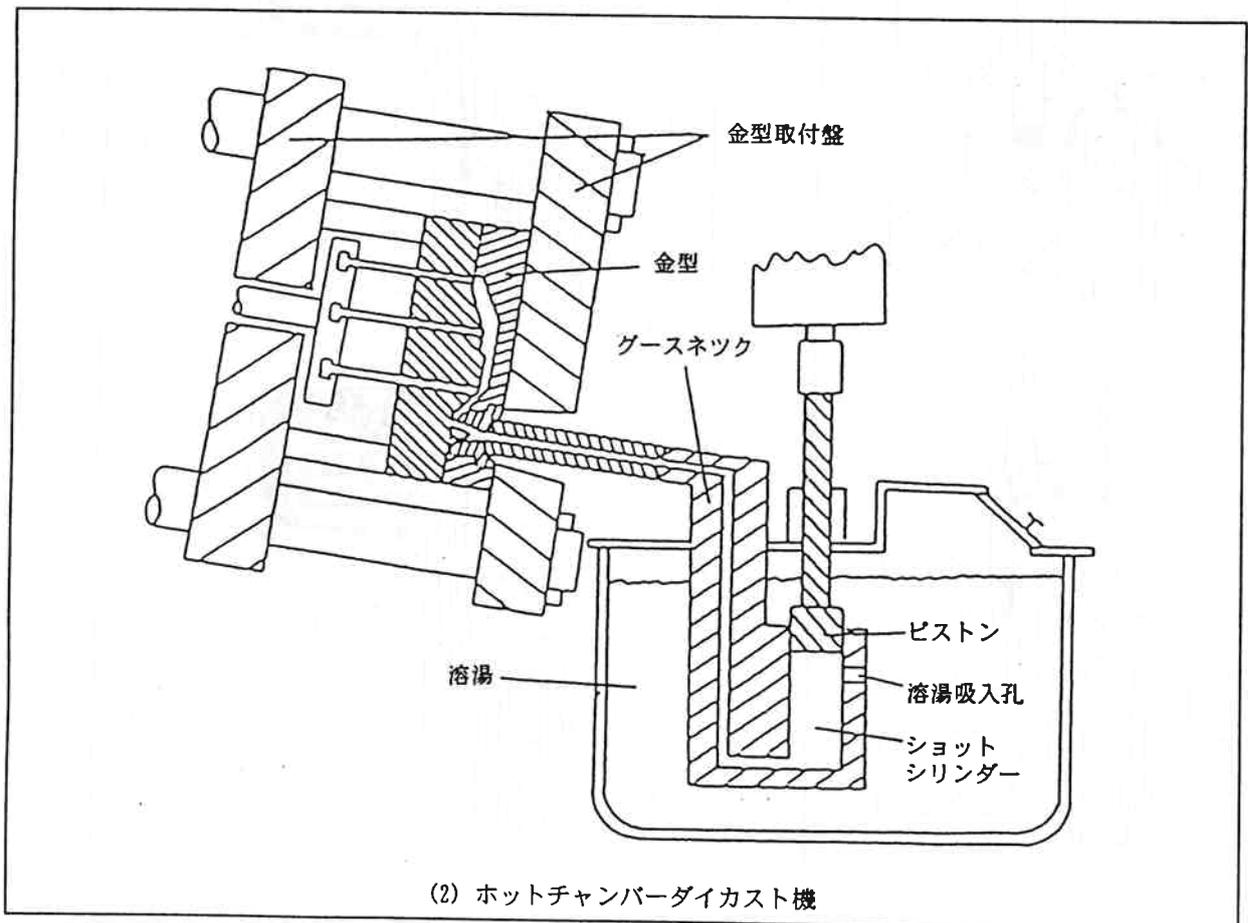
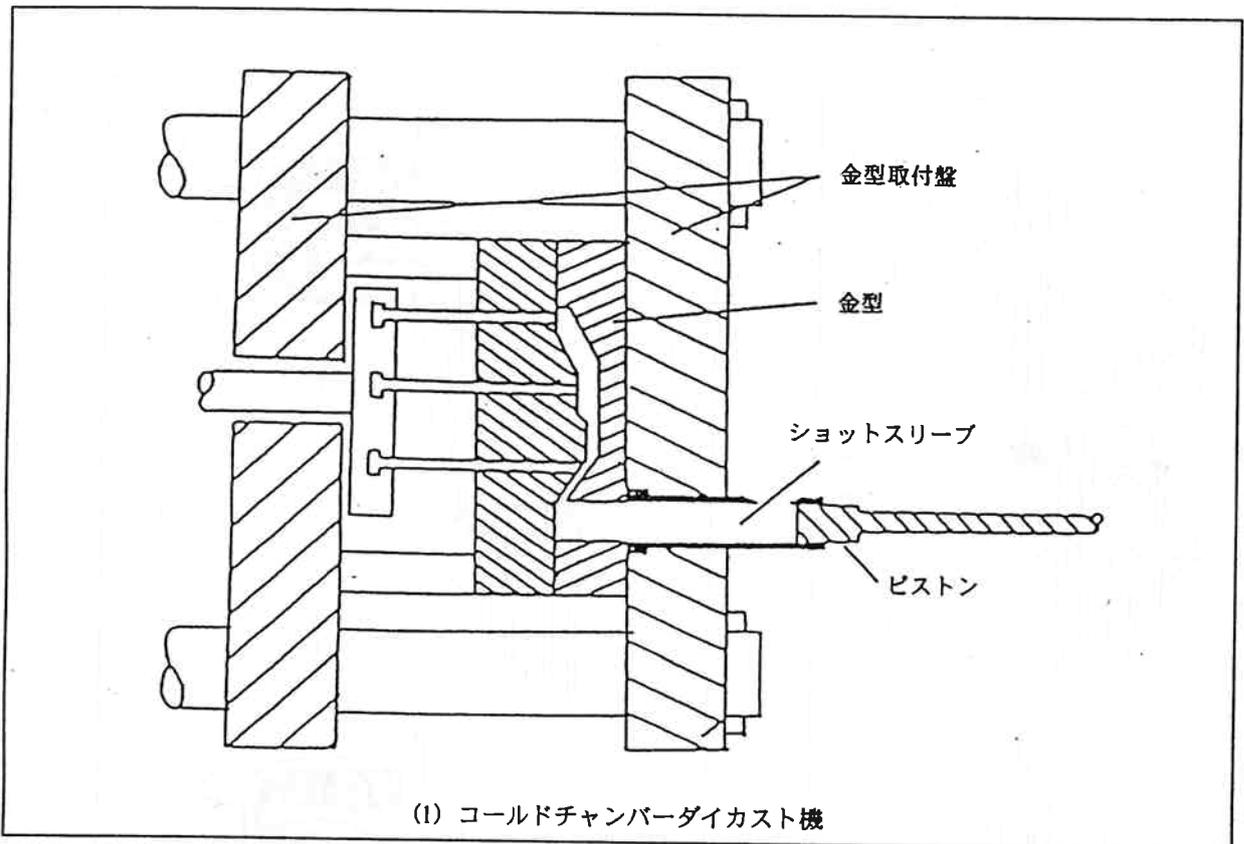


図 4-1-5 射出部分図

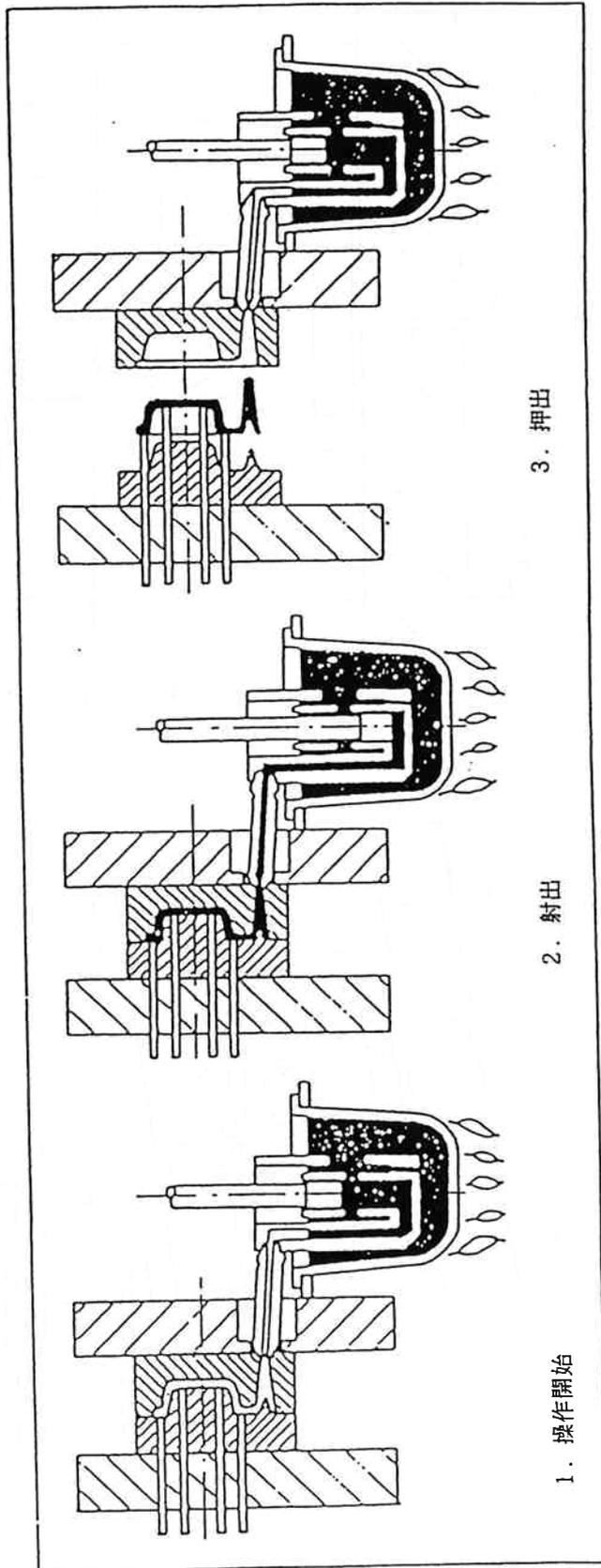
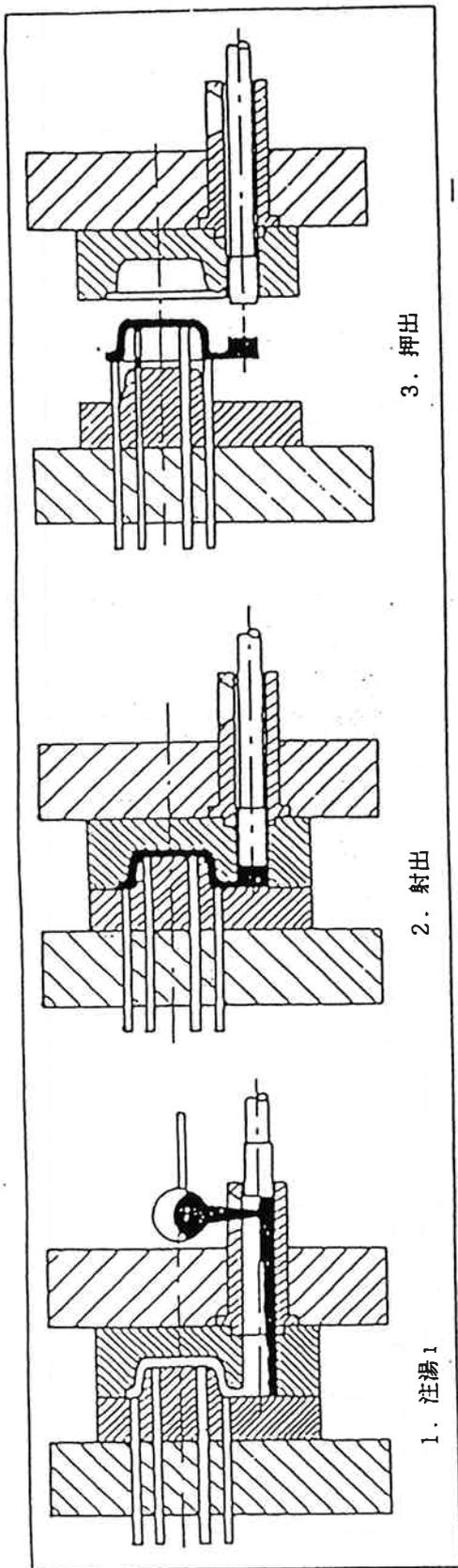


図4-1-6 射出作動部

マグネシウム合金用ホット・チャンバーマシンの利点と欠点

利点 a. 生産性がよくなる。○コールド・チャンバー：約25秒
○ホット・チャンバー：約20秒 } 300トンクラス
の比較

- b. 鑄造圧力が低いので投影面積の大きい製品ができる。
- c. エアーの巻き込みが少ないためオーバーフローが小さくでき、鑄巣の少ないものができる。
- d. 給湯時の酸化がないので良質のものができる。
- e. 給湯による湯こぼれがないので危険が少なく防火上にもよい。
- f. 溶湯温度が低いので燃料が少なくすむ。
- g. 鑄造圧力が低いので金型寿命が長くなる。
- h. 炉蓋の開閉頻度が少ないので被覆ガス使用量が少ない。
- i. 自動化と台持ち作業が容易になる。

欠点 a. マシンが高価である。

- b. 射出部の消耗部品が高価である。
- c. 射出部の部品交換に時間がかかる。
- d. ノズルと型台面から湯が吹き出すことがあり安全面に劣る。
- e. ノズル、グースネックの加熱のための燃費がかかる。
- f. 原材料の変更が困難である。

4.1.2.3 マグネシウムダイカストの自動化

ダイカストの自動化には、何れの合金とも次の装置が必要である。

- a. 自動給湯装置
- b. 自動取出し装置
- c. 自動トリミング装置
- d. 自動スプレー装置
- e. プランジャー潤滑装置
- f. 自動落下確認装置
- g. その他（ロボットによるもの）
パレダイジング
- 鑄込金具挿入装置

この中、マグネシウムダイカストで、特に検討しなければならないものは、コールド・チャンバーマシンにおける給湯装置である。ホット・チャンバーマシンについては、Mg は Al と異なり鉄との反応が少ない有利性を活かして、グースネックと称する給湯装置をメルティングポット内に浸漬設備している。この機の特質として溶湯が大気に触れないため酸化物の混入が少なく、溶湯が流体のまま鑄込まれ鑄肌が綺麗であり、射出圧が小さくてすむ等良い点もあるが、製品の機械的強度はコールド・チャンバーより多少劣る。

現在製造されているホット・チャンバー機の型締力は50トン～700トンで主に300トンが使われている。50トン～150トンの小型機は、コンピューター部品等の小物に、300トン以上のマシンは自動車、農林機械等の機能部品の鑄造に使われている。ある社の仕様をみると300、500、700トンのホット・チャンバー機ではルツボ容量480kg 鑄込重量2kg と同じであり、タイバー間隔560×740、740

×740, 可鑄面積1340cm²・2100cm²・3100cm²で型締関連が違い射出関連は大差がなく, 大きな表面積のものが可能であるが, 大型機といっても自動車のミッションケース, トランスケース等の重量(5~8 kg)の物は不可能である。これらのことは射出機構上特にゲースネックの大型化に問題があるためである。大型機能部品は, 当分の間コールド・チャンバーによらなければならない。大型化により従来の手汲み作業は自動給湯機に変わらなければならない。溶湯は密閉された管を経てルツボからショットスリーブに注湯される。その方法には遠心ポンプ, 真空吸引・ガス加圧方式等がある。遠心ポンプ装置では, 部品点数が多くインペラー等に問題があると思われる。真空吸引方式型鑄造機とスクリーン方式の炉がセットされた実験機が開発されたが下側からの合金の吸引, 下側射出の操作性に難点があると思われる。その後の実験結果については不明である。また大型, 重量物の鑄造には不向きである。ガス加圧方式による1250トン鑄造機の大物(6 kg)の量産試作時は特にトラブルはなかった。今後マグネシウムダイカストの大型化に伴い大型コールド・チャンバー機の使用が多くなり当然給湯機も必要になる。その時にはガス加圧方式は, 若干の問題を抱えているが推奨できる給湯方式である。(電磁ポンプ式が開発され使われるようになった。)

給湯装置による利点として

- a. 作業者の労力軽減, 安全確保
- b. 鑄造条件, 鑄造作業の安定化
- c. 溶湯の酸化, 不純物の混入防止

等がはかれる。

その他装置の中スプレー装置を除いたらアルミニウムダイカストとあまり変わることはない。現在の離型剤のほとんどは水溶性であるので, 始業時, 金型の彫り込みが深い物の鑄造時に離型剤の水分が残留することがあり, そのまま射出して暴発事故につながる恐れがある。充分注意すると共に金型の予熱, 標準作業を励行して安全第一の効率のよい自動化を図るべきである。

4.1.3 金型

ダイカストは, 材料, ダイカストマシン, 金型から成り立つ, 特に金型の優劣は, 製品の良否と生産性を決定する重要な要素となる。そして, その構造が自動化に適合し, 価格も妥当であり, 必要十分な機能を持ち, 耐用命数の長いものが望まれる。

マグネシウムダイカスト金型は, 他のダイカスト金型と同様な考え方で設計できるが, 熱容量が小さいので冷却孔の他に加熱孔が必要なことである。マグネシウムはアルミニウムより鋼材を浸食することが少ないので, アルミニウム金型より30~50%は長持ちする。キャビティ部は, 耐熱鋼材(JIS, SKD6, SKD61)が一般的でHRC42~46位に熱処理されて使われる。

金型構造(キャビティ, 母型, ダイベース)の剛性が不足すると, せっかくの金型精度が, 歪み, 寸法不良, かじり等の発生により反映できない状態になる。

4.1.3.1 金型の種類と構造

a. 取り数による分類

- (1) 一個取り金型
- (2) 同形多数個取り金型
- (3) 異形多数個取り金型：大小，左右等のセット取りで，生産数のバラツキと鑄造サイクルの遅い方に同調してしまう。

b. 構造による分類

- (1) じか彫り型：おも型にじかにキャビティを彫り込む，小型ダイカストマシン用
- (2) 入れ子型：低級鋼のおも型に高級ダイス鋼をはめこんだ構造で一番多く使われる。
- (3) 共通おも型式：一個のおも型を多数の入れ子型（キャビティ）が共有する構造
- (4) ユニットダイス：標準のおも型にガイドピン，押出装置，冷却機能を持った入れ子型多数を付属させ短時間に入替える方式

c. ダイカストマシンによる分類：金型の鑄込口，分流子の形状が異なる。

- (1) ホットチャンバーマシン用金型
- (2) コールドチャンバーマシン用金型：縦型，横型縦射出，横型横射出式マシン用

4.1.3.2 金型の主要部名称（湯道，湯口の名称と種類等）

図7に示す。

4.1.3.3 金型の設計

金型を設計するには，キャビティは勿論次の項目も充分考慮しなければならない。

a. 湯口方案（検討項目：湯口，湯道，湯溜り，ガス抜き）

- (1) 湯口：湯口の位置，及び種類は，キャビティの形状や製品の品質特性，後加工方法を考慮してきめる。（位置は一般的に肉厚部より肉薄部方向に向かって付ける）

- 湯口の種類
- ① サイドゲート：湯口取りのあと仕上げを要す
 - ② パットゲート：プレスによるトリミングが良い
 - ③ スプリットゲート：湯口取りのあと仕上げを要す
 - ④ エントゲート：手折り専用

- (2) 湯道：湯道の設定は，湯流れ方向，充填性を決める重要なものである。湯道が大きすぎると，返り材が多くなり，湯口部の過熱によりキュアリングタイムが長くなり，生産性の低下となる。通常製品歩留（製品重量／鑄込重量％）は70%を目標とする。

- ① 湯道の形状：湯道の断面形状が大きくなると，溶湯に接する湯道の表面積が大きくなり溶湯温度が低くなるので，あまり大きくしない方がよい
湯道の厚さ(D)と幅(W)の比は1：2.5位
(アルミは1：4位)

湯道は、一般的に可動型に彫られる

- ② 湯道の形状と流速の関係：流速は湯口，湯道の断面積により変化する。

減速型：断面積の順次増加する湯口

増速型：断面積の順次減少する湯口

定速型：断面積の一定している湯口

マグネシウム合金は，増速型がよい。(図参照)

- (3) 湯溜り：湯溜りには次の機能がある。

- ① 酸化物，離型剤，潤滑剤のかす，チルメタル（温度の低下した溶湯）及び空気の溜り場

- ② キャビティのコーナー等停滞した溶湯を導き出す。

- ③ 金型の温度のバランスをとる。

- ④ 湯流方向を多少変える事ができる。

位置，大きさはキャビティ状態により検討し，修正できるタイプがよい。

湯溜り湯道（オーバーフローゲート）：湯溜りのゲート総面積は，湯口面積の60～75%がよい。ガス抜きと組合わせて使う。

湯溜り位置：湯流れの末端，湯の合流する所，空気，ガスの抜けにくい所，肉厚の変化の甚だしい所がよい。

- (4) ガス抜き（エアレント）：ガス抜きは湯口と同じく重要なもので，その位置は最初に溶湯が流入しないところにつけ断面積は，湯口面積の50%以上が必要と言われている。

ガス抜きの厚さを大きくすればする程効果はあるが，フラッシングの危険性と製品の充填性に影響がでる。(ガス抜き形状図を参考にされたい)

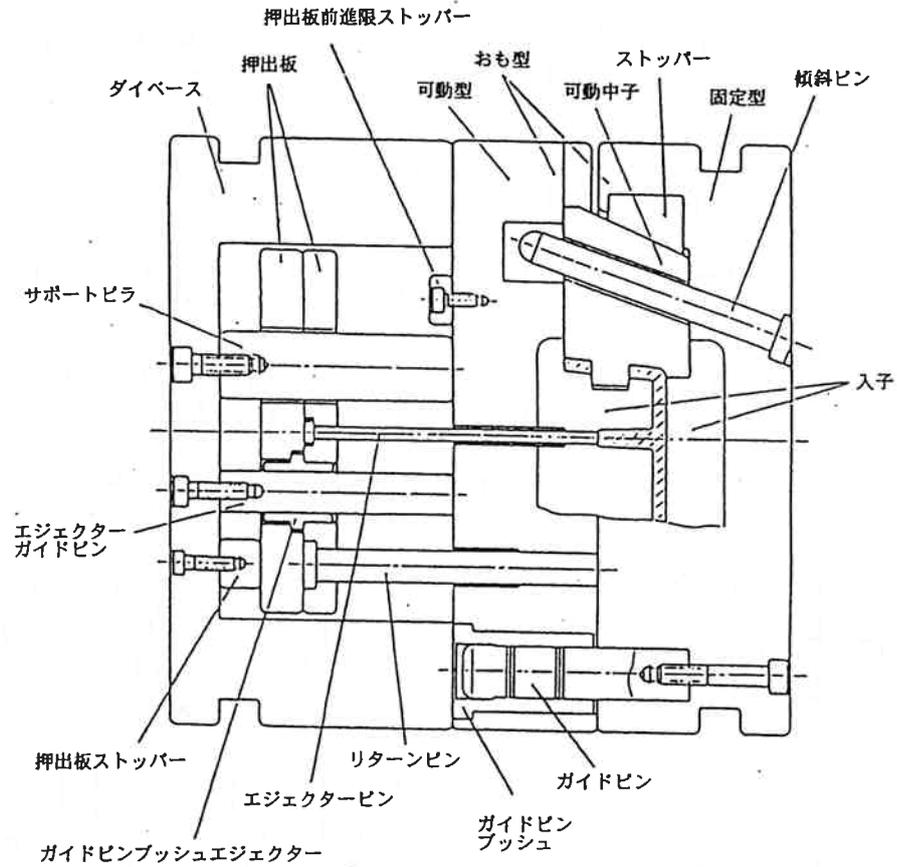
- (5) 剛性設計：ダイカスト作業で鑄ばりがでることがある。金型面にばり残りか異物を挟んだ時等作業ミス他にダイカストマシンの型締機構（タイバーの伸び）によるものと金型の剛性不足による「たわみ」が原因になることがある。

母型，ダイベースの剛性不足により鑄ばりがでると焼付，中子ピン，押出ピンの折損，型割れ，ヒートチェックの発生原因となり型寿命の低下につながる。

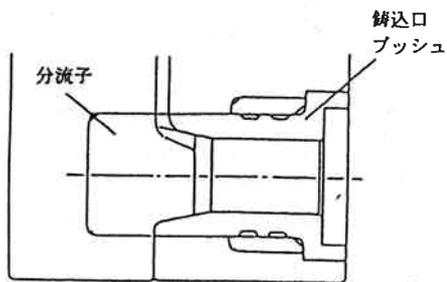
「たわみ」量を鑄ばり発生限度0.1mm以下にすれば，鑄ばりの発生を押さえることができる。金型の剛性対策として，可動型を厚くする，ダイベースを適正に配置する。(スパーンを狭くする)ピラー，押出ガイドポストを活用する等が考えられる。

- c. 型分割面：固定型と可動型の境界面で，普通製品の最大投影面積のところを型分割面にする。不規則な分割面は，加工精度がわるくなるので，単純な平面になるように設計することが望ましい。

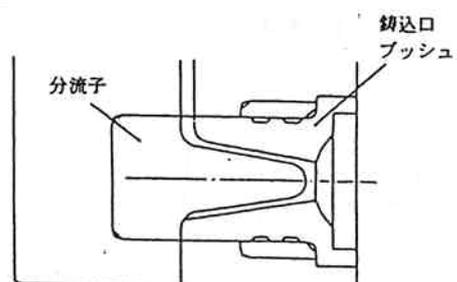
- d. 縮み代：熱膨張係数は金型（鋼）より合金の方が大きいので，製品を金型から取り出したあとは，収縮量が金型より大きいので，製品寸法は小さくなる。そのために



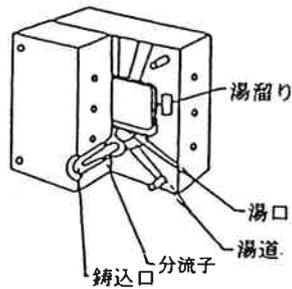
金型構造図



コールドチャンバー鋳込口



ホットチャンバー鋳込口



湯口系の名称

図4-1-7 金型の名称

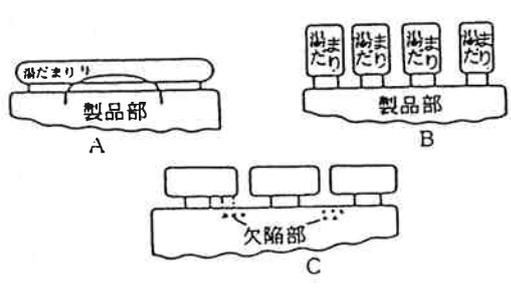
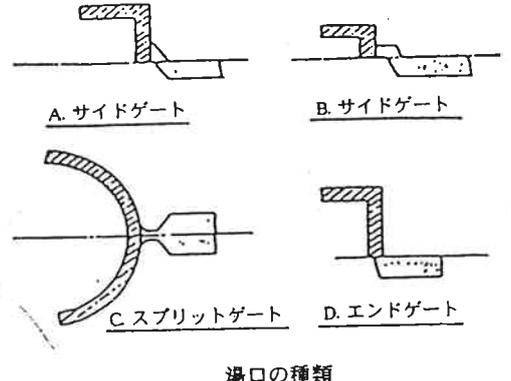
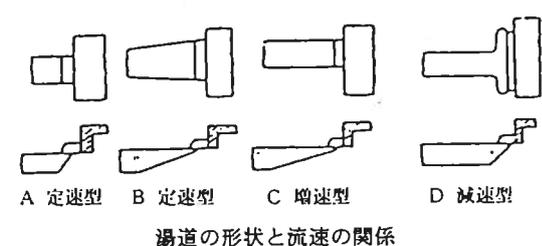
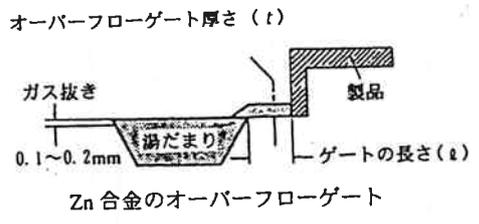
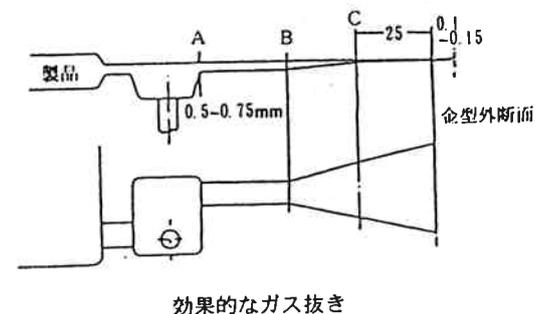
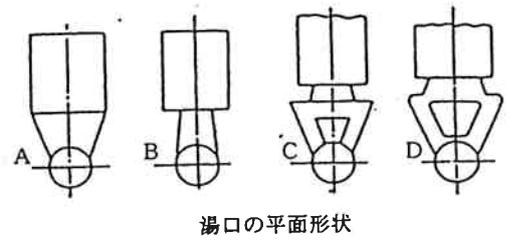
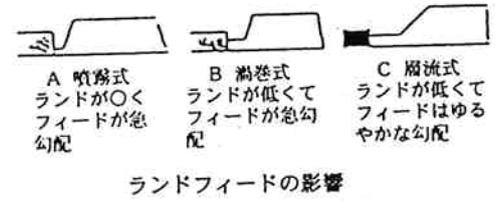
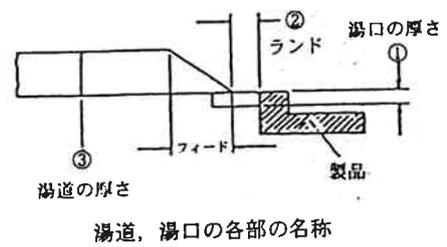
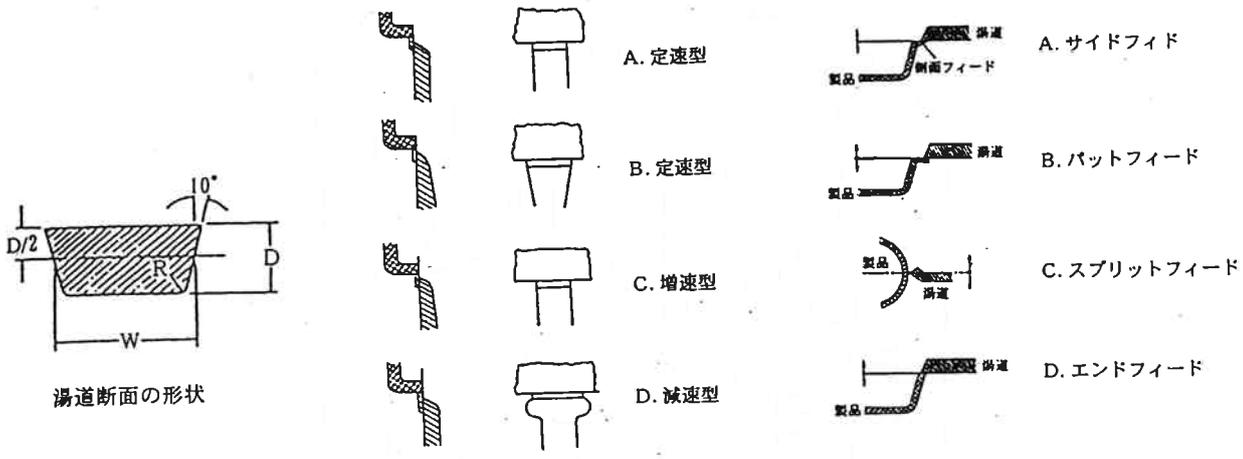


図4-1-8 金型の設計

金型寸法は、製品寸法よりある比率だけ大きく彫らなければならない。この比率を縮み代とといい、各種合金により異なる。

縮み代の概算値

マグネシウム合金：6/1000 (6/1000～8/1000)

参考 アルミニウム合金：6/1000 (5/1000～8/1000)

なお取出温度、鑄造条件、製品の大小、複雑の程度により製品寸法は多少の変動があるので、試作時に寸法を確認しなければならない。

e. 抜き勾配：外壁1/50、内壁1/25が標準であるが、客先との技術打合わせによって決めることである。(安易に厳しい数値に妥協すべきではない。)

f. 金型温度の管理：型温の管理は他の鑄造条件と共に製品の安定化には大切な要素である。溶湯の熱容量が小さいので、ある部分については加熱が必要な箇所もある。勿論湯口部分や過熱箇所は、冷却しなければならない。要は型温の平均化を図ることである。型温は220～250℃が適当であるが、高い方がよい。

g. 可動中子の引抜き方法

(1) 機構的な引抜き法

① 人力を用いる方法

○ラック・ピニオン方式 ———— ほとんど使われていない

○ネジ方式 —————

② 金型の開閉を利用する方法

○傾斜ピン方式：引抜き量100mm位まで、傾斜ピン角度は22.5°以下

○カム方式：引抜き量は、金型開閉ストロークの1/3以下

(2) 液圧、空圧による引抜き方法 (コアプーラ)

この方法の装置費用は高くなるが、引抜き量の制限はない。他の方法より鑄造サイクルは一般的には長くなる。

(3) 可動中子のはめあい

作業温度の変化により熱膨張係数も変わるので一定はできないが、目安としてH7～f7の「すきまはめ」か、0.1%の隙間がよい。試作時の作動状況で修正することが望ましい。

h. 置中子方法

内側のアンダーカットの場合に使われるが、使い方が煩雑であるのであまり使われない。

i. 製品押出方法

(1) 押出方法には、ラック・ピニオン方式、バンパー方式があるが、あまり使われない。現在ではほとんどが、マシンに装置してある油圧押出方式が使われている。

(2) 押戻し方法、ラック・ピニオン方式、リターンピン方式、油圧方式がある。ほとんどがリターンピン方式か油圧方式を採用している。

(3) 押出しについての注意

① リターンピン戻しの場合、ピンが固定型に叩かれて短くなり、押出ピンが完全に戻らないときがあるので注意が必要である。

② 太い押出ピンをできるだけ使うようにする。8φのピン1φ本は4φのピン4本分の力がある。

③ 押出板の加工寸法（孔ピッチ，孔径，座ぐり深さ）は正確であること。
熱膨張の対策として孔径，座ぐり深さに余裕を持たせる必要がある。

押出ピン部径は+0.4~0.5 (押出ピンに対して)

座ぐり孔部径は+0.2~0.4 (押出ピンに対して)

座ぐり孔深さは+0.05~0.1 (押出ピンに対して)

が一応の目安となる。

4.1.3.4 金型の加工法

金型の製作にあたっては、精度の確保向上と加工時間の短縮及び価格の低減を図らなければならない。製作工程は

○母型関係の加工 ○入れ子関係の加工 ○部品の加工 ○仕上げ組立 ○みがき作業
の5工程に大別される。

製法として、従来は汎用工作機（旋盤，フライス盤，ボール盤等）が使われたが，順次型彫機，放電加工機に移行し，更にマシニングセンター等による無人化が図られ，現在では CAD/CAM による方法が多くなっている。

4.1.3.5 金型材料とその熱処理法 (特に Mg 合金用としてはない，Al 合金用を使用する)

材 質：耐熱鋼 (Cr, Mo, V を含む) が主である。

その中で SKD6, SKD61 は特に耐摩耗性，高温強さ，熱処理性がよいとされてる。

熱処理工程：焼入れ → 焼戻し → 表面処理

焼 入 れ：適正な焼入れをしないと高品質の金型は得られない。

組織や変形を決定する重要工程である。

焼 戻 し：強靭性をきめ残留応力を除去する工程，硬度も決定する。

表 4-1-2 金型の大きさによる硬度目安

| 型 締 力 | 適正硬度 |
|-----------|-----------|
| >500トン | HRC 42~45 |
| 300~500トン | HRC 43~46 |
| <300トン | HRC 45~48 |

表 4-1-3 金型の厚さによる硬度目安

| 型 厚 | 適正硬度 |
|-----------|-----------|
| 220 mm | HRC 44 |
| 150 mm | HRC 45~46 |
| 100 mm 以下 | HRC 48 |

表面処理：韌性を持たせ表面のみを硬化させる。

型割れ、焼付、溶損、ヒートチェックが防止できる。

方法としてガス軟窒化法、イオン窒化法、炭化物被覆拡散法、浸透拡散処理等がある。

4.1.3.6 ヒートチェック

ヒートチェックは、キャビティ表面の加熱、冷却の繰り返しによって生ずる熱応力が蓄積されて発生する。(型材の熱疲労)

ヒートチェックを防止するには、型の予熱の励行と型温を高めにして鑄造することがよい。従って、金型は高温で鑄造しても焼付や製品が変形しないように設計しなければならない。

4.1.4.鑄造

4.1.4.1 鑄造法案

a. 事前検討 (案を決定する前に各項を検討する)

(1) 月間生産予定数と総生産予定数より金型の材質、取り数を決める。(金型コスト、鑄造コストの引き下げのため)

(2) 製品の大きさ(製品分割面の投影面積)より鑄造機の大きさを選定する(型寸法の確認)大ききさについてはある程度の幅を持った方がよい(例500トンにした場合650トンにも取付けできるようにする)

(3) 製品の算出重量より鑄込み重量を予測する

コールドチャンバー機の場合

$$\text{鑄込重量} = \text{製品重量} \times (1.3 \sim 1.8)$$

ホットチャンバー機の場合

$$\text{鑄込重量} = \text{製品重量} \times (1.2 \sim 1.5)$$

(4) 品質特性(外観、要求強度、耐圧性、寸法精度)

組立部品、インサート、表面処理方法を把握する

(5) 加工部分についての仕様を確認する(加工精度、寸法精度、加工工数、推定加工コスト)

(6) 加工治具 検具の確認

(7) 製品形状により分割面、ゲート位置、オーバーフローの取付位置を推定する

b. 製品設計

高品質、高歩留のダイカストを量産するには製品設計が適正でないとできない。鑄造案を決めるには事前検討項目を参酌して次の事項を充分考慮しなければならない。

(1) 肉厚の急激な変化は絶対に避ける。止むを得ない場合には階段状かゆるやかなスロープにする(収縮の変化が大きいため割れが発生する)

(2) 製品に強度が必要なときは肉厚を厚くしないでリブで補強して湯流れの改善と変形の防止をはかる

(3) ゲート部より最遠点までの距離は肉厚の100倍位までとする

L : ゲートより最遠点距離 $L \approx 100 t$

t : 肉厚

(4) 押出ピン位置は薄肉の平面, リブ先端部は避けてリブのクロスする箇所あるいは肉厚を補強してその上に押出ピンを付ける (高温強度が低いため)。

(5) 抜勾配とR付け 適当な抜き勾配と応力集中による割れ防止に隅部にRを付ける。

(6) 割れ防止に広い平坦平面部にはワッフルパターンを付ける。

(7) インサートを持つボスの場合はボス肉厚とインサートの外径, 肉厚の考慮が必要 (応力割れを生じる)。

(8) 耐圧部品の製品は一応含浸工程を考慮することが望ましい (マイクロシリコンゲージによる内部欠陥対策)。

表4-1-4 ダイカストの肉厚と表面積の関係

| ダイカストの表面積 (cm ²) | 最小肉厚 (mm) |
|------------------------------|-----------|
| 25 以下 | 0.85~1.2 |
| 25~100 | 1.2~1.7 |
| 100~500 | 1.7~2.5 |
| 500 以上 | 2.5~3.0 |

4.1.4.2 鑄造条件

ダイカストは少し前までは経験工学とも言われる程科学的に究明されていなかったが最近では各企業の研究も活発になり凝固解析, 金型温度制御, 湯流れの解析法等が発表されるまでになった。その根幹となるものは合金の特性, 金型の伝熱性, 鑄造機特性及び鑄造条件等である。これらを総合的に検討して鑄造方案は決定される。方案決定手順は次の通りである。

a. 充填時間

溶湯がキャビティで凝固する前にどのように充填を完了するかを検討するために凝固時間が問題となる。凝固時間は肉厚, 溶湯温度, 金型表面温度等によって左右されるが特に肉厚の影響が大きい。一般的には合金の充填時間は製品の肉厚によって決められる。

b. ゲート速度

マグネシウム合金は熱容量がアルミニウム合金に比べて小さいことまた鉄との親和力が弱いことでアルミニウムダイカストよりマグネシウムダイカストの方がゲート速度を早くすることができる。一般的には25~50m/sec であるが60m/sec の方が良い結果が得られる。概して薄肉製品は早い速度で厚肉製品は遅い速度で鑄造される。

表 4-1-5 AZ91 合金の充填時間

| 最小肉厚 (mm) | 型温260℃ ゲートから遠い箇所 | | 型温205℃ ゲートから遠い箇所 | |
|--------------|------------------|-----------|------------------|-----------|
| | 薄肉箇所のある場合 | 厚肉箇所のある場合 | 薄肉箇所のある場合 | 厚肉箇所のある場合 |
| 1.3 | 0.006 | 0.008 | 0.006 | 0.006 |
| 1.5 | 0.01 | 0.011 | 0.009 | 0.009 |
| 2.0 | 0.016 | 0.017 | 0.013 | 0.014 |
| 2.3 | 0.023 | 0.025 | 0.018 | 0.02 |
| 2.5 | 0.028 | 0.03 | 0.024 | 0.025 |
| 2.8 | 0.033 | 0.037 | 0.029 | 0.031 |
| 3.2 | 0.035 | 0.038 | 0.038 | 0.039 |
| 3.8 | 0.064 | 0.068 | 0.053 | 0.057 |
| 4.6 | 0.092 | 0.10 | 0.08 | 0.083 |
| 5.0 | 0.113 | 0.123 | 0.096 | 0.10 |

c. ゲート断面積

充填時間とゲート速度が決まれば次式によりゲート断面積が求められる。

$$A = \frac{Q}{V t}$$

A : ゲート断面積
 V : ゲート速度
 Q : ゲートを通過する溶湯体積
 t : 充填時間

d. 低速射出速度

設定が遅すぎるとスリーブ内での溶湯の温度低下があり、また早すぎるとスリーブ内のガスが十分に排出されない。一般的にプランジャー速度は0.1~0.6m/secが良いとされている。

e. 高速射出速度

プランジャー速度 : 2.0~8.0m/sec
 ゲート速度 : 35~50m/sec
 充填速度 : 0.02~0.1m/sec

が適当である。最大速度にするとフラッシング、エロージョン、鑄造割れ、押出不能、焼付きが発生する。しかし鑄肌はきれいになる。

f. 鑄造圧力

コールドチャンバー機 : 400~700kg/cm²
 ホットチャンバー機 : 200~350kg/cm²

表面性を重視するもの : 450~550kg/cm²

健全性を主とするもの : 550~700kg/cm²

が設計上、標準値として用いられる。

4.1.4.3 鑄造欠陥の原因と対策

マグネシウムダイカストはアルミニウムダイカストに比べて鑄造歩留が悪く再溶解費が高いため良品率を上げなければならない。そのために欠陥を事前に予測してその対策をたてる必要がある。

ダイカストの欠陥は内部欠陥と外部欠陥に大別され、特に鑄造割れ、湯境¹⁾及び湯じわで全不良の80%を占める。

a. 内部欠陥

(1) ガスホール：溶湯中のガス、離型剤のガス化したもの、キャピティ内に残った空気等によるもので、鑄巣形状は概ね球状である。その対策として溶湯処理とガス抜き、湯口の変更等、型方案を再検討しなければならない。

(2) 塩化物の巻き込み：溶解、精錬時にフラックスが十分に除去されないと製品は腐食される。少なくとも精錬後20分以上の鎮静が必要である（残留塩素量は0.01%以下であること）。

b. 外部欠陥

(1) ひけ割れ：マグネシウムダイカストで一番厄介な欠陥である。これは凝固収縮中に生じる内部応力によるものである。その対策として、製品肉厚の均一化と応力分散のためにリブを設け隅部にはRを付け、抜き勾配を大きくする。

(2) ひけ：金型の局部過熱、肉厚部等で他部分が凝固してもその部分が未だに熔融状態にある場合にその部分が凝固するときに発生する。これは溶湯への加圧不足でできるもので表面にくぼみ又はひけ巣となって表れる。対策としてはひけ割れと同じく肉厚の平均化、金型の温度管理（肉厚部のスポット冷却）等を行う。

(3) 湯境¹⁾：湯口が二つ以上あると互いの溶湯の先端が酸化して皮膜ができて溶け合わないために湯境¹⁾湯じわができる。対策としてはゲート速度を早く湯口断面積を大きくして充填時間を短く、型温度を高くする等を行う。

(4) 焼付け、かじり：マグネシウムダイカストはアルミニウムダイカストに比べて型に焼付きにくい、湯口速度が10~50m/sec では焼付きが起きないが90m/sec になるとアルミニウムダイカストと同じように焼付く。これは高温の溶湯が湯口前方の壁面または流れのかげにできるキャピティションによって生じる。これは型硬度を上げることにより改善できる（熱処理、窒化処理等の表面処理）。またかじりは型磨きアンダーカットの除去、押出ピンの増設か位置の適正化により解消される。

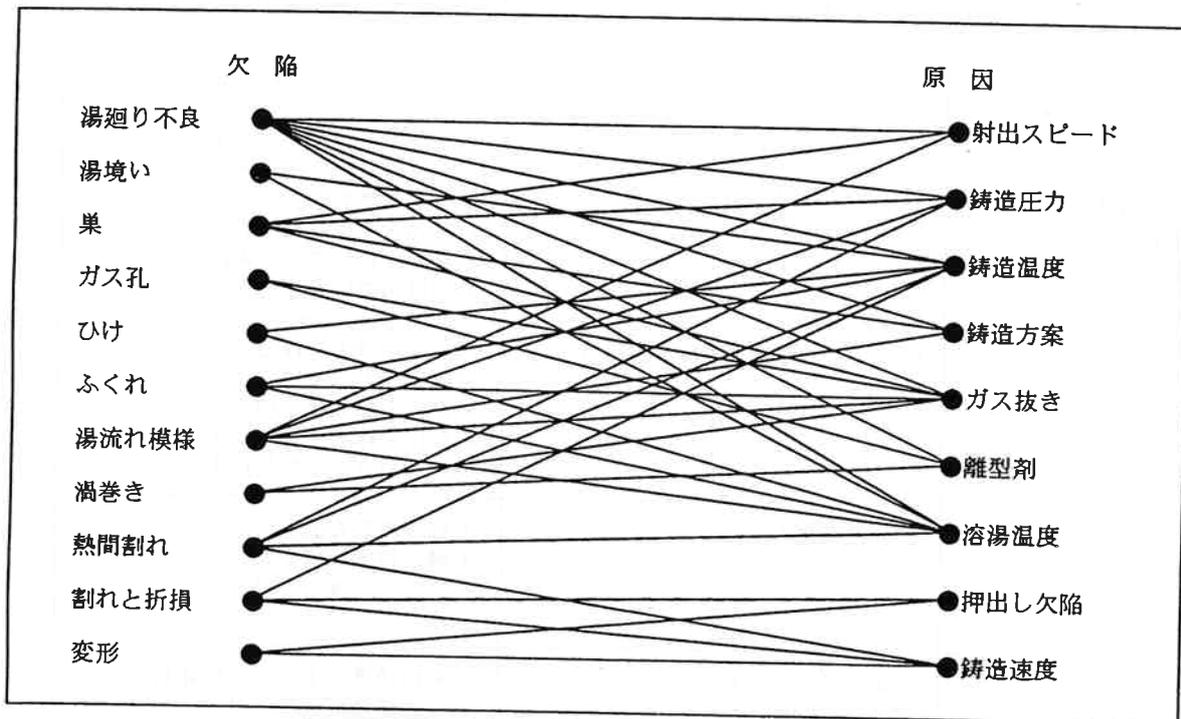


図 4-1-9 マグネシウムダイカストの欠陥と原因

4.1.4.4 鑄造準備

a. 溶解保持炉 (右図参照)

アルミニウムダイカスト用の手許炉が使える。マグネシウムは溶湯の酸化が激しく燃えやすいので、酸化燃焼防止の装置が必要となる。現在は SF_6 (六弗化硫黄) ガスの雰囲気中で溶湯を保護している。ルツボ上面に合金投入と溶湯汲み出しが可能な一部分作動する蓋を持つ遮蔽鉄板を取付けガスの飛散を防ぐ。自動温度調節は必ず付けなければならない。

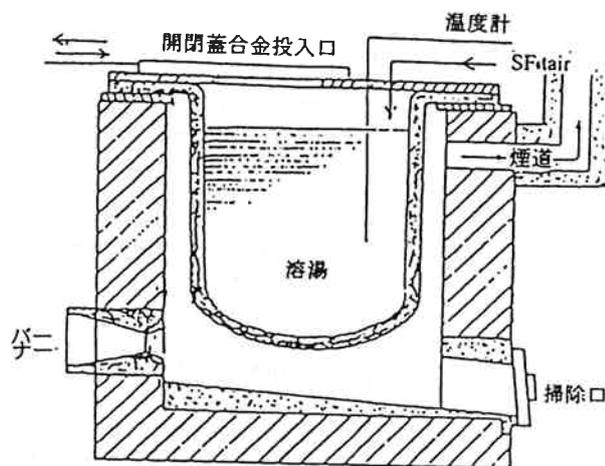


図 4-1-10 コールドチャンバー法保持炉の概略

b. 被覆ガス

溶湯を保護するために当初は被覆用のフラックスが使われたが、フラックスの巻き込みがあり、現在ではあまり使われない。溶湯面に硫黄粉末を撒き発生する SO_2 ガス、またはボンベ詰め液化 SO_2 ガスによる方法もあるが、公害防止条例等規制が厳しく、独特の臭気があり作業環境も悪いので使われない。現在ではほとんど SF_6 ガスか、それに CO_2 ガス、エアーを混合したものが使われている。以前に CO_2 ガス、 N_2 ガスが単体でつかわれたが、 CO_2 ガスは使用量も多く溶湯表面に MgCO_3 等の化合物が生成して溶湯の汲出しが大変であった。また N_2 ガスは溶湯と反応して

表 4-1-6 鑄造欠陥の対策

| | 欠陥現象 | 対 策 | |
|---|----------------|---|--|
| | | 方 法 | 手 段 |
| 1 | コールドシャットと湯廻り不良 | a. 金型温度を上げる | <ul style="list-style-type: none"> * ショット数を上げる * 冷却水を少なくする * 金型にヒーターを入れる * 型温調整機を使用する |
| | | b. キャビティ充填速度を上げる | <ul style="list-style-type: none"> * 射出速度を上げる * 射出圧力を上げる * ゲート断面積を増す * 射出動作をチェックする (オシログラフを使用する) |
| | | c. 鑄込温度を上げる | <ul style="list-style-type: none"> * 保持温度を上げる * 鑄込重量を増やす * ノズル温度を上げる (ホット) |
| 2 | 鑄造割れ | a. 射出条件の改善 | <ul style="list-style-type: none"> * 射出速度を上げる (高温割れ) * 最適鑄込温度を上げる (コールドシャットと湯廻り不良を伴う場合) * 最適鑄込圧力にする * 鑄込量を増やす |
| | | b. 型温度を上げる | <ul style="list-style-type: none"> * 単位時間ショット数を増やす * 冷却水量を少なくする (コールドシャットと湯廻り不良を伴う場合) コールド * 金型にヒーターをいれる |
| | | c. ホットスポットの排除 (製品の凹部と薄肉部に発生する場合) | <ul style="list-style-type: none"> * 高温部の冷却 * 型修正を行う (厚肉部の変更) * ゲート部の場合は射出速度を落とす |
| | | d. キャビティ部の温度差を少なくする | <ul style="list-style-type: none"> * 湯先部へオーバーフローを付ける * スポット冷却に変更する |
| | | e. 押出条件の改善 (押出時の曲げや歪みによる割れ) | <ul style="list-style-type: none"> * キュアリングタイムを長くする * 冷却速度を増す * ショットサイクルを長くする |
| | | f. 金型修正と鑄造条件の改善 (かじり, または押出時に過度の力がかかるために発生する割れ) | <ul style="list-style-type: none"> * 抜き勾配をチェックする * キュアリングタイムをチェックする * ショットサイクルを短くする * 冷却水量を少なくする * 型表面の修正 (磨き) * 離型剤の能力をチェックする |
| 3 | ブリストア | a. 型開き時の温度が高い | <ul style="list-style-type: none"> * キュアリングタイムを長くする |
| | | b. 鑄物中のガス量が多い | <ul style="list-style-type: none"> * 浴湯の脱ガスを行う (インゴットの予熱時間を長くする) * スリーブ充填率を高める |

| | 欠陥現象 | 対 策 | |
|---|-------|-----------------------|---|
| | | 方 法 | 手 段 |
| | | | <ul style="list-style-type: none"> * 射出速度を遅くする * ガス抜きを改善する * 離型剤, プランジャオイルの見直し |
| 4 | ひ け | a. キャビティ内の溶湯圧力を増す | <ul style="list-style-type: none"> * 射出圧力を上げる * 鑄込重量を増やす |
| | | b. 局部冷却を行う (厚肉部) | <ul style="list-style-type: none"> * 金型温度の分布を変えるためスポット冷却を考える |
| 5 | か じ り | a. 金型の表面状態をチェックする | |
| | | b. 最適型開き温度をチェックする | <ul style="list-style-type: none"> * キュアリングタイムを短くする * ショットサイクルを短くする |
| | | c. 離型剤の種類をチェック | <ul style="list-style-type: none"> * 塗布方法の再検討 |
| | | d. 金型の抜き勾配のチェック | <ul style="list-style-type: none"> * 許容限一杯に大きくする |
| | | e. 金型の熱的变化や曲りのチェック | |
| 6 | 湯 じ わ | a. 型温を上げる | <ul style="list-style-type: none"> * 単位時間当たりのショット数を多くする * 金型の冷却を抑える * 金型の加熱を考える (温調機) |
| | | b. 鑄込温度を上げる | <ul style="list-style-type: none"> * 溶湯保持温度を上げる * 鑄込重量を増やす * ノズル温度を上げる (ホットチャンバー機) |
| 7 | 鑄 巣 | a. 凝固途中に溶湯に圧力をかける | <ul style="list-style-type: none"> * 増圧を加える * 溶湯の鑄込時の温度を上げる * ビスケットの厚さを厚くする * 射出プランジャチップのかじりをチェックする * ゲート断面積を増す (充填時間の短縮) |
| | | b. キャビティ内の温度勾配を改善する | <ul style="list-style-type: none"> * ゲート部より湯先部への温度勾配をゆるやかに急変の無いようにする |
| | | c. 鑄物中に巻き込むガス量を最小限にする | <ul style="list-style-type: none"> * インゴットを完全に乾燥させる * 溶湯の脱ガスを行う * 低速射出を遅くする * ビスケットの厚さを厚くする * 離型剤の量を減らす * プランジャ潤滑油を少なくする * ガス抜きを改善する |

MgN₂を作りハードスポットの原因になると言われている。SF₆ガスの濃度は溶湯温度により変わるが、約0.1~0.4%が適当である。使用量は10~50cc/minである。但し、蓋の開閉頻度により異なる。(SF₆ガス圧 2 kg / cm²)

SF₆ガスは、溶湯と反応して、 $4Mg + SF_6 \rightarrow MgS + 3MgF_2$ MgS, MgF₂が生成する。

MgF₂は溶湯を被覆する能力が SO₂ガスの反応で生ずる MgS, MgSO₄より優れている。また、気体密度は、SF₆ガスが SO₂ガスの2倍あるので、ダイカストのように頻繁に湯汲みをする作業には、ガスの流出が少ないのでSF₆ガスの方が有利である。

c. 鑄造用具

マグネシウムダイカストに使う用具として、柄杓、かすあげ、攪拌棒、かすいれ等がある。柄杓、かすあげ、攪拌棒には Ni を含む鋼材は使わないこと。(Ni は Mg に溶けやすく合金の耐食性を低下させる。)軟鋼材が一般的に使われる。用具を使用するときは、必ず乾燥予熱すること。また各炉の側には鉄板製のかすいれ(足のついたもの)を用意しておくこと。コンクリート床にスラッジを直接置くと高熱のためコンクリートが飛散して危険である。かすあげ後直ちに消火用フラックスを撒布する。

4.1.5 溶解

品質の良いダイカストを作るには、合金中に異物が混入してはならない。

よい合金は

- 成分元素が規格値であること。
- 水素含有量が少ないこと(ポロシティの原因)
- 結晶が微細化されていること。(強度をたかめる。)
- フラックス、不純物が混入していないこと。(腐食の原因)である。

4.1.5.1 スクラップ溶解

ダイカストスクラップは、表面積が大きいので酸化された部分も多く離型剤、潤滑油等の油等が付着している。溶解、精錬には溶解するものの砂や異物を取り除き慎重、丁寧に作業して完全に不純物を除去しなければならない。

スクラップの溶解精錬には、Ba系の重いフラックスを使用すること、鎮静時間を20分から30分位にするとよい合金ができる。

溶解歩留は、バリの状況、不良品の形状、酸化状態により異なるが95%~96%である。細かいバリ(ヤスリ粉等)は溶解しない方が安全であり得策である。細かいバリ等は、燃やすか、化学処理を行う。次頁の再溶解作業標準を参考にして下さい。

4.1.5.2 合金調整

マグネシウムダイカスト用合金は、現在内外の多くのメーカーから販売されているので合金を自家調整することはないが、参考にそのフローチャートと合金調整例及び分析結果を示す。

表4-1-7 マグネシウム合金再溶解作業標準

| 作業区分 | 工順 | 工程 | 作業内容 |
|------|----|--|---|
| 準備作業 | 1 | 返り材の計量 | 水分の有無確認, 予熱乾燥する 他不純物 (砂, 他金属等) 除去 |
| | 2 | フラックスの用意 | 精錬用フラックス (310ダイカスト用) 吸湿させるとガスの混入と溶解時爆発の危険性がある |
| | 3 | 用具類の準備 | 攪拌器, 攪拌棒, 柄杓, ラッジ揚, サーモカップルインゴット・ケース等は必ず予熱乾燥のこと |
| | 4 | 安全具の点検 | ヘルメット, 防災面, マスク, 安全靴, きゃはん, 作業服 (長袖のこと) 他 |
| 溶解作業 | 1 | 返り材投入 | 1. ルツボを加熱し乾燥次第投入する 2. 下湯ができ材料が沈み次第順次投入 3. 定量 (ルツボの8分目位) まで溶解 4. 下湯の温度が上がり過ぎないうちに次の材料を入れること |
| | 2 | 昇温 | 1. 700℃まで温度を上げる 2. 温度が上がり過ぎると溶湯は燃える。680℃以下では精錬ができない。 |
| | 3 | 精錬 (精錬過程と完了時点については後述) | 1. 攪拌機, または攪拌棒で攪拌しながらフラックスを投入する 2. フラックスは最初は多く逐次少なくする 3. 攪拌機, 攪拌棒は確実に予熱を行い絶対に冷えたまま急速に湯の中に入れてはいけないこと |
| | 4 | スラッジ揚げ | 予熱したスラッジ揚げをゆつくり湯の中に入れ底にたまったスラッジを揚げる |
| | 5 | 昇温 | Al-Si 母合金, 金属珪素の添加時の溶湯温度は約780℃を要する |
| | 6 | 成分金属添加 Al-Mn, Al-Si (シルミン) 或いは金属珪素 | 1. 予熱したものをゆつくり溶かしこむ 2. 攪拌棒で攪拌を行う 3. フラックスは最小限にすること |
| | 7 | 降温 | 700℃までに下げる |
| | 8 | Al-Be 添加 | 1. 予熱後ゆつくり溶かし込む 2. 攪拌棒で攪拌する 3. フラックスは最小限とする これ以後はフラックスは使わないこと |

| 作業区分 | 工 順 | 工 程 | 作 業 内 容 |
|----------------------------------|-----|----------------|--|
| | 9 | 鎮静 | 30分以上静置する |
| | 10 | 汲み出し | 1. インゴットケース, 湯汲み, 柄杓を充分予熱し湯を汲み出す 2. ルツボの溶湯表面, インゴットケース, 汲み出した湯表面に燃え防止のため, 硫黄粉末または(硫黄粉末: 弗化マグネ7: 3)の混合物を撒布する |
| 後 作 業 | 1 | 用具の後始末 (掃除) | 付着物を取る |
| | 2 | ルツボの掃除 | スラッジを揚げた後, ルツボを取り出し水を入れ1日程度放置した後, 掃除をし乾燥しておく |
| 注: ルツボ保護のため炉雰囲気温度は950℃以上には上げないこと | | | |

精錬過程

1. 不純物浮遊状態

フラックス投入

2. フラックスと不純物の浮遊状態 : この時の状態は溶湯がドロロンとした感じで輝きがなく用具類に溶湯がくっついてしまう。

フラックス投入

フラックスが不純物を包み込むように最初は小さな粒状で段々大きく成長し, 最後には10円玉大からビスケット大程度になりついにはそれもほとんど浮上しなくなる。

3. スラッジの沈澱 (精錬の完了)

精錬の完了時の目安は溶湯表面が輝き, 湯切れが良くなり用具類にくっつかなくなる。

表4-1-8 マグネシウム合金調整フローチャート

| 工 順 | 工 程 | 手 順 要 点 |
|-----|---------|--|
| 1 | ルツボ加熱 | |
| 2 | フラックス投入 | 溶解重量の2~3% (例 DOW 310#) |
| 3 | 地金投入 | 酸化燃焼しないようにフラックス撒布 |
| 4 | 溶解完了 | 溶湯面はフラックスで覆うこと |
| 5 | Be 添加 | Al-Be 母合金の切粉 (2~3 mm) を紙に包んで投入 溶湯温度 (670~700℃) 溶解後充分攪拌すること, 投入量 Be0.003% (溶解歩留は投入量の1/3目標を0.001%とする) Al-Be 母合金参照 |
| 6 | Mn 添加 | Al-Mn 母合金を予熱し装入する, 充分攪拌すること 670~700℃ |
| 7 | Zn 添加 | Zn 合金 (ZDC-2) を予熱後装入し攪拌する 670~700℃ |
| 8 | 攪 拌 | 溶湯温度670~700℃, フラックス2~3%投入攪拌する |
| 9 | 鎮 静 | 攪拌終了後30分間鎮静, その間パーナーを止める (温度が上昇するため) 微細なスラッジ, フラックスを沈澱させる |
| 10 | 滓除去 | 炉底, 炉壁の滓をよく取り除くこと |
| 11 | 汲出し | 燃焼防止のため硫黄末を撒布しながらインゴットに汲み出す インゴットのスラッジを巻き込まないこと (パーナー再点火) |

*1: 工順9, 10の間でAl-Beを若干量 (0.001%) 投入すると酸化防止になる

*2: Al-Be, Al-Mn, Zn 等の添加材は初めから装入
母合金の溶解歩留り

| | | | |
|---------|--------|----------|-----------------|
| Al : Mn | 95 : 5 | Al, Mn 用 | Al-100%, Mn-80% |
| Al : Be | 95 : 5 | Al, Be 用 | Al-100%, Be-30% |
| Zn : Al | 96 : 4 | Zn 用 | Zn-100% |

シリコンを添加する時

金属シリコンの場合: 溶湯温度780~800℃で攪拌しながら少量あて投入する

溶解後5分以上攪拌すること

母合金を使用するときは通常シルミン合金を使う

(例) Mg 合金調整 (AZ91)

1. 目標成分

Al : 9 % , Zn : 0.9% , Mn : 0.4% , Be : 0.001%

2. 添加劑

Be : Al- Be (95 : 5) 母合金

Al : Al- Mn (95 : 5) 母合金

Mn : Al-Mn (95 : 5) 母合金

Zn : ZDC-2 (96 : 4) 亜鉛合金

3. 添加材配合割合 (重量 : 193kg)

Mg 地金 173kg

Al-Be 母合金 120gr ——— Al : 0.059% Be : 0.003%

Al-Mn 母合金 18kg ——— Al : 8.87 % Mn : 0.47 %

Zn 地金 1.8kg ——— Zn : 0.93 %

総重量 193kg

4. 分析結果

表 4 - 1 - 9 分析結果

| | Al | Fe | Cu | Si | Zn | Ni | Mn | Be |
|----|------|--------|--------|-------|------|--------|-------|---------|
| | % | % | % | % | % | % | % | % |
| 上層 | 8.30 | 0.0036 | >0.001 | >0.03 | 0.78 | 0.0008 | 0.288 | 0.0005 |
| 中層 | 7.68 | 0.0032 | >0.001 | >0.03 | 0.64 | 0.0006 | 0.292 | 0.00055 |
| 下層 | 9.25 | 0.0043 | >0.001 | >0.03 | 0.88 | 0.0009 | 0.308 | 0.0006 |

4.1.6 マグネシウムのコールドチャンバーマシンダイカスト作業法

4.1.6.1 概説

マグネシウムダイカスト作業が、他合金ダイカスト作業と異なる点は、保持炉（コールドチャンバーマシン）、メルテングポット（ホットチャンバーマシン）と共に溶解保持するには、マグネシウムの活性化が甚だしいため、酸化燃焼防止（不活性ガスによる被覆）設備が必要になる（図1）。また、マグネシウム合金の熱容量が少ないためにプランジャー速度、金型温度等鑄造条件、作業条件にアルミニウム合金ダイカストと若干の違いがある。

4.1.6.2 溶湯の準備

(1) 保持炉

マグネシウム合金ダイカスト用の保持炉（溶解保持炉）は、アルミニウムダイカストの保持炉とほぼ同じ形状である。但しマグネシウム溶湯は空気と激しく反応して燃焼するため空気中では溶湯保持ができない。そのために溶湯面を不活性ガス雰囲気にする必要がある。一般的には六弗化硫黄（ SF_6 ）と空気（ SF_6 濃度0.1~0.4%）の混合ガスが使用される。ガスのシールにはセラミックファイバーのヒモ状か小幅の帯状のものが使われる。

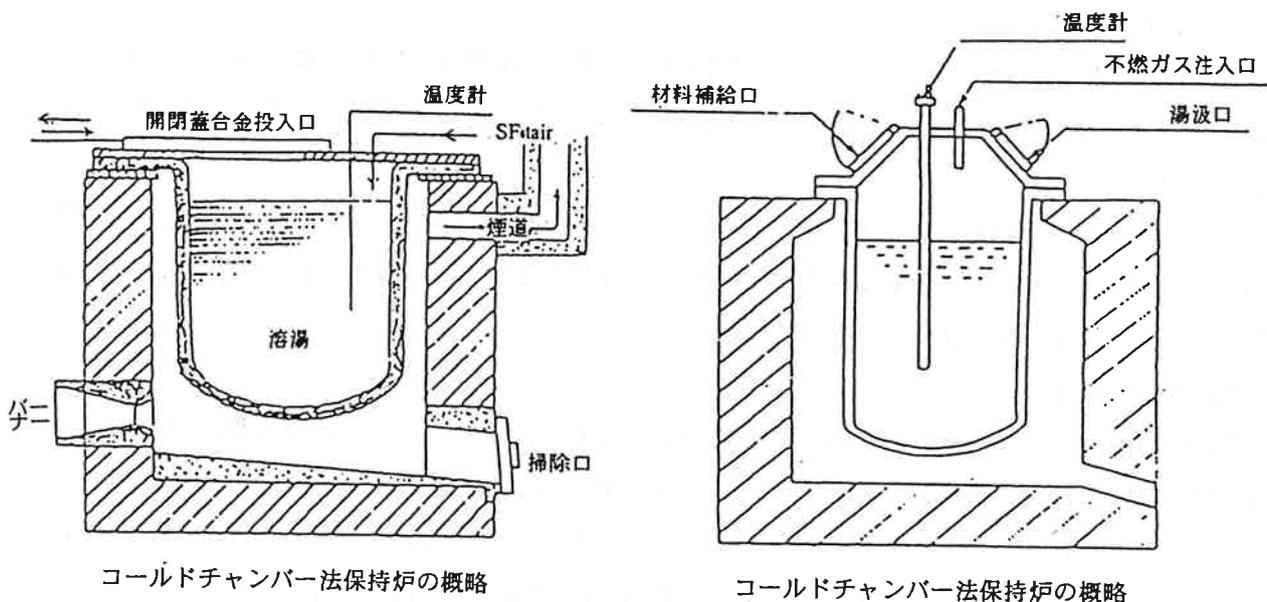


図4-1-11 コールドチャンバーマシン法保持炉の概略

(2) ルツボ

ルツボは、マグネシウム溶湯に対して鉄の溶解度は700℃で0.005~0.02%と小さく、ルツボの

溶損がほとんどないので、鑄鋼製またはボイラー鋼板の溶接構造のものが使われる（図2）。黒鉛ルツボ、鑄鉄製ルツボは割れやすい等危険があるので使用してはならない。ニッケルが、マグネシウム合金に溶解すると製品の耐食性が劣化するのでニッケルを含有している鋼材は使わない方がよい。

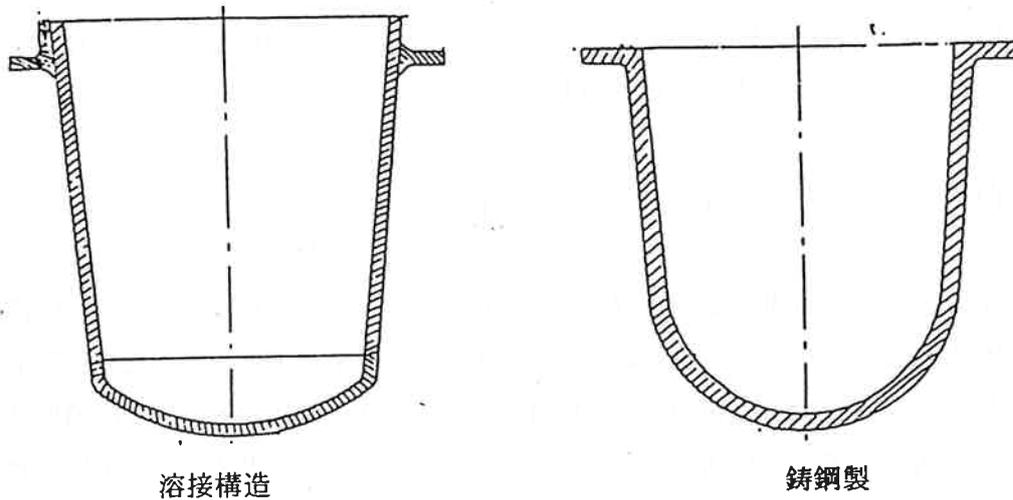


図4-1-12 ルツボの形状

(3) 溶湯

高品質の製品を鑄造するには、ガス、介在物のない清浄な溶湯が必要条件になる。保温炉では溶湯保護のため、不活性ガス、フラックスを使用して酸化物の生成と溶湯への混入を防がなければならない。

コールドチャージでは、インゴットを予め通気のよい乾燥炉で水分、湿気を完全に除去して保温炉上で予熱後装入しないと爆発事故につながる恐れがある。インゴット表面の酸化物等の付着物はワイヤーブラシ等で取り除かなければならない。

(4) 溶湯表面の保護

保温炉の溶湯表面の保護には、古くは硫黄粉末を溶湯表面に投入して SO_2 ガス雰囲気を作るカバーリング、フラックスの撒布が行われた。 SO_2 、 CO_2 、 N_2 、 Ar ガス等の不活性ガスの利用を試みたが、現在はほとんどが SF_6 雰囲気によるものが主流となっている。 SF_6 ガスの単価は (2,300/kg) 高いが、使用量が少ないこと、人には無臭無害であり周辺機器にも影響がなく取扱いが容易でコールドチャンバー・ホットチャンバー何れにも使用できる。

SF_6 ガスの実用濃度は0.1~0.4%でよく、乾燥空気または乾燥空気と炭酸ガス混合ガスに混ぜて使われる。

CO_2 ガスは溶湯面に多量の酸化物 (MgCO_3 、 MgO) の生成があり使用量も多くスラッジの処理に手間がかかる。 SO_2 ガス、硫黄粉末は毒性と臭気があり周辺機器にも腐食が懸念され使用にあたっては条例で規制されているのでほとんど使われていない。 N_2 ガス、 Ar ガスの雰囲気は溶湯

保護には不向きで、むしろ自動給湯装置の加圧用に使われている。

(5) Be の効果

マグネシウム合金の溶解温度720℃以下の場合、Be は酸化燃焼防止に有効であるが、繰り返し溶解すると Be は減少するので再溶解時には Al-Be (2%) 母合金の添加が必要となる。Be は酸化防止に有効であるが、結晶粒子の粗大化を招き鑄造割れの原因になることがある。

4.1.6.3 金型の準備

(1) 金型点検

マグネシウム合金ダイカストの金型で特に留意しなければならない点は、

- a. キャピティ内の冷却孔、射出スリーブの水濡れは絶対にあってはならない。
- b. 型合わせ面は高速高圧にもバリの発生しない精度であること。
- c. 摺動中子の摺動面にバリの侵入のないこと。
- d. 冷却、加熱孔については熱バランスを検討する。冷却については使用を避けることが望ましい。

(2) 金型の取付作業

金型は可動型と固定型を別々に取付ける場合と、可動型、固定型を組んだまま取付ける場合がある。型機構等により異なるが、安全性と迅速性を確認して何れかを選択する。特に押出装置の連結、調整は確実にしなければならない。なお金型締付力が均等であること、鑄造作業中にゆるみやがたの有無をチェックする必要がある。

最終チェックとして、摺動中子と押出装置の作動順序と作動状況の確認を行う。

(3) マグネシウム合金は熱容量が小さいので、部分加熱が必要な個所があるが、湯口部分や加熱部分は冷却しなければならない。金型のクラックや冷却パイプねじの不具合によるキャピティ内への漏水は嚴重に管理しなければならない。

その他の確認事項として

- 金型の冷却水路が、連結方法、通水方向に誤りはないか
- 不通箇所、水漏れ箇所がないか
- 排水孔の高さは金型より高い所にあるか (冷却水が常時満水であること)
- 集中冷却水路であるか (通水順序に誤りがないか)

等が考えられる。硬水は水路に水垢が付着するので使用しないほうがよい。(冷却効果が悪くなる。)

(4) 金型予熱

予熱による型亀裂防止、ムダ打ちの削減、押出ピン、鑄抜きピン、摺動中子等の事故対策に役立つことは他合金ダイカスト同様である。予熱には温度調整機による型内部からの穏やかな加熱が有利であるが、LP ガス、ニクローム線による方法もある。予熱は局部的な加熱は絶対に避けるべきである。

マグネシウム合金の潜熱が小さいことから、予熱と共に温度調整機（媒体特殊油）を使用して
鑄造作業中の金型への与熱と条件の安定化を図るとよい。

(5) プランジャーとスリーブ

マグネシウム合金ダイカストは、他合金ダイカストに比べ高速射出が求められるので特にプラン
ジャーとスリーブの芯が同一でないと所定の速度が得られない。またスリーブ、プランジャー
ともにチップとの嵌合をよく見極めて、かじりや片べりのないよう注意が必要である。最近マグ
ネシウム合金の熱容量が少ないことから、プランジャーを加熱するホットスリーブについて研究
され、湯流性の向上が図られている。

4.1.6.4 試験鑄造

ダイカストでは試験鑄造（いわゆる試作）で金型形状、寸法精度の確認と金型方案、鑄造方案、
鑄造条件、生産性、及び後加工等について詳細にわたって調査検討して、不具合箇所、欠陥があれ
ば徹底的に修正改善して、量産に支障のないように準備しなければならない。試験鑄造により各作
業標準、検査基準を作成すべきである。

試作はユーザーの合格認定を受けるだけでなく、量産時における問題発生を未然に予知し、問題
を解決する目的があるのでその重要性を認識して行うことが大切である。

4.1.6.5 鑄造作業

量産に移行するときは、試験鑄造で設定された作業標準、検査基準に従って作業を進め鑄肌、仕
上げ精度、耐圧等についてユーザーと打合わせて取決め限度見本、覚え書きを取り交わすことがよ
い。

(1) 金型の清掃

作業中金型表面、摺動中子にはバリが発生することがある。これは寸法不良、型故障の原因と
なるのでその都度注意して除去しなければならない。バリ発生原因は次のように考えられる。

a. 分割面に発生するバリ

型精度不良、型締付機構の欠陥、型の剛性不足及び熱変形等が原因である。

b. 摺動中子周りのバリ

型と中子合わせ精度の不具合、使用中の摩耗による隙間の拡幅が原因となる。

c. 湯溜、ガス抜き部のバリ

湯溜の抜き勾配が小さいとき、ガス抜き部の仕上げ面が粗いときに付着する。

この他型精度の保持は、勿論鑄造時の過度の圧力、速度は品質、生産性の劣化の原因となる。
バリの発生を無くすことが根本対策であり、少なくともエアーガンで取り除けるようであれば
ならない。

(2) 離型剤、潤滑剤の塗布

離型剤は、焼付き防止と離型をよくして、歪や割れをなくすためのもので、水溶性と油性があ

り、ピグメント入りとノンピグメントのものがある。最近は公害問題、作業環境の良化が叫ばれ水溶性離型剤が主に使われるようになった。本来ならばマグネシウムダイカストには水による爆発事故防止のため油性の方が安全であるが、上記理由から水溶性を使っているが、その使用方法を間違えると事故になるので鑄造にあたっては水分が蒸発後に圧入する事が重要である。離型剤の使用については、各種類ともその適性濃度を決め、塗布量を少なく均等に塗布することが望ましい。塗布量が多いと湯じわ、ふくれ、巣などの不良の原因になる。

離型剤の性状としては、型に塗布後は型温により水分が気化して、溶湯が鑄込まれても剥離しないもので薄くして潤滑性のよい熱伝導性のある堅固な被膜を作るものがよい。

離型剤は、摺動中子、押出ピン、リターンピン等の摺動部に使う耐熱度の高い間歇的に塗布するものと、射出毎にスリーブ、チップに塗布するものがある。スリーブ、チップ用潤滑剤は、その耐用命数に影響があるので銘柄の選択、濃度、使用量をよく検討しなければならない。塗布は自動潤滑装置が使われ量調整ができるので潤滑剤やそのガスが製品に混入して不良の原因にならないよう必要最小限にすべきである。

(3) 注 湯

設定温度の溶湯を一定量バラツキなく、異物が混入しないように注意することが大切である。小物部品では柄杓による手汲み作業が多いが、大型機では自動給湯装置が必要になる。溶湯温度は、合金の種類、製品形状、肉厚によって異なるが630～680℃である。溶湯温度の管理は保温炉で行われるので、インゴットを投入するときの温度低下には注意を要する。汲み出しの時に酸化膜やスラッジを汲み込まぬよう注意しなければならない。汲み込み量の過不足は、押湯不足や加圧力、高速切替位置が変動して製品品質に影響が起きる。

(4) 射 出

製品品質を決定付ける重要な作動工程である。鑄造機の射出機構にはプランジャーの変位が、2段（低速、高速）付のもの、3段（低速、高速、増圧）付のもの、4段（低速、高速、減速、増圧）付等があり、鑄造圧力の選定とともに製品に適合した変位を設定し、作業標準書に従い一定のサイクルで正しい作業を行うべきである。

熱容量的にアルミニウム合金と比べると、同じ形状で肉厚が同一であれば、容積当たり潜熱はマグネシウム合金161Cal/grでアルミニウム合金（ADC-12）は250Cal/grである。そのためマグネシウム合金はアルミニウム合金より1.56倍の早さで鑄込まなければならない。キャリングタイムは、熱容量が30%アルミニウム合金より小さいので、大幅に短縮でき生産性は30%位増進できるはずである。

☆射出条件（参考値）

ゲート速度

一般品

30～50 m/sec

薄肉品

60 m/sec

プランジャー速度

| | |
|----------------------|----------------|
| 低速射出速度 | 0.1~0.6 m/sec |
| 高速射出速度 | 2.0~8.0 m/sec |
| 充填時間 | 0.02~0.1 m/sec |
| 鑄込圧力 | |
| 表面性を重視するもの | 450~550 m/sec |
| 健全性を主とするもの (機能部品) | 550~700 m/sec |

4.1.6.6 金型温度、鑄造サイクル並びに冷却水の管理

鑄造サイクルは、熱的性質上アルミニウム合金より早くできる。サイクルを短くして型温の低下を防ぐことにより鑄造性も良くなり、生産性も向上する。

金型キャビティの温度は、220~250℃が適当である。マグネシウム合金は、熱容量が小さいために型温が上がりにくいので、キャビティ先端部、湯廻りの悪い部分には、金型温度調整装置を使って型温の均一化を図るのがよい。また局部的に温度の上がりやすい箇所やビスケット部にはスポット冷却が必要になる。適量の通水と一定の鑄造サイクルにより金型温度の均一化が保持され、製品品質の安定が得られる。

4.1.6.7 アキュムレーターの管理

鑄造圧力は、アキュムレーター内圧力より大きく変化し、製品品質に重大な影響を与える。アキュムレーター内圧力は鑄造機種により異なるので機種毎にアキュムレーターに封入するガス量（圧力）と所定圧力は、常時管理しなければならない。

射出時にアキュムレーター内圧力が、所定圧力より10%以上低下するときはガスを補充する必要がある。

4.1.6.8 自動給湯装置

コールドチャンバー機の注湯作業は、従来手汲みで行われてきたがダイカストの大型化に伴い大型コールドチャンバー機の使用が多くなり当然給湯機も必要になる。

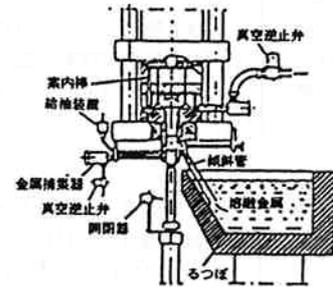
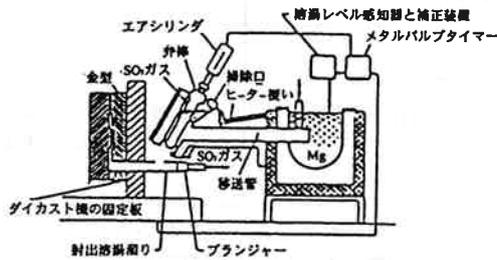
給湯装置の利点として

- 作業者の労力軽減、安全確保
- 鑄造条件、鑄造作業の安定化
- 溶湯の酸化、不純物の混入防止がある

給湯方式には次の3式がある。

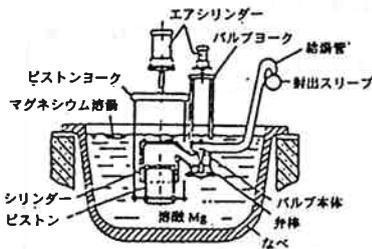
- 遠心ポンプ式：遠心ポンプで一定量の溶湯を供給する
- ガス加圧式：N₂ガスまたは、Ar ガス圧で保温炉より加熱されたチューブを介して注湯口へ供給する

- 真空吸引式 : 真空ダイカストを兼ねた方式で、ショットスリーブと金型キャビティの減圧下で下側保温炉より給湯を吸引し射出する。

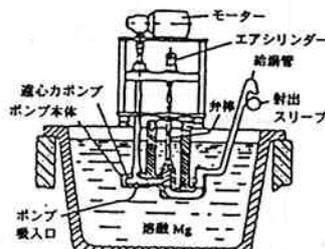


コールドチャンバー機用自動給湯装置 (Dow 社)

真空吸引式給湯方式

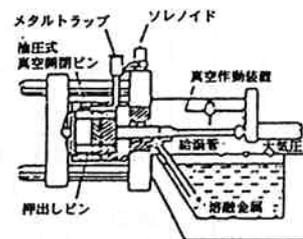


(a)ピストン型



(b)遠心力ポンプ型

コールドチャンバー機用自動給湯装置



横型給湯方式

図 4-1-13 自動給湯装置

4.1.6.9 鑄造欠陥

マグネシウムダイカストはアルミニウムダイカストに比べて不良率が高く、再溶解費用が高いため良品率を上げなければならない。そのために欠陥を事前に予測してその対策をたてる必要がある。

ダイカストの欠陥には内部欠陥と表面欠陥に大別され特に鑄造割れ、湯境、及び湯じわで全不良の80%を占める。

表4-1-10 マグネシウム合金鑄造作業標準 (例)

| | 項目 | 順 | 作業動作 | 点検・確認 | 安全作業 (備考) |
|-------------|---|---|--------------------------------|---|--|
| ① 溶解準備 | ポット清掃 材料装入 点火 SF ₆ 供給 溶解 | 1 | ポット掃除 | ポット内、異物のないこと 装入物に水分、異物のないこと 設定温度 (665℃±5°) 設定2次圧2kg/cm ² 流量20cc/min 溶湯の燃えないこと | 溶湯の清浄、確認 インゴットは予め小さくしておく (長さ300以下) 消火器材の確認 |
| | | 2 | 予熱済、インゴット(スラグ)装入 | | |
| | | 3 | バーナー点火 | | |
| | | 4 | バルブ開 | | |
| ② 金型取付 | 金型取付 金型締付 型・予熱 | 1 | 鑄造機、プラテン清掃 | 締付金具の位置、数、ゆるみ 圧力、温度、設定、2kg/cm ² 250℃ | 油もれ注意 (250~260℃) 表面温度計で測定、記録する |
| | | 2 | 金型締付 (摺動部塗布) | | |
| | | 3 | 温調機セット、型へホース接続 | | |
| ③ 鑄造準備 | D/C 機 整 備 | 1 | 作動油量、湯温を見る、水栓 | オイルレベルゲージ温度計で低速 で行う (バルブを調整する) 圧力計の確認、規定圧であること 潤滑油量の確認 確認 | 水路開、プランジャーロットのみ、 他は閉 チップ冷却水漏れ絶対ないこと (水素ガス、水蒸気爆発の危険あり) |
| | | 2 | 鑄造機 (金型付) 空運転 | | |
| | | 3 | ポンプ圧、ACC圧力をみる | | |
| | | 4 | ブラ潤滑作動状況を見る | | |
| | | 5 | 鑄造機各部の動作と潤滑状況 | | |
| ④ 手許炉準備 | スプレーガン 点検整備 | 1 | スプレーガンの作動確認 | 空操作による、作動は正常か 離型剤、種類、量の確認 | 水分の残らないこと (型温チェック) |
| | | 2 | スプレー箇所の確認 | | |
| ④ 手許炉準備 | 溶 湯 用 具 点 検 | 1 | 手許炉温度の確認 | (665℃±5°)ポット内燃焼ないか 2次圧 2kg/cm ² 流量 20cc/min 酸化物はスラッジ函に入れる 水分のないこと 底部スラッジあれば除去 | 燃えた時、SF ₆ 流量を増やす (調整) (流量 30cc/min 一時的に) 燃える場合は溶剤で覆う 結露に注意 スラッジ函に入れ溶剤で覆う (蓋 をする) |
| | | 2 | SF ₆ ガス、2次圧、流量確認 | | |
| | | 3 | 表面酸化物除去 | | |
| | | 4 | 杓、スラッジ揚げの予熱 | | |
| | | 5 | スラッジ揚げ | | |
| ⑤ 鑄造作業 | 試 打 捨 打 作 業 | 1 | 金型予熱後の作動点検 | 型開閉は正常か (かじり、きしみ はないか) 非常ボタン等の確認 ロードメーター80% 250~260℃ 捨打は低速で10ショット後高速で 高速切替位置は計算で概算値算出 試打時の重量を参考にする | (フラッシングの予防) 金型水分残留注意のこと (手吹ス プレーガン) (試打、捨打時に製品出来映えで 決定する) 各設定値は、作業標準書に記録 |
| | | 2 | 機械・設備の安全機能点検 | | |
| ⑤ 鑄造作業 | 量 産 | 1 | 型締力の確認、型温測定 | ショットサイクル確定 製品の出来映え確認後、射出条件、 圧力、湯量、湯温、型温、作業標 準書に記録 | |
| | | 2 | 第1ショット時の周囲安全確認 | | |
| ⑥ あと片付作業 | 機 械 金 型 片 付 け | 1 | 鑄造圧力、射出低高速、位置設定 | 摺動中子、バリ除去 型開き状態で 整理整頓、周辺のバリ完全除去 | バリと粉末は別々の密閉缶に保管 |
| | | 2 | 注湯量の設定 | | |
| ⑥ あと片付作業 | 手 許 炉 溶 湯 汲 出 し | 1 | 捨打品の寸検、カットによる内部 欠陥の精査 | バーナー SF ₆ は停止しないこと インゴットへ注湯時燃えないよう にSF ₆ ガスを供給し、蓋をすること スラッジは完全に取出す 溶湯は底より100m/m 位は残して もよい ポット内、発火しないこと確認後 | スラッジはスラッジ函へ、溶剤を 覆ってもよい 発火時は溶剤で覆う |
| | | 2 | 残湯の汲出し (底より100m/m 位迄) | | |
| | | 3 | ポット内壁の滓のかき落とし、底 部スラッジのかき出し | | |
| | | 4 | バーナー停止 SF ₆ 供給停止 | | |

4.1.7 マグネシウムホットチャンバーマシンドライカスト作業法

4.1.7.1 概説

ホットチャンバーマシンは、我が国では亜鉛合金、錫合金等の低溶融合金に使用されてきたが、マグネシウムダイカストの需要が伸びると共にマグネシウム用ホットチャンバーマシンが使われるようになった。

このことは、マグネシウム溶湯が鉄とほとんど反応しないため射出用グースネックをマグネシウム溶湯中に装置できることにより可能となった。射出毎に注湯する必要はなく射出後は溶湯はグースネックに自動的に流入して次の射出準備が完了する。

(マグネシウムホットチャンバーマシンの利点と欠点)

利 点

1. 生産性がよくなる。コールドマシンより20~30%増(300トンクラスの比較)
2. 鑄造圧力が低いので投影面積の大きい製品ができる。
3. エアーの巻き込みが少ないためオーバーフローが小さくでき、鑄巣の少ないものができる。
4. 給湯時の酸化がないので良質のものができる。
5. 給湯による湯こぼれがないので危険が少なく防火上にもよい。
6. 鑄造圧力が低いので金型寿命が長くなる。
7. 炉蓋の開閉頻度が少ないので被覆ガスの使用量が少ない。
8. 自動化と台持ち作業が容易になる。

欠 点

1. マシンが高価である。
2. 射出部の消耗部品が高価である。
3. 射出部の部品交換に時間がかかる。
4. ノズルと型合せ面から湯が吹き出すことがあり安全対策が必要。
5. ノズル、グースネックの加熱のための燃費がかかる。
6. 原材料の変更が困難である。

等があげられる。その他作業中の問題点として

1. 溶湯の管理(発生したスラグ、ドロスの除去)
2. ノズル、グースネックの管理(嵌合部、合せ面の完全化)
3. ピストンリングとスリーブの管理(摩耗、変形による加圧不足)

等作業上やりにくいこと、品質面に影響を及ぼすことがある。これらのことは作業標準書の鑄造温度、金型温度、鑄造圧力、プランジャー速度、離型剤の塗布方法等と共に標準化して十分な作業管理によって対策しなければならない。

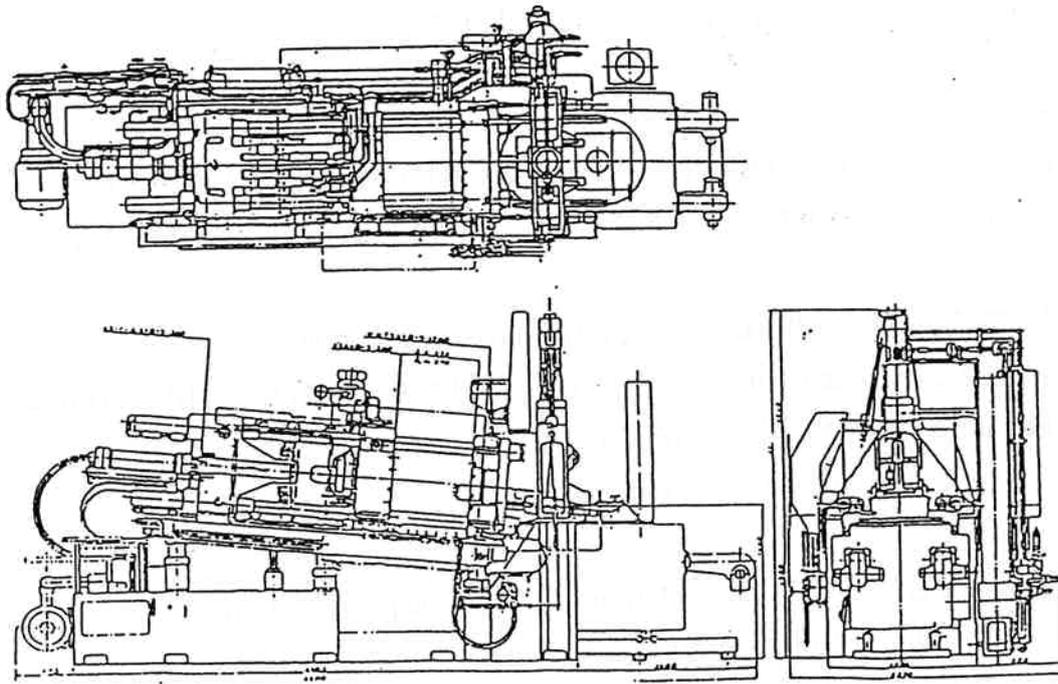


図4-1-14 ホットチャンバー機

4.1.7.2 ホットチャンバーマシンの構造

ホットチャンバーマシンには、空圧と油圧で駆動する竪型方式と油圧駆動の横型方式があるが、現在使用されているホットチャンバーマシンはほとんどが横型方式である。その外観は亜鉛用ホットチャンバーマシンとほとんど変わらない。

横型ホットチャンバーマシンは、型締機構と押出装置を持つマシン本体、保温炉（メルティングポット）、竪位置の射出装置及びメルティングポット内のグースネックで構成されている。

(1) マシン本体

マシン本体は、射出終了時にノズル部の溶湯をグースネックの方向に戻すために 5° の傾斜がある。保温炉は、完全に密閉されて、燃焼防止のため蓋に被覆ガスを送り込むパイプが数カ所用意されている。グースネックは保温炉中に取り付けられ上部に被覆ガス送入パイプがある。

(2) 保温炉（溶解保持炉）

保温炉の機能は所定温度の溶湯を供給するものである。マグネシウムの場合、ホットチャージを行うには、溶解設備、溶湯運搬等に問題があるため溶解も兼ねたものがよい。

熱源としては、ガス、重油があるがガスが多く使われている。溶湯が 700°C 以上になると、合金中のベリリウム、被覆ガスの効果が失われるから温度管理には細心の注意が必要である。作業環境、作業性、温度管理を考慮すると単位当たり燃料費は割高になるが電気の利用が得策である。

炉は長方形で長手方向に2つのバーナーがあり、バスタブタイプのメルティングポットの側面を加熱する形式である。底部にはキャスターがありグースネック交換時に容易に移動できるようになっている。

(3) メルティングポット

メルティングポットの形状はマシンメーカーにより異なり、材質、構造にも相違がある。ポットは定期的に肉厚の測定、内外壁の状況を観察して、事前に不具合箇所の修理、修繕を行う。肉厚が規定以下になったものは使用してはならない。

ポットは使用時間、定期検査日、修理日等を記録して管理することが望ましい。

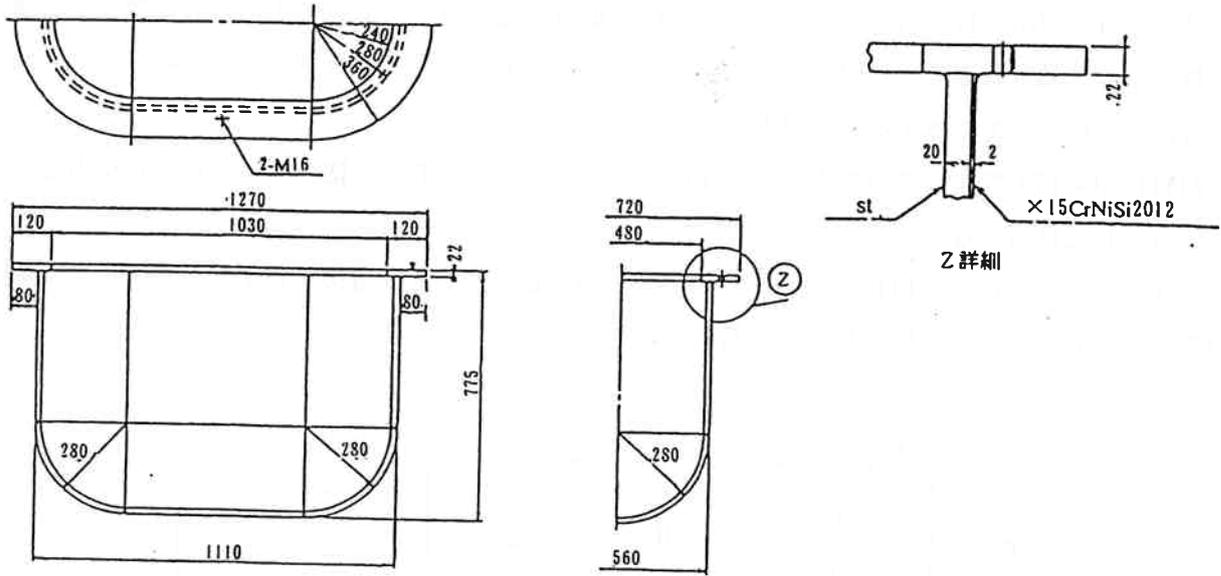


図4-1-15 メルティングポット

鋼材溶接製にも1種類の鋼板を溶接したものと、内側をボイラー鋼板外側にニッケル鋼を合わせたものがある。鋳鉄製の場合は、熱間割れや脆さがあり湯漏れの恐れがあるので使用は避ける方がよい。鋳鋼製の場合は重量的に問題があるが使用には安定性がある。鉄製の外側は、熱により酸化スケールが生じて、もしもマグネシウム溶湯が漏れた場合には、スケールと激しい燃焼反応を起こし高温を発生する危険がある。その防止策として二重構造のものが開発された。他のメルティングポットの外側にも酸化スケール防止のコーティングを施すとよい（アルミナイズド処理）

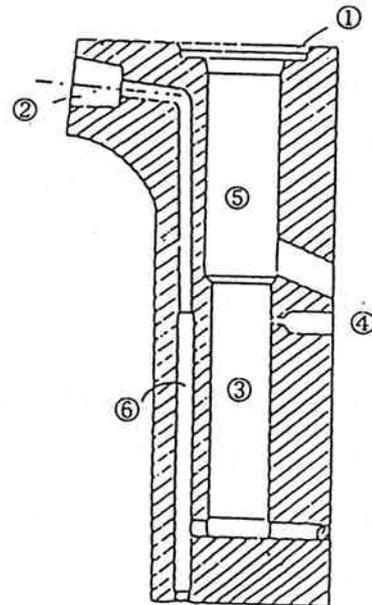


図4-1-16 グースネックの構造

(4) グースネックの構造

特殊耐熱鋳鋼製で射出機構の重要部分である。

①は燃焼防止ガス供給パイプが付いた蓋

- ②軸が5° 傾斜したテーパ孔でノズルの嵌合部
- ③射出スリーブ部分で使用中の摩耗による再加工が可能
- ④放射状に6ヶ所の溶湯取込み口がある
- ⑤プランジャーロッドの入る部分で、ここに燃焼防止ガスが導入されている
- ⑥マグネシウム溶湯の通路

(5) ノズル

ノズルは、射出された溶湯がグースネックから金型に通じる導管であって、ガスの裸火が誘導加熱により加熱され溶湯の凝固を防止する。誘導加熱による場合でも金型、グースネックの接触部分はガスの裸火で加熱する必要がある。

材質は耐熱鋼で熱処理されたもので、接触部分は相手部分と十分に摺合わせて溶湯の噴射を防ぐようにしなければならない。

ノズルの先端部には、損耗を防ぐため耐熱超硬鋼材が2 m/m 位溶接されているものと、超硬鋼材製のノズルチップを嵌め込むものがある。

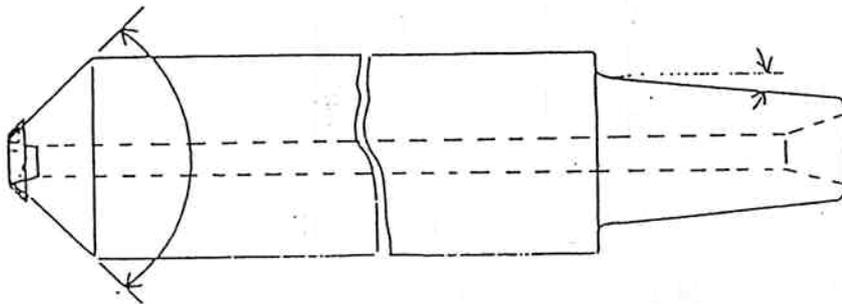


図4-1-17 ノズル

4.1.7.3 溶湯の準備

清浄な溶湯を得るために合金の溶解は先ずメルティングポットの内面を清掃し予熱して水分を除去後、表面の綺麗なインゴットを小割にしてポットにできるだけ多く装入する。徐々に加熱し溶け落ちたら逐次予熱したインゴットを入れ所定量まで溶解する。溶解を開始と同時に燃焼防止ガスを供給しなければならない。

溶解にスクラップ、汚れたインゴットを使用すると酸化物や油、付着していてドロス、スラッジの生成の原因になるので使用してはならない。ドロス、スラッジを取り除くには、開口部が小さいので作業性も悪く、若干の燃焼もあり手間のかかる作業になる。

溶湯温度は620~660℃に設定する。700℃を越えないように管理する。溶湯量が少なくなるとプランジャーにドロス等が侵入することがあり、溶湯量を確認しながら合金の補給を行う。連続作業中でも一直には必ず炉底のスラッジは勿論炉壁や、グースネック周りのスラッジ、ドロスを除去しなければならない。炉底のスラッジが多くなると溶湯取込み口からドロスが取り込まれることがある。

鑄造作業中に炉内のフラックスによる精錬作業は、溶湯内に塩素の残留、塩化物等の混入があり、

製品に悪影響があるので避けるべきである。防燃用フラックスを使うときは、極く少量にする。

(燃焼防止の方法)

① 六弗化硫黄 (SF_6) ガスの利用： SF_6 ガスと乾燥空気の混合ガス (0.1~0.4%) で湯面を保護する。

② ベリリウム (Be) の利用：少量の Be (0.0005~0.0015%) は溶湯の燃焼を緩和する。

Be は合金の新塊に添加されているものもある。Be は溶解温度720℃以上ではほとんど効果はなくなり、鑄造組織を粗大化するので0.005%を超えてはならない。

4.1.7.4 金型の準備

(1) 金型の点検

金型をダイカストマシンに取りつける前に型の準備状況をチェックして取付け後にトラブルのないように次の事項を特に留意すべきである。

- ① 型合わせ面に打痕、バリ等による隙間がないか
- ② 押出しピン、摺動中子の作動状況に不具合はないか
- ③ 冷却、温度調整機用管の配列はよいか、漏れがないか
- ④ ノズル合わせ面、スプール孔にキズ、付着物はないか
- ⑤ 分流子が曲がっていないか
- ⑥ ロケートリング嵌合部に異常がないか

(2) 金型の取付け作業

金型は固定型、可動型を合わせた状態に取りつける場合と固定、可動型別々に取りつける場合があるが、摺動中子の有無等金型構造により異なる。何れの場合も始めに固定型をダイカストマシンの固定盤にロケートリングをガイドにして取付け、次に可動盤を前進させて無負荷で型締めして取りつける。押出し装置の連結、調整も行う。必要ならば油圧ホース等を接続する。取付け終了後タイバーナットを締め所定の型締力にする。鑄造作業前の型締力は、金型の熱膨張を考慮して通常マシン最高値の85~90%が適当である。

4.1.7.5 プランジャーとスリーブ

プランジャーとスリーブは、射出部分の重要な部品でその取扱いと管理の正否は製品の出来映えを決定するものである。

ホットチャンバマシン作業時の中断、終了時には必ずプランジャー部分は取り外さなければならない。もし作動しないまま長時間溶湯中にあるとプランジャー先端部のピストンとピストンリングはグースネックスリーブとの間に不具合を生じて作動不能になることがあり、またピストンリングの弾性が劣化して射出力が弱まることになる。ピストンリングはプランジャーを取り外したときは、必ずピストンからはずしておくべきである。プランジャーを挿入するときは、溶湯で加熱してから、ピストンリングを取付け動き具合を確認してからスリーブに挿入する。

ピストンリングの合わせ位置が同じになると湯漏れが起きる。作業中もリングが回り、合わせ位置が重なることがあるので注意すること。ピストンリングの摩耗、破損は製品に影響があるので射出時のプランジャーの動きを観察する。プランジャーは射出時一度停止し、その後徐々に降下する状態がよく、一度にスリーブ底に降下する場合は、ピストンリングの摩耗か破損、またはピストンの摩耗も考えられるので取り外して点検、改善しなければならない。

プランジャースリーブの摩耗も同様の現象が見られるので、使用不能の場合は交換を要する。径が大きくなったものは再加工して使用する。

プランジャースリーブとピストンのクリアランスは、プランジャーピストンの径それぞれの材質によって異なるが、一般的にはスリーブ径80で常温で0.2m/m、0.16m/mではかじる恐れがあり、0.25m/mではリングの寿命が短くなる。ピストンのリング溝の幅、深さもリングの寿命に影響がある。

4.1.7.6 ノズルの取付け

ノズルは、グースネックから金型への導管で溶湯温度が下がらないように誘導電気か、ガスで加熱保温されていて高温高圧の溶湯が通過するので金型との接触面、グースネックの嵌合部から溶湯が吹き出さないように確実に取付けなければならない。

ノズルの形状は、金型接触面は円錐形でグースネック部は嵌合方式である。また、その締付けは射出部に取付けられたノズル締付け用シリンダーで圧着され溶湯の噴出を防ぐと共に、型開き時にノズル面と金型接触面との間に間隙をつくり、スプールカットする仕様になっている。スプールブ레이크しない固定ノズル方式も選択できる。

ノズルを取付けるときは接触面、嵌合面ともキズ、割れの点検と異物の付着を取り除き、グースネック嵌合面、金型接触面を清掃してから行い取付け後誘導電気か、ガスバーナーで均等に加熱する。

4.1.7.7 射出

作業開始前に金型の予熱と同時にノズルの加熱を充分に行い、射出始めにノズルに合金がつかまらないようにしなければならない。特にグースネック嵌合部、ノズルと金型接触面は、ガスの裸火で暗赤色位になる位まで加熱し、作業中徐々に適温まで下げて過剰な加熱を避ける。作業中のノズルの加熱温度は630～650℃を目安とし、スプールブッシュ部は170～200℃としてスプールカットの容易化を図るとよい。

4.1.7.8 その他

キュアリング、製品押出し、取出し、金型温度、鑄造サイクル、鑄造条件等はコールドチャンバ一作業方法と大差はない。製品の出来映えを検討して作業標準とすればよい。

4.1.7.9 ダイカスト製品に生ずる主な不良の原因とその対策

ダイカスト製品の原因は、寸法精度の欠陥、材質上の欠陥、製造時の条件欠陥が起因する。これらは金型精度の向上、鑄造条件、作業の見直しにより解決を図る。内部欠陥、表面欠陥は、コールドチャンバーダイカストで発生するものと同じような状態を示す。鑄造欠陥の中でホットチャンバーダイカストで改善できるのは、コールドシャットと鑄肌の改善程度で、熱間割れを防止することはできない。内部欠陥、表面欠陥とその対策はコールドチャンバーダイカスト作業法の記述と同様である。

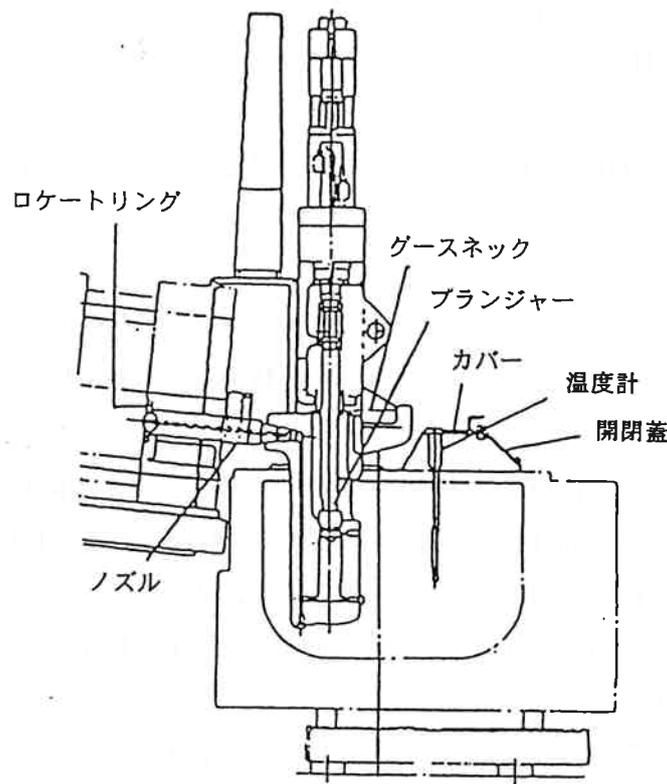


図4-1-18 射出部分図

4.1.8 仕上げ（鑄ばり取り）、機械加工

4.1.8.1 仕上げ（鑄ばり取り）

鑄造された製品には、鑄ばり、ビスケット（スプール）、湯道、湯口、湯溜り、ガス抜き等不要なものが付いている。これらを経済的に除去しなければならない。

ダイカストの生産スピードは早いですが、仕上げ工程で工数がかかり過ぎると生産遅延とコスト面に影響がでる。仕上げコストが製品価格の20%になることもある。従って設計段階でばりのでない型、でも簡単に取れるように考案すべきである。

仕上げに使用する機械、工具類

1. 木ハンマー
2. プレス機（人力，機械，油圧）
3. バンドソー，コンターマシン
4. ヤスリ，スクレーパー
5. ベルトサンダー，バフ，ワイヤーバフ，グラインダー
6. バレル研磨機
7. ショットピーニング
8. ボール盤，フライス盤，旋盤
9. 倣い式，NC式（旋盤等）
10. 鑄造機側のトリミングプレス

最近では精度の高いプレス型（複数を使うときもある）と研掃機で仕上げ作業を終了するようになってきている。

4.1.8.2 機械加工

ダイカスト製品を機械加工する場合は、ダイカスト法の特徴である量産性に適合した量産加工法式でなければならない。

マグネシウム合金の加工速度は他金属に比べて一番早く、加工に要する動力は鉄鋼の1/10アルミニウムの約1/2で最も少なく、切削面は切削速度、切削剤の有無に係わらず良好な表面になる。切削には普通切削剤（冷却剤）なしで加工されるが、高速切削、仕上げ加工の時には発火することもあるので、軽油か酸類を含まない発火点の高い鉱油を循環ポンプで使用するか、液体炭酸ガスを噴射して低温切削することがある。

切削後に寸法変化、変形は通常の場合起こらないが、肉厚の変化の大きいもの、または開口部のあるものは寸法変化が起きることがある。その時は加工前に300℃で2～4時間鑄造歪取り焼鈍を行うとよい。

（加工に使用される機械）

1. フライス盤（ロータリーフライス）
2. 旋盤
3. ボール盤（多軸ボール盤）
4. タッピング盤
5. 精密中ぐり盤（ファインボーリング盤）
6. 単能機（ネジ切り，みぞ切りに使用）
7. 専用機（多くの工程のあるもの）

（機械加工時の発火防止策）

1. 切削は0.05mm/rev以下の小さい送りで1500m/min以上の高速度で切削してはならない。

2. 切削剤を使用するときは水、水溶性、動植物油は使用しないこと。
3. 切削屑は蓋付きの金属容器に入れること。休憩毎に容器に入れることが望ましい。また保管場所は作業場より離れた方がよい。
4. 切削屑を真空掃除機で集めてはならない。
5. 作業場は常に乾燥、清潔にしておくこと。
6. 作業場は火気厳禁にすること（半径3～4 m以内）

4.1.9 表面処理

マグネシウムダイカストは、表面処理によって耐食性を改善できる。表面処理法としては、化学処理、陽極処理、塗装、メッキ等の方法がある。通常ダイカストは自動車部品等の機能部品は防食処理（化学的）だけで使用する場合と、二輪車、チェーンソー等の外観が必要なものは、防食処理後塗装して使われる。銅、ニッケル、クロムメッキをして使われることがあるが、工程が複雑で問題が多く高度な技術が必要となるので、極く限られたものに使用される。

4.1.9.1 防食処理（化学処理）

表面処理法として最も多く使われている。防食処理の優劣を決める重要な工程に前処理がある。前処理には4種類あり、使用目的により単独あるいは組み合わせて使用する。

- 機械仕上：ペーパー、バフ、ブラスチング、バレル研磨等
- 溶剤脱脂：中性洗剤等の液洗、蒸気洗
- アルカリ脱脂：強アルカリ（苛性ソーダ、磷酸ソーダ、ピロ磷酸ソーダ）
- 酸洗：無水クロム酸、硝酸、磷酸

前処理後それぞれの目的にあった防食処理を行う。その方法にはJ I Sに規程されたものとダイカスト用化学処理方法としてDow社より発表されている方法がある。

4.1.9.2 塗装

防食の最終工程は、電気メッキを除いて塗料（有機物質）を被覆する塗装工程である。マグネシウム製品を塗装するには、表面をそれぞれに適合した機械仕上げ、化学処理により下地処理をした後プライマー処理を施してから浸漬、スプレー、刷毛、ローラーで塗布する方法と静電塗装、焼付塗装等が行われる。

4.1.10 その他

4.1.10.1 ルツボ

ルツボは鋳鋼製かボイラー鋼板（軟鋼）の溶接構造のものが使用される。黒鉛ルツボは割れやす

く、鑄鉄製も高温強度に弱く危険性があるので使用してはならない。

ホット・チャンバー機用のルツボ形状はバスタブ式でほとんどのものが鑄鋼製であるが、軟鋼溶接構造のものも使われる。

一般的なルツボの形状は

保温炉用 : 直径 : 深さ = 1 : 1

溶解炉用 : 直径 : 深さ = 1 : 2 ~ 1 : 1.5 が標準である。

ルツボの内側、外側には酸化スケールを防ぐためにアルミコートをするとうい。特に外側のスケールはルツボの耐用時間に影響がある。

マグネシウム溶解にはルツボの管理が、重要な問題となる。ルツボ管理表により使用時間、点検項目（肉厚、ふくれ、溶接箇所の異常等）をチェックすることが望ましい。

マグネシウム溶解時には、多くのスラッジが炉底に生成するので毎日スラッジを取り除く必要がある。除去しないと熱効率も悪くなり、ルツボを掃除するときに除去が困難になる。

ルツボは予備を持ち清浄で保守点検したものを交互に使用するとよい。掃除するには合金を完全に汲み出して冷却後水を満杯にして1~2日放置してからスラッジを取り出す、取れない場合は薬剤溶液を満杯にして2~3日放置後取り出すとよい。なお取れないときは、タガネやハンマーを使って取らなければならない。もしそのまま残して溶解に使用すると危険である。

参考 薬剤溶液（イドラー社の資料による）

水 : 82^l

燐酸 : 10^l

酒精 : 8^l

尿素 : 30^{kg}

4.1.10.2 フラックス

マグネシウム合金の溶湯面の保護には不活性ガス（SO₂, CO₂, SF₆）金属塩化物等のフラックスが使われる。フラックスの機能は溶湯面の保護と溶湯の精錬である。また溶解状態あるいはクラスト状で湯面を覆い酸化燃焼を防ぐ能力もある。

フラックスはマグネシウムと反応しないで酸化物等の不純物をスラッジの形で沈める機能も併せ持っている。

Mg 用フラックスの性状

Dow - 230 流動性が良いがフラックスが製品に混入しやすい（Cl 量の増加）

Dow - 310 固化被覆用、溶湯面でクラスト（Crastr）するので製品への混入は少ない（SK - 130 に相当）

Dow - 234 ダイカストスクラップの再生溶解に適す（SK - 432 に相当）

油、その他の不純物が混入しているときは BaCl₂ の入った重質のものが良い

表4-1-11 マグネシウム用フラックス

| | MgCl ₂ | KCl | NaCl | CaCl ₂ | BaCl ₂ | MgO | MnCl ₂ | CaF ₂ | |
|----------|-------------------|------|------|-------------------|-------------------|-------|-------------------|------------------|-------------------|
| JIS溶解用○ | 43 | 43 | 9 | 5 | | | | | |
| JIS精錬用△ | 50 | 30 | | | | 10 | | 10 | |
| | | | | | | | | | |
| DOW 220 | | 57 | | 28 | 12.5 | | | 2.5 | 精錬用底に沈む |
| "-230○ | 34 | 55 | | 9 | | | | 2 | 鍋炉用燃焼防止用 |
| "-234 | 50 | 25 | | | 20 | | | 5 | ダイカスト用 |
| "-250 | | 23 | | | 2.5 | | 72 | 2.5 | Mn 添加用230併用 |
| "-310△ | 50 | 20 | | | | 15 | | 15 | 流動性, クラスト化 |
| "-320 | | | | | | 11 | 76 | 13 | Mn 添加用310併用 |
| | | | | | | | | | |
| SK 101 ○ | 47 | 33 | 20 | | | | | | |
| SK 105 △ | 33 | 10 | 24 | | | 10 | | 23 | |
| FM 110 ○ | 23 | 53 | 5 | 4 | 8 | 7 | | | |
| FM 130 △ | 38 | 24 | 8 | | | 14 | | 16 | |
| FM 140 | 11 | 44 | 7 | 12 | 8 | 7 | | 11 | ダイカスト用 |
| | | | | | | | | | |
| TO-P | 25 | 12.5 | | | 25 | 25 | | 12.5 | |
| | | | | | | | | | |
| 比 重 | 2.32 | 1.98 | 2.17 | 2.22 | 3.10 | *3.2 | 2.0 | 3.16 | *3.2~3.7 |
| 融 点 ℃ | 718 | 768 | 800 | 774 | 960 | >2500 | ** | 1403 | **2aq:58, 0aq:650 |

表中 ○: 溶解用

△: 固化被覆用

☆ DOW-220, 234, FM-130は精錬用として使われる

TO-Pはダイカストスクラップ精錬用に適す

- Dow - 220 SO₂ガスで湯面が保護されている鍋での精錬に使う
- SK - 101 流動性が良く溶解中の酸化燃焼を防ぐ
- SK - 105 清浄用, SK101と併用する
- SK - 110 流動性が良く溶湯面を保護する
- SK - 130 流動性があり次第にクラストする, ダイカストスクラップの精製にむく
- SK - 140 SO₂ガスで保護して使用する, 精錬用で重く底に沈むフラックスである
- TO-P ダイカストスクラップ用に開発されたもので精錬性と溶湯とスラッジの分離性が良い

精錬用フラックスは溶解用フラックスに CaF₂, MgF₂, MgO 等を多量に加えたもので溶湯中の酸化物, 窒化物, 残留フラックス等を吸収沈降させる。また, 滓や残留フラックスと溶湯 (メタル) をよく分離する。

BaCl₂, CaCl₂, は比重が大きいため滓の沈降速度を速める効果がある。

その他に防燃用フラックスがある。溶湯の汲み出しの時等に用いられる。組成は下記のようなものがある。

| | S % | H ₃ BO ₃ % | NH ₄ BF ₄ % |
|---|-----|----------------------------------|-----------------------------------|
| ① | 80 | 15 | 5 |
| ② | 28 | 62 | 10 |

マグネシウム合金用フラックスは吸湿性があるので密閉できる缶等に保管する。吸湿したものを使用すると爆発し非常に危険であるから使用してはならない。

表4-1-12 フラックスの分類

一般に使用されるフラックスの原料は, 次の三種類に大別される。性状等は次の通りである。

| | 主な働き | 性状 |
|-------------------------|--------------------|---|
| 弗素化合物 | 脱酸を主とする。ドライドロスを作る。 | 単体では融点が高い。(塩素化合物を混合して融点を下げる。) 脱酸剤としては良いが発熱反応を起こし公害となるガスを発生する。 NaCl, KCl, NaF の混合物 (共晶組織とする) は融点が, 605℃となる。 |
| 塩素化合物 | フラックスの融点を溶湯温度に合わせる | 水素ガスを発生して脱ガス作用をする。溶湯中の酸化物や他介在物を吸着して溶湯を清浄化する。 流動性のため除滓が困難である。(弗素化合物, 硝酸化合物, 硫酸化合物を加えてドライ状のスラッジにすることができる。) |
| 炭酸化合物 硝酸化合物 硫酸化合物 | スラッジをドライ状にする | 各化合物の化学反応の抑制と促進を行う。 |

表4-1-13 フラックスの主原料

| | 品名 | 化学式 | 分子量 | 比重 | 融点℃ | 沸点℃ | 備考 |
|---|----------|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|-------------|
| 弗 素 化 合 物 | 弗化アルミニウム | AlF ₃ | 83.98 | 2.88 | 1,040 | | |
| | 弗化カリウム | KF | 58.10 | 2.48 | 880 | 1,500 | 潮解性 |
| | 弗化ナトリウム | NaF | 41.99 | 2.79 | 992 | 1,704 | |
| | 弗化カルシウム | CaF ₂ | 78.08 | 3.18 | 1,360 | 2,500 | 別名：蛍石 |
| | 弗化マグネシウム | MgF ₂ | 62.28 | | | | |
| | 珪弗化ナトリウム | Na ₂ SiF ₆ | 188.06 | 2.68 | 分解 | — | 劇物 |
| | 硼弗化ナトリウム | NaBF ₄ | 109.79 | 2.47 | " | (384) | |
| | クリオライト | Na ₃ AlF ₆ | 209.94 | 2.90 | 1,000 | — | 別名：氷晶石 |
| 塩 素 化 合 物 | 塩化アルミニウム | AlCl ₃ | 133.34 | 2.44 | 190 | 昇 183 | 潮解, 昇華, 発煙性 |
| | 塩化 亜鉛 | ZnCl ₂ | 136.27 | 2.91 | 313 | 732 | 潮解性, 劇物 |
| | 塩化カリウム | KCl | 74.56 | 1.98 | 776 | 1,500 | |
| | 塩化ナトリウム | NaCl | 58.45 | 2.16 | 800 | 1,413 | 食塩 |
| | 塩化カルシウム | CaCl ₂ | 110.90 | 2.22 | 772 | >1,600 | |
| | 塩化マグネシウム | MgCl ₂ | 95.22 | 2.32 | 712 | 1,412 | 潮解性 |
| | 塩化バリウム | BaCl ₂ | 244.1 | 3.10 | 960 | | |
| | 塩素ガス | Cl ₂ | 70.9 | 液 3.21 | 101 | -34.1 | 劇物, 特定化学物質 |
| 炭 酸 塩 ・ 硝 酸 塩 ・ 硫 酸 塩 ・ 他 | 炭酸カリウム | K ₂ CO ₃ | 138.21 | 2.43 | 891 | | |
| | 炭酸ナトリウム | Na ₂ CO ₃ | 105.99 | 2.53 | 851 | | |
| | 炭酸カルシウム | CaCO ₃ | 100.09 | 2.93 | 1,339 | | |
| | 硝酸カリウム | KNO ₃ | 101.11 | 2.10 | 300 | | 危険物 1 類 |
| | 硝酸ナトリウム | NaNO ₃ | 84.99 | 2.26 | 308 | | " |
| | 硫酸カリウム | K ₂ SO ₄ | 174.27 | 2.66 | 1,069 | | |
| | 硫酸ナトリウム | Na ₂ SO ₄ | 142.05 | 2.69 | 500 | | |
| | ナトリウム | Na | 22.99 | 0.97 | 97.5 | 880 | 劇物, 危険物 3 類 |
| | 窒素ガス | N ₂ | 28.02 | 液 1.25 | -205.9 | -195.8 | |
| | フロンガス | CCl ₂ F ₂ | 120.90 | 液 6.26 | -158 | -29.8 | 別名：フレオン |

4.1.10.3 離型剤

溶湯が金型に焼付くのを防止し、型離れをよくして製品が押し出されるとき、歪みや割れを無くすために離型剤を使用する。

離型剤には、水溶性、油性があり、カーボンやアルミ粉の入ったピグメント入りとノンピグメントのものがある。最近では公害問題、作業環境の良化等があって油性より水溶性の離型剤が主に使われるようになった。

離型剤は焼付き防止等は勿論、鑄巣発生を最小限に止めるため、金型に塗布後は型温により十分に気化して、溶湯が鑄込まれても気化しないもので、薄くて潤滑性のよい熱伝導性のある堅固な皮膜を形成するものでなければならない。200～300℃で大部分が気化して400℃で多少の離型剤主剤が残るものがよい。

水溶性離型剤は、高温接着剤（接着性）、高温皮膜形成剤（皮膜性）、高沸点物質、乳化剤、乳化方法でその優劣が決まるのではない。

離型剤の今後の開発方向として、特殊な（真空法、高圧鑄造法等）鑄造法を使わなくても鑄巣を非常に少なく耐圧性に富む製品を作るために、無機質、有機物質の固形離型剤かそれらを主成分とする離型剤の研究開発になるであろう。

表4-1-14 離型剤の種類と特徴

| | 種 類 | 組 成 | 特 徴 |
|---|-------------|---------------------|---------------------------|
| 1 | 油性+固体混合物 | 動植物油、鉱油、合成油、黒鉛、アルミ | 鑄肌、抜きの必要なもの、大型複雑な型に適す |
| 2 | 純油性 | 動植物油、鉱油、合成油、油性向上油 | 抜きの必要なもの、比較的中、小型向け |
| 3 | エマルジョン+固体懸濁 | 一般油、乳化剤、黒鉛、アルミ、水 | 抜きの必要なもの、作業環境の改善、量産タイプに適す |
| 4 | 純エマルジョン | 一般油、ワックス、乳化剤（水） | 作業環境の改善、中小型向き |
| 5 | 乾燥皮膜（純水性） | 黒鉛（固体潤滑剤）、分散剤、接着剤、水 | 特殊なダイカスト向き |

4.1.10.4 マグネシウムダイカスト安全作業のために

1. 作業場域の整理整頓

- (1) 不要物は取り除く
- (2) 床面の清掃
- (3) 各ガスボンベは、邪魔にならない所に倒れないように固定する
- (4) 各ガス用、冷却水用ホースは締付金具で装着する

- (5) 床面には水分が無いこと（排水溝の流れを良くして蓋をする）
- (6) バリ飛散防止用の衝立をたてること
- (7) フラックス、消火用砂等は取りやすい場所に明示する（砂は乾燥したもの）

2. 鑄造機・手許炉関連

- (1) 鑄造機の整備点検（作動テスト、安全装置等）
- (2) 鑄造機の水漏れ、油漏れの無いこと（プランジャーロッドの冷却水漏れ注意）
- (3) スリーブ、チップの嵌合具合の点検
- (4) 手許炉の燃焼状態は正常であること
- (5) 温度計のチェック（マスター温度計との対比）
- (6) ルツボの過熱部分の有無（炉雰囲気温度は950℃が目安）
- (7) 不活性ガスの流入量は適量であること（鑄造作業標準による）
- (8) スライド戸の作動はスムーズであること（フートバルブの調整を的確に）
- (9) 柄杓の残湯はルツボに戻してはならない
- (10) ルツボ内で溶湯の燃えた時は、SF₆ガスを多量に流すか、硫黄粉末を撒布する
- (11) フラックスの付着した材料、溶解用具等は溶湯中に入れてはならない

3. 溶解用具等・フラックス

- (1) 杓、滓揚げ、インゴットケース、スラッジ函等は十分予熱する（150℃以上）
- (2) スラッジ、ドロスは、スラッジ函に入れる（防燃には溶解用フラックスを撒布）
- (3) 杓、滓揚げ、インゴットケース等のスケールを完全にとり塗型剤を撒布する
- (4) フラックスは密閉缶に保管のこと（吸湿性があり、湿ったフラックスを使うと爆発の危険がある）
- (5) フラックスをルツボ、インゴットケース内に入れてはならない
- (6) インゴットケースに注湯する場合は、少量の硫黄粉末を撒布する（フラックスは使用禁止）

4. 金型・その他

- (1) 金型に割れの無いこと、ショットスリーブも同様（冷却水の漏れ）
- (2) 金型予熱は250℃以上のこと
- (3) 金型よりのバリ飛散のないこと（型合わせ面、中子摺動部のバリ注意）
- (4) 離型剤の2度吹きはしないこと（水分の残る恐れがある）
- (5) 発生したバリや細かい片は、密閉缶に入れ火気、外気と遮断すること
- (6) マグネー材料切断用鋸盤は専用とする（マグネの切粉は鉄切断時の火花で発火する）

4.2 マグネシウムダイカストの湯流れシミュレーション

4.2.1 はじめに

ダイカスト法は、廉価で多量生産が可能で寸法精度に優れているため、複雑形状を有する素形材の代表的製造法として広く利用されている。従来、主に自動車部品を中心にダイカスト品が用いられてきたが、最近ではリサイクルの問題から家電用部品としてプラスチックの代替材としてマグネシウム合金鋳物の採用が増加しており、ダイカスト法やプラスチックと同じような射出成形方法を用いた鋳造法(チクソモールド法)により製造されている。

成形加工法一般に言えることだが、加工時に材料が受ける力学的・熱的負荷とその応答を知ることは健全な成形品を製造する上できわめて重要である。しかし、高速、高温、高圧、といった環境下での非線型な熱・力学的な挙動を実験的に調べることは容易でなく経験や勘に頼った加工設計がなされているのが現状である。最近では、薄肉化や高強度化に関連して従来にはないような限界に近い条件での成形を求められる機会が増えており、成形シミュレーションを用いた成形条件の最適化に関する研究の推進が強く求められている。

一口にダイカスト法といっても様々なプロセスが開発・実用化されており、製品に要求される品質に応じて使い分けられている。シミュレーションの基本となる凝固・湯流れ解析モデルは通常共通のものが用いられているが、各鋳造法毎にその使いこなしにはノウハウが必要である。チクソモールド法においても材料が金属材料である以上チクソトロピー性以外の挙動については従来とほぼ同様な解析モデルが利用できると考えられる。ここでは、シミュレーションを用いた成形条件の最適化の視点から、ダイカスト法の特徴、金属の流動性、鋳造設計法について概説するとともに、特に関心が高いと思われる湯流れシミュレーションの現状について簡単に説明する。

4.2.2 ダイカスト法の特徴^{5, 6, 7)}

表1に示すようにダイカストは年間約80万トン(約4800億円)の生産量があるが約75万トン(約94%)がアルミ合金ダイカストで占められる。亜鉛合金は4万トン程度で、マグネシウム合金などのその他の合金が4千トン程度である。

表4-2-1 ダイカストの生産量(平成9年度) 単位: トン²⁾

| 材質 | 一般機械 | 電気機械 | 自動車 | 二輪自動車 | その他 | 合計 |
|-----|--------|--------|---------|--------|--------|---------|
| アルミ | 52,148 | 39,986 | 587,149 | 47,495 | 47,369 | 754,146 |
| 亜鉛 | 2,371 | 4,862 | 19,977 | 4,297 | 11,319 | 42,827 |
| その他 | 321 | 700 | 1,788 | 127 | 1,217 | 4,152 |
| 合計 | 54,840 | 45,548 | 558,914 | 51,919 | 59,905 | 801,124 |

ダイカスト機には、大きく分けてホットチャンバー機とコールドチャンバー機の2種類がある。ホットチャンバー機は金型に溶湯を圧入するスリーブが機械に付属した保温炉の溶湯によって常に加熱されているのが特徴で、生産性が高いが高圧をかけることが困難(型締力: 10kN~10000kN)であるため比較的融点の低い亜鉛合金やマグネシウム合金の鋳造に用いられる。コールドチャンバー機は、スリーブが保温炉により加熱されておらず保温炉から必要量をラドルなどでスリーブに汲み込み射出するもので比較的融点の高い銅合金、アルミニウム合金、ときにはマグネシウム合金の鋳造に用いられる。その構造から高圧(型締力: 数100kN~

40000kN)での成形が可能である。

ダイカスト法は、射出速度・鑄造圧力などの違いからさらにいくつかのダイカスト法に分類される。一番普及しているのが圧力ダイカスト法で、単にダイカスト法と呼ばれた場合は圧力ダイカスト法を指す。この方法では、高速・高圧で金属溶湯を金型に押し込み成形する。そのため、寸法精度や生産性に優れるが金属溶湯は表 2 に示すように低粘性であり高速充填した場合は充填途中で製品内部に多くの空気を巻き込む。そのため、いわゆる鑄巣の発生を避けることが困難である。空気が圧縮され高圧の小さな気泡として鑄物内部に存在するため熱処理もできない。

このような不都合があるにもかかわらず高速で溶湯を射出するのは、溶湯の温度低下による流動停止(湯回り不良)を避けるためである。空気の巻き込みを前提とし製品仕様上問題にならない程度に高圧により気泡を小さく圧縮してやろうというのが高圧ダイカストの基本的な考え方である。それにしても巻き込まれる空気の量は基本的に少ない方が良いのは明らかであり鑄造方案上の工夫により溶湯充填挙動を制御し空気の巻き込み量を抑えたり、プロセス上の工夫、例えば金型内を減圧状態にし空気の巻き込み量を抑える真空法などが併用されている。また、特殊な方法として金型キャビティ内を酸素雰囲気において溶湯を霧状に射出するPF(Pore Free)法がある。この方法ではキャビティ内に存在した酸素はアルミニウムと反応し鑄物内部に取り込まれるためキャビティ内の残存空気に起因したポロシティの発生がない。

ダイカストで用いられる軽合金の多くは表 3 凝固収縮 に示すように凝固時に体積が収縮する。そのため、凝固パターンが不適切であると製品内部に引け巣欠陥が発生する。薄肉製品の場合、引け巣や空気の巻き込みによるポロシティ欠陥が適度に分散され製品仕様上問題になる場合が比較的少ないが、厚肉品では大きな引け巣欠陥の発生を如何に抑えるかが問題となる。

表 4-2-2 金属の凝固収縮量(体積%)⁴⁾

| 材料名 | 凝固収縮率 |
|---------------|---------|
| Al | 6.6 |
| Cu | 4.2 |
| Mg | 4.2 |
| Zn | 6.9 |
| 90% Cu-10% Al | 4.0-5.5 |
| 90% Al-10% Mg | 7.5 |

表 4-2-3 動粘性 (単位:m²/s)³⁾

| 材料名 | 動粘性係数 |
|-----|----------------------------|
| 水 | 1.0×10 ⁻⁶ |
| Al | 0.47~0.85×10 ⁻⁶ |
| Cu | 0.5×10 ⁻⁶ |
| Mg | 0.76×10 ⁻⁶ |

基本的には、製品端部からビスケット部(射出部)に向かって凝固が進行するいわゆる指向性凝固が実現するように金型温度を管理することが重要である。しかし、金型の構造的な問題や高温(溶湯温度:1000℃[銅合金], 700℃[アルミ合金], 金型表面温度:300℃程度)での金型温度制御が技術的に困難である場合が多い。

このような問題に対して開発されたのが高圧ダイカスト(スクイズダイカスト)法である。この方法は、低速で溶湯を充填し十分な高圧で保圧することを特徴としている。凝固収縮による溶湯の不足を高圧で補ってやろうというのが基本的な考え方である。加圧方法には、射出プランジャを用いる方法と金型内に設置した加圧ピンを用いる方法がある。いずれにしても加圧のタイミングが重要であり、加圧により発生した合金成分の濃化による偏析の発生が問題となる場合がある。

4.2.3 金属の流動性^{1, 4)}

液体金属の流れ(湯流れ)は、鑄造の基本問題として注目され多くの研究がなされてきた。しかし、鑄型(金型)の存在が現象を複雑にしていると同時に金属の凝固形態が湯流れに大きな影響を及ぼしているため未だに解明されたといえる状況にない。鑄造においては、いくつかの物理現象が複合された結果としての流動性(Fluidity)が重要である。ダイカストの流動性を測定するための一般的な方法は確立されていないが、長いチャンネルを彫りこんだ金型を用いた流動性評価実験結果がいくつか報告されている。その結果の多くはデータのばらつきが大きく流動性の解明が困難な問題であることを示唆している。

金属の動粘性係数は表 3 に示す程度であり、液相線温度以上の溶湯では水と同程度あるいはその数分の 1 程度である。そのため、ダイカスト時の湯流れ状況を水モデル実験で模擬し評価することがよく行われている。これは、実際のダイカストの湯流れは分厚い金型内部での現象であり充填時間が 0.01 秒以下と高速なため実実験が困難であることによる。また、いわゆるショートショットも行われるが流れが慣性支配の流れであり、射出の停止と同時に流動が停止することが無いため、水モデル実験以外に有効な実験方法が無いためである。

金属溶湯は温度の低下とともに固相が晶出し図 1 に示すように見かけの粘性が増加していく。固相の晶出形態は、合金成分により図 2 に示すように異なる。純金属に近い場合は、鑄型から固相が成長するため流入口近くで閉息し流動が停止する。それに対して、マッシー凝固するよ

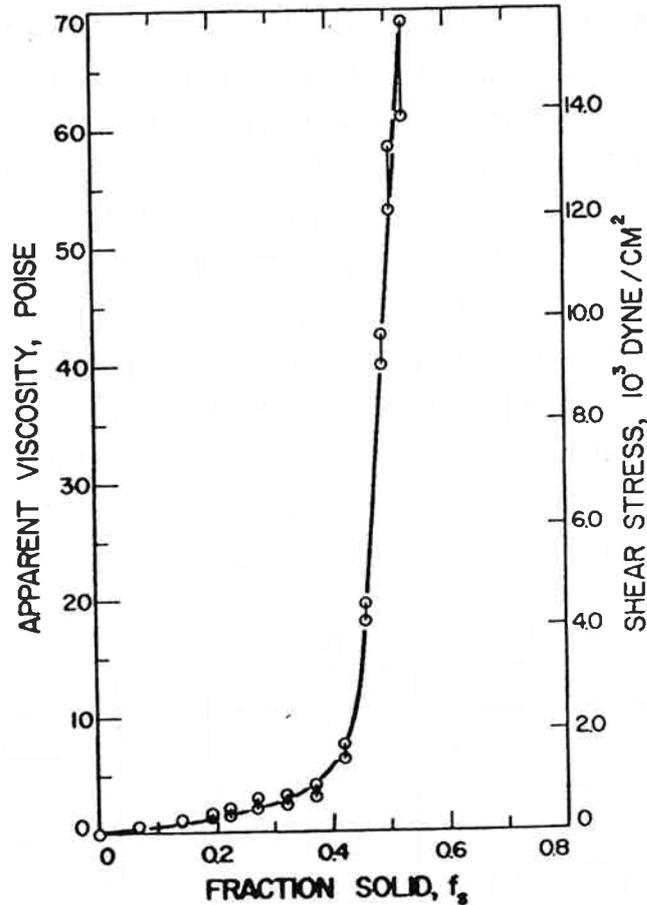


図 4-2-1 Pb-15% Sn 合金のみかけの粘度

うな合金では溶湯先端部において閉息し流動が停止する。

晶出する固相の形状を特殊な方法により小さく丸くした状態で鑄造する方法が MIT のフレミングらによって提案されてから久しいが、最近になってようやくダイカストの分野でもチクソキャスト、レオキャストと称するダイカスト法(以下まとめて SSM[Semi-Solid Metal Processing]法と呼ぶことにする)の実用化が精力的に進められている。アルミニウム実用合金については木内らによって低固相率から高固相率までの広い範囲にわたってそのレオロジー特性(チクソトロピー性)が評価されているが固相率が 40%から 60%程度の範囲で急激に変形抵抗が増すことを報告している。⁸⁾ SSM 法併用のダイカスト機も開発されているが、高粘性体の射出に適するように高速射出(プランジャ速度: ~10m/s)でリアルタイム多段制御を可能にしているのが特徴である。

チクソトロピー性とは、湯流れ時のせん断変形が大きい場合、みかけの粘性が減少する性質を指す。プラスチックでも同様な現象が起こることが知られており、樹脂の充填シミュレーションに利用されている。この性質により高固相率の状態でもちゃんと湯が流れることを期待しているわけだが、金属では固相の増加に対する流動抵抗の増加が急激に起こる事に変わり無く、単に急激な粘性抵抗の増加が起こる固相率の値（臨界固相率）が変化しただけであることに注意する必要がある。肉厚製品では、場所による温度差やせん断速度の差が発生しやすく湯流れに及ぼすチクソトロピー性の影響は大きいといえる。それに対し、薄肉製品では場所による温

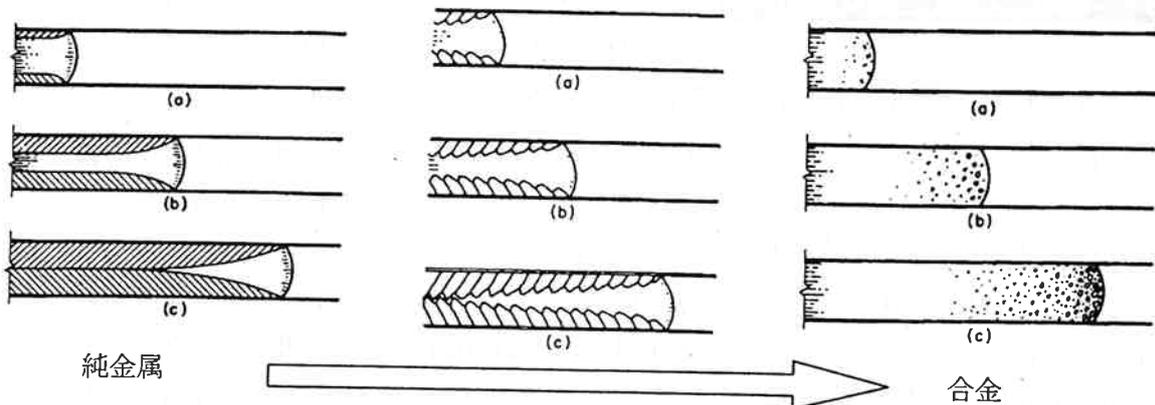


図 4-2-2 凝固形態の違いによる流動停止機構の違い

度差というよりは溶湯先端部の温度低下を押さえて湯周り不良が発生しないように努めることがなにより必要であり、チクソトロピー性を利用して湯周りを良くするためには大変高度な温度制御技術が必要である。また、より低温度での鑄込みとなるため湯境い欠陥等が発生しやすくなることを考慮しなければならない。

4.2.4 鑄造設計

ダイカストの鑄造設計で重要なのは、ランナー(湯道)・ゲート(堰)設計及び金型冷却設計である。物理現象としては、流動と凝固でありダイカストの品質、歩留まりに大きく影響することが知られている。亜鉛合金などの低融点合金に対してはランナー断面積を一定としたILZRO方式やタンジェンシャルランナーを基本としたオーストラリア方式などのランナー・ゲート設計法が提案されている。オーストラリア方式とCADを融合したソフトウェアも開発されマグネシウム合金のホットチャンバー機にも適用されている。アルミニウム合金に対しては米国においてSDCEがILZRO方式に類似の方法を提案しているが実情としてはダイカストメーカー各社のノウハウに基づきランナー・ゲート設計が行われているのが現状である。

鑄造欠陥の発生に関連してキャビティ内の流れに関する研究が多く、ランナー・ゲート部の湯流れに関する研究は少ない。ランナー部における湯流れに関する研究では、(社)日本ダイカスト協会により多数個取りの湯流れの問題を水モデル実験、鑄造実験、シミュレーション、理論解(ベルヌーイ近似)、などにより評価した結果が報告されている。⁹⁾ この報告によれば、ランナー部の湯流れは基本的に非定常現象であり一般論が成立しない場合が多いが、定常状態が仮定できるような場合は流入口から遠いゲートからの流出量が多くなるのが理論と水モデル実験で確認された。ただし、高速射出になると背圧の影響などにより傾向が逆転しより流入口に近いゲートからより多く流出する。また、通常採用されているプランジャ速度では溶湯が

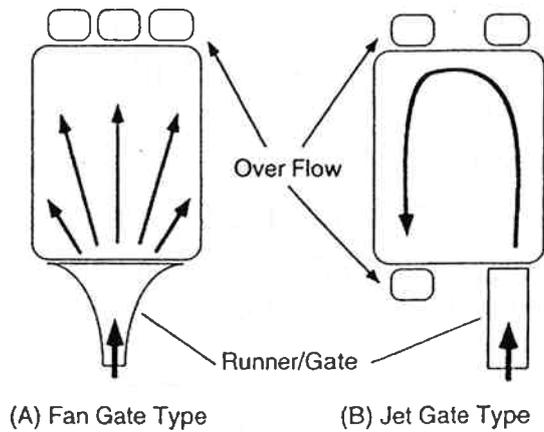
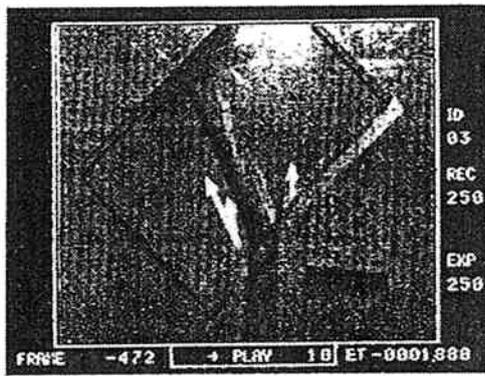


図 4-2-3 ゲート部での流出方向の変化 図 4-2-4 ゲート設計の基本形状

ランナー内部を流れるとき重力の影響を受け、その結果として流れの非定常性が増すことも報告されている。空気を巻き込まず均等に溶湯が分配できるランナーが良いと考えられているが、試行錯誤によりランナー形状を決めているのが現状である。

ゲート部の流れに関する研究もあまり多くないが、低粘性流体が高速でゲートを通過するとき、図 3 に示すように流入方向が急激に変化することが知られている。曲がり角とゲート形状の関係を解析的に示す理論式が提案されており、水モデルやアルミの実用合金を用いた実験により検証されている。ゲート部の流れが連続流か不連続流か未だに議論があるが、最近の直接観察の結果では連続流と考えて良いようである。以前から想像されていたことではあるが、スリーブ内で巻き込んだ空気や凝固片がゲート部に移流しゲート部の湯流れに影響する様子も報告されている。

ゲート形状の設計方針は図 4 に示すようにジェット型とファン型に分類できる。ジェット型では指向性良く溶湯を流入させて空気を特定の場所に追い込みエアイベントやオーバーフローに吐き出させるのが基本的な考え方である。これに対し、ファン型ではゲート部で溶湯を扇状に広げキャビティに流入させるもので、空気の巻き込みを分散させて大きなポロシティの発生を防ごうとするのが基本的な考え方である。実際は、この両者を併用した形でゲートが設定されるが、ランナー部と同様に科学的な設計手法は未だに確立されておらず経験的に決めているのが現状である。

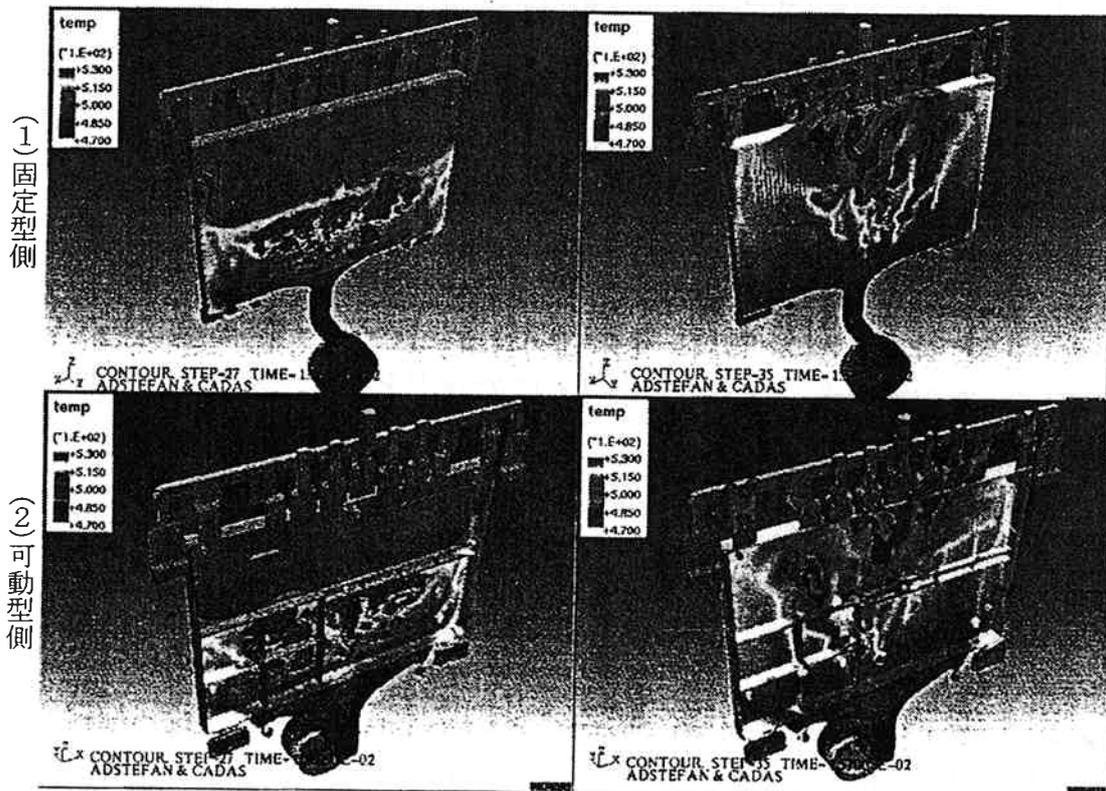
4.2.5 凝固・湯流れシミュレーション^{10-15, 17-20)}

ダイカストの主な欠陥は湯境い・湯じわと引け巣である。これは鑄造問題全般にいえることで、これらの欠陥の発生を机上で予測するための鑄造に特化したシミュレータが開発され実際問題に適用されている。鑄造シミュレーションの歴史は、1970 年代に米国 GE の研究者により鑄造の問題にコンピュータ解析手法が適用されたのが最初とされている。その後、日本の研究者・技術者によって実用化研究が積極的になされ、1982 年頃に日本において世界に先駆け凝固シミュレータが実用化された。鑄物内部のマクロな熱伝導に特化した解析により引け巣欠陥の発生予測パラメータを評価し鑄造方案の良し悪しを定量的に評価できるのが特徴である。主に砂型鑄造品に適用され、凝固シミュレーションが鑄造品の歩留り向上や品質向上に有効であることが示された。

湯流れ解析が初めて報告されたのは 1983 年のことで、ピッツバーグ大学において米国ロス

アラモス研究所で開発されていた自由表面問題が解析できる汎用流体解析コード(MAC 法)が 2 次元の湯流れ問題に初めて適用された。MAC 法は、流れに浮かべた仮想粒子(マーカー)の移流により自由表の移動を考慮でき、金属溶湯のような非圧縮性粘性流体(ニュートン流体)の非定常解析ができる。MAC 法は 2 次元のコンピュータプログラムが公開されており 3 次元化も容易であったので MAC 法をベースにした湯流れシミュレータが日本でも作成された。しかし、その後と同じくロスアラモス研究所で開発された VOF (Volume Of Fluid)法がメモリーや計算速度の点で優れていることから、現在では VOF 法ベースのシミュレータが主流である。VOF 法も 2 次元のコンピュータプログラムが入手可能であるが 3 次元化には工夫を要することや直交要素以外の要素への適用が困難であることなどから差分系のプログラムが比較的多い。

湯流れ解析は、計算量が多いためワークステーションを利用して解析することが多かったが PC の計算能力向上は目覚ましく、最新の PC は数百万要素規模の湯流れ計算を数時間で解析する能力がある。解析可能な要素数も現在では 2 千数百万要素/1GB 程度に達しており、1 億要素を超えるような大規模計算も行われ出している。先に述べたように、熔融金属は水に近い動粘性係数を有することからダイカストでは水モデル実験の代わりとして湯流れシミュレーションが利用される場合が多い。凝固シミュレーションの高精度化として、流動中の溶湯の温度低下を考慮する目的で湯流れ解析が利用される場合もあるが、多くの場合は充填時間に比して鋳物の凝固時間が長いいため湯流れを考えない凝固計算ですませる場合が多い。また、高速充填ダイカストの場合は背圧の効果が無視できないことがわかっているが、境界条件の問題、すなわち、金型の合わせ面からの空気のリーク量をどのように考慮するかや計算時間の増加など実用化までに解決されなければならない課題が多い。図 5 に、ラップトップパソコン筐体をマグネシウム合金にてコールドチャンバーダイカストする際の湯流れ解析例を示す。解析は、



a) 充填初期

b) 充填後期

図 4 - 2 - 5 湯流れ解析事例 (パソコン筐体)

Advanced Stefan3D で行った。溶湯の濃淡は温度の高低を表しているが、湯先ほど温度が低下しており、最終充填部が反ゲート側の中央部となることがわかる。

ダイカスト問題でも引け巣欠陥の発生予測には凝固解析が利用されている。しかし、ダイカスト問題の特徴として金型を繰り返し利用して鑄造を行うため金型温度が鑄物によって加熱され温度が上昇するため、凝固解析でも繰り返し鑄造を模擬した計算が必要である。検討しなければならない鑄造条件や冷却条件は多数あるため、金型冷却設計の最適化をシミュレーションだけで行うことはきわめて困難であった。最近になって、金型が最終的に達する温度を鑄造条件や冷却条件の関数として解析的に見積もり評価する手法（周期的定常熱収支法:CSM[Cyclic Steady state heat balance Method]）が提案されている。²¹⁾ CSM では解析解を利用しているため、金型冷却設計に必要なパラメータサーベイを高速に行うことができる。また、CSM により予測された金型温度を初期温度として詳細な非定常凝固解析を行った場合、定常状態が速やかに実現されるため計算時間が 1/10 程度に短縮できる。

鑄造後の凝固組織をセルラーオートマトン法により予測する試みもなされており、一部の汎用鑄造シミュレータにも組み込まれ始めている。また、偏析の発生といったマイクロモデリングとマクロモデリングを連成した解析が試みられているが実用化には至っていない。また、最近注目を集めている SSM についてもシェアーシニングを考慮した湯流れ解析が一部の汎用鑄造シミュレータに組み込まれており、その適用例が報告されているが計算モデルの詳細や実用性についてはほとんど知られていない。

溶湯の流動が停止するかどうかのぎりぎりの条件で鑄造する場合には、やはり流動中の凝固を考慮した湯流れ解析が必要になってくるが、溶湯が流動を停止するメカニズムは未だに解明されていない。しかし、臨界固相率近傍での急激な粘性抵抗の増加を厳密に考慮するのではなく、臨界固相率以上では流動を停止するといった単純モデルによる検討でも有用な知見が得られることもわかっている。SSM においても単にシェアーシニングを考慮するだけでは不十分で湯境い・湯じわの発生条件を定量的に捉える技術の開発が必要である。また、チルベントの効果的な利用方法の検討にも、流動中の凝固を考慮した湯流れ解析が有効と思われる。

鑄物に発生する残留応力の計算や型の熱変形を凝固・湯流れ計算に引き続き行う試みもなされている。単純な線形熱弾性モデルを採用している場合が多いが、全体の変形量に及ぼす固液共存状態での変形の影響は少ないらしく、金型から取り出したときの製品内部の温度差がそのまま変形となって現れると考えた単純モデルでも役に立つ結果を得ることができると報告している例が多い。

4.2.6 おわりに

鑄造シミュレーション技術はコンピュータ関連技術の急速な進歩によって今やダイカスト技術者にとって無くてはならない道具として定着している。鑄造設計は、未だにその多くを経験や勘に頼っているが着実に合理的・定量的なものへと変化し始めている。商用鑄造シミュレータの出現によって鑄造時の複雑な現象が机上で評価できるようになった訳だが、商用鑄造シミュレータでは商業的な理由によって基礎研究が不十分な問題でも考慮できるとしている場合が多い。²⁰⁾ しかしその多くはブラックボックスであり計算結果の解釈に苦慮する場合がしばしばある。実用性を重視した結果と思うが、本当に信頼できる解析を行うためにはやはり基礎研究が不可欠であり計算モデルの信頼性を高めるための努力が今後とも必要である。

参考文献

- 1 Solidification Processing, Flemings, McGrawHill
- 2 会報 ダイカスト, 1998, 108, (社) 日本ダイカスト協会
- 3 コンピュータ伝熱・凝固解析入門, 大中逸雄, 丸善
- 4 鑄造技術の基礎, 梶山正孝, (財) 素形材センター
- 5 軽合金鑄物ダイカストの生産技術, 神尾彰彦編, (財) 素形材センター
- 6 ダイカスト技術入門 第2版, 菅野友信, 植原寅蔵, 1997, 日刊工業新聞
- 7 アルミニウム合金ダイカスト その技術と不良対策, 菅野友信, 植原寅蔵, 1997, カロス出版
- 8 '98 日本ダイカスト会議論文集, (社) 日本ダイカスト協会
- 9 ダイカスト多数個取りの調査研究, 素形材センター研究調査報告 517, 1998, (社) 日本ダイカスト協会, (財) 素形材センター
- 10 コンピュータシミュレーションによる鑄造方案の最適化に関する研究, 研究報告 59, 1992, (社) 日本鑄物協会
- 11 ダイカストの生産技術に関する研究, 研究報告 67, 1994, (社) 日本鑄物協会
- 12 湯流れシミュレーションと湯道方案の最適化に関する研究, 研究報告 70, 1995, (社) 日本鑄物協会
- 13 ダイカストの鑄造欠陥と対策, 研究報告 74, 1997, (社) 日本鑄物工学会
- 14 擬三次元モデルを用いた湯流れ解析によるダイカスト鑄造欠陥の発生予測, 安齋浩一, 内田敏夫, 片岡勝利, 1988, 鑄物, No.12, 763-769
- 15 理想流体モデルによるダイカスト湯流れ問題の解析解, 安齋浩一, 内田敏夫, 1991, 鑄物, No.6, 528-534
- 16 ダイカストの湯流れに及ぼすゲート形状の影響, 安齋浩一, 新山英輔, 1992, 日本ダイカスト会議論文集, JD92-10, 77-82
- 17 鑄造 CAE システム Stefan について, 安齋浩一, Hao Shouwei, 新山英輔, 日本機械学会第 71 期全国大会講演論文集 D, 1993, 67-69
- 18 自由表面の移動を伴う非定常流れ場の数値解析法, 安齋浩一, 1992, 鑄物, No.6, 415-421
- 19 流れシミュレーションの基礎, 安齋浩一, 1994, 44, 軽金属, No.1, 57-66
- 20 鑄造シミュレーションはどのように実用化されたか, 安齋浩一, 1997, 38, 素形材, 8-14
- 21 Die Cooling Design by Cyclic Steady State Heat Balance Method, K. Anzai, K. Oda, H. Kubo and E. Niyama, Advances in Aluminum Casting Technology, 1998, ASM.

5. マグネシウムチクソ射出成形技術

1. はじめに

ここ数年、携帯機器や家庭用電化製品、電子機器などの筐体へのマグネシウム合金の採用が増加している。そのほとんどがダイカスト法、もしくはチクソモルディング法で作製されたものであり、結果としてマグネシウム合金の使用量も年々増加してきている。このようにマグネシウム合金が使われ始めた背景には、家電及び電子機器メーカーにおけるさらなる軽量化に対する要求が挙げられる。また、精力的に研究されているもののリサイクルが難しい樹脂の代替材料としての採用などもマグネシウム合金の活用を促進させた。一方、マグネシウム合金の成形加工という観点からは、チクソモルディングという新しいプロセスの登場が大きな要因といえる。

今日までダイカストによるマグネシウム合金製品が少なかった理由は、溶湯の燃焼対策が必要となり簡単に誰でも成形できるものではなかったことと、凝固時間の短いマグネシウム合金の薄肉製品を成形するための射出速度の速い成形機がなかったことが挙げられる。そこへチクソモルディングという革新的な成形方法が実用化され、従来のダイカスターだけではなく樹脂成形モルダナーなどの新規参入メーカーが、マグネシウム成形加工に取り組みやすい状況を作り出している。マグネシウム成形品の供給メーカーは、急激な需要の増加に対応して年々増加しており、その大半がチクソモルディング法を採用していることから、各種分野でのマグネシウム化にチクソモルディング法が貢献していることがわかる。

チクソモルディング法が単に樹脂の射出成形と同じプロセスであるために大きく成長したわけではない。従来技術であるダイカスト法で一般に成形されているアルミニウム合金や亜鉛合金と比べて、その合金特性から特殊に見られていたマグネシウム合金の成形における様々な問題を解決して、簡便に成形できる手段を提供できたことが評価されたものと考えている。以下にはチクソモルディングの登場により、マグネシウム合金の成形加工で問題点がどのように解決され、また今後どのような課題を克服していくべきかについてまとめる。

2. チクソモルディング法とは

2. 1 半熔融成形加工

1971年D.Spencerによって発見された半熔融金属におけるチクソトロピー性の発現をもとに、MITのFlemingsらは半凝固させたピレットを半熔融状態に加熱してラム式射出機で成形するレオキャスト法を開発した¹⁾。これが、後に発展して様々な成形方法が提案されることになる半熔融成形加工法の先駆けであった。

溶解した合金を液相線と固相線間の温度に冷却しながら攪拌すると通常の凝固では樹枝状になる初晶が球状に近い形状となり、そのスラリーはチクソトロピー性を示して、粘度が低く流動性に優れた状態になる。このようなチクソトロピックな状態を利用して所望の形状へ加工する成形方法が半熔融加工法である。チクソモルディングを含む半熔融成形加工の特徴は、

以下のとおりである。

- ①比較的高い粘性での成形のためにガスの巻込みが少ない
- ②成形温度と凝固（固相線）温度の差が小さいので凝固収縮量が小さく寸法精度が良い
- ③溶解エネルギーが少なくすむ
- ④金型への熱負荷が少ないので金型寿命が永くなる

同じように固液共存温度領域で成形加工を行う半凝固加工（レオキャスト）もあるが一度溶解しなければならないので溶解エネルギー、原料コストの点から半熔融加工に比べて不利である。また、半熔融加工の中でもSSFなどは薄肉製品には適用困難である。

2. 2. チクソモールドイング法の特徴

一方、DOW CHEMICAL社では1977年頃からBattele研究所と共同で、樹脂成形に使用されている射出成形法を使ったマグネシウム合金成形法の開発に着手した。これがチクソトロピーとインジェクションモールドイングを合わせた造語であるチクソモールドイングと呼ばれる半熔融射出成形技術である。チクソモールドイングとは、せん断力を受けて流動性が増すチクソトロピーという物理的状態になった半熔融状態の金属スラリーを金型内に射出成形するプロセスである。

金属の射出成形といっても、粉末金属を樹脂に練り込んだ原料ペレットを用いる射出成形（MIM）とは異なり、金属そのものを溶かすのでバインダーは使用せず、成形後の脱脂焼結も必要ない。

チクソモールドイングでは、樹脂成形で使われるペレットの代わりに軽金属のチップが使われる。原料チップはホッパーから投入され、設定温度に加熱されたシリンダからの熱によって暖められながらスクリュの回転によってシリンダ先端へと運ばれる。やがてスクリュによるせん断力とシリンダからの加熱によりチクソトロピー性をもった半熔融状態になりシリンダ先端のスクリュ前方へと一時的に貯留された後、高速で金型内へと溶湯が注入される（図1²⁾）。

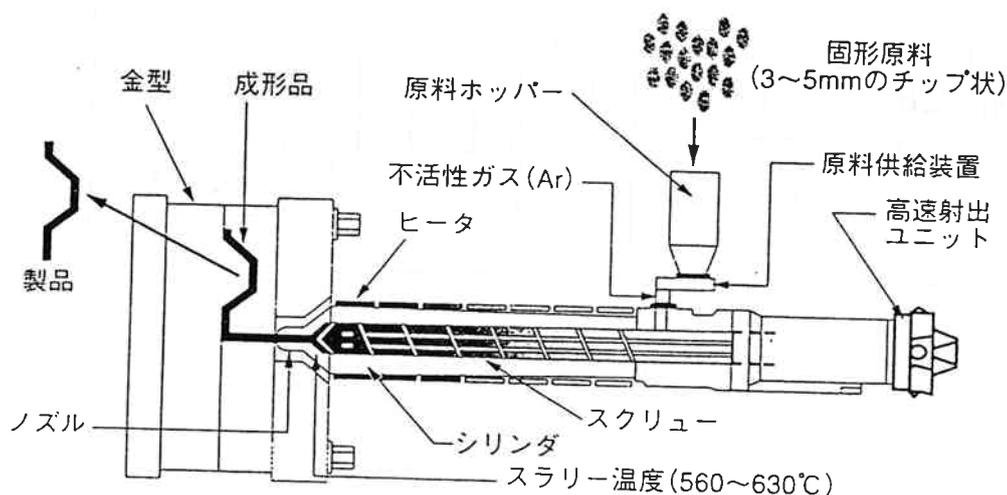


図1 チクソモールドイング装置の構造

シリンダが600℃近くの高温に加熱されることや樹脂成形と比べると格段に速い射出速度など成形条件は大きく異なるが、成形工程としては樹脂の射出成形とほぼ同じである（図2）。

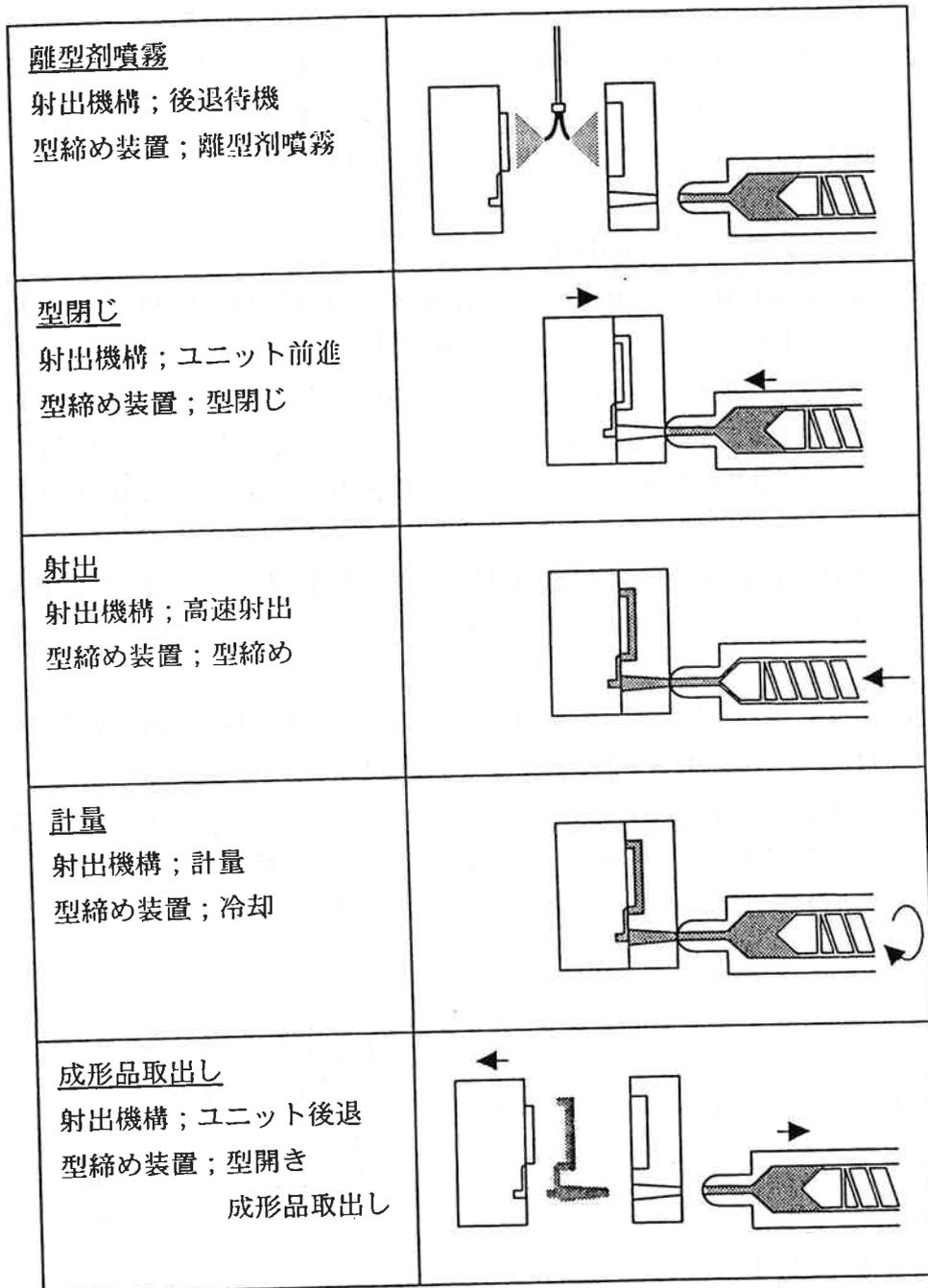


図2 チクソモールディングの工程

もともと樹脂の射出成形機はダイカスト機を手本にしており、当初はダイカストとほぼ同じプランジャ式の成形機械であった。その後、プランジャ式からインライン・スクリュ式へと発展して、高分子科学技術の発展と共に大きく普及し、今日に至っている。そのダイカスト機から派生した射出成形法が、半世紀以上の月日を経た今、プランジャ式ダイカスト法で成形されている軽金属の新しい成形法として登場したわけである（表1³⁾⁴⁾）。

表1 各成形法の歴史³⁾⁴⁾

| | ダイカスト | チクソモールディング | 射出成形 |
|--------|--|--|--|
| 19世紀 | 1838年 Bruce (米) によって活字鑄造機が発明された | | 1872年 Hyatt 兄弟がニトロセルロース可塑物を鑄型射出成形機（ラム式）で成形した |
| 20世紀前半 | 1905年 Doehler 社 (米) が横形ダイカストマシンを開発した 1915年 Doehler 社 (米) がアルミニウム合金ダイカストを商業的に成功させる。 1917年 日本へ初めて Soss 社のダイカストマシンが輸入された 1926年 Polak 社が水圧式ダイカストマシンを開発 1927年 国内でのアルミニウムダイカスト量産開始 | | 1921年 Eichengrün, Buchholz (独) が手動式鑄型成形機開発 1926年 Eckert 社 (ダイカスト機メーカー) が横型成形機を開発 1932年 Franz Braun 社が自動射出成形機を販売 1947年 射出成形機の国内生産始まる |
| 20世紀後半 | 1953年 日本へ油圧式ダイカストマシンが輸入された | 1971年 Spencer (米) によりチクソトロピー現象が発見された。 1976年 Flemings (米) によりレオキャスト法が開発された。 1977年 Battelle/Dow Chemicals 社チクソモールディング開発着手 1992年 JSW (日本製鋼所) 技術導入 1993年 JSW プロト機完成 1994年 JSW チクソモールディング機販売開始 | 1958年 スクリュ可塑化方式が開発された。 1961年 アンケルベルグ社 (独) との技術提携により日本製鋼所で射出成形機生産開始。 |

チクソモールディングではシリンダ内に投入されたチップを連続的に溶解しながら成形するので、大型つばで大量のマグネシウム合金を溶解保持する必要がない。そのため大気に触れると容易に燃焼する危険性の高い熔融マグネシウム合金を直接取扱う必要がないうえ、成形エネルギーも少なくすみ、材料替えや室温から成形温度までの加熱立上げが短時間で行えるというメリットがある。ダイカストでは合金溶解にともなってスラッジやドロスが発生するが、これは放置すればNH₃ガスやCl₂ガスを発生させるうえ、非常に硬いので処理方法が問題となっている。チクソモールディングではそのようなスラッジやドロスの発生は無い。

従来、ダイカストのようにマグネシウム合金を溶解保持する場合にはマグネシウム合金の燃焼を防ぐためにSF₆ガスを含む防燃ガスを使用する必要があり、そのSF₆も地球温暖化係数がCO₂の24,000倍以上も大きいことが判明し、やがて使用量の規制が行われることになる。

一方、チクソモールディングでシリンダ内に溶解保持された半溶融スラリーは、ノズル先端では凝固プラグと呼ばれる固体栓により、原料供給側ではソリッドベッドと呼ばれる加熱圧縮されてチップが固まった固体層によってシールされているので防燃ガスを使用する必要がない。シリンダ内に投入されたチップが酸化されるのを防止すると、時折原料チップに含まれる微粉末による粉塵爆発を防止するための不活性ガスであるArガスを少量使用するだけでよい。また、溶湯保持で使用される塩素系フラックスの使用はダイオキシン発生の一因となっており、チクソモールディングは地球環境に優しい成形プロセスであるのが大きな特徴である。

溶湯保持の際にフラックスや、SF₆の代替ガスとして期待されているSO₂ガスを使用すると異臭がひどいが、チクソモールディングではその心配も一切ない。そして何よりも、危険な溶湯を目の前にして作業しなければならないという精神的な負担がないことから、チクソモールディングは人にも優しい成形プロセスであるといえる。

2. 3. チクソモールディング機

チクソモールディング機の製造販売権を有する（株）日本製鋼所では1992年から実用チクソモールディング機の開発に取り組んできたが、今までに140台以上の成形機を販売している。このチクソモールディング機は同社の樹脂射出成形機を基に作られているが、射出装置、型締め装置、制御装置の全てにおいてマグネシウム合金の成形に適応した大幅な設計変更が行われている。すなわち、高速射出を可能とした射出装置に、高剛性化された型締め装置、高速制御を可能とした油圧及び制御装置と樹脂の成形よりも厳しい動作が求められる金属成形に充分に対応した装置である。さらにシリンダ、スクリュなどの構造材料には高温で活性なマグネシウム合金を溶解させることのできる高温強度に優れ、耐溶損性に優れた材料を使用している。こうした構造材料の開発、製造には、鉄鋼メーカーでもある同社独自の技術が盛り込まれていることは言うまでもない。

以上のような樹脂成形と根本的に異なった機械性能を満足すると同時に、樹脂成形機で確立された、作業に対する安全性や取扱いの容易さなど細かいところでの性能も保証されている。例えばチクソモールディング機には樹脂射出成形機において利便性のよさで好評の大型液晶画面採用、ハイタッチキーパネルでの一括設定が容易である高機能集積制御システムSYSCOM1000を搭載している。これには成形条件設定などの制御機能以外にも、射出速度および射出圧力の波形モニタや管理グラフ、生産監視機能など日常的に使われる監視機能、更には成形条件記憶、各種異常警報の詳細な表示など様々な生産支援機能が搭載されている。

また、型締め装置には電気、油圧、機械式の3重安全装置を装備しており、マグネシウム合金の溶湯を直接取り扱わなくてすむというプロセス上の安全だけでなく、機械操作上での安全性にも優れている。

全自動成形を行なう場合には成形機本体以外にも幾つかの周辺機器が必要である。成形機へはフィーダーを使って原料を投入するが、原料ドラムからフィーダーのホッパーへ原料を移送するために真空ローダーが使われている。ダイカストと同じように離型抵抗の低減、焼付き防止、湯流れ性向上などのために毎ショットごとに金型へ離型剤を噴霧しなければならないので、離型剤希釈圧送装置、自動離型剤噴霧装置が必要である。金型から成形品を取出すのに取出しロボットも必要となってくる。

アルミニウム合金の鑄造では溶湯熱によって金型温度が上昇していくので、冷却水や離型剤で金型を冷却するのに対し、マグネシウム合金は凝固潜熱が小さいので金型を加熱保温する必要がある。一般的には油温調機で加熱した熱媒油を金型内に循環させる方法と、電気ヒーターによる加熱方法がある。

このほか、金型内を真空引きして成形することも可能であるため、真空装置を使用することもある。成形品のボス末端などの充填性向上、湯流れ性の向上などに効果を発揮する場合がある。

2. 4 チクソモールディング成形品

チクソモールディング成形品の金属組織は、シリンダ内で半溶融状態であった時の液相が急冷された共晶組織の中に、射出前に固相粒子であった球状に近い形状の初晶が点在しているのが特徴である（写真1）。また、チクソモールディング成形品の特徴として寸法精度に優れること、凝固収縮によるひけ割れやそりなどの凝固欠陥が少ないこと、およびガスの巻込みが少ないことが挙げられる。

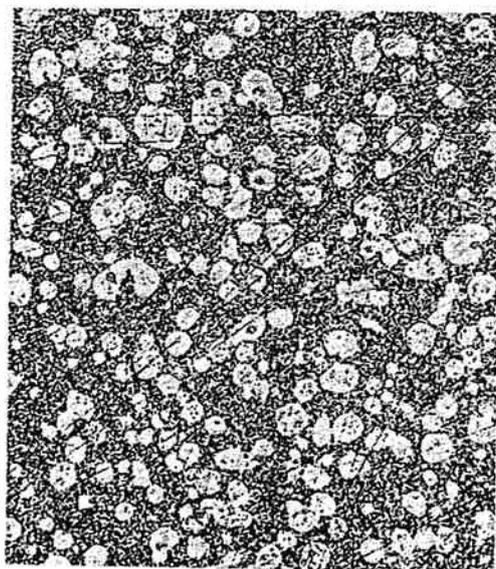


写真1 チクソモールディング成形体のマイクロ組織

現在、市場に出ているチクソモールディング成形品のほとんどは筐体などの外装部品であるため、最も一般的な成形材料であるAZ91D合金製がほとんどである。しかし、チクソモールディングではAZ91D合金以外にも伸び、靱性のあるAM50A合金、AM60B合金や、クリープ特性のよいAS41合金合金など構造材料として使われる合金の成形も可能である。これらの合金はAl含有量が少ないことからAZ91D合金よりも燃焼性が高いが、チクソモールディングでは燃焼の心配がないので、燃焼性の高い合金合金の成形手段としてチクソモールディングを選択する場合もある。

チクソモールディング法により成形されたマグネシウム合金成形体の機械的特性や耐食性については、AZ91D合金を含めて数種類の合金についての調査研究結果が既に報告がなされている^{5) 6) 7) 8)}。いずれの合金系でもチクソモールディング成形体の機械的強度はダイカスト成

形体と同等以上の特性が得られている(表2⁹⁾)。これは射出時の溶湯温度が低いチクソモールドイング成形体の方が、表層付近の冷却速度が速く、マトリックスの組織がより微細になるためであるとされている。耐食性についても、塩水噴霧試験結果でダイカスト品よりも優れているという結果が出ている¹⁰⁾。この理由は機械的特性と同じように溶湯温度が低く、組織が微細になることにより、耐食性に優れたβ相が微細なネットワーク状になって存在しており、耐食性の低いα相のバリアとなっているためと考えられている。また、チクソモールドイングではフラックスや破断チル相の混入がないこともこれらの特性に優れている要因と考えられている。

表2 チクソモールドイング成形体の引張り試験結果

| 材 質 | | Y. S. (MPa) | T. S. (MPa) | El. (%) |
|-----------------|------|-------------|-------------|---------|
| AZ91D バージン材 | 最小 | 175.70 | 293.50 | 9.30 |
| | 最大 | 187.50 | 304.70 | 12.10 |
| | 平均 | 180.30 | 299.00 | 10.00 |
| | 標準偏差 | 3.45 | 3.19 | 0.77 |
| ダイカスト | 参考値 | 160 | 230 | 3 |
| AZ91D リサイクル材 | 最小 | 177.20 | 282.50 | 8.40 |
| | 最大 | 189.00 | 303.60 | 11.60 |
| | 平均 | 184.30 | 295.50 | 10.30 |
| | 標準偏差 | 3.43 | 5.15 | 0.73 |
| ダイカスト | 参考値 | 160 | 230 | 3 |
| AM50A バージン材 | 最小 | 134.60 | 267.60 | 19.20 |
| | 最大 | 144.10 | 269.70 | 21.50 |
| | 平均 | 139.50 | 268.70 | 20.00 |
| | 標準偏差 | 2.55 | 0.62 | 0.63 |
| ダイカスト | 参考値 | 125 | 210 | 10 |
| AM60B バージン材 | 最小 | 144.10 | 276.60 | 17.80 |
| | 最大 | 152.90 | 281.40 | 19.60 |
| | 平均 | 147.50 | 278.20 | 18.80 |
| | 標準偏差 | 2.76 | 1.13 | 0.56 |
| ダイカスト | 参考値 | 130 | 220 | 8 |

チクソモールドイング法で作製された製品例を写真2に示す。今のところ家電製品の筐体を中心として、ノートパソコンやデジタルカメラの筐体などに積極的に採用されている。しかし、チクソモールドイングの特徴をより活かすことを考えれば筐体などの薄肉成形品だけでなく、強度特性が要求される厚肉の自動車部品などにも適用されることが期待される。現在、自動車部品についても評価試験中のものがあり、チクソモールドイング成形品が車載される日もそう遠くないであろう。

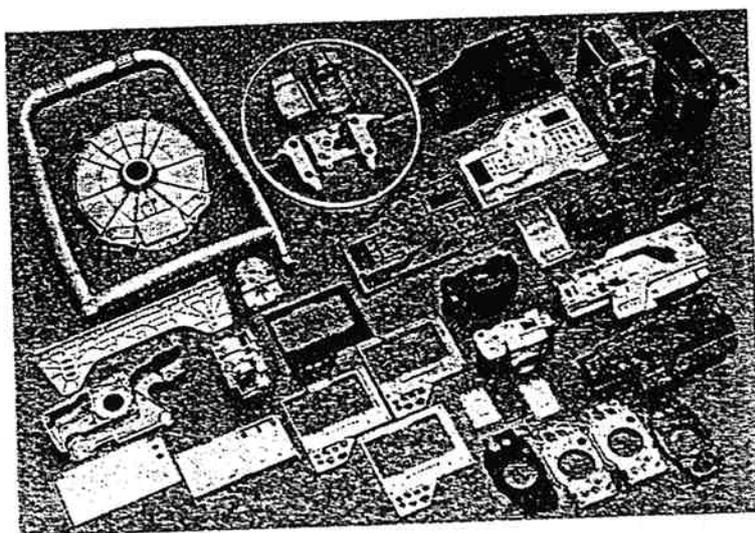


写真2 チクソモールドイングによる成形例

3. 成形技術¹⁾

3. 1 成形条件

チクソモールディングの成形条件は、樹脂成形と同様、コントロールする機能は同じでもその設定値は異なり、マグネシウム合金の物性上の特徴から次のような設定ポイントがある。

- ①シリンダの設定温度が約600℃と高温である
 - ②凝固時間が非常に短いため、高射出速度で製品の末端まで充填させる必要がある
 - ③凝固潜熱が小さく凝固速度が速いため、金型温度は約200℃と高温である
 - ④金型表面へのマグネシウム合金スラリーの焼き付きを防ぐため毎ショット離型剤を噴霧する
 - ⑤充填直後の型内圧を立てる
 - ⑥キャビティ内のガス抜きをする
 - ⑦バリを少なくするため、寸法精度の高い金型製作をする
- などの一般的な条件が必要である。

この他に、固液共存状態の金属組織を得るための条件設定が必要となる。

3. 2 高速充填の課題

マグネシウム合金の成形の工程を考えると、凝固速度が非常に速いがゆえに製品が薄肉であるほど高速充填が必要となる。

マグネシウム合金の超高速成形時に発生する成形不良には次のようなものがある。

- ①湯じわ
- ②充てん不足
- ③割れ（ヒケ割れ、ホットクラック）
- ④ガスの巻き込み
- ⑤バリ

したがって金型作りはこれらの不良を回避する対策として、製品設計、モールドー、金型設計、仕上げの各方面から意見を出し合うことが重要である。

超高速充填したときの充填直後の射出圧力は非常に高く、バリ発生の問題を常に抱えている。バリが発生すると型内圧力が低下するので、ヒケが発生する原因となる。また、流動抵抗の高い複雑形状の成形品では、充填の過程で射出圧力が高くなり、型締め力に負けて金型が開きバリが発生する。その結果、型内圧力が低下するので、流動距離は伸びなくなり充てん不足、湯じわが発生する。

3. 3 金型温度と成形不良

マグネシウム溶湯の凝固時間が非常に短いため、高射出速度で製品の末端まで充填させるには、ゲート位置、ゲート速度、ガスベントの方案が重要である。また、マグネシウム合金は凝固潜熱が小さく、凝固速度が速いため金型温度は約200℃に設定することが望まれる。しかし、マグネシウム合金スラリーが金型に焼き付く現象があり、これを防止するため、水溶性離型剤を毎ショット噴霧している。これにより金型表面温度は約30～40℃低下し、湯じわが発生しやすくなる。また、離型剤噴霧により金型温度が下がれば、設定温度まで回復するのに数秒を要し、生産性の低下につながる原因ともなる。

一方、凝固潜熱が小さいこと及び溶湯温度が若干低いことが幸いして、家電製品など薄物成形品では型材のヒートショックはダイカストに比べれば軽微である。

なお、一般的に金型材には熱間工具鋼を使用し、硬度HRC48～50に調質して用いる。

3. 4 成形事例

事例に挙げた筐体は、形状が複雑であるためゲート、オーバーフロー、ガスベントなどの設定位置が制約されたがランナー形状など方案を工夫した結果、湯じわ、充てん不足などの不良を解消できた例である（写真3）。

この他、薄肉の成形品では0.7mmのMDウオークマンの筐体、0.6mmの携帯電話用電磁波シールド板の成形例があり、いずれもランナー設計を含む方案を工夫した結果である。

- ・ 成形機：JLM75-MG(型締め力75トン)
- ・ 製品肉厚：0.9mm
- ・ 射出速度：最高 2.5m/s、平均2.0m/s
- ・ 射出時間：0.02 s
- ・ 射出シリンダ温度：595℃
- ・ 金型温度：180℃

写真の中に記載した各部位は、金型設計上最低限必要な機能であり、ゲート位置、オーバーフロー位置とその体積、ガスベントの設計が生産性を左右する。

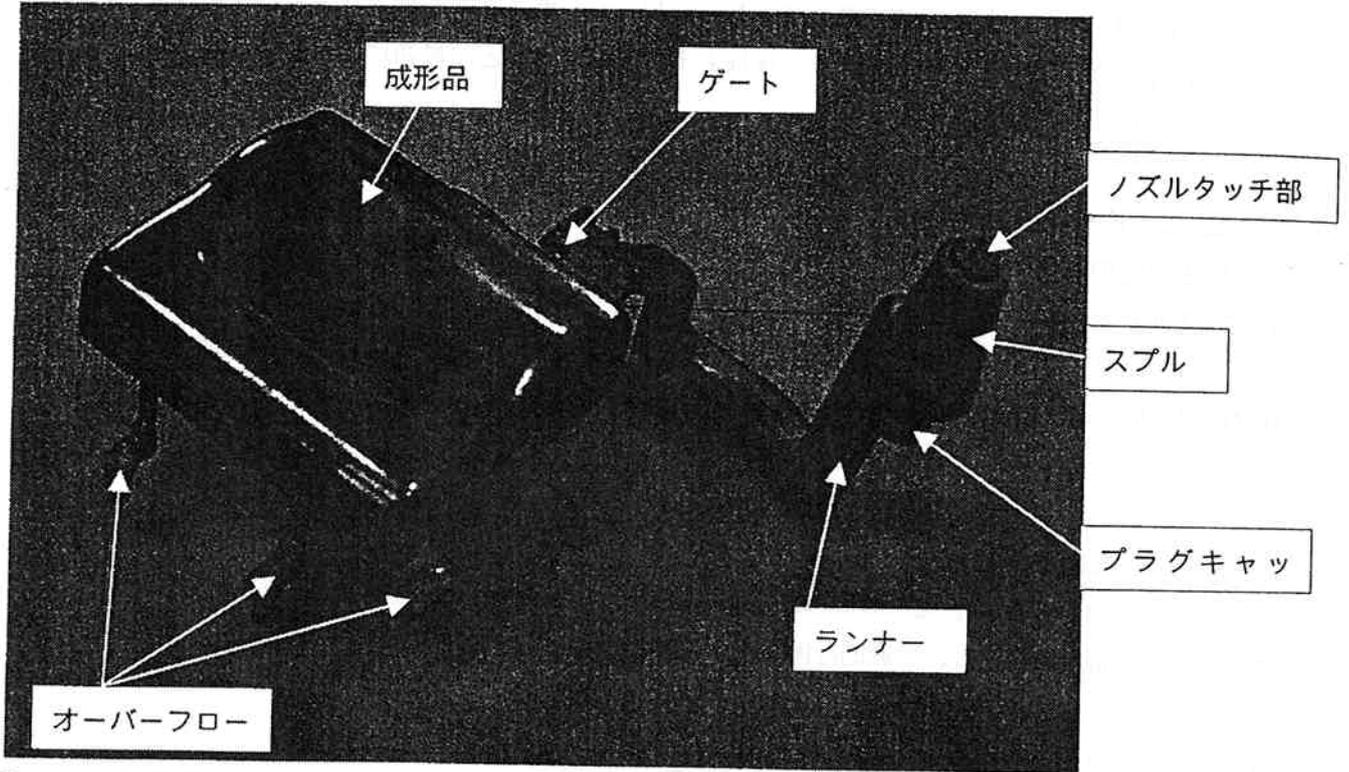


写真3 Mg製の筐体

3. 5 金型設計のポイント

チクソモールディングに限らず、樹脂成形、他のダイカストにおいて、実際の成形前に製品の何処にどのような不良が現れるかを正確に予測することは困難であるが、製品設計の段階において不良が発生しそうな箇所を予測し可能な限り潰し込んでおく必要がある。

3. 5. 1 型分割面の選定

型分割面の選定は型設計上最も重要なポイントである。合金の特徴である電磁波シールドの効果、相手部品との勘合形状などから複雑な分割が多い。金型強度の面から入れ子を極力さけ、キャビティ内の湯流れ、充填性を損なわないゲート、ガス抜き、オーバーフローが設定でき、高等技能を必要としない仕上げ、生産性も十分検討することが最初に行われる重要なポイントである。

3. 5. 2 抜き勾配の選定

抜き勾配の選定は型分割面とも関連する製品設計上の重要なポイントで、分割位置によっては逆テーパが製品に現れるので事前の了解が必要である。

また、側壁、リップなど収縮応力が影響する部位の抜き勾配は、根元のR付けと共に側壁、リップ高さが低くなれば大きくし、ホットクラックなど割れ対策を必要とする重要なポイントである。

3. 5. 3 収縮率の設定

マグネシウム合金の収縮は凝固潜熱が小さいこと、チクソモールディング法の高圧射出によって寸法精度が安定し、一般的な筐体などの製品では4~4.5/1000を選定している。

3. 5. 4 金型温調方法の選定

金型の加熱、冷却には金型の大きさなどから熱的計算方法があるが、ここでは省略して重要ポイントのみ述べる。

- ①全体に均一でバランスの取れた温調とするため、局部冷却部、局部加熱部および全体に保温するという機能別に検討するのが重要である
- ②チクソモールディングの特徴の一つに、成形機ノズルの先端にショット毎にプラグ（固体栓）を生成するが、スプルプッシュを冷却してキャビティ残りを防止することも重要である
- ③温調の方法としてカートリッジヒータと油加熱を併用することが望ましい。これにより過熱部位、熱不足部位を制御し易くなる

4. 生産性向上技術

4. 1 リサイクル

チクソモールディングでは原料としてインゴットを米粒位の大きさに切削したチップを使用するため、インゴットをそのまま溶解炉へと投入するダイカストよりも原料コストの面で不利となる。現在、インゴットに比べて若干のコストアップとなっているが、流通量の拡大、チップング技術の向上による原料コストの低減は可能であると思われる。さらに原料コストアップ

の抑制という点ではリサイクル率の改善も重要な課題である。

現在、チクソモーディングにおけるリサイクル方法として、一度再溶解してインゴットを鑄込み、そのインゴットをバージン材と同じようにチップ化する再溶解法と、成形品の湯道や不良品といったそのままリサイクルに使用できる部材を粉砕機などで直接チップ化する直接法が検討されている（図3）。

既に再溶解法で作製したリサイクルチップについては一部実生産で使用されており、徐々に普及しつつある。直接法については試験的に作製したチップによる成形テストが行われている。直接法では再溶解に必要なエネルギーがなくなるためバージン材や再溶解法を用いた場合よりも経済的にリサイクル材を供給することができるので、いずれはリサイクル方法の主流になると考えられる。なお、直接法で作製されたリサイクルチップを使った成形品の機械的特性はバージン材を使用した場合に比べて遜色ないことが確認されている^{1,2)}。

今後、チクソモーディングの普及によりリサイクル材の排出量が増え、リサイクルの技術の進展と流通経路が確立されれば本格的にリサイクルチップが活用されることになるであろう。

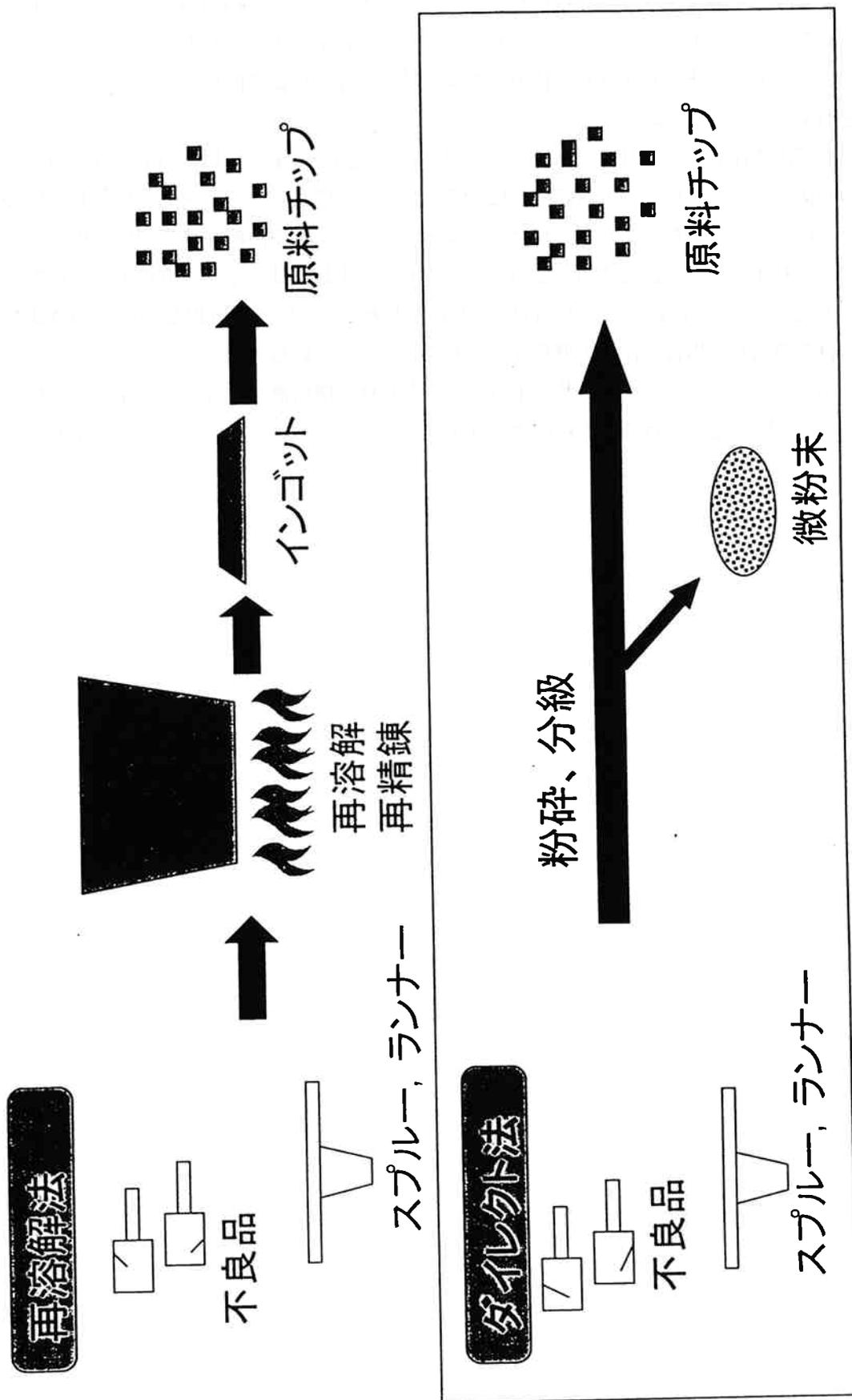


図3 リサイクル法

4. 2 CAEを利用した方案設計¹⁾¹⁾

高い品質の素材を安定して生産するには、キャビティに無理なく溶湯を充填することが重要であり、それには鑄造方案の適切な検討、製品設計がポイントとなる。そこで期待されるのがCAEによる事前予測であり、鑄造方案が適切かどうかの客観的判断をするのに有効である。

産学協同プロジェクト「鑄造CAE研究会(Stefan)」で開発されたADSTEFANを利用し、最終充てん部を予測した解析事例を示す(図4、図5)。この最終充てん部に、離型剤や表面の酸化物を巻き込んだ溶湯を吐き出すオーバーフローを配置すれば良いことになる。

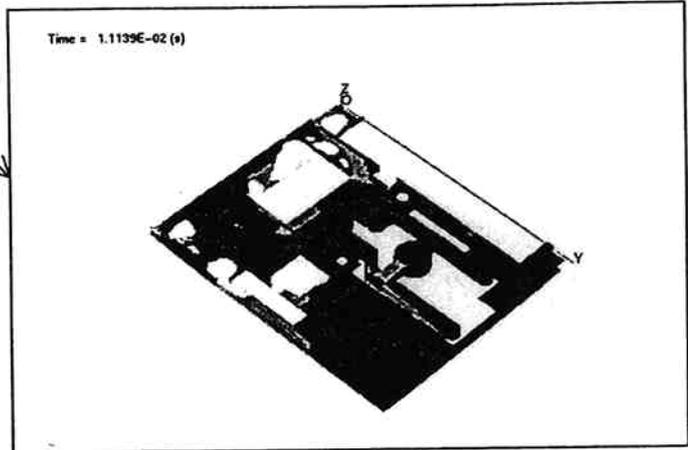
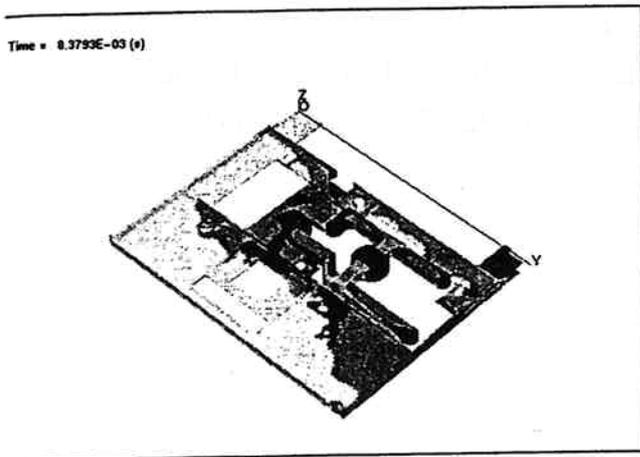


図4 パソコンケース 流動解析事例

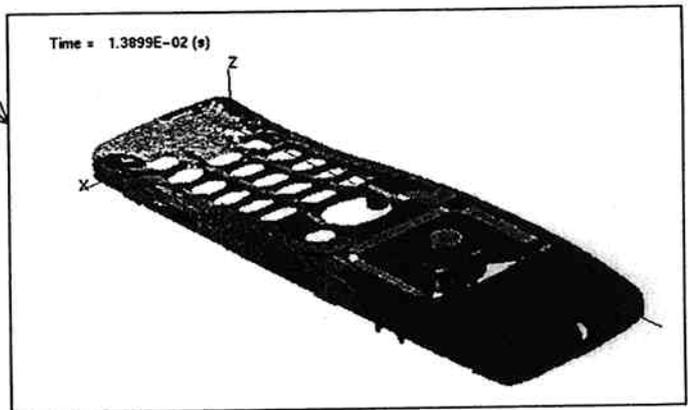
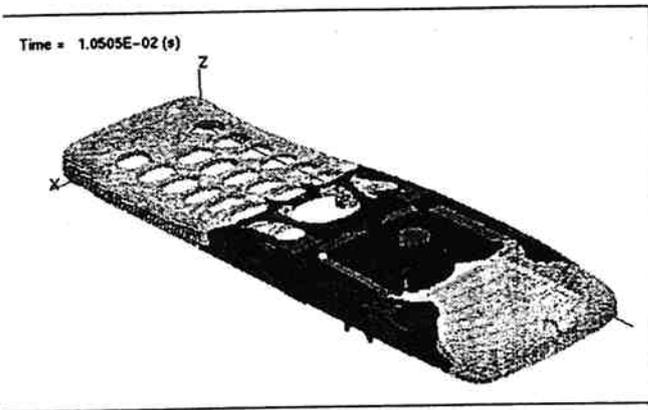


図5 携帯電話 流動解析事例

4. 3 ホットランナー技術¹⁾

チクソモールディング法は、前述のように樹脂の射出成形と同様の成形方法であり、ホットランナーシステムを利用することが可能である。マグネシウム合金のホットランナーシステム（図6）は、ホットノズル先端に固化プラグを生成することで内部の酸化を防止し、型開き、製品取り出しを容易にする。ホットランナーシステムの加熱方法は電磁誘導加熱が最適である。それはホットノズル先端が金型に接しているため伝熱でホットノズルの温度は低下し固化プラグが生成される。固化部を熔融して再び流動状態にするには伝熱による温度低下をカバーしながら極く短時間の内に流動可能な温度域まで昇温しなければならない。電磁誘導加熱はこれらの課題を可能にする技術である。また、マニホールドやホットノズルに用いられる構造材には、耐高温度特性及び耐溶損性に優れた材料を選定する必要がある。

ホットランナを使用したときの主な利点は以下の通りである。

- ①スプル・ランナなどが不要のため製品歩留まりが大幅に向上する
- ②サイクルタイムが短縮される
- ③溶湯の状態では金型内の広い位置まで運ぶことができる

これらの利点によってコストダウンや生産性の向上以外にも、従来の成形法では比較的困難であった大型成形品成形や多数個成形が容易になるものと考えられる。

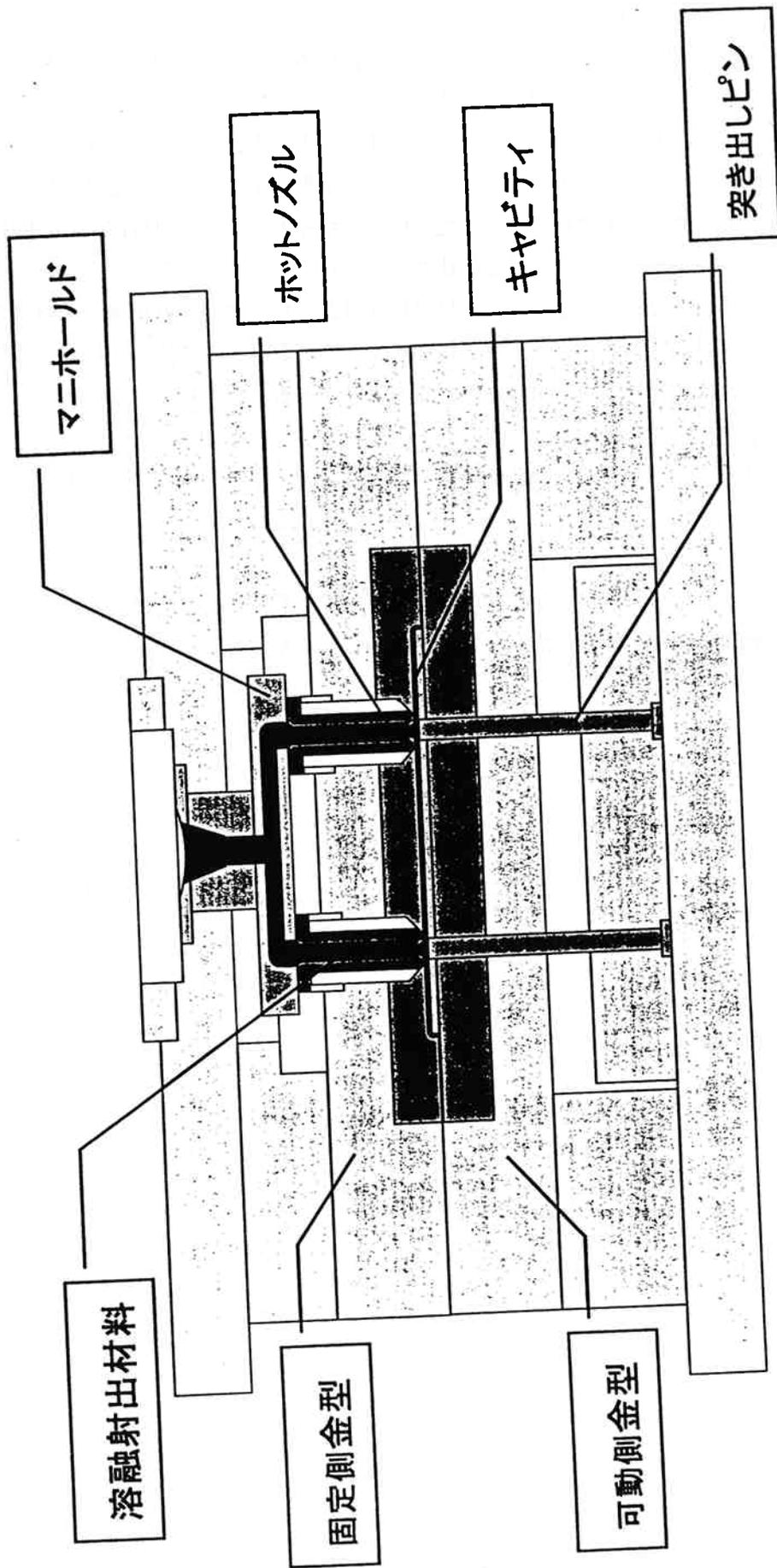


図6 ホットランナ金型の構造

5. おわりに

従来の成形加工法からチクソモールディング法に転換させることにより、問題となっていた様々なものが解消されるか、もしくは大幅に減少されることになった。すなわち、COガス・CO₂ガス、ドロスなどが発生しなくなり、フラックスやSF₆ガスを使った防燃処理が必要なくなり、それが現在の環境問題や、成形品の要求品質に合致したことがチクソモールディングの普及を後押ししている。

チップのコストや成形技術などチクソモールディングを使うことで従来技術に対して新たに加わった成形要素が今後の課題といえるが、チクソモールディング機が開発されて日が浅いため、周辺を含めたすべてのプロセスが熟成されていないことを考慮する必要がある。そして、チクソモールディング機の製造メーカーだけでなく、チクソモールディング機を導入した各メーモルダールにおいても、この新しい成形プロセスに関する積極的な研究開発が行われていることを考えると、それらの課題も近い将来には克服されるものと思われる。我々も現状の問題解決だけでなく、さらなる成形機の改良、成形技術の向上に日々努力しており、環境にやさしいチクソモールディング法によってマグネシウム合金成形品がより普及されることを願っている。

参考文献

- 1) Flemings, et al : "Reocasting", Materials Science and Engineering, Vol. 25 (1976), p. 103-117
- 2) 附田之欣、中津川 勲、斎藤研：工業材料, 第46巻, 第10号 (1998)
- 3) 「必携ダイカストマシンマニュアル」, 全国ダイカスト工業協同組合連合会編 (昭60年)
- 4) 「射出成形」第9版, 伊藤 忠、洲崎 均、曾根忠利、中川 曠 共編 (1990)
- 5) 附田之欣、斎藤 研：軽金属47 (1997) 298
- 6) 附田之欣、斎藤研：鑄造工学70 (1998) 10, 697
- 7) 附田之欣、武谷健吾、坂本隆一、山口 毅、松井伸司、斎藤 研：日本製鋼所技報 54 (1998), p. 65
- 8) 附田之欣、前原明弘、山口毅、斎藤 研：軽金属学会第94回春期大会講演概要集 (1998), 23
- 9) 附田附田之欣、斎藤研：日本鑄造工学会第130回全国講演大会講演概要集 (1998), 48
- 10) 中津川 勲、高安秀徳、附田之欣、斎藤 研：軽金属学会第94回春期大会講演概要集 (1998), 27
- 11) 比枝敏昭：型技術, 第15巻, 第2号 (2000)
- 12) 前原明弘、土田登巳雄、附田之欣、斎藤 研：軽金属学会第95回春期大会講演概要集 (1998), 213

3. マグネシウムの展伸材加工技術 1)

3.1 スラブおよびビレットの casting 1)

展伸材においても展伸加工用のインゴットの品質によって、最終製品の品質が決定されてしまう。展伸加工に際して、優れた品質のインゴットから劣った品質の製品は作り得ても、逆に劣った品質のインゴットから優れた品質の板、管、棒あるいは型材などを製造することは不可能である。

3.1.1 溶解

まず、マグネシウム合金のインゴット casting に際して、特に注意しておかねばならない問題点について述べる。

溶解炉は大量の溶湯を取り扱うので、湿式溶解法の”なべ(ポット)”を用いる。なべの容量は、おおむねマグネシウム溶湯で 500 ~ 2,000kg 程度で鋳鋼製のものを用いる。耐火レンガやモルタルはマグネシウム合金用フラックスによって侵されるため、これらを使った反射炉などは使用できない。時として鋼製のつぼを収めた低周波誘導炉も溶解に使用されている。

溶湯を連続的に鑄型に注入しなければならないので、溶解用の炉と、スラッジや酸化物その他の介在物を沈殿分離するための静置炉、ならびに溶湯を鑄型に鑄込むための溶湯保持炉—これは湯溜まりであっても良い—to 区別して設置し、それぞれを連結して使い分けするのが良い。さらに図 6.1 のように、溶解炉と静置炉は複数個設置することが安定した溶湯量を確保し、正確な温度保持のためには必要である。

溶解炉と静置炉、特に静置炉のガスあるいは重油燃焼の場合には、バーナーの位置を高さ方向に 2 段とし、なべの底部にたまるスラッジ層の温度と上部の静置されたきれいな溶湯部分とに温度差が生じるようにする。電気抵抗加熱溶解炉でも同様な配慮をするべきである。

溶解炉、静置炉、鑄込み保持炉との間の溶湯の運搬のために、図 6.2 のようなポンプが利用されている。マグネシウムやその合金は鉄鋼材との反応が極めて小さいので、エアーマーター駆動の遠心型ポンプを比較的容易に製作し、利用できる。3本の鋼パイプに支えられたポンプ本体により、吸入口から吸引された溶湯は鋼製吐出管を通して上昇し、次の炉に移動する。また類似の道具が溶湯の攪拌に利用できる。

鑄込み用保持炉 鎮静炉 溶解炉

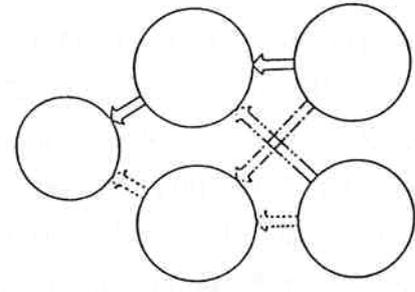


図 6.1 マグネシウム合金溶解設備配置

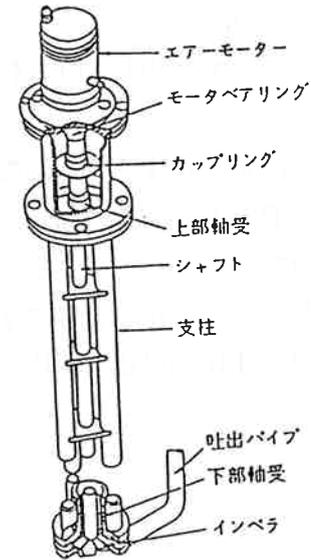


図 6.2 マグネシウム合金溶湯移送用ポンプ

静置炉から溶湯保持炉に溶湯を移送するには、乱れが生じないように静かに動かさなければならぬので、速度を 200kg/min 以下にする。また溶湯の攪拌作用が最小になるように、ポンプの吸入口の前に”邪魔板”一漏斗状の筒一を設けると良い。吸入口はなべの中であるべく高い位置に設置し、なべの底部にあるスラッジ層が乱れて、スラッジが溶湯とともに吸い込まれないようにする。

時には、これらの介在物の巻き込みを避けるために、鑄込み保持用のなべにせきを設けてダムを形成させ、溶湯の流入側と鑄型への流出側とが区別されているような型式もとられている。

結晶微細化処理：中間合金などを添加し、化学成分調整の終了した溶湯に、塩素ガスを 730 ~ 760 °C で吹き込んで脱ガスを行う。脱ガスが終了すると、結晶微細化処理を行う。微細化処理剤は黒鉛粉、 C_2Cl_6 (六塩化エタン)、 $C_2H_2Cl_4$ (六塩化エチレン)、その他ハイドロカーボンによって炭素を添加し、これを結晶粒晶出の核にしようとするものである。 $CaCN_2$ は強力な結晶微細化剤である。 $CaCN_2$ を精錬用フラックスと同重量混合し、溶湯に対し、重量で 1.4 % を散布し、攪拌する。黒鉛粉も精錬用フラックスと同重量混合し、AZ31 合金では 0.6 ~ 1.0 %、AZ61 合金では 1.0 ~ 1.5 % を散布し、攪拌添加する。これらの内、特に $CaCN_2$ は精錬用フラックスと混合してから長く放置しておかないことが必要である。最近、Wax19%、 CaF_2 76%、C 5% の混合物を重量で 0.3 % 添加し、機械的攪拌を加えることにより、結晶微細化が可能で、しかも上述した添加剤よりも、持続性があることが報告されている”。

脱鉄処理：特に板材は腐食を避けるため、鉄分の含有量を少なくする。このため、 $MnCl_2$ (塩化マンガン) あるいは $ZrCl_4$ (塩化ジルコニウム) を含むフラックスを添加攪拌して、鉄を含む金属間化合物としてスラッジ層に沈降させ、鉄分を 0.005 % 以下にする脱鉄処理が行われる。

また、Ca は 0.3 % 程度添加すると、インゴットの結晶粒度調整、靱性ならびに熱間、冷間における加工性が向上する。しかし、Ca が過剰になると溶湯の流動性が悪くなる。

6.1.2 造塊

ダービル型鑄造法、空冷鑄鉄鑄型 (ブックモールド)、半連続鑄造法などによってインゴットを製作している。

ダービル型鑄造は、図 6.3 に示すように (A) → (B) → (C) の順序に傾けて注湯することにより、静かに溶湯を鑄型に流入させることができる。このため、溶湯の乱れによる酸化物や気泡の発生の機会の少ない。また、インゴットが底部より次第に積み上げられて注ぎ込まれるため、インゴット頂部に熱い溶湯が注ぎ込まれるようになる結果、インゴット頭部の収縮パイプその他凝固に関する欠陥が少なくなる。小型のインゴットを小規模に生産するには、この方法が優れている。

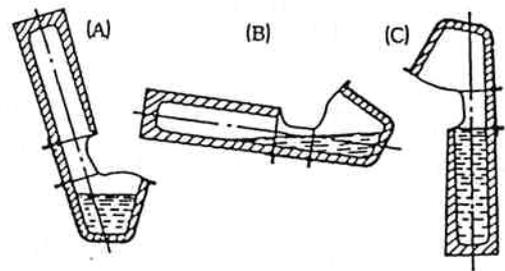


図 6.3 ダービル型鑄造法

半連続鑄造は、図 6.4 に示すように、水冷された Cu あるいは Al 合金製鑄型に溶湯を注入し、凝固とともに底部のダミーブロックを油圧シリンダーなどで下方に引き下げ連続

に溶湯を注入凝固させてゆくので、大型のインゴットの製作が可能である。1装置1個には6個までのインゴットが同時に铸造される。

また凝固が完了したインゴットをピンチロールで引き下げ、降下と同期して鋸を移動させ、降下の途中である長さごとに切断し取り出すことにより、完全に連続して注湯し、インゴットを製造することができる。これを連続铸造法と呼ぶ。

これらの方法はインゴットを水で直接冷却するので、凝固区間における冷却速度が早い。そのため晶出する合金元素、不純物が微細に、かつ均一に分布するようになる。また、結晶粒自体も微細になる。このように半連続铸造法、連続铸造法では凝固速度が最も重要であるが、これは同一の大きさのインゴットでは铸込み温度、引き下げ速度、冷却水量などが主として影響を及ぼす。主な合金の铸込み温度と引

き下げ速度の例を表6.1に示す。冷却水は铸型およびインゴットの全円周にわたって平勻して注がれるように、注入口の配列および冷却水量に注意しなければならない。

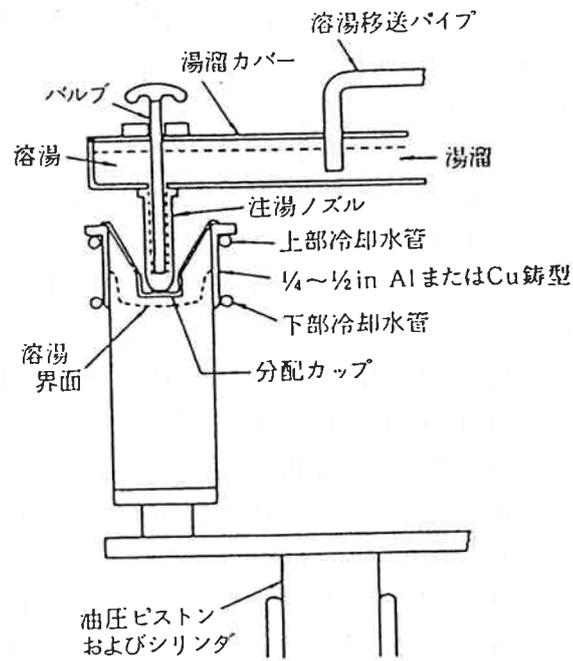


図 6.4 半連続铸造法

表 6.1 半連続铸造法の铸込温度と引下速度

| 合金 | 铸込温度 ℃ | 引下速度 mm/min | |
|------|-----------|-------------|------|
| | | 最初の150mmまで | それ以降 |
| M1 | 680~690 | 63.5 | 76.2 |
| AZ31 | 675~685 | 57.2 | 69.9 |
| AZ51 | 675~685 | 50.8 | 63.5 |
| AZ61 | 670~680 | 44.5 | 57.2 |
| AZ80 | 670~680 | 31.8 | 50.8 |

一般に結晶粒が微細な方が、また第二相が均一に分散しているものの方が圧延性が良い。したがって、このような組織が得られやすい Zr を含むマグネシウム合金、あるいは単一相である M1 合金、マグノックス Al80 合金は、結晶粒度が粗くなければ圧延しやすい。AZ31 合金は細かな結晶粒でないと圧延し難い。

溶湯の酸化防止のため、溶湯面を保護的雰囲気で覆う。これには従来 SO₂ ガスが用いられてきたが、このほかに SF₆ ガスも有効で、SO₂ ガスほどには人体への作用あるいは設備など構造物の金属材料の腐食作用が激しくないのが有利である。

6.1.3 インゴットの欠陥

(1) フラックスの巻き込み

原因：1) フラックスの使用法が適正でなかったため、スラッジの流動性が過度になっ

ため、

2) 鑄造の際、溶湯が乱れ、フラックス層を乱して巻き込んだ場合。

3) 溶解、静置なべ中のスラッジ量が、フラックスの使いすぎ、または他の”なべ”からスラッジが流れ込んだため多くなりすぎて、鑄込み保持炉のなべにまで巻き込まれるようになった場合。

(2) 酸化物の巻き込み

原因：1) 溶解用設備、道具類のよごれ。

2) 鑄込みに際して SO_2 ガス量が少なく雰囲気の保護的性能が不足した場合。

3) 溶湯の精錬不良。

(3) 偏析

Mn の量が多すぎると偏析しやすい。Mn-Al 化合物は半連続鑄造によるインゴットにはあまり出ない。また熱処理によってある程度は解決し得る。この現象は鑄込み温度が高すぎた場合、冷却が不十分であった場合、凝固速度が不相当であった場合に生じやすい。

原因：鑄込み温度が高すぎると、あるいは溶湯”なべ”を鎮静後再加熱すると、

Mn が溶け込み、これが過剰の Mn となって晶出する。

(4) ラップ (Laps あるいは Folds)

この欠陥は半連続鑄造のインゴットでは少ない。鑄型の中で、鑄型表面に接触する固相の表面に生成する。表皮の凝固形成が乱れた場合に生じる。

(5) 割れ

堅割れ：半連続鑄造の引下げ速度が早すぎた場合に生じやすい。

(6) パイプ (収縮孔)

マグネシウム合金は凝固収縮量が大きく、熱容量も少ないので、溶湯の補給が不十分であると、大きく長い収縮孔 (パイプ) が生成しやすい。このことは空冷式鑄鉄鑄型でインゴットを製作するときにはできやすく、十分注意して溶湯の補給ないし十分な大きさの押し湯を設けなければならない。半連続鑄造の場合にはあまりみられないが、引下げ速度が過大であり、鑄型面の冷却が大でインゴットの表皮部では下方にまで凝固が終了していながら中心部ではまだ熔融状態で残っているような場合には、溶湯の補給が不十分となり、パイプが発生しやすくなる。

(7) ミクロシュリンケージ

顕微鏡下で見出されるような微細な収縮巣で、結晶粒界に現れる。半連続鑄造法ではあまり現れないが、凝固速度の遅い空冷式鑄鉄鑄型の場合、溶湯中のガスが多いか、押し湯が不十分であると生じやすい。

6.2 マグネシウム合金の圧延¹³⁾

マグネシウム合金は最密六方格子で、常温ではすべり面は底面の 1 面しかない。アルミニウム合金は 12 のすべり面があり、鉄は 48 のすべり面の可能性がある。これは明らかにマグネシウム合金が他の金属材料よりも、特に常温において塑性加工性が低いことを意味している。各ロールパスごとの圧下率も少ない、すなわち変形量が少なく、破壊を避けるためにはわずかの圧下率しか許されない。しかし、温度が上昇すると新しいすべり面が増し、塑性加工性も向上する。これは熱間あるいは温間圧延として実施されて

る。
 マグネシウムにリチウムを 11 % 以上添加すると、結晶構造は β 相（リチウム固溶体）なるので、塑性加工性は非常に良くなる。リチウムが 5 ~ 10 % の範囲では ($\alpha + \beta$) 存体で、最密六方晶と体心立方晶との混合領域になるが、マグネシウム固溶体の結晶の c/a が減少し、かつすべり面も増すので加工性が向上する。リチウムが高価なのであり実用化されていない。

板の製造工程を図 6.5 に示す。

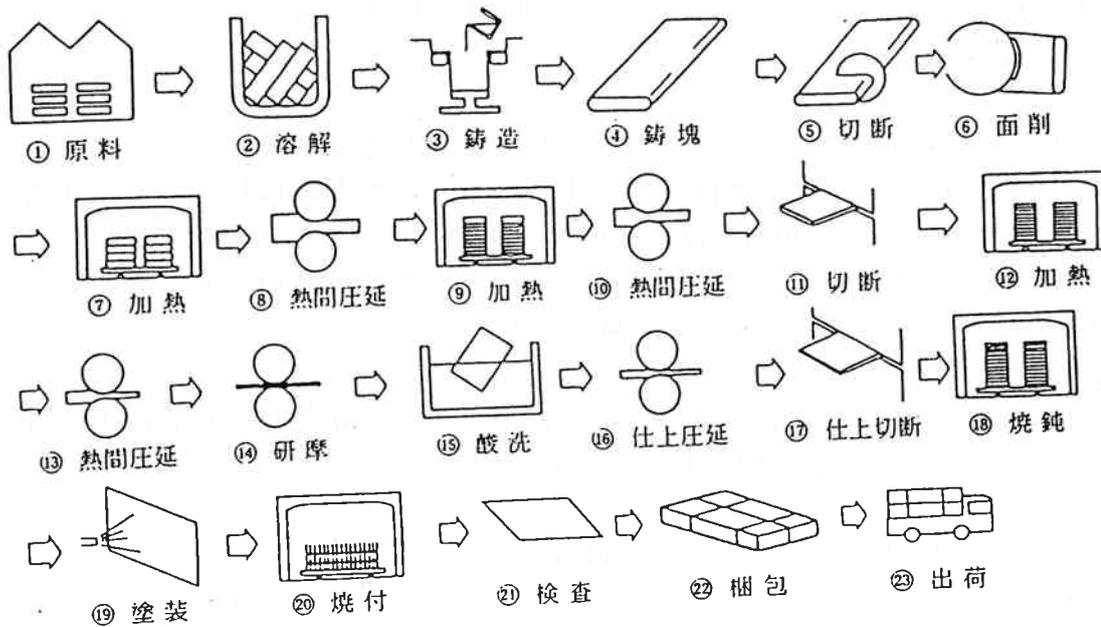


図 6.5 マグネシウム合金板の製造工程

6.2.1 スラブ

半連続鋳造あるいは連続鋳造法により製造されたスラブの大きさの例は、厚さ：150mm、幅：500mm、長さ：2100mm、外国では厚さ：5inch (127mm)、幅：16inch (406mm)、長さ：36inch (914mm) から、厚さ：12inch (305mm)、幅：41inch (1041mm)、長さ：80inch (2032mm) 程度のものが生産されている。通常、幅が厚さ 4 倍以内の方が有利なようである。

スラブの表面の圧延面、時として両側面も機械加工によって両面で 4 ~ 10mm 程度除去する。

ソーキング（均熱処理）は 370 ~ 430 °C にて適当な時間加熱する。アルミニウム含有量の多い合金は第 2 相が残留しやすく圧延が困難なので、ソーキングに十分時間をかける必要がある。したがってアルミニウム含有量の多い合金の圧延は一般的ではない。

370 ~ 400 °C の温度では酸化を生じやすいので、保護的雰囲気のもとで加熱しなければならない。半連続式の空気循環型電気抵抗加熱炉が利用され、保護的雰囲気として、SO₂ ガス、CO ガス、SF₆ ガスなどが用いられる。加熱の際、アルミニウム基合金と接触すること、Zn、Cd、Pb との接触を避けるようにする。これらとマグネシウム合金とが反応して合金を作り、融点が低下する結果、激しく酸化（燃焼）する。

6.2.2 圧延スケジュール

圧延スケジュールは設備能力によって異なってくるので、一概には述べられないが、代表例を表 6.2 に示す。

表 6.2 マグネシウム合金の代表的な圧延スケジュール

| 合 金 | 工 程 | 開始温度 (°C) | 圧下率 (%/加熱) | 圧下率 (%/パス) |
|---------|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------|---------------------|
| A Z 3 1 | 粗圧延 熱間圧延 仕上圧延 | 425~450 350~440 < 250 | 90~95 25~50 15~25 | 10~20 5~20 5 |
| M 1 | 粗圧延 (6.4mm まで) 熱間圧延 仕上圧延 | 450~500 350~450 冷 間 | 40~60 | 10~30 10~40 5 |
| H K 3 1 | 粗圧延 (6.4mm まで) 熱間圧延 仕上圧延 | 480 480 150~250 | | 5~7 |
| H M 2 1 | 粗圧延 (6.4mm まで) 熱間圧延 仕上圧延 | 480~500 375~425 冷 間 | 30~40 26 | 3~10 3~5 |

AZ31 合金の一例は、粗圧延：400 °C で熱間 3 段ロールを用いて 120mm から 10mm 厚に圧延、熱間圧延：380 °C に加熱、熱間 3 段ロールあるいは熱間 2 段ロールで 2.5mm 厚まで圧延、仕上げ圧延：冷間 2 段ロールあるいは冷間 4 段ロールで、約 1mm に圧延する。

AZ31 合金 0.063inch (1.6mm) シートの圧延スケジュールは、粗圧延：12inch (305mm) 厚から 0.180inch (4.6mm) まで、熱間 3 段ロールまたは熱間 4 段ロールにて、約 23 パスで圧延する。スラブが長くなりすぎるのでコイルに巻き取る。コイル巻きは再結晶が生じないような条件で行わなければならない。熱間圧延：340 °C に加熱、熱間 4 段ロールにて、熱間圧延には十分な温度であるが、再結晶するには至らない温度で、3 パスで約 25 % に低下する。パスの間に 340 °C に再加熱する。材料の塑性加工によって熱が発生するが、ロールに取り去られる熱量の方が大きいので再加熱が必要である。圧下は 0.180inch (4.6mm)、0.144inch (3.7mm)、0.114inch (2.9mm)、0.088inch (2.2mm) が標準である。仕上げ圧延：加工硬化によりかたく強くしたい時には、冷間圧延が必要である。しかし、圧延がその設備で困難な場合には約 230 °C で温間圧延をする。

6.2.3 潤滑剤

通常液体潤滑剤が使用される。加熱した約 2 % のソリュブルオイルが一般的である。あるいはラード油、パラフィン、ボロンナイトライドもしばしば粗圧延の際用いられている。この目的はロールへのマグネシウム合金のピックアップ（しみつき）を防止するため、熱間圧延時にも利用されている。

6.2.4 熱間圧延

熱間圧延作業は、通常、材料ができるかぎり柔らかい状態にあるように、できる限り高い温度で加工する。加熱温度の上限は、一般に合金の種類によって決まる。すなわち

低融点の化合物を含む合金組成、高温脆性を生ずる温度限界、結晶粒粗大化とくに compression twin bands による不連続的な結晶粒の粗大化などにより高温限界がある。低温の限界は作業の条件によって定まる。

マグネシウム合金は圧延し難いために、圧延ロールを加熱したヒートドロール法とロールを加熱しないで圧延するコールドロール法とが採用されている。

コールドロール法は圧延ロールの温度が 120 °C かそれ以下の温度で作業するもので、しばしばスラブの再加熱が必要である。しかし、ロール温度が低いために、マグネシウム合金のロールへのピックアップが少なく、潤滑油が少量でよい。これは表面の美しい板を作るためには有利である。

ヒートドロール法は、圧延ロールを 250 ~ 320 °C に加熱して圧延するもので、圧延作業時のスラブの温度降下が少なく、再加熱までの間に大きな圧下率をとることができる。比較的小容量の圧延機の場合に採用されている。ロールの温度が高いため、マグネシウム合金のピックアップが起こりやすく、潤滑剤が必要である。しかし、この潤滑剤としてスラブの表面に潤滑剤の”しみ(残査)”を残さず、きれいな仕上がりに対して十分満足できる潤滑剤がない。この場合、スラブの温度は 300 ~ 450 °C に加熱する。この加熱温度はマグネシウム合金の種類ならびにスラブの厚さなどによって異なる。

粗圧延工程を終わったスラブは表面をワイヤブラシ、酸洗い、あるいはドレッシングなどによって表面の汚れ、ミルスケール、その他の表面きずを除去する。時には両面で 1mm 程度機械加工で除去する場合もある。

M1 合金や AZ31 合金では”はしわれ(側端部の亀裂)”を防ぐため、シャーで切削・除去する。Zr を含む合金ではあまり必要がない。

粗圧延に際しては、熱間圧延機によるよりも押出機によって分塊する方が容易である。とくにアルミニウム含有量の高い合金では、押出しによるスラブの方が、歩留まりが良い場合がある。

6.2.5 コイリング

シートを曲げると外側の表面には引張応力、内側の表面には圧縮応力が加わる。マグネシウム合金は圧縮応力を受けると、双晶を生成することがある。また圧縮応力が小さくても、帯状に双晶が形成されることがある。この帯は compression twin bands のある材料を加熱し、再結晶温度よりも高くすると、応力に対応して結晶粒の異常な粗大化が twin bands の部分に発生する。したがって、このような twin bands により粗大化された結晶粒帯のある材料を、熱間あるいは冷間で圧延加工すると、変形抵抗に差異があるために圧延が非常に難しくなる。したがって再結晶を生じないように再加熱には、加熱温度に十分注意しなければならない。

コイルを巻きほぐす時には、外側の表面は圧縮応力を受ける。この場合材料が十分かたければ、あまり問題はないが、熱間圧延工程中では材料が加工硬化していないために軟らかく、compression twin bands を生じやすい。

6.2.6 冷間圧延

冷間圧延で変形できる限界は、合金の種類、それまでの材料の履歴などによって大幅に変わってくる。AZ31 合金は約 16 % しか圧下できないが、M1 合金は約 50 % も圧下が可能である。

冷間圧延が非常に困難な場合には、約 230℃の温度に加熱し温間圧延 (warm rolling) する。この温度で 25%の圧延を行うと、材料は 150～160℃で圧延ロールから出てくる。この温度では再結晶が開始する温度よりも高いので、ロールを出たところで、コイリングする前に空気または水によって 120℃に冷却する必要がある。コイリングしないで、シート (平板) にて終了する場合には、急冷のため温間圧延の加熱による影響よりも、硬い状態のシートが得られる。

冷間加工によってマグネシウム合金も加工硬化する。仕上げ工程で行われる”冷なまし”と組み合わせて希望する機械的性質ならびに質別状態にすることが行われている。

冷間圧延には冷間 4 段ロール圧延機を用いたほうが、板厚の偏差が少なく、また 1 パスの圧下率も向上する。しかし板厚が薄い場合には 4 段ロール圧延機で仕上げる場合に平面度を確保することが難しい。したがって時としては最終段階に冷間 2 段ロール圧延機が使用される。

6.2.7 仕上げ

コイル圧延の場合は、コイルほぐし、かたさ調整、ローラーレベルなどによる平面度仕上げ、サイドトリム・長さ切断をしてシートパイルに積み上げる。シートはかたさ (強さ) 調整—調質—表面処理—検査を経て出荷される。

(1) 調質

焼なましは、材料が非常にかたくもろい場合、希望する機械的性質に合致していない場合、不均一である場合などに実施される。

焼なましの程度はかたさにより 0-レベルから 9-レベルまでの段階がある。質別の軟質 (O 材) は完全に軟化されたもの、硬質 (H8 材) は十分にかたい状態のものである。H24 材 (1/2H あるいは 1/2 硬質) は、冷間圧延によって加工硬化 (H 状態) させ、若干軟化熱処理 (焼なまし) を行い (2)、半分のかたさ (4) にした状態のものである。

試片によって再結晶温度を試験し、H24 状態 (1/2H 状態) が得られる正しい軟化の量と、1 時間でこの状態になるための加熱温度を調査して、この温度で熱処理が行われている。

一般に焼なましは合金の種類にもよるが、320～430℃にて実施されている。この条件については前述のように再結晶現象についても調べておかなければならない。

(2) ローラ・レベリング

シートを図 6.6 に示すようなローラ配置のレベリング・ローラのかけると、シートは繰り返し曲げられ、表面・裏面ともに交互に圧縮応力を受ける。この結果、双晶が生成する。双晶が表裏両面に全面的に生成するが、断面のうち比較的表皮の薄い層にとどまり、しかも帯状になった compression twin bands が発生しない程度の変形量・応力を加える。

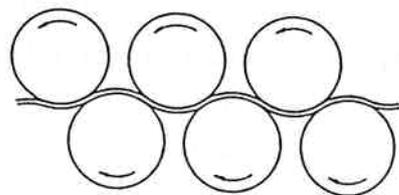


図 6.6 ローラレベリングの概要

ローラ・レベリングによる表裏面の表皮層双晶のためにシートには表面にひずみが発生する。このひずみによって締めつけられたシートの中心部には、双晶により短縮した表皮層よりも長いという不安定さが生じる。これが安定になろうとしてシートは平面になる。

(3) 加熱ひずみなおし (anneal flattening or weight flattening)

ローラ・レベリングでは圧縮応力により双晶が発生するが、これを嫌う場合には加熱して重力によって平面度を求める”ひずみなおし”をする。この方法は平面度が向上するが強さが犠牲になる。

シートを平坦な鋼板上に積み上げ、上面にも平坦な鋼材を重ねる。全面におおむね 0.045kg/cm^2 の圧力を加えて加熱し、温度を上げてクリープによるひずみなおしを行うものである。

加熱温度は要求される質別、軟質か硬質かにより検討しなければならない。通常、AZ31合金では約 $150\text{ }^\circ\text{C}$ 、M1合金では約 $200\text{ }^\circ\text{C}$ で 30min 加熱する。加熱ひずみなおしにより強さは低下し、伸びが向上する。また、ひずみが少なくなるので、応力腐食割れに対する抵抗性が增大する。

6.2.8 表面処理

酸洗いは、酸によって材料の表面を溶かし、圧延作業や焼なまし処理時に影響を受けた表面層を除去し、耐食性の良い表面を得るための処理である。ミルスケールなどの Fe の”しみつき”は表面で局部電池を形成するので腐食が進行しやすい。

酸洗いの順序は下記のようにされている。

- 1) NaOH (苛性ソーダ) などアルカリ性水溶液で油やグリースを除去する。
- 2) 冷水洗浄
- 3) CH_3COOH (酢酸)・ NaNO_3 (硝酸ソーダ) 水溶液 [氷酢酸 723g、 NaNO_3 191g を水で 3.8 l にする] でメタルや不純物を除去する。
- 4) 冷水洗浄、熱水洗浄
- 5) 風乾

場合によっては CrO_3 (クロム酸) 洗浄をすることもある。 CrO_3 水溶液 (無水 CrO_3 680g を水で 3.8 l にする) をスプレー、洗浄、風乾する。

オイルコートは激しい腐食環境に置かない場合では有利である。油は鉱物性で不純物の少ないものがよい。板金作業用の板材については、板金加工用の油でコートしておく、次の工程のために有効である。油膜は CrO_3 洗浄にて容易に除去できる。

6.2.9 検査ならびに欠陥

検査としては、厚さ、幅、長さの寸法、平面度、亀裂、ラミネーションなどのない健全性、汚れ、きずのない表面状態、その他特殊検査が実施されている。

一般的な欠陥は次のようである。

1) そり (cradling)

現象：スラブ全長にわたる反りで、上表面よりも下表面のほうが長い。

原因：ボトムロールが大きい。噛み込み角度が不適正。トップロールの冷却しすぎ。

2) ワニはだ (aligatoring)

ロールより転皮されたかのようにスラブの両表面に発生する微細な亀裂で、高温脆性のある合金に発生しやすい。中心部は加工されておらず、表面も比較的弱いことが多い。

3) 高温割れ (hot shorting)

顕微鏡的大きさの局所的な溶融に基づいて、全面にわたって生じる微細な亀裂。圧延の際の応力によって発生し、通常結晶粒界に見られる。

4) 割れ (cracking)

通常コイル端、あるいは両端側に亀裂が生じやすい。圧延速度が早すぎるか、圧延温度が低すぎたか、圧下率が高すぎたか、冷間加工度が高すぎた場合に生じやすい。またロール条件が適正でないで両端側に”しわ”が発生しやすい。

5) ラップ (lap)

前工程で発生したきずあるいはノッチなどの上を圧延した場合、重なりあるいはくぼみ状となる。前工程のきず取りを完全にすること。

6) 汚れ (dirt)

材料がロールにピックアップされ、しみついたマグネシウムが酸化して、圧延の際表面に押しつけられて発生するのが多い。潤滑剤はこの防止のために用いるのであるが、場合によっては潤滑剤の能力を越して、この現象を起こすことがある。またグリースやその他の異物が落ち込んで共に圧延されることもある。

6.3 マグネシウム合金の押し出し

6.3.1 押し出し設備

アルミニウム合金の押し出し工場の設備としては、図 6.7 に示すようなものが一般的であり、マグネシウム合金押し出しの場合も、同様な設備が良い。

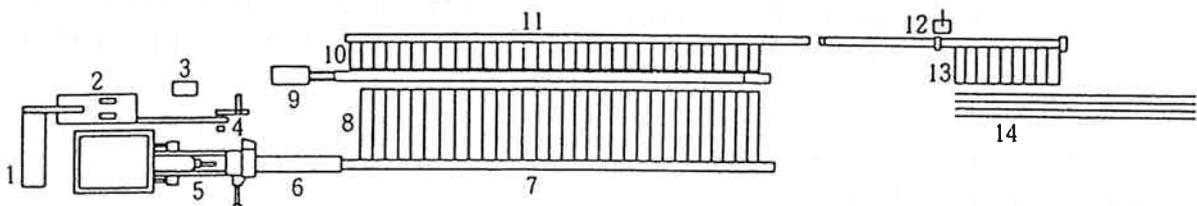


図 6.7 押し出し工場の配置図

- | | |
|--------------------|---------------|
| 1. ビレットブレイクダウンテーブル | 2. ビレットヒータ |
| 3. 操作盤 | 4. ビレットキックオフ |
| 5. 押し出し機本体 | 6. イニシアルテーブル |
| 7. ランナウトテーブル | 8. ウオーキングビーム |
| 9. ストレッチャ | 10. ストアレジテーブル |
| 11. トランスファーローラ | 12. 切断機 |
| 13. 検査台 | 14. 搬出ローラ |

アルミニウム合金とマグネシウム合金との押し出し作業で、最も異なる点は、前者は常温に冷却してから整直するが、後者は、温かい内に行わなければならない。アルミニウム合金では、ビレット予熱炉として、インダクションコイルによる予熱炉、熱風循環式炉、直火加熱式炉などのタイプがあるが、マグネシウム合金では、予熱中の酸化を防ぎ、溶損を避けるために、加熱時間の短くできるインダクションコイルヒータを用いるべきである。

熱間で押し出し後、押し出し材の曲がりを矯正するためには、200℃以上の温かい内にス

トレッチする必要があり、ストアレージテーブルについては、押し材をここで常温まで冷却することになるので、耐熱性のある材料を用い、一本のビームの長さを3～4m位にするのが良い。したがって、現在、最も安心して使用できる材料は、黒鉛であろう。

マグネシウム合金の押し圧力としては、ダイス面へ5,000～7,000kg/cm²の応力が必要で、その程度の応力が得られるように、押し機の容量とシリンダ径を決めなければならない。

6.3.2 押し工具

押し工具の標準的な組み合わせを図6.8に示す。

図からわかるように、ダイリング（ダイホルルド）の中へ、ダイとバックを収納し、ダイとバックをささえるために、2個のボルスタをセットする。

押し工具に用いる鋼種としては、熱間加工用工具鋼を用い、ショア硬さで、60～75の範囲内になるように熱処理する。

押し製品としては、中実材（ソリッド材）と中空材（ホロー材）とに大別されるが、中実材押し用に用いられるダイとしては、フラットダイを用い、中空材用にはポートホールダイかブリッジダイを用いるのが一般的である。フラットダイは厚板の円形鋼板に穴（ダイオープニング）をあけたものと考えてよく、その典型的なものを図6.9に示す。

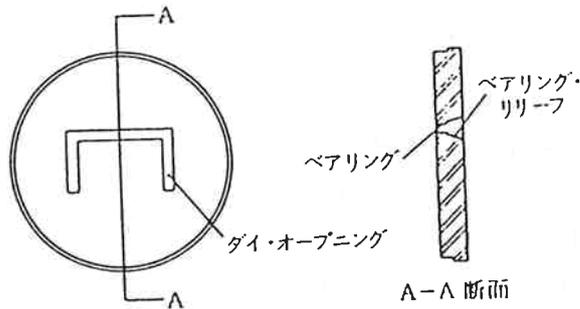


図 6.9 フラットダイ

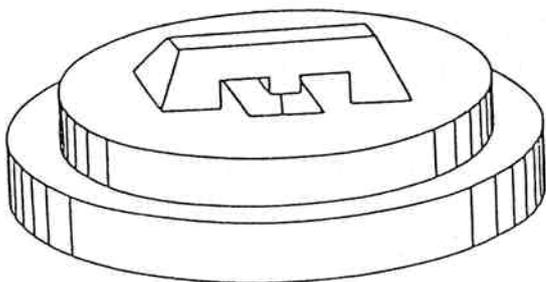


図 6.11 ブリッジダイの原理図

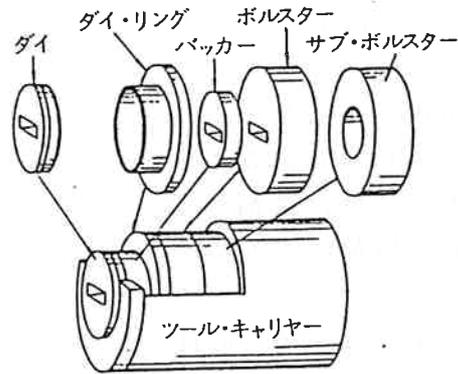


図 6.8 標準的押し工具の組合せ

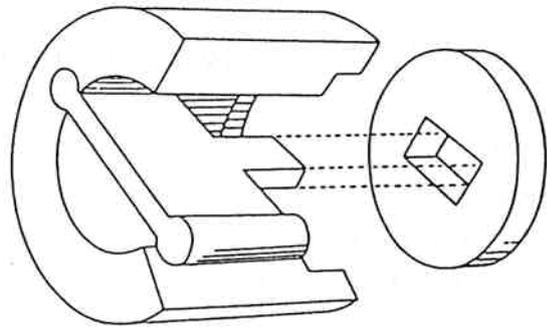


図 6.10 ポートホールダイの原理図

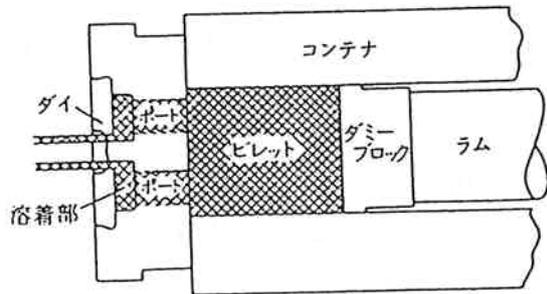


図 6.12 ポートホールダイの構造

押し出し加工にとって、製造上のポイントは、ダイの設計にあるとあってよく、特に留意することが必要がある。マグネシウム合金専用の押し出しダイを設計する上で、必要な事項を次に記述する。

1) メタルフローを調整するためのベアリング長さは、押し出し型材の場合、最低でも肉厚の 1.5 倍以上の長さにする必要がある。すなわち、肉厚 2mm の型材では、最低ベアリング長さは 3mm になる。管、棒などのダイでは、3mm 以上の長さが必要である。さらに肉厚が 5mm 以上の場合には、ベアリングの入り口側を軽く面取りしておく方が表面状態の良好な型材を得ることができる。

2) ダイオープニングの寸法は、押し出し中のダイのたわみによるひけ代、押し出し後の引張矯正によるひけ代などを見込んで、一般的には、押し出し材の寸法より 2 ~ 5 % 位大きくする必要がある。

ただし、このひけ代は、押し出し型材の形状、大きさにより異なり、同一断面でも、各個所で変化させる必要がある。

3) 中実型材の製造可能な大きさとしては、使用する押し出し機のコンテナのシリンダ径から、35mm 差し引いた円の中におさまることが必要で、シリンダと押し出し材との断面積比（押し出し比）が、20 ~ 120 の範囲内となるように、ダイオープニングの穴数を調整しなければならない。

特に、量産のことを考えて、押し出しやすく、押し出しの長さ方向にわたって、寸法変化のないようにするためには、押し出し比を 50 ~ 80 位の範囲内にすることが望ましい。

4) 断面積の小さいものを押し出す場合、押し出し比を上述した範囲にするためには、多穴ダイを設計することが必要になる。その場合、単にダイが設計しやすいことのみを考えて、図 6.13 のようなレイアウトを採用すべきでない。このようなレイアウトは、押し出し中にねじれや、局部曲がりが発生し、特にマグネシウム合金において、ストレッチャによる矯正だけでは、十分に整直することができない。

このようなことを避けるためには、図 6.14 のようなレイアウトの方が良い。後者の方が、イニシャルテーブル上での作業性が良く、特に無理に押し出し材を分けて誘導しなくても良い。

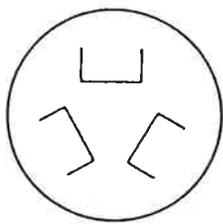


図 6.13 作業性の悪いレイアウト

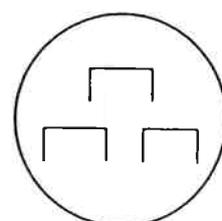
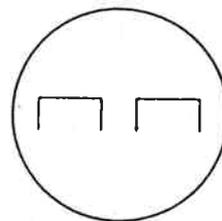
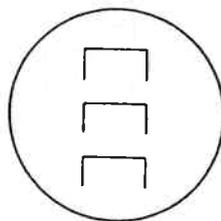


図 6.14 作業性の良いレイアウト

レイアウトの決定は、上述のことと同時に、押し出し比、ダイオープニングの外接円の大きさを考慮に入れ、できるだけ対称的になるようにするのが好ましい。

6.3.3 押し出し作業

押し出しに使用するピレットは、半連続鋳造方により鋳造されたものの外皮部を切削・削除して、鋳肌とともに、コールドシャットも除去することが必要である。鋳肌のつい

こままで押しをすると、押し材の表面に割れ、ブリストア、ブローホールなどの欠陥が発生しやすくなる。この傾向は、押し比が小さくなる程、またダイオープニングの外径円が大きくなる程、著しくなる。ただし、後述する M1 合金で押し比 70 ~ 90 位の一穴ダイでは、外削しなくてもこのような結果の発生が認められないこともある。たとえば、ピレットが健全であっても、上述した欠陥を少なくするために、押し作業前に、予熱されたクリーニングディスクで 3 回程コンテナ内に残留したメタルを除去するための空押しをした方がよい。

押し中に用いる離型材、潤滑剤としては種々のものがあるが、最も一般的に用いられている鉱物油にコロイド状黒鉛を混合させたもので十分である。ただし、ポートホールダイを用いた場合には、無潤滑の状態で押しすべきで、特に油性の潤滑剤を用いると、ブローホール、巻き込みなどの欠陥を発生する。

マグネシウム合金の押し作業で最も問題なことは、押し終了後のダイの洗浄である。マグネシウム合金はアルカリにはほとんど溶解しないため、10 ~ 20 % の微温食塩水 (30 ~ 40 °C) にダイを浸漬して、マグネシウム合金のみを溶解するのが普通であるが、溶解速度が非常に遅く、特にポートホールダイでは、完全に溶解するのに、7 日から 10 日間位要する。もっと急速に溶解する必要がある場合は、希硝酸 (HNO₃) にダイを浸漬して、マグネシウム合金の大部分を溶解した後、食塩水に浸漬する方法もあるが、作業性の点であまり推奨できる方法ではない。むしろ、マグネシウム合金の溶解速度が遅いことを考慮に入れて、中空材の押しダイとしては、ダイのポート中の残留メタルを極力少なくできるように、設計の段階で留意すべきであり、そのためにも、特に制約がなければ、ボールホールダイより、ブリッジダイを利用した方がよい。

マグネシウム合金の押し条件として、代表的合金の概略的条件であるが、既に報告されているものを記述すると、表 6.3 による。

表 6.3 マグネシウム合金の押し条件

| 合金 | ピレット温度 °C | コンテナ温度 °C | 押し速度 m/min |
|---------|--------------|--------------|---------------|
| M 1 | 416~438 | 380~388 | 6.1~30.3 |
| A Z 3 1 | 371~400 | 232~316 | 4.5~12.1 |
| A Z 6 1 | 371~400 | 232~288 | 2.1~ 6.1 |
| A Z 8 0 | 360~400 | 232~288 | 1.2 ~ 2.1 |

次に容量 1,250ton の油圧式横型単動押し機で、シリンダ径 6 インチのものを用いて、量産規模で押しした結果を表 6.4 に示す。押しに用いた形材は、図 6.15 に示すようなもので、それ以外に平角材、管、棒が押しされている。

表 6.4 各種製品の押出条件

| 種類 | 合金 | 形状 | 断面積 mm ² | 押出比 | ピレット長さ mm | ピレット温度 ℃ | 押出速度 m/min |
|----|----------|------------|------------------------|-----|--------------|-------------|---------------|
| 形材 | AZ31 | A | 72 | 122 | 330 | 430 | 8.5 |
| | " | B | 163 | 54 | 330 | 370 | 10.0 |
| | " | C | 187 | 47 | 350 | 380 | 17.0 |
| | " | D | 795 | 22 | 360 | 305 | 8.0 |
| | " | E | 1.283 | 14 | 420 | 230 | 8.0 |
| 平角 | AZ31 | 16 × 7 | 112 | 39 | 330 | 390 | 5.0 |
| | " | 40 × 3 | 120 | 73 | 330 | 410 | 3.5 |
| | " | 25 × 9 | 225 | 39 | 350 | 380 | 3.0 |
| | " | 125 × 2 | 250 | 70 | 350 | 380 | 2.0 |
| 管 | M1 | φ 20 × 1.2 | 64 | 92 | 330 | 390 | 2.5 |
| | " | φ 20 × 2 | 113 | 78 | 330 | 390 | 2.0 |
| | " | φ 30 × 3 | 254 | 70 | 330 | 380 | 2.0 |
| | マグネシウム | φ 20 × 1.2 | 64 | 92 | 330 | 390 | 2.5 |
| | " | φ 20 × 2 | 113 | 78 | 330 | 390 | 2.5 |
| | AZ31 | φ 30 × 3 | 254 | 70 | 330 | 380 | 1.5 |
| 棒 | 99.8% Mg | φ 19 | 285 | 62 | 330 | 170 | 7.0 |
| | M1 | φ 19 | 285 | 62 | 330 | 280 | 6.0 |
| | AZ31 | φ 19 | 285 | 62 | 330 | 320 | 2.5 |

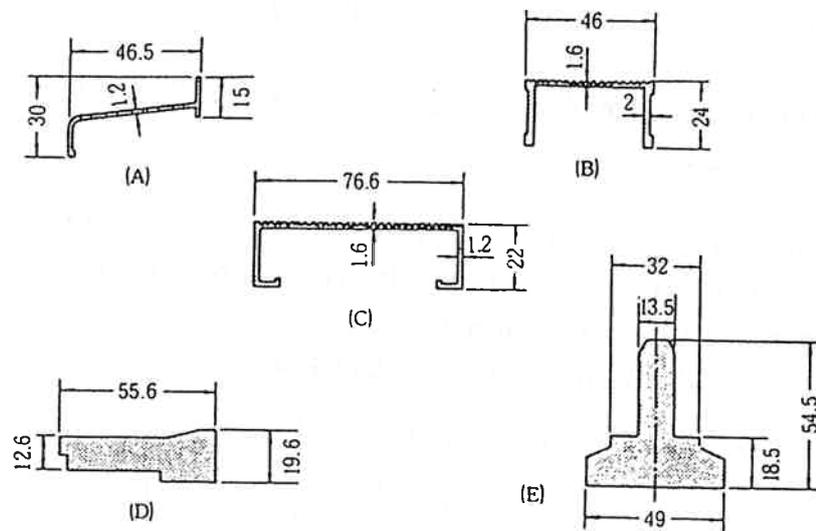


図 6.15 押出型材の形状

押出し前の最適予備条件としては、コンテナ温度は、ピレット温度より 30 ~ 50 ℃ 低く、ダイ温度はできるだけピレット温度に近くする。もし設備的に可能であるなら、ピ

ノットの尻部の温度を、30 ~ 50℃だけ頭部より低くすると、押し出し速度を大きくすることができる。

テーパクーリングが不可能な場合は、押し出しのサイクル後半で押し出し速度を遅くせざるを得ない。もっとも、押し出し中に割れが発生しない場合はこのようなことをする必要はない。

各合金の押し出しの限界は、表 6.4 中の管のサイズ位に相当する。マグノックスは、合金含有量として Al 1%、Ca 1.1%、Be 0.05%のもので、押し出し性は純マグネシウムまたは M1 合金に相当する。

現在、JIS には AZ31 合金と AZ61 合金しかなく、一般押し出し材には AZ31 合金が用いられている。

一方、M1 合金と AZ31 合金の押し出し性について比較すると、M1 合金は、押し出し中に熱間加工時の熱により、酸化されても黒褐色化されることがなく、表面が美しく、アルミニウム合金と同様な光沢を保持している。しかし、AZ31 合金は押し出し中の酸化により、すぐ表面が黒褐色化し、とくに押し出し比の高い場合、押し出し圧を下げるために押し出し温度を高くしなければならず、そのときには、一層表面の黒褐色化が著しくなる。したがって、AZ31 合金を部材として使用するときは、HNO₃ 等で事前に素洗いすることが必要になる。M1 合金は、押し出しのまま、特に素洗いしなくても十分に実用に耐え得る金属光沢を有している。また、押し出し材に特有な、ダイライン（ダイマーク）の発生も AZ31 合金に比べて少ない。

押し出し限界を量産規模で判定するならば、中実材の場合、M1 合金では肉厚 1mm 位のものまで押し出し可能であるが、AZ31 合金では 1.6mm 位までと判断される。

中空材の代表例としてのブリッジダイによる管の押し出しの場合、M1 合金では、肉厚 1.2mm 位まで押し出し可能なのに対し、AZ31 合金では、肉厚 2.5mm 以上でないと無理である。

したがって、押し出し材料の合金の選択は、用途をよく考えて、生産性の良いものを使用するように配慮すべきである。

6.3.4 機械的性質

前述した 1,250 トン押し出し機の 6inch シリンダを用いて、20mm φ の棒のを一穴ダイで押し出したものから、JIS4 号試験片を作成し、測定した機械的性質を表 6.5 に示す。なお試験片は、押し出しのままであり、質別は F 材に相当する。

表 6.5 φ 20mm 押し出し棒の機械的性質

| 合金 | 押し出し温度 ℃ | 引張強さ MPa | 耐力 MPa | 伸び % |
|------|-------------|-------------|-----------|---------|
| 純 Mg | 130 | 245 | 147 | 4.5 |
| | 170 | 240 | 147 | 4.0 |
| | 210 | 235 | 142 | 4.0 |
| | 280 | 235 | 142 | 4.0 |
| | 330 | 230 | 137 | 4.0 |
| M1 | 250 | 275 | 186 | 7.0 |
| | 430 | 235 | 137 | 6.0 |
| AZ31 | 380 | 299 | 230 | 21.0 |
| | 400 | 270 | 186 | 16.0 |
| | 430 | 245 | 152 | 14.0 |

表 6.5 より、マグネシウム合金は押出し温度が高くなるほど、機械的性質が低下することがわかる。低下の度合いは、添加元素の含有量が高いほど著しく、純マグネシウム（99.8 %）の機械的性質は、押出し温度変化にあまり影響を受けない。しかし、添加元素含有量の多い AZ31 合金では、著しく押出し温度に影響される。

表 6.5 の場合は、押出し比 56 の標準的な場合であるが、特に押出し比の低い型材（図 6.15 の E の型材で押出し比 14）における F 材の機械的性質の測定値を表 6.6 に示す。この場合もやはり押出し温度が低い方が機械的性質は高くなる。

表 6.6 低押出比の場合の機械的性質

| 合金 | 押出温度 ℃ | 引張強さ MPa | 耐力 MPa | 伸び % |
|------|-----------|-------------|-----------|---------|
| M1 | 175 | 270 | 216 | 2.0 |
| | 210 | 260 | 206 | 2.0 |
| AZ31 | 220 | 294 | 230 | 17.5 |
| | 260 | 289 | 221 | 16.0 |
| | 320 | 284 | 221 | 15.0 |

機械的性質の点から M1 合金と AZ31 合金を比較すると、M1 合金は AZ31 合金に比して、引張強さと耐力で約 10 % 低い値を示し、特に著しく差の認められるのは、伸びの値である。両合金の伸びの差は押出し比が小さいほど、その差が大きくなり、M1 合金が劣った値になる。しかし、肉厚が 2 ~ 3mm 以下の薄肉押出し材を AZ31 合金で押出す場合には、押出し圧を下げるためにピレット温度を高くしなければならず、したがって得られる機械的性質も低くなる。

一方、M1 合金は押出し性が良いために、薄肉型材でもピレットの予熱温度を高くする必要がなく、その結果機械的性質の低下度も少ない。

以上のことより、一般的な用途の押出し用合金の選択基準として、特に AZ31 合金と M1 合金に限っていえば、押出し比の小さい厚肉材には AZ31 合金を用い、押出し比が 70 以上の薄肉材には、M1 合金を用いるべきである。

押出し比が小さければ、AZ31 合金でも小さな押出し圧力で済むため、ピレット予熱温度も低くでき、高い機械的性質を得ることができる。

押出し比の高い薄肉の型材に AZ31 合金を用いると、ピレット温度を 400 °C 以上に加熱しなければならず、その場合には生産性は M1 合金の半分になり、得られる機械的性質も M1 合金と同等かそれ以下になり、AZ31 合金を用いる利点はあまり無いといえる。

参考文献

- 1) マグネシウム委員会：マグネシウム便覧、軽金属協会、(1975)。
- 2) E. F. Emeley : Principles of Magnesium Technology, Pergamon Press, (1996)。
- 3) American Society for Metals : Metals Handbook, (1970)。
- 4) D. O. Karlsen, D. φ imo, H. Westengen : Proc. the International Symposium on Light Metals Processing and Applications, The Metallurgical Society of the Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum, (1993), 397.

5) マグネシウム委員会：マグネシウムマニュアル、軽金属協会、(1971)。

7. マグネシウムの機械加工技術

1. はじめに

マグネシウム合金の使用量の増加に伴い、製品の加工に占める切削加工の割合は増加しており、ダイカストやチクソモールドによる製品も例外ではなく、後加工として切削加工は必要となる。マグネシウム合金は切削に要するエネルギーが他の金属に比較して著しく小さく、被削性は極めて良好であり、高速かつ重切削が可能とされている。このためマグネシウム合金の切削加工に関する報告は少なく、標準切削条件も2~3の文献^{1)~4)}に見られるのみである。またマグネシウム合金は極めて活性な金属であり、切削中に発火の危険性があることは良く知られている。加工時における生産性、安全性、切りくず処理など検討を要する事項は多い。

本稿では、マグネシウム合金の機械加工技術の中で最も適用範囲の多い切削加工技術について、既報の文献^{5)~10)}および筆者が行ったマグネシウム合金の旋削および穴あけによる実験結果^{11)~16)}などを総合して示す。

2. マグネシウム合金の切削加工

2.1 被削性から見たマグネシウム合金の諸性質

金属材料の被削性はその材料特有の性質が大きな影響を及ぼす。このため工作物の特性を知ることは切削加工において重要なことである。切削加工の点から見たマグネシウム合金の特性は次のようになる。

① 軟質で、弾性係数が小さいために外力に対する抵抗力が小さい。このため表1に示すように切削に要する所要動力は他の金属に比べて著しく小さく、高能率加工が可能である。しかし、必要以上の力で締め付けると工作物は反ったり、ひずみを生じやすく、工作機械への取付け方法、締め付け力に工夫を要す。

表1 単位体積を除去するのに必要なエネルギー

| 加工法 | 所要エネルギー (J/mm ³) | |
|---------------------|-----------------------------------|----------|
| 切削 | 1 ~ 10 | |
| 研削 | 一般 | 20 ~ 60 |
| | 仕上げ | 60 ~ 200 |
| | 切断 | 10 ~ 30 |
| ベルト研削 | 10 ~ 30 | |
| 電解研磨 | 1 ~ 10 ² | |
| 放電加工 | 10 ² ~ 10 ³ | |
| 電子ビーム加工 | 10 ⁵ | |
| レーザービーム加工 | 10 ⁵ | |
| 室温の鋼を溶融するのに必要なエネルギー | 10 | |

② 軽量なため切削時の慣性力が小さく、工作機械を急停止あるいは急始動しても工作機械に与える影響が少ない。また工作機械への着脱も容易である。

③ 軟質なために切りくずは分断されず処理が容易である。しかし、軽量のため飛散しやすい。

④ 硬さが低く、熱伝導性がよいので切削熱による工具切れ刃の温度上昇が少なく、工具寿命が長い。このため、工具寿命が長いために他の金属材料に比較して実切削時間が長く、工数、工具費の低減が可能である。

⑤ 切削速度、送りを大きく取れるので高能率加工が可能である。

⑥ 熱膨張係数がアルミニウム合金や鋼に比べてやや大きい。このため切削熱により工作物が膨張し、加工精度に悪影響を及ぼすことがある。

2.2 工具材質

マグネシウム合金は軟質で被削性が良好なために、特殊な材質の工具を用いる必要がなく、一般に使用されている工具で十分切削が行える。

工具材質としては高速度工具鋼は高じん性のため大きなすくい角や逃げ角が付けられ、かつ鋭利な切れ刃が得られる利点がある。また、多量生産や自動機などでは工具寿命が長く、長時間の加工が可能なことから超硬合金工具を使用する場合もある。しかし、ダイヤモンド工具は鏡面加工などの特殊な加工や超精密加工以外にはほとんど用いられない。

2.3 切削工具の設計

一般にすくい角の大小は、切削抵抗に顕著に影響を及ぼすとされている。たとえば、すくい角が 25° から 15° 減少すると切削抵抗は約50%増加する。また、すくい角が大きくなると切削抵抗は減少し仕上げ面粗さも向上する。しかし、すくい角の増大は刃先角が小さくなり刃先強度が低下して工具寿命は短くなる。このため実用工具のすくい角は 20° 程度までとされている。超合金工具では高速度工具鋼に比較してすくい角を小さくして刃先の強度を高めている。

前述のようにマグネシウム合金の被削性は良好であり、切削動力のほとんどを消費する主分力には切削速度依存性が認められず、アルミニウム合金などの切削の場合ほどすくい角の大小は影響を及ぼさない。またすくい角の大小に関係なく高速、重切削が可能である。しかし、横すくい角、送りがともに大きい場合には送り分力が負になることもある。横切れ刃角が大きくなると背分力が大きくなり、送分力も大きくなる。このためマグネシウム合金の切削に適する工具を設計する必要がある。

マグネシウム合金の切削を行う場合には特に逃げ角には十分な注意を払わなければならない。これは工具と工作物の摩擦による発熱と発火を防止するためにも必要であり、他の金属材料を切削する場合よりも大きな逃げ角を持たせる必要がある。

前切れ刃角、横切れ刃角は作業目的に応じて適当に設定すればよいが、前切れ刃角が小さいと工作物と工具が摩擦したりビビリが発生し、横切れ刃角を大きくすると工具にビビリ振動が発生して仕上げ面粗さが劣化し、ときには送り分力や背分力が増大することもあるので注意する必要がある。

工具のコーナー半径は、仕上げ面性状、工具寿命、工具のビビリなどに影響を及ぼすが、マグネシウム合金の切削では他の金属を加工する場合より若干大きくしてもよい。

以下にマグネシウム合金用の各種切削工具の形状を解説する^{1)~4)}。

(1) 旋削および中ぐり用バイト

旋削および中ぐりには単一切刃工具(バイト)が使用される。マグネシウム合金切削用バイトの形状を表2に示す。荒加工と仕上げ加工では前切れ刃角の大きさが異なる。荒加工では $15^\circ \sim 45^\circ$ 、仕上げ加工では $5^\circ \sim 10^\circ$ である。これは荒加工における工具と工作物の摩擦を防止するためである。横すくい角は荒加工で 5° 、仕上げ加工で $5^\circ \sim 10^\circ$ となっている。逃げ角は切削条件に関係なく $10^\circ \sim 20^\circ$ と他の金属材料切削用の $6^\circ \sim 8^\circ$ に比較して大きくとっている。

表2 単一切れ刃工具形状

| 項目 | 諸元 |
|--------|--------------------------|
| 上すくい角 | $10^\circ \sim 15^\circ$ |
| 横すくい角 | $0^\circ \sim 10^\circ$ |
| 前逃げ角 | $10^\circ \sim 20^\circ$ |
| 横逃げ角 | $10^\circ \sim 20^\circ$ |
| 前切れ刃角 | $5^\circ \sim 45^\circ$ |
| 横切れ刃角 | $0^\circ \sim 60^\circ$ |
| コーナー半径 | 0.5~1.5mm |

突切りバイトや溝切りバイトでは切断面との摩擦を防ぐためにバイトの両側面に沿って適正なクリアランスが必要となる。マグネシウム合金切削用バイトでは、このクリアランスのために約 5° のバックテーパを付け、逃げ角も大きくとっている。

(2) フライス

一般の金属切削用フライスは刃先強度を増すために負のすくい角のものが用いられるが、マグネシウム合金の切削には、前述のように被削性が良好なことから正のすくい角のフライスを使用するのがよい。一般の金属切削用のものに比べて刃数を少なくし、逃げ角も大きくとって切りくずの排出を容易にする必要がある。

(3) ドリル

穴加工は使用するドリル径(d)と穴の深さ(L)から、浅穴加工($L \leq 5d$)、深穴加工($L > 5d$)および薄板加工に分類される。当然のことながら、穴の深さが深くなると切りくずの排出は困難になる。このため、溝面は研削により滑らかにして切りくずの排出が容易になるようにしなければならない。また薄板では貫通時のトルクとスラストが極端に大きくなり、穴の周辺にバリが発生したり穴が変形することがある。このためそれぞれの穴加工に適する形状のドリルを使用しなければならない。

ドリルのねじれ角はバイトのすくい角に相当し、標準ドリルでは 32° である。標準ドリルの先端角は 118° であるが、軟質材料用のものは小さくともものもある。マグネシウム合金用ツイストドリルの形状を表3に示す。

表3 ツイストドリルの形状

| 項目 | 浅穴加工 | 深穴加工 | 薄板加工 |
|-------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 先端角 | 118° | 118° | 60° |
| ねじれ角 | $10^\circ \sim 30^\circ$ | $40^\circ \sim 50^\circ$ | 10° |
| チゼル角 | $120^\circ \sim 135^\circ$ | $135^\circ \sim 155^\circ$ | $120^\circ \sim 135^\circ$ |
| 逃げ角 | 12° | 24° | |
| ウェーブ | 一定厚さ | 一定厚さ | 先端で薄め |
| 切れ刃の肩 | 丸 | 丸 | 丸 |
| 溝の表面 | 研磨 | 研磨 | 研磨 |

浅穴加工では、標準先端角 118° のドリルで十分加工ができるが、溝は切りくずの排出が容易になるように表面粗さを良好にする必要がある。このことは特にねじれ角の小さいドリルを使用する場合に重要となる。ねじれ角は $10^\circ \sim 30^\circ$ 程度、チゼル角は $120^\circ \sim 135^\circ$ 程度、逃げ角は 12° 程度にする。

深穴加工では、切りくずの排出が穴の精度や表面粗さに影響を及ぼし切りくずが詰まれば発熱の原因となる。このためねじれ角を $40^\circ \sim 50^\circ$ 程度、ウェーブを溝全長に渡って均一な厚さにして溝幅を均一にする。チゼル角は $135^\circ \sim 150^\circ$ 程度、先端角は 118° 、逃げ角は 24° 程度とする。 $\phi 6.5\text{mm}$ 以上のドリルでは、チップブレーカ用の小さな溝を切れ刃部に付けて切りくずを分断すれば穴加工がスムーズに行える。

薄板加工用ドリルでは、先端角を 60° 、ねじれ角を 10° 、チゼルエッジ角を $120^\circ \sim 135^\circ$ とし、ウェーブを薄くして先端を尖らせ、切れ刃部には丸みを持たせている。先端角を小さく、かつ尖らすことはドリルの歩行現象を防ぎスラストを小さくする。切れ刃部に丸みをもたせるのはバリの発生を防ぎ滑らかな仕上げ面を得るためである。

2.4 工具研削

マグネシウム合金用切削工具の切れ刃には、まくれ、引っかけ傷などがなく、可能な限り切れ刃稜はシャープに、かつすくい面などの面は滑らかに研削をしなければならない。他の金属材料の加工に用いられる工具ならマグネシウム合金用に使用できるが、使用にあたっては再研削を行い、工作物と接する面(前・横逃げ面)や切りくずが通過する面(すくい面)を平滑にして、切りくずがたまたり熱が発生することがないように注意する。

工具研削に用いる砥石は、荒研削では中間粒度の砥石でもよいが、仕上げ研削の場合には高速度工具は粒度#100程度、超硬合金工具は粒度#320の炭化ケイ素あるいは粒度#200～#320のダイヤモンド砥石か同程度の砥石を用いる。研削後、油砥石などで切れ刃稜のめくれやだれ、すくい面の研削マークを手作業によって取り除くなど、丁寧に研削を行った工具により加工を行えば、工作物の仕上げ面性状は良好になり工具寿命も長くなる。

工具の再研削は工作物に次のような現象が現れた時に実施する。

- ①規定の寸法公差に入らない場合。
- ②要求される切削仕上げ面粗さが得られない場合。
- ③加工中に火花を飛ばしたり、工具が熱をもった場合。
- ④切りくず表面に変色が認められるとき。すなわち、発熱により表面が若干酸化した場合。
- ⑤切りくずの出方に変化が認められた場合。

使用工具の工具寿命から、工具交換までの使用時間は加工法、切削条件によって経験的に定めるが、マグネシウム合金は被削性が良好なため少々摩耗した工具でも切削が可能である。しかし摩耗した工具を使用することは発火の危険があるので、工具寿命に達する前に早めに使用工具を交換すべきである。

2.5 マグネシウム合金の切削条件

前述のようにマグネシウム合金の切削に関する報告は少なく、公表されている標準切削条件も他の金属材料に比較して少ない。しかしマグネシウム合金は旋盤、フライス盤、形削り盤、ボール盤など種々の工作機械で加工される。最近ではトランスファーマシンやNC工作機械もマグネシウム合金の切削に用いられるようになった。マグネシウム合金は乾

式でも湿式でも切削加工は可能であるが、後工程での工作物の処理や切りくずの処理を考慮すると乾式切削が適するといえる。

以下に、推奨されている切削条件を記述する^{1)~4)}。

1) 旋削および中ぐり加工

マグネシウム合金は、他の金属材料を切削する場合と同一の切削条件(切削速度, 送り, 切込み)で旋削が可能である。必要があれば切削速度1700m/min, 送り0.75mm/revの高速切削も可能である。しかし一般には荒加工で切削速度1000m/min, 送り0.5mm/rev程度, 仕上げ加工では切削速度800m/min, 送り0.15~0.25mm/rev程度が最高値と考えれば良い。仕上げ加工において送りが小さいにも係わらず切削速度を下げるのは、細かい切りくずの生成による発火の危険を防止するためである。

一般には大きな切込みで一回の加工で要求精度を出すか、滑らかな表面が要求される場合には切込み送りとも小さくする。しかしこの場合でも極端に細い切りくずの出るような送りや切込みは避けなければならない。このために素材の形状と仕上がり寸法を良く検討して適正な切削条件を選定すべきである。

旋削の標準切削条件を表4に、各種工具による中ぐり加工条件を表5に、突切りおよび総形削り加工条件を表6に平削りおよび形削りの加工条件を表7に示す。また旋削における工具材質の違いによる切削条件の一例を表8に示す。

切削を実施する場合の注意としては、切削開始時にはできるだけ迅速に工作物に工具を当て、加工後は速やかに工具を工作物から離し、工作物と工具が接触した状態での空運転(工作物と工具が摩擦している状態)は絶対にさけなければならない。もし接触した状態で空運転を継続すれば発火の危険がある。特に突切りや溝切り加工では十分注意しなければならない。

表4 標準旋削条件

| 作業区分 | 切削速度 (m/min) | 送り (mm/rev) | 最大切り込み深さ (mm) |
|-------|--------------|-------------|---------------|
| 粗加工 | 100~180 | 0.8~2.5 | 12.7 |
| | 180~300 | 0.5~2.0 | 10.2 |
| | 300~460 | 0.2~1.5 | 7.6 |
| | 460~610 | 0.2~1.0 | 5.1 |
| | 610~1520 | 0.2~0.8 | 3.8 |
| 仕上げ加工 | 90~180 | 0.1~0.6 | 2.5 |
| | 180~300 | 0.1~0.5 | 2.0 |
| | 300~1520 | 0.1~0.4 | 1.3 |

表5 中ぐり加工条件

| 高速度工具鋼 | | | 超硬合金工具 | | |
|----------|--------------|-------------|----------|--------------|-------------|
| 切込み (mm) | 切削速度 (m/min) | 送り (mm/rev) | 切込み (mm) | 切削速度 (m/min) | 送り (mm/rev) |
| 0.25 | 305 | 0.75 | 0.25 | 640 | 0.15 |
| 1.25 | 245 | 0.13 | 1.25 | 520 | 0.20 |
| 2.5 | 220 | 0.30 | 2.5 | 425 | 0.40 |

表6 突切りおよび総形削り加工条件

| 切削速度 (m/min) | 送り (mm/rev) | | | | | | | |
|--------------|-------------|------|------|-----------|------|------|------|------|
| | 突切り加工 | | | 総形加工 | | | | |
| | バイト幅 (mm) | | | バイト幅 (mm) | | | | |
| 150~300 | 1.5 | 3.0 | 6.0 | 12.0 | 18.0 | 25.0 | 35.0 | 50.0 |
| | 0.05 | 0.08 | 0.10 | 0.10 | 0.09 | 0.08 | 0.06 | 0.05 |

表7 マグネシウム合金の平削りおよび形削り加工の切削標準

| 切込み (mm) | 切削速度 (m/min) | 送り (mm/rev) |
|----------|--------------|-------------|
| 0.25 | 90 | コナ半径の3/4 |
| 1.25 | 90 | 3.20 |
| 2.5 | 90 | 2.30 |
| 2.5~12.5 | 90 | 2.30~3.20 |

表8 工具材質の違いによる旋削条件の一例

| | 仕上げ削り | | 荒削り | |
|-------------|----------|----------|----------|----------|
| 送り (mm/rev) | 0.1~0.3 | 0.3~0.5 | 0.5~1.0 | 1.0~2.5 |
| 最大切込量 (mm) | 1.0 | 2.0 | 7.5 | 10.0 |
| 高速度工具鋼 | 300~1000 | 300~800 | 100~500 | 100~500 |
| 超硬合金 | 500~2000 | 500~1500 | 500~1500 | 300~1000 |

2) フライス加工

フライス加工は平面加工, 溝切り加工などを能率的にできるので、最近ではこれらの加工に多用されている。フライス加工では切削仕上げ面粗さには切削速度および送りが顕著な影響を及ぼす。このため適切な切削速度および送り(1刃当たりの送り量)を選定しなければならない。すなわちマグネシウム合金のフライス加工では、仕上げ面粗さの許容範囲内で切削速度, 送りをともに大きくする。このようにすると大きな切りくずが生成して、発

熱した熱のほとんどを切りくずが持ち去るので発火の危険が少なくなる。しかし、フライス加工では大きな工具が工作物に接して回転しているので小さな薄い切りくずが生成すると発火する場合がある。切削速度を大きくとることは生成した切りくずを飛ばし、大きな送りは厚い切りくずを生成し発火を防ぐことに役立っている。マグネシウム合金の高速フライス加工が可能なのは、工具の刃数が鋼用フライスの1/3~1/2と少ないために多量の切りくずが生成しても切りくずの除去が容易なためである。マグネシウム合金のフライス加工は通常は乾式で行うが、特別な理由がある場合には切削油剤を用いることもある。

マグネシウム合金の一般的なフライスの加工条件を表9に、各種工具材料のフライスによる加工条件を表10に示す。

表9 一般的フライス条件

| 作業区分 | 切削速度 (m/min) | 送り (mm/rev) | 切込み (mm) |
|-------|--------------|-------------|-----------|
| 粗加工 | ~275 | 0.13~0.64 | 12.7 |
| | 275~460 | 0.13~0.51 | 9.5 |
| | 460~910 | 0.13~0.25 | 5.1 |
| 仕上げ加工 | ~300 | 0.13~0.38 | 2.0 |
| | 300~910 | 0.10~0.20 | 0.13~1.27 |
| | 910~1520 | 0.08~0.15 | 0.08~0.76 |
| | 1520~2750 | 0.05~0.13 | 0.08~0.76 |

表10 各種のフライスによる切削条件

(a) 表面フライス加工

| 高速度鋼フライス | | | 超硬合金フライス | | |
|----------|--------------|---------------|----------|--------------|---------------|
| 切込み (mm) | 切削速度 (m/min) | 送り (mm/tooth) | 切込み (mm) | 切削速度 (m/min) | 送り (mm/tooth) |
| 1 | 305 | 0.20 | 1 | 760 | 0.25 |
| 4 | 245 | 0.30 | 4 | 610 | 0.40 |
| 8 | 170 | 0.40 | 8 | 460 | 0.50 |

(b) 側刃および溝フライス加工

| 高速度鋼フライス | | | 超硬合金フライス | | |
|----------|--------------|---------------|----------|--------------|---------------|
| 切込み (mm) | 切削速度 (m/min) | 送り (mm/tooth) | 切込み (mm) | 切削速度 (m/min) | 送り (mm/tooth) |
| 1 | 245 | 0.25 | 1 | 460 | 0.25 |
| 4 | 215 | 0.28 | 4 | 410 | 0.40 |
| 8 | 185 | 0.30 | 8 | 365 | 0.50 |

(c) エンドミル溝切り加工

| 切込み (mm) | 切削速度 (m/min) | 送り (mm/tooth) | | | |
|----------|--------------|---------------|-------|------|-------|
| | | 溝幅 (mm) | | | |
| | | 10 | 12 | 18 | 25~50 |
| 0.75 | 145 | 0.075 | 0.12 | 0.15 | 0.25 |
| 3 | 130 | 0.102 | 0.15 | 0.20 | 0.30 |
| 直径/4 | 115 | 0.075 | 0.13 | 0.15 | 0.20 |
| 直径/2 | 100 | 0.050 | 0.075 | 0.13 | 0.15 |

(d) エンドミル側面加工

| 高速度鋼エンドミル | | | | | |
|-----------|--------------|---------------|-------|------|-------|
| 切込み (mm) | 切削速度 (m/min) | 送り (mm/tooth) | | | |
| | | カッター径 (mm) | | | |
| | | 10 | 12 | 18 | 25~50 |
| 0.5 | 305 | 0.075 | 0.102 | 0.13 | 0.20 |
| 1.5 | 245 | 0.102 | 0.15 | 0.23 | 0.28 |
| 直径/4 | 185 | 0.075 | 0.102 | 0.18 | 0.23 |
| 直径/2 | 150 | 0.050 | 0.075 | 0.15 | 0.18 |
| 超硬合金エンドミル | | | | | |
| 切込み (mm) | 切削速度 (m/min) | 送り (mm/tooth) | | | |
| | | カッター径 (mm) | | | |
| | | 10 | 12 | 18 | 25~50 |
| 0.5 | 395 | 0.075 | 0.102 | 0.15 | 0.23 |
| 1.5 | 395 | 0.102 | 0.15 | 0.25 | 0.30 |
| 直径/4 | 365 | 0.075 | 0.102 | 0.20 | 0.23 |
| 直径/2 | 305 | 0.050 | 0.075 | 0.15 | 0.18 |

3) 穴あけ加工

穴あけ加工は穴の深さとドリル径の比から、浅穴加工、深穴加工および薄板加工に分類されることは前述した。すなわち穴の深さとドリル径の比によって切削条件も異なる。特に深穴加工では生成する切りくずの排除が重要である。しかしマグネシウム合金は被削性が良好、かつ切りくず処理が容易なためにドリル径の20倍の深さの穴が切りくず除去のために加工中にドリルを抜くことなく1工程であげられるとされている。

一般的な切削条件は、工具寿命、切削仕上げ面粗さ、寸法精度などを考慮して切削速度は45~120m/min, 送りは0.1~0.4mm/revの範囲で加工を行えばよい。一般的なボール盤は、その構造から高速切削は不可能である。しかし、比較的高速切削が可能なトランスファーマシンやNC工作機械でも切削速度はほぼ同程度に設定し、送りを0.15~0.5mm/revと大きくする。

先端角180°の標準ドリルで加工できるが、切りくず排除を容易に行うためにはねじれ溝は研削を行う必要がある。特にねじれ角の小さいドリルを用いる場合に重要である。チゼル角は120°~135°程度とし、先端角118°のドリルでは逃げ角は12°程度とする。標準ドリルによる穴加工条件の一例を表11に示す。

表11 標準穴加工条件

| ドリル径 (mm) | 切削速度 (m/min) | 送 り (mm) | | |
|--------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|
| | | 浅穴加工 | 深穴加工 | 薄板加工 |
| 6 | 90 | 0.13~0.76 | 0.10~0.76 | 0.13~0.20 |
| 613 | ~ | 0.25~0.76 | 0.38~1.02 | 0.35~0.50 |
| 1325 | 600 | 0.25~0.76 | 0.50~1.30 | 0.38~0.75 |

4) 研 削

マグネシウム合金は切削加工で加工精度および仕上げ面粗さの良好な製品が得られるので研削を行うことが少ないが、研削が必要な場合には表12に示す加工条件で研削を行えば良い。表面のつや出しなどを行う研磨作業条件を表13に示す。

表12 マグネシウム合金の研削加工条件

(a)円筒研削および内面研削

| 作業区分 | 加工区分 | 砥石周速度 (m/min) | 被削材周速度 (m/min) | 切込み (mm/pass) | 砥石の 移動量 | 砥石の種類 |
|------|-------|------------------|-------------------|------------------|------------|-------|
| 円筒研削 | 粗加工 | 1,700~2,000 | 20~50 | 0.050 | 1/3 | C60KV |
| | 仕上げ加工 | | | 0.013 | 1/6 | |
| 内面研削 | 粗加工 | 1,500~2,000 | 23~60 | 0.075 | 1/3 | C46JV |
| | 仕上げ加工 | | | 0.005 | 1/6 | |

* 被削材の1回転当りの砥石幅に対する移動量

(b)平面研削

| 作業区分 | 加工区分 | 砥石の 周速度 (m/min) | テーブル 速度 (m/min) | 切込み (mm/pass) | | 砥石の種類 | |
|-----------------|-------|-----------------------|-----------------------|---------------|----------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | | | | 被削材 に垂直 | 被削材に 直角 | 狭い加工 | 幅広加工 |
| 縦軸型 (回転テーブル) | 粗加工 | 1,100 ~ | 30~80 | 0.025 ~ | - | Ca451B または CA601B | CA46GB または CA60GB |
| | 仕上げ加工 | 1,800 | | 0.100 | | | |
| 横軸型 (往復テーブル) | 粗加工 | 1,600 ~ | 15~30 | 0.075 | 1.25~12.5 最大砥石幅 の1/3 | CA46GB または A46KV | |
| | 仕上げ加工 | 2,000 | | 0.025 (最大) | | | |

(c) 心なし研削

| 加工区分 | 砥石周速度 (m/min) | 被削材送り速度 (m/min) | 切込み (mm/pass) | 砥石の種類 |
|-------|------------------|--------------------|------------------|-------|
| 粗加工 | 900~1,700 | 1.3~3.8 | 0.130 | C60KV |
| 仕上げ加工 | | | 0.040 (最大) | |

表13 マグネシウム合金の研磨作業条件

| 作業区分 | 研磨材の種類 または粒度 | バフ車の種類 | 砥粒直径 (mm) | 砥粒周速度 (m/min) | 注 意 |
|---------|-----------------|---------------------|--------------|------------------|---------------------------|
| 粗 研 磨 | 60~100 | キャンパス地半皮 またはフェルト | 150~300 | 900~1,500 | 砂型鋳物用グリース 硬化剤使用化 |
| 中間粒度の研磨 | 100~200 | 緩じバフ | 150~300 | 1,200~1,800 | グリース硬化剤使用化 |
| 乾式仕上げ研磨 | 乾式コンパウンド | 縫いバフ | 150~300 | 1,100~1,500 | |
| ブラッシング | トリポリ | 緩く固めた布バフ | 250~360 | 1,800~2,400 | |
| 色 仕 上 げ | 乾燥石灰粉 | 綿または羊毛バフ | 300~400 | 2,400~3,700 | 最良の光沢を出すのに 必要な圧力で押し付ける |

2.6 切削油剤

マグネシウム合金の切削は、一般には切削油剤を使用しない乾式切削で行われるが、必要に応じて冷却や潤滑を目的として切削油剤を用いることがある。この場合に水溶性油、動物性油あるいは植物性油を使用してはならない。マグネシウム合金の加工用として使用できる切削油剤は、表14に示す特性をもつ不水溶性切削油(鉱物油)のみである。水溶性油などを使用すると切りくずに水分が残る。水分を含む切りくずは、貯蔵中にマグネシウムと水分との反応が徐々に進行し熱と水素の両方を発生する。この結果、熱の蓄積は十分に着火を起こさせるほど大きくなり水素が引金となって爆発する恐れがある。大量生産などの場合で工具寿命の観点から冷却が必要な場合には、炭酸ガスあるいは圧縮空気を吹付けて冷却と切りくずの排除を同時に行えば能率的な加工が行える。

また日本マグネシウム協会ではマグネシウム合金に適した切削油剤の開発が行われている。

表14 マグネシウム合金の加工用切削油剤の特性

| | |
|-----------------|-----------|
| 比重 | 0.79~0.86 |
| 粘性(saybolt) 38° | 55秒以下 |
| 引火点(最低) | 135℃ |
| 鹼化価(最大) | 16 |
| 遊離酸(最大) | 0.2% |

2.7 マグネシウム合金の被削性

マグネシウム合金の被削性について以下に解説する。

1) 切削抵抗

(a) 旋削

図1はMC2合金(AZ91合金)を横すくい角 -6° ~ 30° の工具を用いて、切削速度300~900m/min, 送り0.1~0.3mm/rev, 切込み3mm一定で旋削を行った場合の切削抵抗の3分力を示したものである¹⁴⁾。横すくい角の大小に関係なく、主分力および送り分力には多少の変動はあるが切削速度依存性はほとんど認められず、送りが大きくなるのに伴い主分力は増大した。同一切削速度における主分力は横すくい角が大きくなると減少する傾向を示すが、この減少割合は送りが大きい場合に顕著に認められる。送り分力にも横すくい角および送りの影響が認められるが、主分力ほど顕著ではない。横すくい角 30° の工具による切削では、送り0.3mm/revのとき送り分力は負となった。背分力は横すくい角の大きさによっては切削速度依存性が若干ではあるが認められる場合もあった。

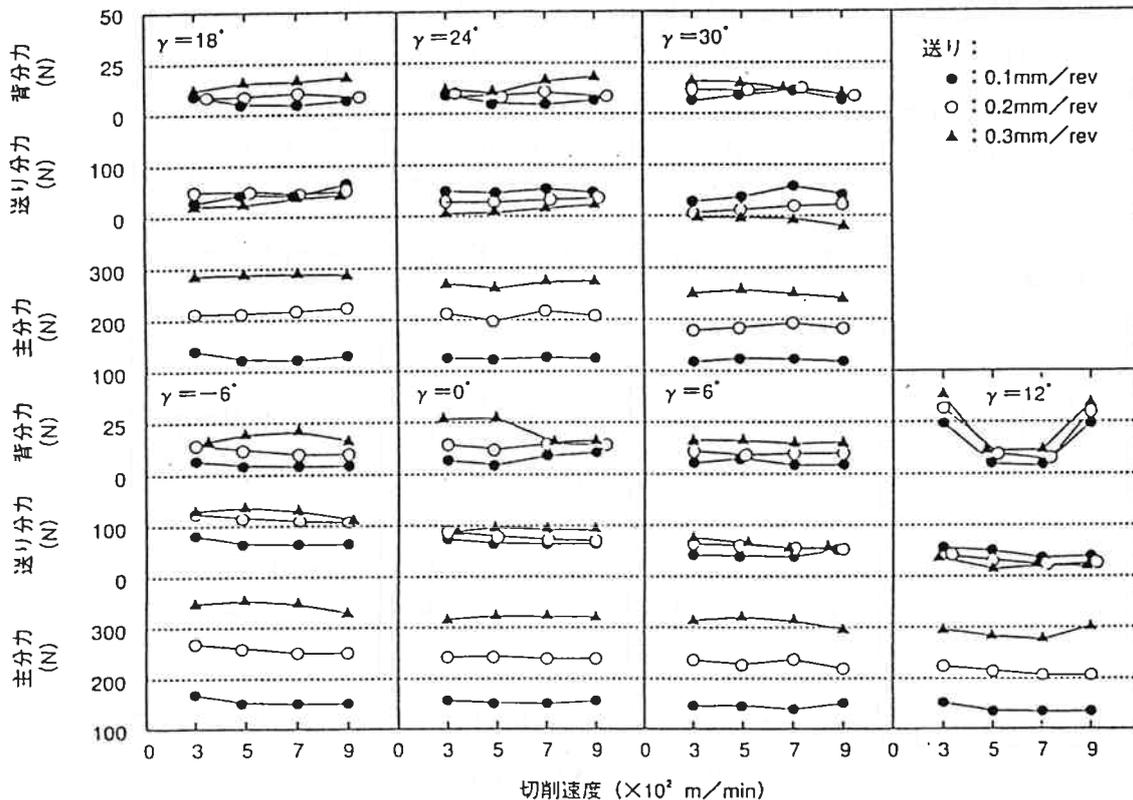


図1 横すくい角を変化させた場合の切削速度と切削抵抗の関係
(被削材 MC2 合金(AZ91 合金), 切込み: 3mm, 横切れ刃角: 0°)

またMC2合金(AZ91合金)の端面切削時の切削抵抗を切削開始から終了まで連続記録した結果¹⁶⁾を図2に示す。端面切削では加工中常に切削速度が変化するが3分力ともにその値に明瞭な変化は認められていない。

切削抵抗に及ぼす横切れ刃角の影響を図3に示す¹⁵⁾。横すくい角を種々変えた場合と同様に3分には切削速度依存性はほとんど認められず、送りの増大に伴い3分力は増加する。この送り速度依存性は主分力に明瞭に認められ、他の横すくい角の工具を用いた場合も同様の傾向を示した。横切れ刃角の大小が3分力に及ぼす影響は、横すくい角の大小が3分力に及ぼす影響に比較して小さかった。同一切削速度では、横切れ刃角の大小は主分力にほとんど影響を及ぼさない。しかし、送り分力は横切れ刃角の増大に伴わずかに減少し、背分力は逆に増加した。

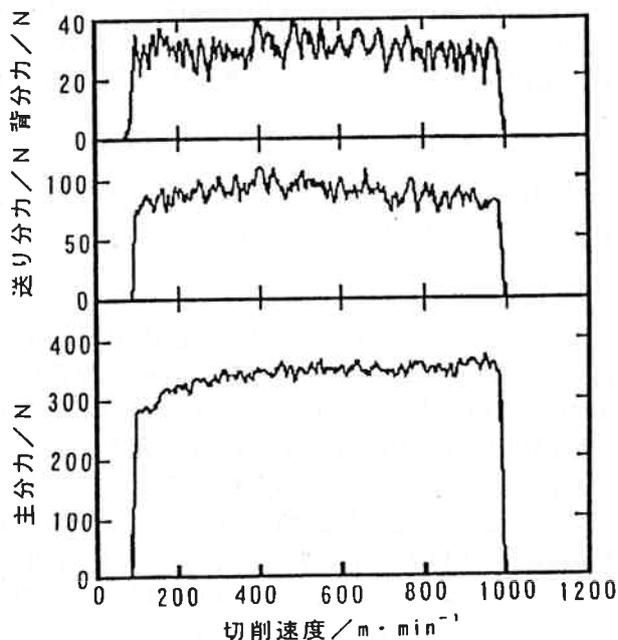


図2 MC2合金(AZ91合金)の端面切削における切削抵抗の変化
(横すくい角: 0° , 送り: 0.3mm/rev , 切込み: 3mm)

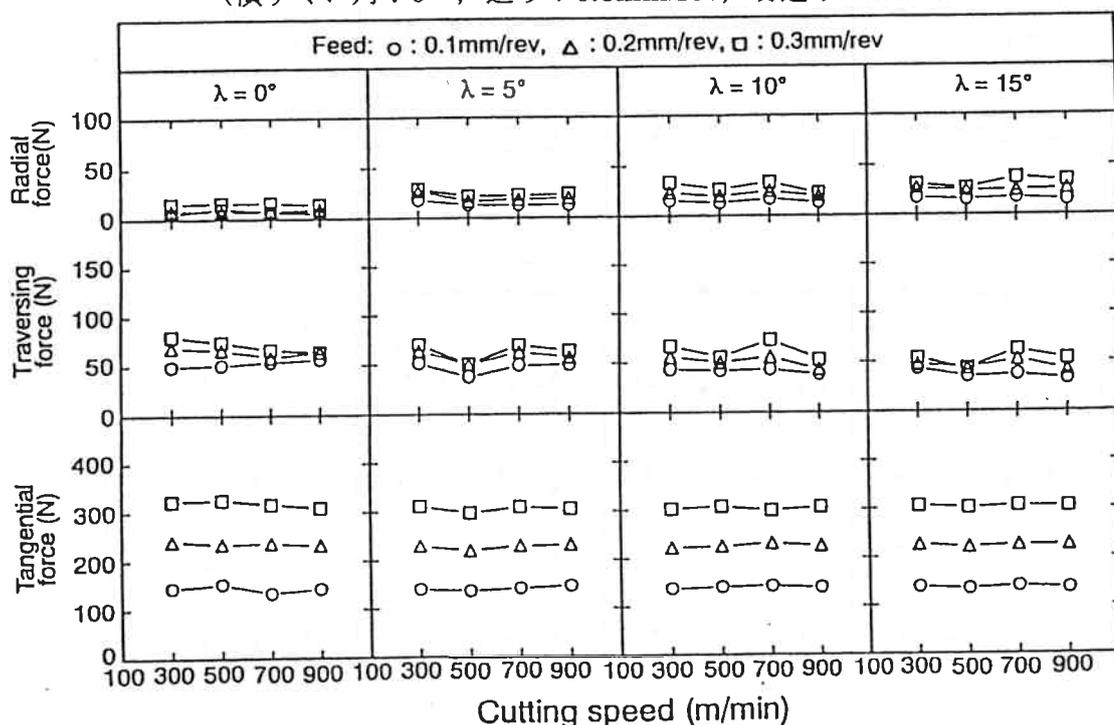


図3 横切れ刃角を変化させた場合の切削速度と切削抵抗の関係
(被削材 MC2合金(AZ91合金), 切込み: 3mm , 横すくい角: 6°)

図4にけい素を含有する耐熱用マグネシウム合金鋳物AS41 (Mg-4.47%Al-1.03%Si-0.40%Mn)の旋削における切削速度と切削抵抗の関係を示す^{11)・12)}。MC2合金(AZ91合金)の場合と同様に切削抵抗に切削速度依存性は認められない。横すくい角の増大に伴い切削抵抗は減少し、横切れ刃角の影響が背分力に顕著に認められた。AS21合金鋳物も同様の結果を示している¹¹⁾。すなわちこのようにけい素を含有するマグネシウム合金鋳物も他のマグネシウム合金鋳物と同様に被削性は良好といえる。

マグネシウム、アルミニウム、銅およびその合金の切削速度と切削抵抗の関係を図5に示す⁵⁾。アルミニウムの切削抵抗には切削速度依存性は認められるが、マグネシウムには認められず、主分力、送り分力ともにアルミニウムに比べて著しく低い値を示し、さらに被削性が比較的良好であるとされている黄銅よりも切削抵抗は小さく、その被削性は良好といえる。

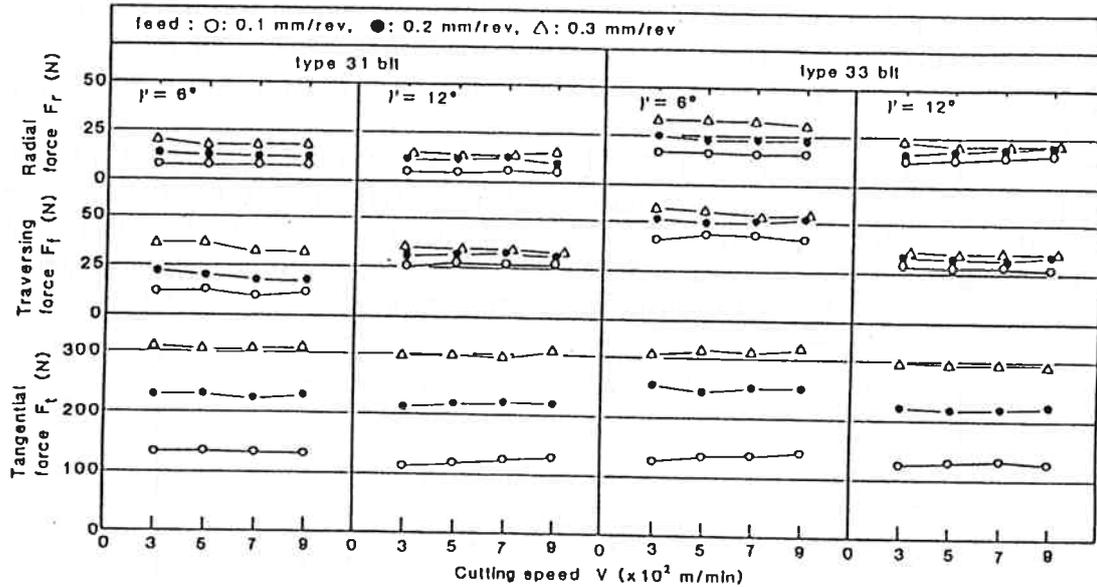


図4 AS41合金の切削速度と切削抵抗の関係
(切込み: 3mm)

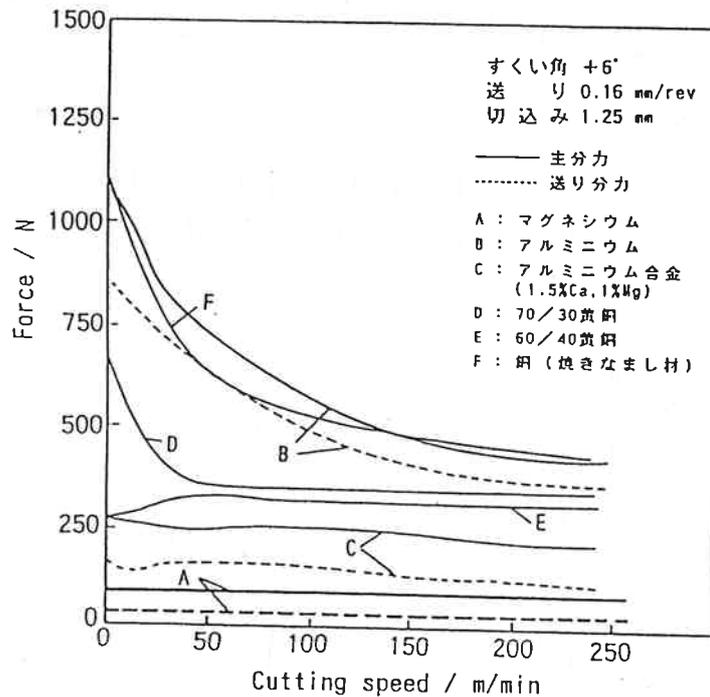


図5 各種金属の切削速度と切削抵抗の関係

(b) 穴あけ

MC2合金(AZ91合金)を被削材としてねじれ角の異なる直径10mmのドリルを用いて、切削速度19m/min, 送り0.3mm/revの切削条件で深さ30mmの穴あけを行った場合の切削抵抗(トルク, スラスト)の穴深さに対する変動を測定した結果を図6に示す。ねじれ角の大小に関係なく、トルクは穴が深くなるのに伴い増大して穴貫通時に最大トルクを示す。この最大トルクの値は初期トルクの約1.5~2倍であった。ねじれ角の増大に伴いトルクはやや大きな値を示した。スラストは、ねじれ角が小さい弱ねじれのドリルでは、穴あけ初期から貫通までほぼ一定値を示すが、ねじれ角40°のドリルでは穴が深くなるとやや減少する。

穴あけにおける切削速度と切削抵抗の関係の一例として板厚40mmの場合を図7に示す¹³⁾。トルクは、ねじれ角32°および40°のドリルによる場合は切削速度の上昇に伴いやや大きな値を示すが、ねじれ角32°のドリルでは切削速度の上昇により逆に小さな値を示した。この傾向は、板厚30mmおよび50mmの場合にも同様であったが、板厚20mm以下の場合にはトルクに切削速度依存性は認められなかった。穴深さの大小に関係なく、スラストには切削速度依存性はほとんど認められなかった。トルクおよびスラストのいずれにも送り速度依存性は顕著に認められた。

標準ねじれ刃ドリルによる深穴加工における切りくずの排出および切削抵抗の増大を防ぐためにマージン幅を狭くすると、切削抵抗の増大が避けられ、深穴加工での穴出口に発生するバリが小さくなり、良好な仕上げ面が得られるとの報告もある¹⁷⁾。上述の実験結果および他の文献^{5)~10)}を総合すれば、マグネシウム合金の切削抵抗には切削速度依存性は認められずアルミニウム合金などの切削に比較して切削抵抗は著しく小さいといえる。

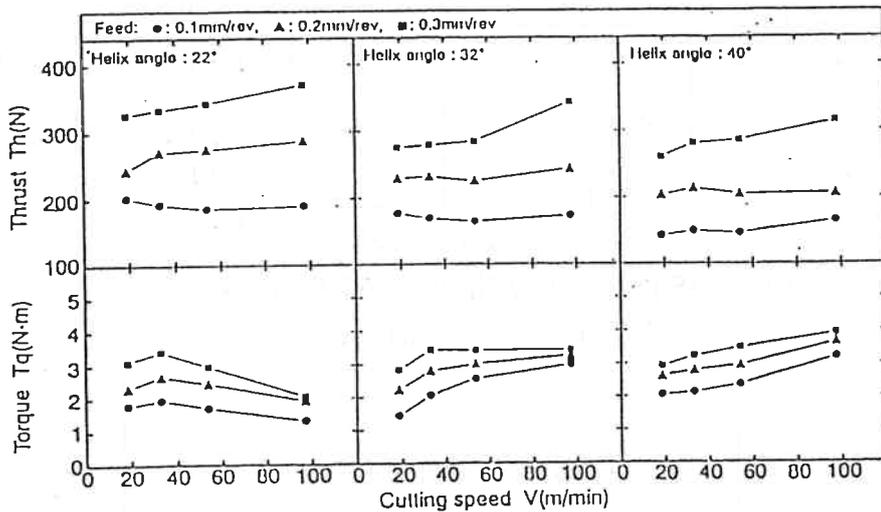


図6 MC2合金の穴あけにおける穴深さと切削抵抗の関係
(切削速度: 19m/min, 送り 0.3mm/rev)

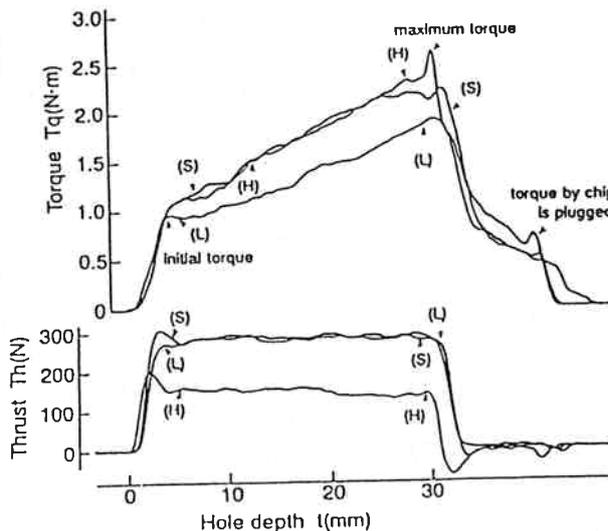


図7 MC2合金(AZ91合金)の穴あけにおける切削速度と切削抵抗の関係
(板厚: 40mm)

2) 工具寿命

マグネシウム合金は、他の金属材料を加工する場合に比べて高速切削が可能であり、工具寿命はあまり問題にならないとされている。一例をあげれば、米国の生産工場における実績では、アルミニウム合金の切削に比べてマグネシウム合金の切削では5~10倍の工具寿命であり、1本の工具で90万個以上の自動車部品が加工でき、穴あけにおいてドリル直径の12万倍の総深さの穴をあけたと報告されている。また欧州の自動車工場では、大量部品の加工を高速で行う場合には乾式切削でもアルミニウム合金の5~10倍の工具寿命であり、湿式切削は乾式切削の2倍になると報告されている。筆者の実験^{11), 12)}によれば、耐熱用のAS21合金およびAS41合金横すくい角 20° 、横切れ刃角 15° の超硬合金工具(K20)により切削速度 900m/min 、送り 0.3mm/rev の条件で20分の連続切削を行った場合の逃げ面摩耗は、それぞれ 0.11mm および 0.13mm であった。

3) 仕上げ面粗さ

図8はMC2合金(AZ91合金)の旋削における仕上げ面粗さに及ぼす切削条件と工具形状の影響を示したものである¹⁴⁾。仕上げ面粗さには顕著な切削速度依存性は認められず、送りが大きくなるのに伴い粗さは劣化している。けい素を含有するAS41およびAS21合金も同様の結果を示している^{11), 12)}。

穴あけの場合の仕上げ面粗さに及ぼす切削条件およびドリル形状の影響を図9に示す¹³⁾。穴あけでは旋削と異なり、切削速度依存性が認められ、特にねじれ角 32° のドリルによる場合には顕著である。

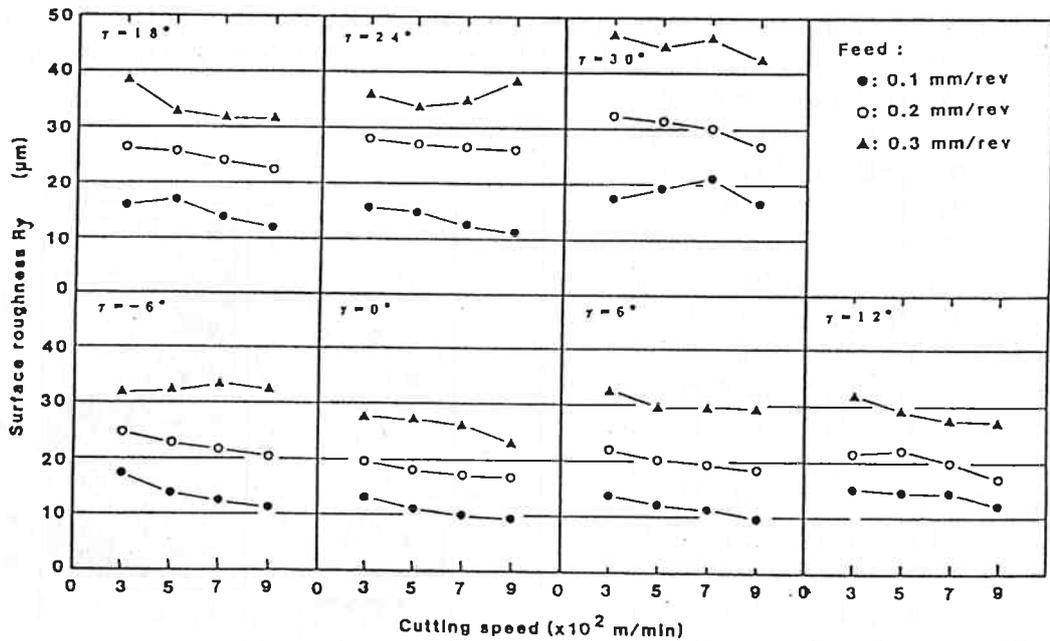


図8 横すくい角を変化させた場合の切削速度と仕上げ面粗さの関係
(被削材: MC2合金 (AZ91合金), 切込み: 3mm , 横切れ刃角: 0°)

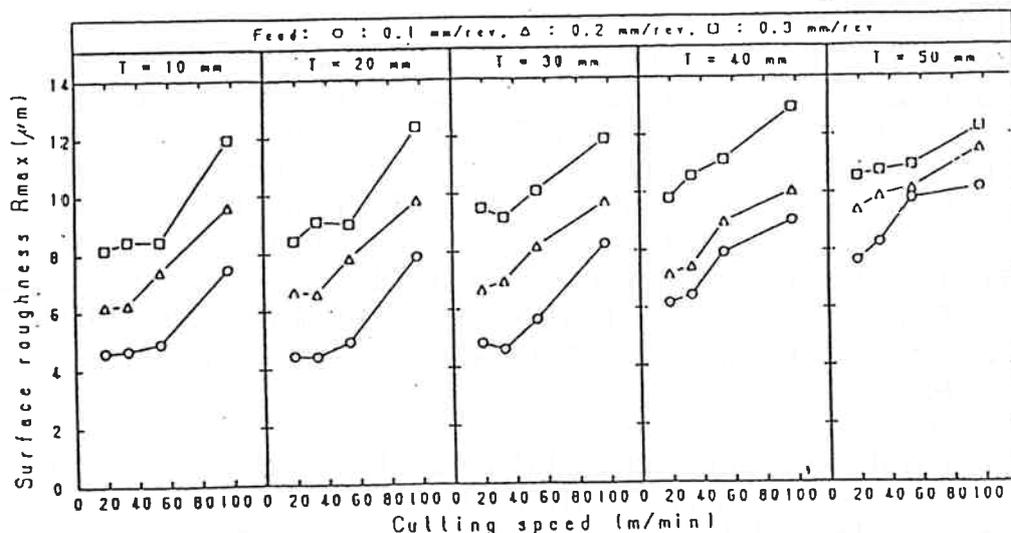


図9 穴あけにおけるMC2合金（AZ91合金）の切削速度と仕上げ面粗さの関係
 （穴深さ：30mm，ドリルねじれ角：32°）

4) 切りくず処理性

マグネシウム合金は軟質，軽量のために，生成する切りくずはアルミニウム合金などに比較して細かく分断され，切りくず処理性は良好といえる。しかし，軽量なために飛散し易く，その回収には十分な注意を要す。発火の危険のある細片連続型切りくずが生成しないように特に注意することが必要である。

MC2合金（AZ91合金）を種々の切削条件で旋削した場合に生成した切りくずの一例を図10に示す¹⁴⁾。これらの切りくずは，一部を除き処理性は良好または適当の項に相当する形状であった。生成する切りくず形状には横すくい角よりも切削速度および送りが顕著に影響が認められ，横すくい角の小さい場合には送りが小さくなるとカール半径の大きいコイル条切りくずが生成するが，横すくい角12°以上の工具では送りの増大に伴ってやや連続した切りくずが生成する。しかし，横すくい角の大小に関係なく，切削速度900m/min，送り0.3mm/revのみは破碎された細片の切りくずである。

横切れ刃角変化させた場合¹⁵⁾も一部を除き処理性は良好あるいは適当の項に該当する。しかし，工具形状に関係なく，切削速度，送りがともに大きい場合には破碎された細片の切りくずが生成する。このような薄くかつ分断された切りくずが生成すると切りくずは切削中に飛散する。このため切りくず処理には特に注意が必要である。

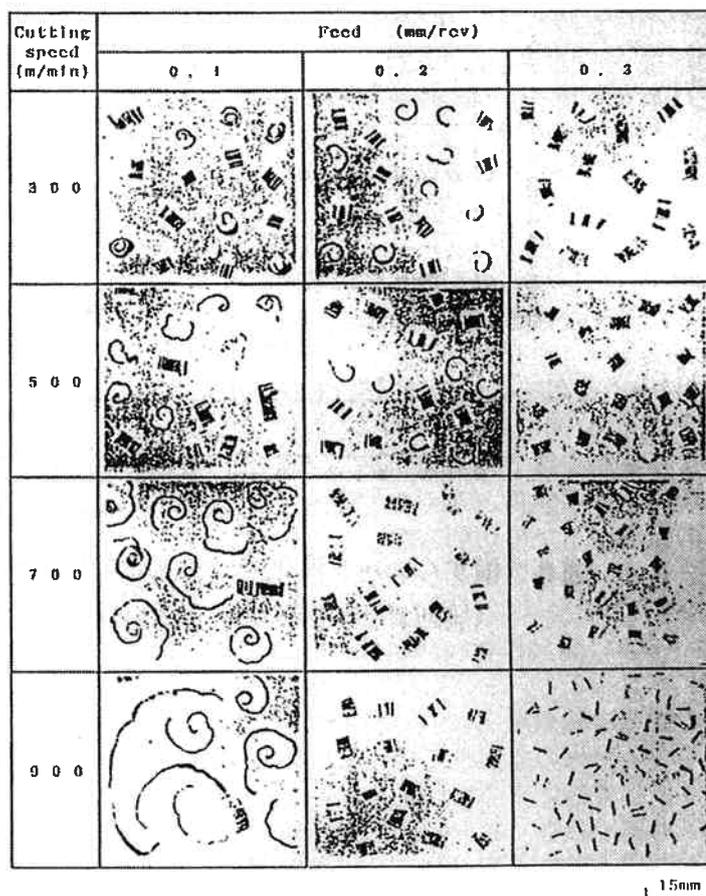


図10 MC2合金の切りくず形状

（横すくい角：6°，横切れ角：10°，切込み：3mm）

穴あけにおいては、切削速度が大きくなるのに伴い切りくずの飛散が著しくなり、ねじれ角が大きくなると細かい切りくずが生成する。この細かい切りくずは穴あけにおいては排出が困難になり、ドリル溝に切りくずが詰まり易いので注意を要する。

マグネシウムおよびマグネシウム合金を標準ねじれ刃のドリルで穴あけを行えば図11に示すような切りくずが生成する^{1,2)}。すなわちその処理性は円錐らせん形切りくずが最良であり、次いで折りたたみ形切りくずとなる。深穴加工では扇形あるいは長ピッチ形切りくずが生成し切りくずが詰まり易くなる。その結果切削抵抗も大きくなる。

写真は示していないが、フライス削りでは切込み、送りともに小さい場合に連続した細かい切りくずが生成する。また旋削などと異なりフライス削りでは生成した切りくずは工作物やテーブルの上に堆積する。細かい連続した切りくずは工具と接して発火し易いため切りくずが工作物やテーブルの上にたまらないように特に注意して取り除かねばならない。マグネシウム合金は切削中に生成する切りくず処理は良好であるが、回収した切りくず処理が面倒である。自社で再溶解などの処理設備を保有しておれば問題はないが、回収業者に回収を委託する場合には他の金属と分離しなければならない。現在、マグネシウム合金の切りくずを専門に取り扱う業者はない。このため切りくずは、化学処理か焼却処理などの安全化処理を施してから規定に従って廃棄を行うのがよい。

最近、切りくずのリサイクルの観点から切削加工において排出される切りくずを前述のような廃棄物として処理しないで、プレスなどによってブリケット化することによって再溶解時における鑄造用原材料として十分な歩留まりと溶湯品質を確保する研究を行い、その結果、250MPa程度の成形荷重で再溶解に支障がないと報告している¹⁸⁾。一方、押出し加工によって切りくずから棒材を製作する研究も進められている。いずれにしても切りくずのリサイクルは製品のコストダウンにつながるために今後の研究が必要である。

5) マグネシウム合金の切削温度

切削に消費された動力のほとんどは熱に変換される。種々の切削条件で旋削を行った純マグネシウムの切削温度の等温線図を図12に示す⁹⁾。切削条件は切削速度100~2200m/min, 送り0.06~0.65mm/rev, 切込み3mm, 使用工具は超硬合金バイト(P20), 刃先諸元(0-6-6-0-8-0)である。この図より実用作業では400℃を超えないような切削条件が適正と考えられる。すなわちこの温度以下での切削速度と送りの選定が望ましい。その理由としては、図中の◎印の480℃の温度はマグネシウムの着火温度490~500℃^{19), 20)}に非常に近く限界値と考えられること、および切削温度450℃以上の領域は着火温度に近い領域であり、切りくずの発火の危険性をはらんでおり切削条件としては好ましい領域とはいえないためである。なお、400~450℃の切削温度を示す領域ではマグネシウムの酸化速度は350℃近くまでは緩慢であるが、400℃以上になると急速になるとした研究報告²¹⁾からみても特別な配慮を必要とする領域となる。しかし適正切削条件と考えられる範囲内においても、0.05mm/rev以下と極端に送りが小さい場合に

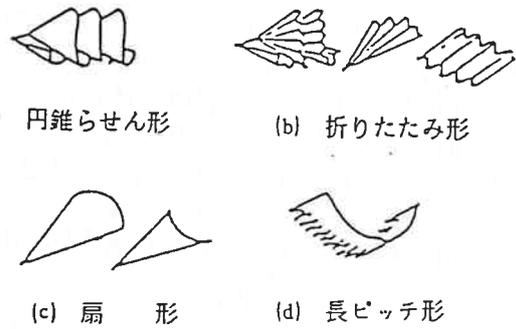


図11 標準ドリルによるマグネシウム合金の穴あけにおいて生成する切りくずの形状

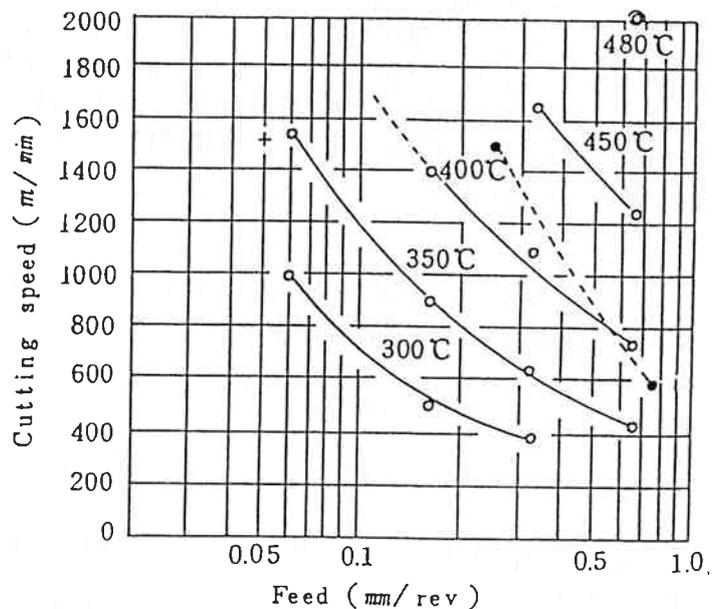


図12 純マグネシウムの旋削における切削速度の等温線図

示す領域ではマグネシウムの酸化速度は350℃近くまでは緩慢であるが、400℃以上になると急速になるとした研究報告²¹⁾からみても特別な配慮を必要とする領域となる。しかし適正切削条件と考えられる範囲内においても、0.05mm/rev以下と極端に送りが小さい場合に

は切削速度1500m/min以上の加工は避けるべきであるとされている²²⁾。送りを0.32mm/rev一定として、切込みを3mmから5mmに変化した実験において、切削温度には切削速度が顕著に影響を及ぼすが、切込みの影響は認められないとした報告がある⁷⁾。

切削温度の面からみても、送り、切り込みともに小さく、かつ高速切削では細い連続した羽毛状切りくずの発生するような切削条件は避けるべきである。

MC2合金(AZ91合金)を横すくい角 12° の超硬合金工具K20により旋削を行った場合の切削温度に及ぼす切削速度と横切れ刃角の影響を図13に示す¹⁴⁾。

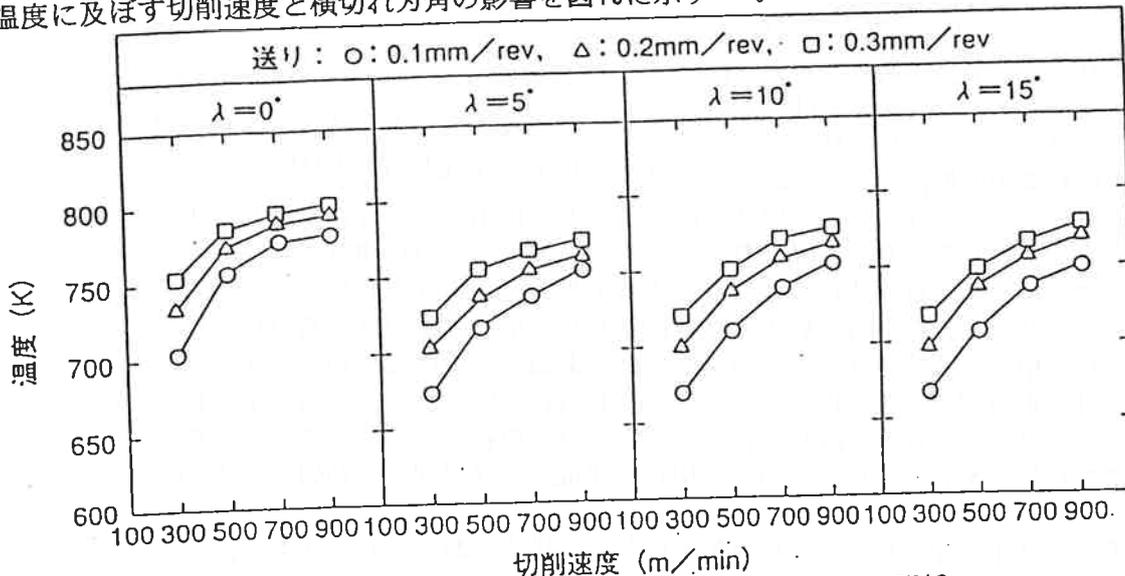


図13 横切れ刃角を変化させた場合の切削速度と切削温度の関係

(被削材: MC2合金(AZ91合金), 切込み: 3mm, 横すくい角: 12°)

測定は工具-被削材熱電対法によった。切削温度は送りの大小に関係なく、切削速度の増大に伴い高い値を示すが、切削温度の上昇割合は切削速度の増大に伴い小さくなり、切削速度700m/minと900m/minではその差は5~15Kとわずかであった。横切れ刃角 5° 以上の工具では、切削温度には横切れ刃角の大小による明瞭な差異は認められないが、横切れ刃角 0° の工具は他の横切れ刃角の工具と比較して高い値を示した。横すくい角 -6° の工具では、横切れ刃角 0° のときに他の横切れ刃角の工具と比較して切削温度は低い値を示した。また、低切削速度において横切れ刃角の大小に関係なく横すくい角の増大に伴い切削温度が低下する傾向が顕著に認められる。

3. 切削作業の安全対策

マグネシウム合金の切削作業に関係して発生する事故には、仕上げ作業中のもの、機械加工中のもの、貯蔵または廃棄中のもの、集塵設備の不完全、電気配線設備の不完全などがあげられる。

以下に従来から報告されているマグネシウム合金の切削加工時に注意すべき事項を列挙する^{17), 22)}。

①作業現場に発火の原因となるようなものを置かず、床および工作機械は常に乾燥した状態にする。

②万一の出火に備えて、責任あるメーカーの消火剤、酸化していない乾燥した砂または鉄の切りくずを用意する。

③工作機械や床にたまった切りくずを一定時間毎に掃き集めて決められた蓋付き容器に収納して密閉する。特に窓枠や梁の上、作業台の上、椅子の上などの掃除を忘れてはいけない。これらの上にたまったダストは湿気を吸って何等かの火花によって爆発をすることがある。

④切りくずを集めるのに真空掃除機を使用してはいけない。必要上やむを得ず掃除機を

使用する場合には、圧縮空気の負圧を利用して(霧吹き)の逆の現象)切りくずを容器に回収する。

⑤微粉状の切りくずが生成するような加工では、工具先端および刃物台近傍を常に清浄に保つように心がける。このような切りくずの除去には④の圧縮空気の負圧を利用する装置が有効であるが、その工作機械に適した回収器具を考案すべきである。

⑥切りくずを回収するための蓋付き鋼製容器を準備し、保管は作業場から離れた保管庫に保管する。

⑦鋳物を加工する場合には表面を清浄に保ち、スパークや工具を損傷する原因となる砂や異物が付着しないように注意する。鋳ぐるみ製品の加工では芯金に工具が接触して発火しないように十分注意する。

⑧切削開始初期に工具先端を工作物に接触させる場合には、連続した細かい切りくずが生成し発火の危険があるので特に注意をしなければならない。また切削終了後は速やかに工具を逃さねば工作物と工具の摩擦により発火することがある。切削途中で工作機械を停止(たとえば、旋盤の回転を止める)してはならない。

⑨工具の切れ刃は鋭利にする。特にすくい面を滑らかに仕上げる。逃げ角、前・横切れ刃角を有効に利用する。

⑩高速切削では、送りおよび切込みを可能な限り大きくして細片状切りくず、細い連続型切りくずの生成を抑える。すなわちマグネシウム合金の良好な被削性を利用して一回の加工で終了するように切削条件を設定する。

⑪可能な限り乾式切削を行うべきであるが、冷却などのために切削油剤を必要とする場合は、清浄な鋳物油(不水溶性切削油剤)あるいは清浄な空気、炭酸ガスを用いる。水、水溶性切削油剤、動植物油は切りくずと反応する恐れがあるので絶対に使用しない。

⑫研削盤はマグネシウム合金専用とし、他の金属材料を同じ機械で研削をしてはならない。マグネシウム合金を研削した機械で他の金属材料を研削する場合には、砥石やベルトを交換し、集塵機の中や配管を清掃しなければならない。これは研削によるマグネシウム合金の切りくず(ほぼ粉体である)の排除が不完全な研削盤や装置を用いて鋼などの研削を行うと、鋼などの研削中に発生する火花が堆積しているマグネシウム合金の切りくずを着火するからである。

⑬仮防錆されたマグネシウム合金は火花を発するので、火花の飛ぶ範囲内にマグネシウム合金の粉塵や堆積物を置かない。

⑭研磨作業では、帽子をかぶり、表面がつるつるで細かい粉塵が付着しない手袋を着用する。

⑮湿式集塵機から取りだしたダストは直ちに捨てないで常時水を張った容器に移し、完全に水和反応が終わるようにする。湿式集塵の塵埃のなま乾きのものは非常に危険である。

以上の注意事項に従って細心の注意を払って切削作業を行えば良いが、万一発火した場合には次の消火対策を行う。

①発火した場合は、広範囲に延焼しないうちに燃焼部に消火用フラックス、乾燥した砂、酸化してない乾燥した鋳鉄の切りくずなどを速やかに散布して消火に努める。

②熔融または燃焼中のマグネシウム合金は、水を分解して水素を発生させ、著しく燃焼を促進する。このため水分を含んだ砂や鋳鉄の切りくずを消火に使用してはならない。

③小型の柄の長いアルミニウム合金製のシャベルを用意し、発火部分を他の安全な場所に分離して延焼を防止する。

以上の各項目に十分に留意してマグネシウム合金の安全な切削加工を実施されたい。加えて、作業場の環境を整備し、床面はコンクリートあるいは鉄板敷にして不燃化を図り、かつ乾燥した状態に保ち、工作機械や建物内部に湿気を含んだ塵埃などが溜まらないようにすることが望ましい。

4. まとめ

マグネシウム合金の切削加工技術について述べたが、要するにマグネシウム合金は、そ

の被削性は極めて良好，かつ高品位の製品の高能率切削加工が可能である。その反面，発火し易いという危険な性質を合わせ持っている。これらの利点を利用し，欠点をカバーする加工法を工作物の材質，寸法，形状，加工数量，使用工作機械などを勘案して選択するようにならなければならない。しかし，マグネシウムの活性な性質が種々の災害原因となっている。マグネシウムの活性に起因する災害の原因を調査して知ることは事故防止にとって重要なことである。日本におけるマグネシウムに係わる災害例は，「日本マグネシウム協会発行，マグネシウムの取扱い安全手引き」に記載されているのでそれを参照して事故を未熟に防ぎ，マグネシウム合金の機械加工を実施されたい。

参考文献

- 1) "Machining Magnesium", The Dow Chemical Co., (1982).
- 2) "Machining", Norsk Hydro, (1968).
- 3) "Machining Data Handbook 3rd Ed",
Machinability Data Center (1980).
- 4) R.S. Busk: "Magnesium Products Design",
Marcel Dekker, (1986), 和訳, 「マグネシウム製品設計」, (社)軽金属協会, (1988), 54.
- 5) J.E. Williams, E.F. Smart and D.R. Milner:
Metallurgia, 81 (1970), 51.
- 6) 永井, 嵯峨, 佐藤: 軽金属学会第68回春期大会講演概要, (1985), 203.
- 7) 栗原, 菊地: 軽金属, 18 (1966), 188.
- 8) 財満, 加茂, 広瀬: 軽金属, 18 (1968), 88.
- 9) 栗原, 杜沢, 加藤: 軽金属, 31 (1981), 255.
- 10) 藤井, 小林: 軽金属, 34 (1984), 215.
- 11) 時末, 加藤, 塗谷: 軽金属, 37 (1987), 542.
- 12) 時末, 加藤, 塗谷: 日本大学生産工学部報告, 20-2 (1987), 1.
- 13) 時末, 加藤: 軽金属学会第75回秋期大会講演概要, (1988), 135.
- 14) 時末, 加藤: 軽金属, 40 (1990), 489.
- 15) 加藤, 時末, 千葉: 軽金属, 42 (1992), 489.
- 16) 成田, 加藤, 時末: 軽金属学会第88回春期大会講演概要, (1995), 307.
- 17) 宮原: 「マグネシウムマニュアル」, 軽金属協会マグネシウム委員会, (1982), 2.
- 18) 永井, 嵯峨, 斎藤, 佐藤: 軽金属学会第78回春期大会講演概要集, (1990), 95.
- 19) 藤谷: 「粉体工学ハンドブック」, 浅倉書店, (1970), 227.
- 20) U.E. Evans: "The Corrosion and Oxidation of Metals", Edward Arnold (1960), 41.
- 21) M.L. Boussion, L. Grall and R. Caillar: Rev,
Met., 54 (1957), 185.
- 22) 森永: 「マグネシウムマニュアル」, 軽金属協会マグネシウム委員会, (1982), 139.

い箇所や溶接跡のような凹凸の多い箇所を用いる。研磨に際しては必ず研削材を使用する。

バフ研磨は鏡面仕上げ、艶だしによる金属光沢仕上げに用いる。光沢の度合い、グラインダ・バフ研磨の目の残り具合によって、バイアスバフ、サイザルバフ、布バフ、とじバフ、ばらバフ等の使い分けが必要である。仕上げ研磨においてバフ径と周速度、圧力、研摩材を選択し、光沢表面に白い焼けのできないように注意する必要がある。マグネシウムのバフ研磨について研摩材の選択は、後の耐食性にも影響するためにも注意が必要である。

1.3.1.2 ベルト研磨法(研磨布紙仕上げ法)

グラインダ・バフ研磨法をベルトに置き換えたようなもので、使用方法は同様であり、荒研磨、中研磨、仕上げ研磨ができ、平面の磨きに適している。また油等の液体研摩材を併用すると、スクラッチ仕上げ(縦方向の節目のある筋状の模様)が迅速にできる。

1.3.1.3 ブラスト法(噴射法)

ブラスト法には、乾式法と湿式法がある。金属表面に研摩材を吹きつけ、または投げつけて行う。表面を梨地加工、表面の均一化、バリ除去などの目的に用いられている。マグネシウム用研摩材としては、ガラスビーズ、アルミナが適当と思われる。

1.3.1.4 ブラシ法

パフレースで種々のワイヤーを回転させ研磨する方法である。表面の油の有る、無しにより光沢が有ったり、黒ずんだりする。時々、堆積したマグネシウム粉を除去する事。切れ味が悪くなってきたらブラシをひっくり返すとよい。

11.3.1.5 スチールウール研磨法

これは主として手動であり、回転式の小型モーターに取り付けて大きな物から、小物まで研磨ができる。また指先に取り付けて傷取り、仕上げ研磨が可能である。特に熟練をしてくると、曲面の様な複雑な光沢仕上げができる。

1.3.1.6 バレル研磨法

この方法には乾式法と湿式法があり、通常は湿式法が使用されている。しかしマグネシウムの使用時には、研摩材はもちろんのこと水のPHを1以上にし、腐食防止剤と界面活性剤の添加に特に注意する必要がある。長所はランニングコストが安い。

短所は時間が掛かるという特徴がある。機械操作として、バリの除去、研磨、光輝性の付与、スケールの除去、清浄作用が独立してできるメリットがある。

1.3.1.7 機械的前処理の使用上の注意

マグネシウムの微粉が爆発する事がある。原因は粉塵爆発と水素による爆発である。これらを防ぐために、マグネシウムが微粉が特に多い機械的前処理は集塵機しかも湿式集塵機の設置が必要である。集塵機は室内でなく屋外に設置し、風雨から逃れられるような処置が必要である。集塵機までのダクトは微粉が溜まらないように設計をする。また集塵機及び建家にガス溜まりが無いように逃げ道、安全扉をつくる。しかも、メンテナンスすなわち集塵機の中の清掃は頻繁にし、清掃に際しては丁寧に行うことが絶対条件である。コンセント、スイッチ等は防爆型の安全対策が必要である。ここでよく勘違いされているのだが、防爆型とは、爆発しないという事ではないということである。これらの詳細については[マグネシウムの取り扱い安全手引き][マグネシウムの安全対策](日本マグネシウム協会発行)があるのでマグネシウムを取り扱う前に必読を勧める。

1.3.2. 化学的前処理

目的は成型又は機械的前処理からのワークを次工程の処理に適合する表面を作り出す。具体的ターゲットは

- ①油の除去
- ②離型剤の除去
- ③金属間化合物、酸化物などの不純物除去
- ④マグネ表面の活性化

これらの出来如何によって性能が決まってしまうと言っても過言ではない。マグネシウム表面処理において一番大切な工程である。特に今日のような薄物成型時には化成処理工程よりも大切かもしれない。方法は脱脂+酸洗い+表面調整がある。

脱脂は下記の条件等に照らし合わせて選択するとよい。

- ①素材が侵食されにくい
- ②作業条件が容易
- ③安価で安定性がある
- ④液の寿命が長い
- ⑤終点が簡単に判断できる
- ⑥作業工程を含めて環境問題に抵触しない
- ⑦液がリサイクル又は既存の除外施設で処理できる

1.3.2.1 アルカリ脱脂法

アルカリ脱脂はマグネシウムが侵されないこと、作業が容易で安価ことなどが工業的に有利な点である。浴組成としてはアルカリ性水酸化物、炭酸塩、燐酸塩等でしかもPH1以上が必要である。注意点として合金材料別によく組成を選択する必要がある。また不溶性の生成物が表面にでき、これが二次工程で不具合を生ずる原因となる事がある。代表的のアルカリ脱脂処理を[表2*1]に示す。

[表 2] 脱 脂

| 浴 組 成 (g / l) | | 処理時間 (min) 及び浴温 (°C) | その他条件 |
|------------------|---|-------------------------|----------|
| 1 | 苛性ソーダ 15 ~ 60 リン酸ソーダ 10 ぬれ改良剤 0.7 ~ 1 | 3 ~ 10 90 ~ 100 | pH 11 以上 |
| 2 | リン酸ソーダ 30 炭酸ソーダ 30 ぬれ改良剤 0.7 ~ 1 | 3 ~ 10 90 ~ 100 | pH 11 以上 |
| 3 | 苛性ソーダ 100 ぬれ改良剤 0.7 ~ 1 | 10 ~ 20 90 ~ 100 | 約 pH 13 |
| 4 | フッ化ソーダ 15 ピロリン酸ソーダ 40 四硼酸ソーダ 70 | 3 ~ 5 70 ~ 80 | pH 12 以上 |

1.3.2.2 乳剤脱脂法 (以下エマルジョン脱脂)

エマルジョン脱脂には乳化性溶剤洗浄法と溶剤乳化型洗浄法があり、特徴をよく把握して使用する事が大切である。この方法は、薄物品の離型剤の巻き込み除去には適応ができない。

使用時は次工程浴とのバランスを取らないとカタが残る。使用後の老廃液、水洗等の排水処理に十分注意が必要である。

1.3.3 酸洗い処理 (以下酸洗) + 表面調整

酸洗は脱脂処理で除去できない物質 (酸化皮膜、腐食生成物、焼き付いた潤滑剤、めり込んだ研磨剤、ショット、鋳物砂) 等の除去に用いられる。酸洗は通常寸法変化が大きいので、精度を要求するものにはワークにたいして注意が必要である。ここで酸洗の代表的な組成を [表 3 *1] に示す。

[表 3] マグネシウム及び合金の酸洗

| 名 称 | 浴 組 成 (g/L, ml/L) | 処理時間(t) 及び浴温(°C) | 寸法変化 | 作業工程 (機械加工) |
|----------------|---|---------------------|-------|----------------|
| クロム酸 | 無水クロム酸 180 | 60~300 60~90 | 3μm以下 | 後 |
| フッ酸 | フッ化水素酸(50%) 200 | 30~30 R. T | 3~5 | 後 |
| 硝酸第二鉄 | 無水クロム酸 180 硝酸第二鉄 35 フッ化ソーダ 3 | 25~180 R. T | 5~8 | 後 |
| リン酸 | リン酸(85%) 50 | 30~60 R. T | 10~20 | 前 |
| クロム酸 硝酸-フッ酸 | 無水クロム酸 280 硝酸(67.5%) 20 フッ化水素酸(50%) 7 | 30~120 R. T | 10~25 | 前、後 |
| 硝酸 | 硝酸(67.5%) 40 | 10~30 R. T | 10~25 | 前 |
| 酢酸- 硝酸ソーダ | 酢酸 200 硝酸ソーダ 50 | 30~60 R. T | 10~25 | 前 |
| クロム酸 硝酸ソーダ | 無水クロム酸 180 硝酸ソーダ 30 | 60~180 R. T | 10~30 | 前 |
| 硫酸 | 硫酸(98%) 15 | 10~60 R. T | 40~60 | 前 |
| 硝酸-硫酸 | 硝酸(67.5%) 80 硫酸(98%) 10 | 10~20 R. T | 40~60 | 前 |

酸洗後は表面にスマット、面荒れの為に均一表面が出ていない。このために次工程の要求する表面に仕上げて行くのが表面調整である。この工程は各社ノウハウの為に処理内容は勿論、工程も出てこないのが現状である。ここで成形法別による化学的前処理工程は下記ようになる。

| | 成形法 | 化学的前処理法 | 成形法 | 化学的前処理法 |
|-----|---------------------|--------------|------------|------------------------------------|
| 鋳造法 | ダイカスト、 チクソ 鋳物 | A、B B | 鍛造法 その他 | プレス・ホーミング C 圧延、押し出し、 引き抜き等 C |

(A) の薄肉物の工程は

脱脂 → 第一酸洗 → 表面調整-1 → 第二酸洗 →

→ 表面調整-2 → 第一活性 → 表面調整-3 → 第二活性 →

→ 表面調整-4 → 化成処理 33～38工程

(A) の厚肉物または (B) 工程は

脱脂 → 第一酸洗 → 表面調整-1 → 第一活性 →

→ 表面調整-2 → 第二活性 → 表面調整-3 → 化成処理 23～30工程

(C) の工程は

脱脂 → 第一酸洗 → 表面調整-1 → 第一活性 →

→ 表面調整-2 → 表面調整-3 → 化成処理 22～25工程

ダイカスト法、チクソ法においては薄肉と厚肉に区別する必要がある。薄肉物 (1.0m/m前後) においては表層の離型剤、酸化物、付着物等が表面から裏面まで到達しているのが多いので、この対策に工程数が増える。また薄肉物を厚肉物の処理 (B) 法で処理をすると、処理後に表面から油が染み出したり、水をはじいたりし、塗装の密着不良、耐食性低下、表面抵抗値の上昇を招くので注意を要する。

1.5 化成処理

化成処理は化学反応を利用して皮膜をつくる表面処理方法で、皮膜自身は大変薄く、せいぜい数百nmである。この工程はマグネシウムと処理液の界面での酸化還元反応により、目的の皮膜を作る方法である。つまり電気めっきのように電気を使用する技術ではないし、無電解めっきのように、ある種の金属で被処理物を被覆する技術とも違う。化成処理の目的は通常

- ① 防食
- ② 塗装密着性
- ③ 低コスト

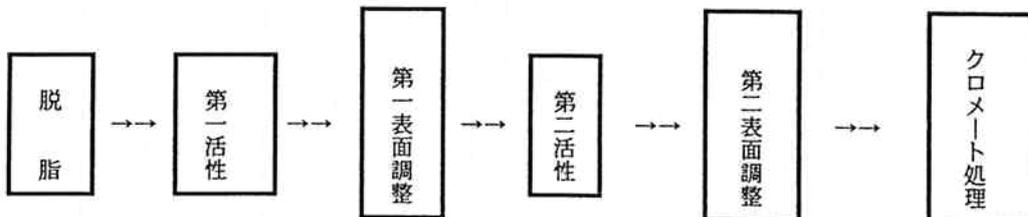
である。しかし、使用により種々の性能要求が付加されている。特に環境問題ならびにリサイクルに関して、社会的要求からクロム系化成処理だけでなく、ノンクロム系又は低クロム系もある。しかし、全ての成形方法、性能要求に単一で適合できてはいない。この為に、耐食性、表面抵抗値の特性上から、クロム、低クロム系とノンクロム系の選択が必要である。これらについて以下に述べる。

1.5.1 クロム系化成処理

クロム系化成処理の特長は下記のようなものである。

- ① 薄く耐食性がある
- ② 作業性が良い
- ③ 安定性がある
- ④ 塗装密着性が良い
- ⑤ 低コスト

この作業工程については下記の方法がある。



ここの表面調整とは、脱スマット、均一化等をいう。

この中で比較的使われているのがクロム酸処理 (MX-1、Dow 1)、重クロム酸処理 (MX-3、Dow 7)、改良クロム酸処理 (MX-8、Dow 20)、硝酸第2鉄処理 (MX-9、Dow 21) でこれらをマグネシウムダイカスト材についての作業性等について比較すると比較すると下記のようなになる。

- a) 作業性 (浴温、時間)
 良 MX-8 > MX-1 > MX-9 > MX-3 否
- b) 浴の安定性
 良 MX-1 > MX-8 > MX-3 > MX-9 否
- c) 浴管理の難易度
 易 MX-1 > MX-3 > MX-8 > MX-9 難
- e) 浴の消費量
 少 MX-1 < MX-8 < MX-9 < MX-3 多

実際は処理には作業性+処理条件+性能、特性が要求されるので目的に合った処理工程を確立することが大切である。

クロム系処理は素地の合金の耐食性、圧延方法、鋳物の砂型、金型、ダイカスト、熱処理等の履歴、表面組織、組成だけでなく前処理の選択によっても同一処理でもまるで異なる色調、性能の皮膜ができる。このことから作業者は化成処理浴は勿論のこと前処理浴の管理を行わないと安定した製品を供給できない。このようなことは、表面処理を行う上において常識であるがマグネシウムの場合はアルミニウムの管理より項目が多く、しかも管理巾が狭い。

またクロム系皮膜は塗装の下地、部品の保管、環境条件の整った箇所での使用が多い。処理方法としては浸漬が主で刷毛、スプレー、ローラー等によってもできる。各種化成処理は [表4] に示すように多数あるので目的に合った選択が必要である。

[表 4] マグネシウム及びその合金の化成処理

| 名 称 | 該当名称 | 浴 組 成 (g/L, ml/L) | 処理時間(min) 及び浴温 (°C) | 寸法変化量 (μm) |
|-------------|-------|---|------------------------|----------------------------|
| クロム酸 | MX-1 | 重クロム酸ソーダ 100 | 1/2~1.0 | 10~30 |
| | Dow 1 | 硝酸(67.5%) 200 | R. T | |
| 重クロメート | MX-3 | 重クロム酸ソーダ 150 | 20~30 | 5 μm 以下 |
| | Dow 7 | フッ化マグネ 2.5 | 90~100 | |
| リン酸 マンガン | MX-7 | リン酸二水素 25 マンガン 珪フッ化ソーダ 3 硝酸ソーダ 2 重クロム酸ソーダ 0.2 | 30~60 80~90 | 2~10 |
| 改 良 クロム酸 | MX-8 | 重クロム酸ソーダ 180 重フッ化ソーダ 15 硫酸アルミ 10 硝酸(67.5%) 85 | 1/3~1.0 R. T | 10~30 |
| 硝 酸 第二鉄 | MX-9 | 無水クロム酸 180 硝酸第二鉄 40 フッ化カリ 4 | 1/2~3/4 R. T | 7~15 |
| 錫 酸 | MX-10 | ピロリン酸ソーダ 50 錫酸カリウム 50 か性ソーダ 10 酢酸ソーダ 10 | 15~20 | 3~7 増加 |

15.11 クロメート皮膜の性能

クロメート皮膜の要求性能は、第一に耐食性、塗装密着性、コスト、第二は表面抵抗、放射率、色調がある。しかし、情報通信産業では耐食性、表面抵抗、塗装密着性が第一で放射率、色調は第二性能要求に入る。車、オートバイ産業では第一に耐食性、塗装密着性が要求されている。このように業種により、要求性能、レベルが異なる為に事前の打ち合わせが必要となる。通常使用する耐食性、表面抵抗、放射率、スマット性について、以下に述べる。

15.12 耐食性

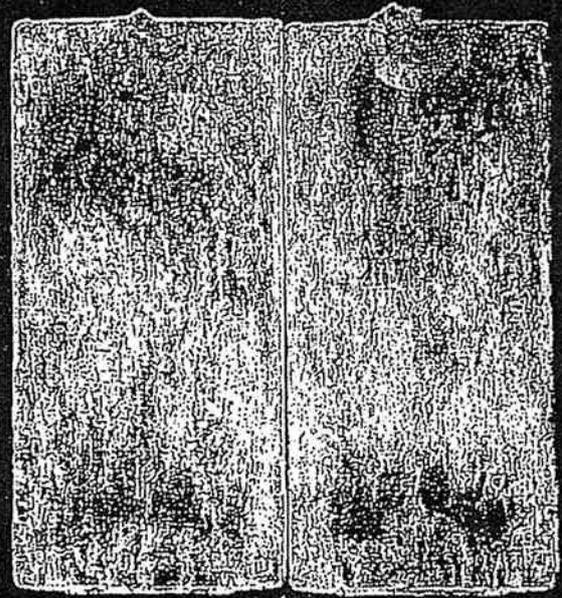
塩水噴霧試験法 (JIS Z 2371) で24時間連続噴霧を各種表面処理を行った結果を (表5) に示す。

参考までに情報通信産業では24時間を8時間噴霧16時間休止とし、これを1サイクルとするサイクル法と連続法を採用している。この2方法をAZ91DとAZ31Bの成形材で比較したのが写真 (1) *1 である。白~青白い斑点状部位が腐食である。このように、連続法とサイクル法は50%前後の腐食面積率に差がある。特に、サイクル法は腐食面積が多いので、規格等を決めるときには、試験の方法を明確にする必要がある。

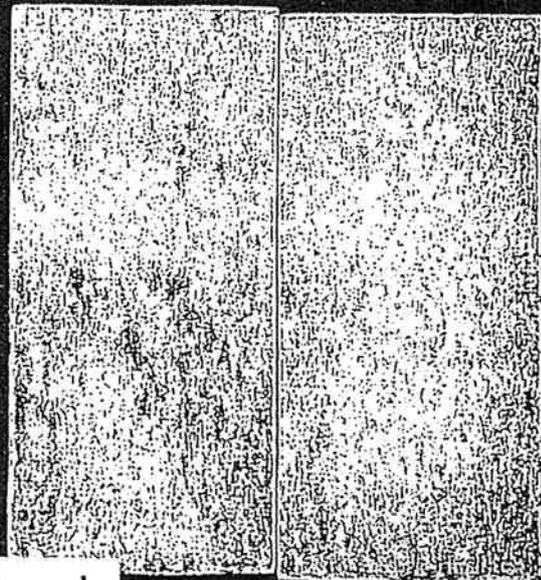
[表 5] マグネ・ダ イスト上の化成処理の塩水噴霧試験による耐食性 (24hr)

| 名 称 | 該当名称 | 評 価 | 名 称 | 該当名称 | 評 価 |
|-----------------|------------------------------|-----|-----------------|--------|-----|
| クロム酸 | MX-1 Dow 1 | ○ △ | 希釈クロム酸 | Dow 19 | × × |
| 重クロメート | MX-3 Dow 7 | ○ | クロム・ 明バン | Dow 2 | × × |
| リン酸 マンガン | 5 ○ △ MX-7 15 ○ △ 30 ○ | | アルカル性 重クロム酸 | Dow 8 | ○ |
| 改 良 クロム酸 | MX-8 | ○ △ | HAE (厚膜) | MX-11 | ○ |
| | | | Dow 17 | MX-12 | ○ |
| 硝 酸 第二鉄 | MX-9 | ○ △ | マグーホワイト | | ○ |
| 錫 酸 | MX-10 | ○ △ | マグダイズ-BL | | ○ |
| | | | | | |
| As Cast (AZ91D) | | ○ △ | As Cast (ADC12) | | ○ △ |

評価基準 ○ ; 錆び発生程度 2%未満
 ○△ " 2%以上10%未満
 △ " 10%以上25%未満
 × " 25%以上50%未満
 ×× " 50%以上



AZ91D As. Cast



AZ31B As. Cast

24時間連続噴霧

8時間噴霧16時間休止

1.5.1.3 表面抵抗

情報通信産業では、特に、使用機器から他の機器への電磁波による誤作動の影響や、逆に他から自分の機器への誤作動を防ぐために、電磁波をシールドするという考えがあり、筐体をグラウンドと考えて、この表面をいかに表面抵抗の少ない皮膜で覆われるかが大切な事である。この皮膜の優劣を判断する方法に

① 表面抵抗値法

② 絶縁破壊法*2がある。

表面抵抗値法の測定は大方がロレスター*3の2探針法で行なっている。この方法で各種処理を計測したのが〔表6〕である。注意点は内部抵抗を一緒に計測するのでこの点、データ時に検討する必要がある。この手法に対し内部抵抗を極力除外した4探針法*3がある。

絶縁破壊法は荷重5gを掛けφ3の電極に、2～10Vの低い電圧を掛け、通電時（破壊が起きた時点）の電圧で表示する方法である。破壊電圧は6V以下が望ましい。

[表 6] マグネシウム及びその合金上の各種表面処理の表面抵抗値 (Ω)

| 名 称 | 該当名称 | 抵抗値 | 名 称 | 該当名称 | 抵抗値 |
|-------------|--------------------------------|------------------|----------------------|---------------|------|
| クロム酸 | MX-1 Dow 1 | 0.3 | 希釈 クロム酸 | Dow 19 | 0.7 |
| 重クロメート | MX-3 Dow 7 | 2< | クロム・ 明礬 | Dow 2 | 2< |
| リン酸 マンガン | MX-7 - 5分 - 10分 - 30分 | 2< 20< 20< | アルカリ性 重クロム酸 | Dow 8 | 0.63 |
| 改良クロム酸 | MX-8 Dow 20 | 0.3 | ガルバ ニック | MX-5 DOW 9 | 2< |
| 硝酸第二鉄 | MX-9 Dow 21 | | Castic・ Anodizing | MX-6 | 2< |
| 錫 酸 | MX-10 | 0.3 | マグライト*3 KD | | 0.3 |
| As Cast | | 0.2 | マグーフ21 | | 0.3 |

1.5.1.4 放射率

電子機器関係は実装密度が向上し、しかもコンパクトになったため、内部に熱が籠もり易くなっている。このため、熱を如何に速く外部に放出させ、機器部品の熱影響を少なくするかが問題になっている。ここで外部に熱を放出することを、放熱性といい、これを定量的に表す方法として熱放射率または熱輻射率がある。放射率または輻射率とは同一温度における熱放射体（この場合は筐体と各種皮膜）と完全黒体の放射発散度の比をいう。実際にはFTIR型分光放射測定装置を用い、被計測体（この場合各種処理皮膜体）を100℃に加温し、赤外線領域における放射率を計測する。これを各領域内で平均化したのが全放射率といい、各処理による全放射率を〔表7〕*1示す。

〔表7〕マグネシウム及びその合金上の化成処理の全放射率

| 名 称 | 該当名称 | 全放射率 | 名 称 | 該当名称 | 全放射率 |
|-------------|---------------|----------------------|-----------------|--------|------|
| クロム酸 | MX-1 Dow 1 | 0.31 | 希釈クロム酸 | Dow 19 | 0.47 |
| 重クロメート | MX-3 Dow 7 | 0.69 | クロム・ 明バン | Dow 2 | 0.91 |
| リン酸 マンガン | MX-7 | 0.34 0.50 0.56 | アルカル性 重クロム酸 | Dow 8 | 0.71 |
| 改 良 クロム酸 | MX-8 | 0.34 | HAE(厚膜) | MX-11 | 0.81 |
| 硝 酸 | MX-9 | 0.06 | Dow 17 | MX-12 | 0.90 |
| 第二鉄 | | | マグーホワイト | | 0.09 |
| 錫 酸 | MX-10 | 0.66 | マグダイズ-BL | | 0.93 |
| As Cast | (AZ91D) | 0.06 | As Cast (ADC12) | | 0.06 |

1.5.1.5 スマット性

各種処理後においてどの程度の剥離または付着するかを計測する方法である。塗装下地の検査方法は下記の方法がある。

①移行性法

②テープ密着法

③不純物剥離試験法（マクベス法）

①の移行性法とは白い綿布で表面を擦り、綿布の変色によりスマット付着判別を行う。
 ②テープ密着法とは表面に透明テープを貼り、剥離後の汚れを基準を定めて目視で判断する。
 ③不純物剥離試験法（マクベス法）とは②の方法を定量化したものである。手順は表面に透明テープを貼り、剥離後透明ガラスにこの被計測テープを貼り付け、透明テープと被計測テープに光を当て、透過度を比較する。3方法については、それぞれ特徴があるので、事前取り決めが必要になる。

③の不純物剥離試験法（マクベス法）はマクベス社の機械を用いる。この試験の良いところは、スマットはもちろんのこと、成型時の脱落し易い不純物をはじめ、湯じわ、湯ざかい、積層部位の処理で除去できにくい物が物理的に除去するため、塗装密着不良を下地で判断する1方法である。

数値としては、透明テープを〔0〕とし被計測テープの数値を検出する。数値については業者間で決めるが、0.05以下ならば何ら問題も無く、最大0.8以下までの幅がある。

1.5.2 ノンクロメート処理

ノンクロムの浴組成は、各社ノウハウで明らかにされていない。しかし大別すると、下記のように分けられる。

- 1) リン酸塩系としてリン酸マンガン、リン酸カリ、
リン酸亜鉛等
- 2) シュウ酸系、
- 3) マンガン系
- 4) その他

ノンクロム系の処理については専門家として量産が行われているのはマンガン系のKD*4 シリーズ、リン酸塩系のマグサーフ 20*5 のがある。KDシリーズは成形の状態によって使い分けている。種類、内容は[表8]*4の通りである。

[表 8] KDシリーズ (ノン・クロム系化成処理)

| | K D | KD-F | KD-A | A K | D F |
|----------------------|---------|------|------|--------|--------|
| 耐食性 (サイクル) | 3~7 | 3~9 | 2~4 | 4~9 | 3~9 |
| | 2~3 | 2 | 1~2 | 2~5 | 2~5 |
| 接触抵抗 (Ω) | 0.3 | 0.5 | 0.3 | 10^7 | 10^7 |
| | ~15 | ~10 | ~10 | | |
| | 0.3 | 0.1 | 0.1 | 10^7 | 10^7 |
| | ~20 | ~9 | ~15 | | |
| スマット 性 | 0.05 | 0.03 | 0.05 | 0.03 | 0.03 |
| | 0.03 | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.03 |
| 密着性 | 100/100 | — | — | — | — |
| | 〃 | — | — | — | — |
| 全放射率 | 0.5 | 0.6 | 0.5 | 0.4 | 0.3 |
| | 〃 | 0.5 | 〃 | 〃 | 0.4 |

上段：コールド

下段：チクソ

- ① 試料はマグネシウム協会の表面処理用標準試験板（コールド法；150×75×t5）とリブ付きの板（チクソ法；80×50×t0.6）
- ② 耐食性は塩水噴霧試験8時間噴霧+16時間休止を1サイクルとし、判定は、RN9.5とする。
- ③ 接触抵抗は三菱化学社のロレスタを使用し、2端子法で測定。4端子法では、 10^7 以外は $3 \sim 8 \times 10^{-5}$ となる。
- ④ スマット性は、マクベス社の表面不純物剥離試験法で測定。
- ⑤ 密着性は、碁盤目試験。
- ⑥ 全放射率は、FTIRにて黒体を1とし、100℃加熱での赤外線分光放射率を測定。但し、協会試験片は0.06とする。

ノックロム処理を困難にしている1つに素材の厚みがある。肉薄と肉厚では湯じわ、湯流れ、離型剤の巻込み量が異なるために1工程で数種類の役割を持つノックロム系の前処理では成型メーカー、製品形状によって前処理を変えなければならない。この為に、専門家としては前処理法が最低でも3～5種類必要である。

2) 陽極酸化処理

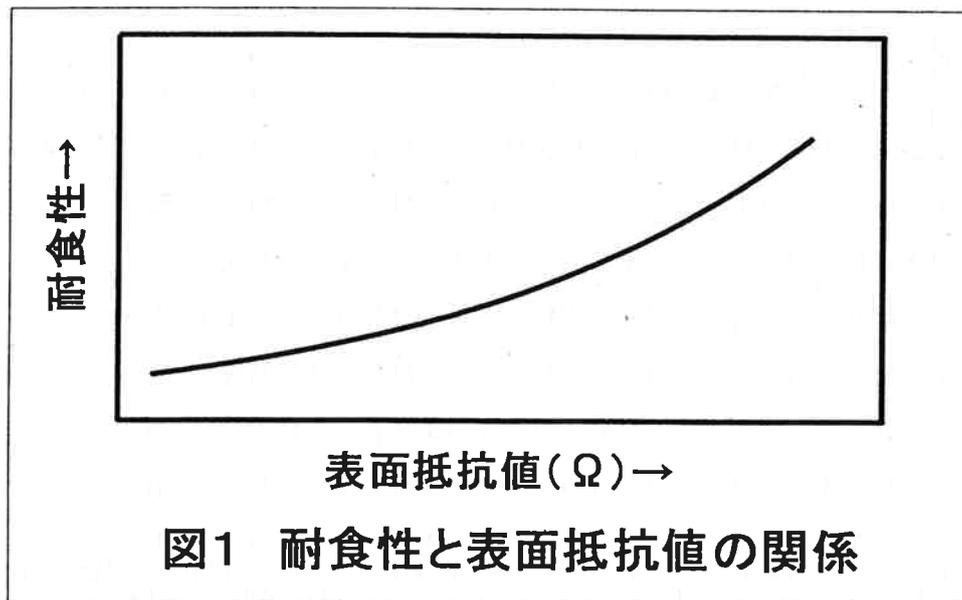
陽極酸化は耐摩耗性や電食の性能要求や化成皮膜では使用に耐えられない苛酷な腐食環境時に使用される。この皮膜はアルミニウム陽極酸化処理のような規則正しいセル構造ではなくて、まるで軽石又は茶色のレンガのようにランダムに穴があり、皮膜厚さもコントロールすることが困難である。封孔処理についてはアルミニウム陽極酸化皮膜のように、水和物への変化により体積膨張をする化学的な封孔と異なり、マグネシウム陽極酸化皮膜は $MgO \cdot Al_2O_3$ のスピネル構造でアルミニウム陽極酸化皮膜より安定な為封孔はクロム系で行なうがアルマイトほど顕著ではない。その他として有機物、無機物(塗料、ワックスなど)を詰め込む物理的な封孔が行われている。

[陽極酸化処理法] を [表9※3] に示す。しかし通常はHAE, Dow17, MX-5が使用されている。

[表 9] マグネシウムの陽極酸化処理法

| 名 称 | 浴 組 成 (g/L, ml/) | 処 理 条 件 | 色調及び 皮膜厚さ |
|--------------------------|---|---|---------------------------------------|
| ガルバニック 陽極酸化法 MX-5 | 硫酸アンモン 30 重クロム酸ソーダ 30 水酸化アンモン 2.6 | 48~60℃ 10~30min 0.1A/dm ² 以下 | 焦げ茶 ~黒 1~3 μm |
| Caustic 陽極酸化法 MX-6 | か性ソーダ 240 エチレン グリコール 83 硫酸ソーダ 2.5 | 70~80℃ 15~20min DC:6V, AC:6~24V 通電前後に2~5min 浸せきのこと | 淡白色 ~淡褐色 5~8 μm |
| | 中和液 フッ化ソーダ 50 重クロム酸ソーダ 50 | 25~30℃ 5min浸せき | 淡褐色 ~焦げ茶 |
| HAE 陽極酸化法 MX-11 | か性カリ 160 フッ化カリ 35 リン酸ソーダ 35 水酸化アルミ 35 過マンガン酸カリ 20 | R. T 8~60min AC:60~90V 電流密度 1.0~20A/dm ² | 3~30 μm |
| Dow17 陽極酸化法 MX-12 | 酸性フッ化 240~360 アンモン 重クロム酸ソーダ100 リン酸(85%) 90 | 70~80℃ 5~30min 60~95V 0.5~20A/dm ² | ライト・グリーン ~ダーク・ ・グリーン 3~30 μm |

ノンクロム系の皮膜は、耐食性のみならば塩水噴霧試験で5~7サイクルもつものが有る。しかし、情報通信業界では対電磁波シールド性すなわち、低い表面抵抗値を要求している。この耐食性との関係を[図1]*6に示す。



図より互いに相反することを行い、しかも化成皮膜としての性能を出すためには、処理工程と役割分担が明確でなければならない。工程、役割は下記の通りである。

| 工程名 | 役割 |
|--------|---------------------------------------|
| アルカリ脱脂 | 切削油、表面の離型剤等除去 |
| エッチング | 酸化物、表層の離型剤、焼き付き、指紋等の異物、古い皮膜の除去、抵抗値の減少 |
| 表面調整 | 脱スマット、面の均一化、抵抗値の増加 |
| 化成処理 | 耐食性、塗膜密着性、抵抗値の均一化 |

工程の役割分担を良く把握し目的に有った調整が必要である。特にエッチングについては[図2]*4に示すように、抵抗値とエッチングが密接に関係が有る。エッチング量としては離型剤、合金の偏析や酸化物、水酸化物層を含む急冷層を除去するために、15 g/m²以上のエッチングが必要である。

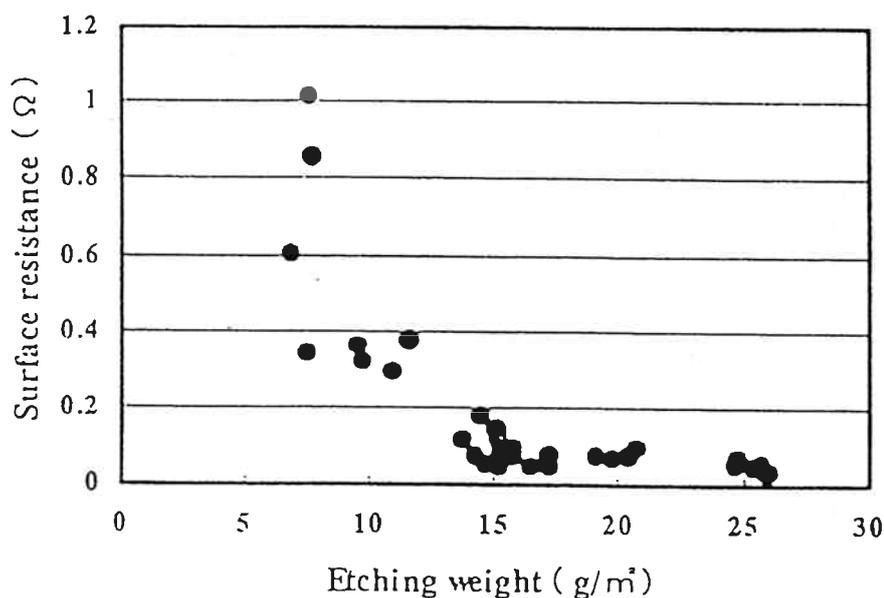


図2 Effect of etching weight on surface resistance.
(Substrate;AZ91D,Thixo-Molding)

マグネシウム皮膜の色調はアルミニウム陽極酸化の電解発色皮膜と同じで皮膜自体に色があるのでアルマイトの様に染色がしにくい。しかし、染色をするために皮膜の色を「白」にして染色を可能にした方法が報告している。*5色調はアルマイトの染色のような光沢と鮮明さはないが展伸材に処理をすると独特の色合いができます。色調は黒、青、ピンク、グレー、ブラウン等がる。

陽極酸化処理の特徴を比較するとだいたい下記の様になる。

- a) 作業性 (浴温)
高 MX12 > MX5 > MX11 = Mg・WHITE※6 = Mg・HARD※6 低
- b) " (時間)
長 MX11 > MX12 > Mg・HARD > Mg・WHITE > MX5 短
- c) 浴の難易度
易 MX11 > Mg・WHITE = Mg・HARD > MX12 > MX5 難
- d) 耐食性
良 Mg・HARD > Mg・WHITE > MX12 > MX11 > MX5 否
- e) 浴の消費量
多 MX12 > Mg・HARD > Mg・WHITE > MX5 > MX11 小
- f) かたさ
硬 MX11 > Mg・HARD > Mg・WHITE > MX12 > MX5 軟
- g) 全放射率
多 MX5 > MX12 > MX11 > Mg・HARD > Mg・WHITE 小
- h) 寸法変化量
多 MX11 > MX12 > Mg・HARD > Mg・WHITE > MX5 小
- i) 面粗さ
大 MX11 > MX12 > Mg・HARD > Mg・WHITE > MX5 小

陽極酸化については、化成処理では対応できない苛酷な条件下と、陽極酸化の組成が酸化物からできていることから、リサイクルを含めた環境問題において、今後の発展が期待される。

参考文献

- 1) 1998 マグネシウム・マニュアル
- 2) 電化皮膜工業(株)技術資料
今、注目を集めるマグネシウム材料、P50
- 3) 軽金属学会、1999、3、19
- 4) 抵抗率計 カタログ 三菱化学
今、注目を集めるマグネシウム材料、P29
- 5) 軽金属学会、1999、3、19
- 6) 99Mgマニュアル、P53、日本マグネシウム協会
最近のノンクロム化成処理 P35
第2回表面処理分科会例会、日本マグネシウム協会

9. マグネシウムの安全な取扱い

9. 1 マグネシウムは可燃性の金属である。

しかし、以下に述べる十分に管理された方法を守れば、安全に溶解・加工できる。

この章では、その方法を説明する。

例えば、薄いリボン状に加工したマグネシウムは、きわめて簡単に発火する。しかし、マグネシウム・インゴットのような成形体だと、発火させることは困難である。

マグネシウムは優れた熱伝導体であるが、実際には、ひとつの固まり全体が融点近くまで熱を持たないと、発火しない。普通は、固体のマグネシウムが他からの大きな火に囲まれなければ、そういう状況にはならない。

以下の状態のとき、マグネシウムの扱いには注意が必要である。

- 溶解した状態のとき。
- チップ、細粒、微粉のような形状のとき。
- 大きな火に囲まれた状態のとき。

9. 2 溶解したマグネシウム

9. 2. 1 安全服と装備

温度が 600℃ があれば他のどんな物質でも同じであるが、溶解したマグネシウムが皮膚に触れるとひどい火傷になる。溶解作業に従事する作業員は、以下のような安全作業着と装備を身につける必要がある。

- 安全メガネ
- 安全シールド付きのヘルメット
- 防火服
- 安全靴
- 断熱長手袋

安全服と装備はすべて、保護機能が十分かどうかを確かめる検査を行う。

救急措置の設備には、断熱ブランケットと安全シャワー（ヤケドを冷やす）を含めておく必要がある。対人用保護装備はすべて、該当する法規に準拠していなければならない。

9. 2. 2 マグネシウム溶湯の保護

溶解したマグネシウム（溶湯）は、空気に触れると発火・燃焼する。したがって、溶解の工程で空気との遮断のための保護が必要である。従来の方法は、塩化物フラックスで表面を覆い、空気が触れるのを防ぐというものであった。今日一般的なのは、どこでも実施されているという訳ではないが、六フッ化イオウをきわめて低い濃度に空気で希釈したものや、六フッ化イオウに空気と二酸化炭素を混合させたもののような、保護用ガスを使う方法である。

六フッ化イオウ(SF₆)はマグネシウム溶湯の表面にフィルムを形成し、過度の酸化を防ぐ。

9. 2. 3 ガス供給システム

マグネシウム溶湯の表面における六フッ化イオウの濃度が高くなりすぎるのを防ぐために、ガス供給システムを設計する必要がある。六フッ化イオウの濃度が高すぎると、鋼板製のるつぼカバーやるつぼをひどく腐食させることになる。腐食した鋼板は、マグネシウム溶湯と反応して爆発を生じる場合がある。

供給システムは、供給ガスの流れで溶湯表面のガスによる保護が乱されることのないように設計する。また、るつぼ加熱用の燃料供給ラインは発火安全制御装置と遠隔から燃料の供給を遮断できる機能を備えている必要がある。

国内では使用するるつぼ、治具、カバー類はすべてアルマー処理を行い、鉄サビの発生を激減させる様に使用、管理している。

9. 2. 4 水との接触を避ける

溶解作業場や熱処理炉の上、また、微粉のようなマグネシウムを製造または保管する場所には、自動スプリンクラーを取り付けてはいけない。

鑄造炉内であろうと、火災中のビル内の水たまりであろうと、溶解したマグネシウムに水が接触すると、爆発する危険がある。水は当初の体積の 1000 倍に膨張し、溶湯をかなり広範囲に遠い場所まで飛ばすことがある。加えて、マグネシウムは酸素に対して親和性がきわめて高いため、水を分解し、引火性の高い水素を放出するため、爆発することがある。



9. 2. 5 インゴットと溶解作業工具を予熱する

インゴットにしる溶解作業工具にしる、溶けたマグネシウムの中に入れるものはすべて、100℃を優に超える温度になるまで十分予熱を行い、すべての湿気、その他の揮発性物質を除去する。表面が冷たい場合には必ず、大気中で凝縮された湿気を含んでいる危険性があると考えべきである。

9. 2. 6 溶解炉は常に清潔に

マグネシウム溶湯は、一種のテルミット反応のかたちで、酸化鉄に反応して発熱することがある。これにより 2200℃を超える熱が生じ、発熱量も大きくなる。

ほとんどのマグネシウムるつぼは鋼板でできているため、るつぼの内部を清潔な状態に保ち、スケールがないようにしておくことがきわめて重要である。同様に、るつぼが万一破損した場合に溶出したマグネシウムと反応するのを避けるため、炉からスケールを取り除く作業を定期的に行う必要がある。

溶解炉に使う耐火物には、高アルミナ質または高マグネシア質のものを採用する。マグネシウム溶湯は、セラミック製の物質内に少量でもシリカがあると、それと激しく反応する場合がある。

るつぼが破損した場合に備えて、湯漏れナベを備えておくべきである。湯漏れナベは常にきれいな状態に保ち、いつでも湿気やスケールがないようにしておく。

日本国内では、ルツボは内外面をアルマー処理（アルミ浴中でメッキ）して使っているので、酸化スケールの発生は非常に少ない。

アルマー処理効果が無くなった場合は、再処理することが好ましい。

9. 2. 7 消火剤

鑄物用フラックスや G-1 パウダーのような、ドライタイプの消火剤および乾燥砂を常に近くに置いておく。同時に、移動台車、スコップ、防火服を常備する。

9. 2. 8 鑄物工場の構造物

マグネシウムの鑄物工場の構造物には不燃材を用い、溶解作業を行う周囲の床には硬焼きの処理を施すか、ガラス質の舗装ブロックを用いる。コンクリートの場合は、マグネシウム溶湯から出る熱により、コンクリートの水和に使われた水が蒸発し、コンクリートが砕けたり、場合によっては爆発することもある。

9. 3 マグネシウム微粉の取扱い

マグネシウム微粉は発火しやすく、脂肪酸を含有する切削油剤や水のある場所では、条件によっては自然発火することもある。水素も生じるため、火災だけでなく爆発を誘発する危険もある。

マグネシウムのダストが空中に舞うと、空気中の割合が臨界値となった状態で発火した場合、爆発するほどの激しさで燃焼する。マグネシウムの機械加工、のこ引き、粉末化を行う場所では、喫煙、はだか火の使用、電気溶接などは禁止である。電気の接続部分やモーターはすべて、防爆機器を用いる。マグネシウムのダストが存在する場所では、ノンスパーク形の電動器具を使用する。

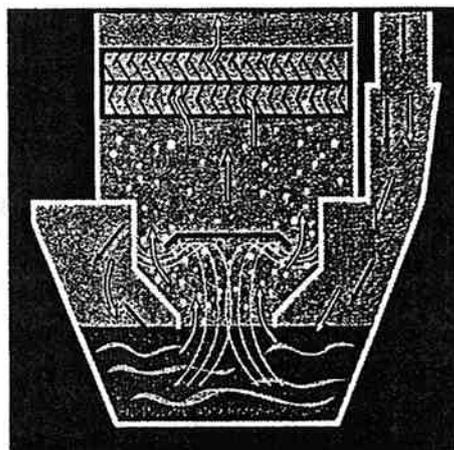
9. 3. 1 ダスト集塵システム

研削ダストは、マグネシウム専用の湿式集塵装置で捕集する。システム全体にアースを施し、排気ファンと液体レベルコントローラの電源を連動させる。粉塵爆発を防ぐのに有効な設備であるが、毎日の清掃が大切である。

スラッジに処理される前のいかなる状態でも乾燥したダストが蓄積することのないように、また、乾燥したダストが高速で動く部品と接触することがないように、システムを設計する。集塵システムもまた、スラッジ内に発生した水素が、停電の場合も含め、常に排気されるように設計する必要がある。

表面がクロム酸処理されていたり、スチールのインサートを含有するマグネシウムを粉末化しないでください。どちらもスパークを生じる。何から生じたスパークでも粉末に発火する可能性がある。発火すると、火は設備全体に広がる可能性があります。

湿式集塵機から排出した残滓は少なくとも毎日取り除き、カバー付きで通気孔を設けた鋼製容器（ベール缶・ドラム缶）に入れて、処理場または保管場所にする。（「マグネシウム安全手引き」を参照）



9. 3. 2 マグネシウムの機械加工

マグネシウムの機械加工は、一般に使用されている他のどの金属の場合よりも小さな力で行える。そのため、大きなチップを作る際のスピードも切削の送りも最大にできる。切削工具は鋭利な状態を保ち、刃具とフチールは絶対に接触しないようにする。（火花防止）切れ味の悪い切削工具を使ったり、アイドリングを行ったりすると、削りくずを発火させるほどの熱が生じることもある。

9. 4 マグネシウムの保管と輸送

どの製品形態のマグネシウムでも、地上で、排水設備のしっかりした水たまりの生じない場所に保管する。インゴットやパーツの望ましい保管場所は不燃構造の平屋建てですが、これは必ずしも実務的でないかもしれない。他の可燃性物質と共に保管する場合、アメリカ防火協会 (National Fire Protection Association) ではマグネシウムの分量として以下を推奨している。

| パーツの重さ | 最 大 |
|---------|-----------|
| 11kg 以上 | 36 立方メートル |
| 11kg 未満 | 28 立方メートル |

9. 4. 1 自動スプリンクラーを推奨

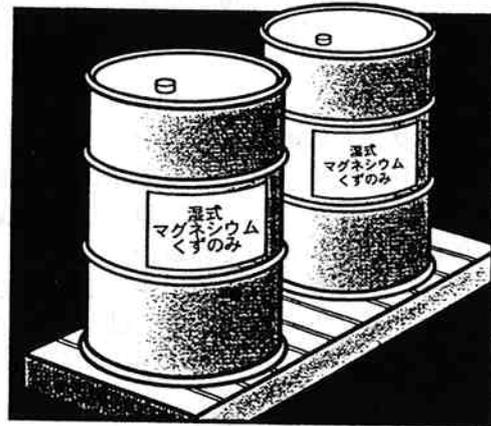
溶解工場とは逆に、インゴットやパーツの保管場所には、自動スプリンクラーシステムの設置を強く推奨する。それがあると、近くの可燃性物質から火が生じた場合に、マグネシウムが巻き込まれずに済むかもしれないからである。

また、消防員が消火設備を有効に使用できるよう、通路は十分に広い造りにしておく。

9. 4. 2 パウダー、チップ、細粒、削りくず

乾燥したマグネシウムのパウダー、チップ、細粒、削りくずは、鋼製のペール缶やドラム缶のような不燃性の容器に入れ、しっかりと密封し、他の燃焼性物質から十分に離れた場所に保管する。ここでは、自動スプリンクラーの使用は厳禁である。

湿ったマグネシウムの削りくず、微粉、スラッジは、カバー付きで通気孔のある不燃性の容器に浸水させた状態で保管し、容器は戸外に保管する。湿ったマグネシウムは徐々に発熱し、水分の蒸発を加速させ、ついには発火する。容器を積み重ねることは厳禁である。また、発火の原因となるものは通気孔から遠ざける。



9. 4. 3 マグネシウムの輸送

ほとんどの工業国では、粉末のマグネシウムを、航空機・鉄道・高速道路・船舶で輸送する際に規制の必要な「危険物」に指定している。規制には通常、包装、船積書類、ラベル貼り、荷札付けなどの事項がある。各自の国の規制に適合しているか、必ず確認する。また、外国に輸送する場合には、「危険物の輸送に関する勧告(Recommendations on the Transport of Dangerous Goods)」という国連の刊行物のコピーを必ず付けるようにする。

9. 5 火災が生じたら

マグネシウムの炎は実に壮観である。発生する光は明るく、白煙がもくもくと渦巻く。白煙は酸化マグネシウムで、それ自体に毒性はないが、吸い込まないように注意する。吸い込みすぎると金属煙霧による発熱症を生じる恐れがある。また、煙の中には他の火元から出た毒性のある煙霧が含まれている可能性もあるので、注意が必要である。

どんな火災でも、初期に発見して対応すれば鎮火できる可能性が高いのですが、マグネシウムの場合も例外ではない。乾燥した粉末のマグネシウムから生じる火は、かなりゆっくりと均一に燃えるが、擾乱させたり、湿気や切削油剤が存在すると、急激に燃え上がることがある。

9. 5. 1 窒息消火剤

マグネシウムは直接の酸化によって燃焼するため、マグネシウムの火を消すには、空気を遮断する乾燥した消火剤で覆い消すか、自然消火するまで燃焼させるかしかない。消防士は、手に負えない火事の場合には、隣接する建造物への延焼を食い止める方法に頼らざるを得なくなることがある。

マグネシウムの消火に適した窒息消火剤は、以下のとおりである。

- ドライ G-1 パウダー
- Met-L-X パウダー
- マグネシウム鋳物用フラックス
- マグネシウム専用の専売薬品

保存用タンクのような閉じられた場所では、マグネシウムの火はアルゴンで鎮火できる場合が

ある。

9. 5. 2 マグネシウムの火に水は禁物

マグネシウムの火に、水は決して使ってはならない。水は酸素と水素に分解し、火勢を強めるばかりか、爆発の危険まで生じるためである。

以下に挙げるような通常よく用いられる多くの消火剤も、マグネシウムの火勢を強めてしまう。

- 泡消火剤
- 二酸化炭素
- ハロゲン化消火剤
- リン酸一(または二)アンモニウムを含有する粉末消火剤
- 砂

9. 6 安全教育

9. 6. 1 従業員の研修と対応チーム

マグネシウムの製造・加工・保管を行うには、作業員全員に安全な手順に関する研修を施す一方で、社内に熟練した緊急対応チームを結成しておく必要があります。

多くの国では、マグネシウムの加工と保管を行う場合には、地域の消防機関に通知し、緊急対応のための合同計画を立案することが、法律で義務付けられています。しかし、このことは法律上の義務とは関係なく行うべきです。

(日本においては、危険物に該当するものでない限り届け出は義務づけられていない。しかし、消防機関などの理解を得ることをお勧めする。)

10. マグネシウムの製品例

20世紀初頭に工業化されて以来、マグネシウムは航空機、自動車、紡績工業など種々の分野で使用されている。初期のころより、実用金属中では最も軽いという特徴を生かした製品が各種製造されている。表1は1930年代に各種工業で採用された製品を示す。この他、ダイカストによる自動車部品には、オイルポンプハウジング、エンジン冷却ファン、ブローエンペラー、ギアボックスが、航空機部品では尾輪、ブレーキシュー、ブレーキレバー、ピストンなどが、さらに展伸材では郵便小包車車体骨組み、バスのボディー、飛行機胴体などが1939年に出版されたA.Beck編の本¹⁾に紹介されている。

表1 1930年代に製造されたマグネシウム合金製部品および製品

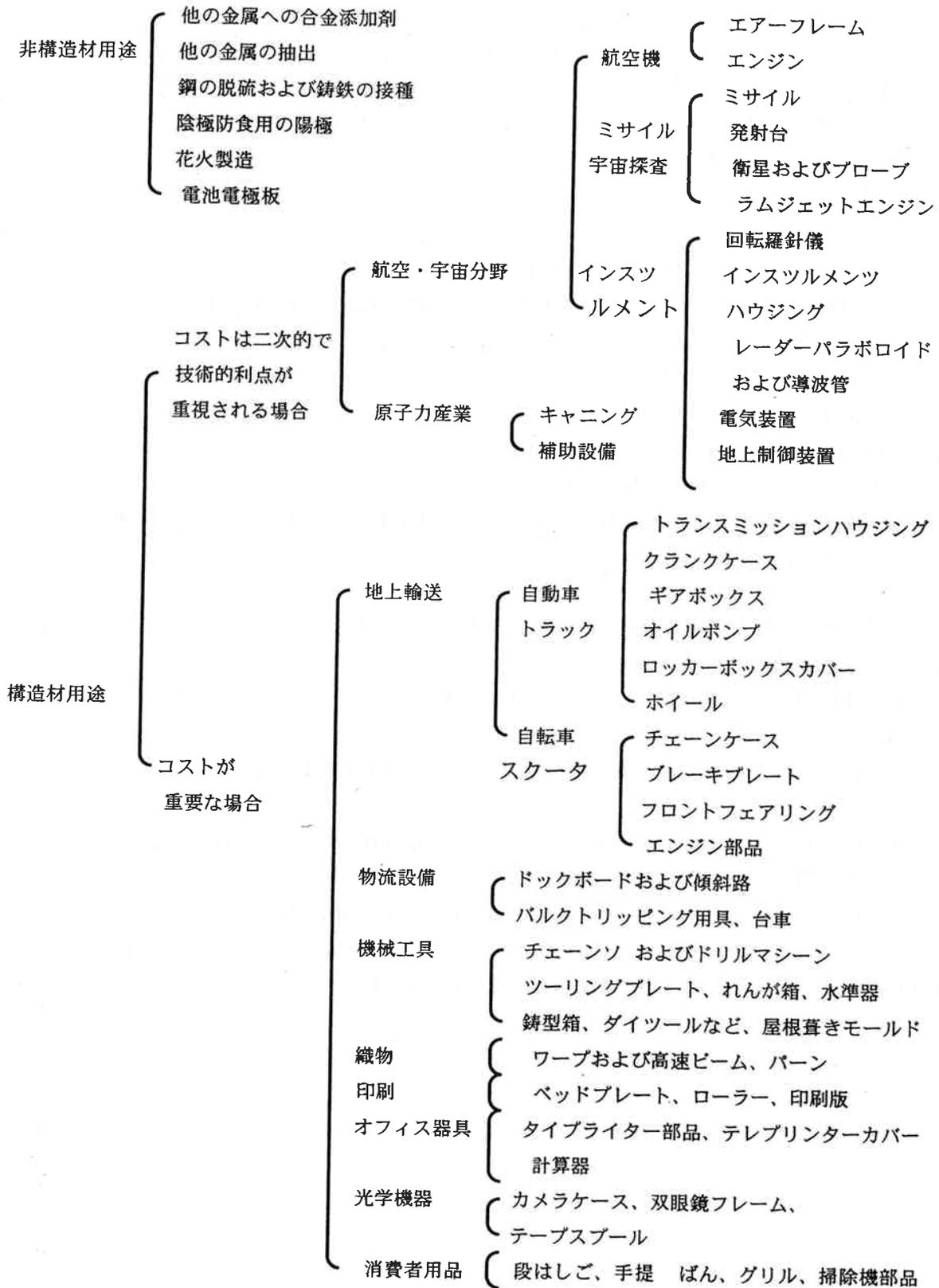
| 自動車工業 | 紡績工業 | 測定器具および 光学機械工業 | 航空機工業 |
|-----------|--------------|-------------------|-----------|
| 連棹 | 機織機 | 顕微鏡筒および部分品 | クランクケース |
| ピストン | 心棒 | 望遠鏡筒および部分品 | 気化器 |
| クランクケース | 箆(おさ) | 双眼鏡筒および部分品 | 曲軸室部分器 |
| 気化器 | ひ(シャトル) | 望遠鏡用三脚台 | 着陸用具 |
| マグネット部分品 | 梳き器具 | 物指 | 車台および車輪 |
| および台 | 糸巻き | 計算尺 | 翼の肋材 |
| 曲柄軸および曲承函 | 十字型巻き枠 | ゲージ | プロペラ |
| 座席台 | 紡績機のカバー | 写真機 | 舵材 |
| 羽目板 | Jacquard式ロール | 活動写真機 | 翼材および肋材 |
| タンク | 運転機 | | 発動機蓋 |
| 車輪 | その他軽さおよび | | 主翼 |
| 押制動機 | 速度を必要とする | | 翼の前縁覆 |
| エンジン部品 | 部分品 | | 操縦者および |
| 手荷物台 | | | 旅客用座席 |
| | | | 荷物棚 |
| | | | エンジンの部分品 |
| | | | エンジンの予与圧機 |
| | | | ガソリタンク |

三ヶ島秀雄:マグネシウム及び其の合金、アグネ工学社(1940)より。

表2はEmley²⁾による製造のコストが重要かどうかで分類したマグネシウムの用途を示す。また、Emleyは、以下に示す成功した製品におけるマグネシウムの利点をいくつか挙げてている。ただし、時代が東西冷戦が深刻なときであること、英国で開発されたジルコニウム入り鑄造用合金の大型鑄物や、また耐クリープ性が高い放射性元素のトリウム入り合金も含めての記述である。

- (a) 鑄造品での優れた比強度。
- (b) 板の耐座屈性も含めた、展伸材でのすぐれた比剛性。

表2 主なマグネシウムの用途 (E.I.Emley,1966)



(d) 鋳造品および展伸材での耐クリープ性。長期間の使用では約 350 °C まで、短期間で

は 400 ℃。

- (e) 大型で複雑な形状の鋳物が可能。
- (f) 高強度で高温型の合金で、鋳物でも展伸材でも溶接可能。
- (g) 鋳物での比剛性が高い。ダイカスト、薄肉砂型鋳物で実証されている。
- (h) 熱間加工性に優れる。
- (i) ダイカストに適する。
- (j) 粒間腐食がない。
- (k) 寸法安定性が良い。
- (l) 疲労での切り欠き感受性が低く、疲労強度と引張強さの比が高い。
- (m) 高強度の（ジルコニウム入り）展伸材合金では応力腐食割れがない。
- (n) ダンピングキャパシティー。
- (o) 熱応力モジュラスが低い。
- (p) 熱拡散性が高い。
- (q) 熱中性子捕獲断面積が低い。
- (r) 回転あるいはレシプロ部品で慣性力が低い。
- (s) 戦略物質ではない。海水、ドロマイト、マグネサイトはほとんどの国にあり、事実上無限に抽出できる。

表 3 は 1980 年代までの各分野での構造用材料としての応用例を示す²⁾。ダイカスト、鋳造品が大半を占める。

図 1～3 は 1990 年代の前半に、アメリカの自動車 3 大メーカーの各モデル車に採用された部品を示す³⁾。

以下に表 3 に示す分野別に、最近の日本での製品を加えて写真を示す。

- 1) A.Beck,編:Magnesium und seine Legierungen, Springer,(1939);邦訳, 荻野 寂訳「マグネシウム合金加工篇」、金属社(1944)。
- 2) E.I.Emley:Principles of Magnesium Technology,Pergamon Press, (1966),787.
- 3) J.G.Mezoff:Advances in Magnesium Alloys and Composites, edited by H.Paris and W.H.Hunt, The Minerals, Metals, & Materials Society, 1988, 1.
- 4) D.L.Albright:IMA Proceedings, (1995),30.

表3 分野別マグネシウム製品例(J.G.Mezoffによる)

| 製品名 ()内は国あるいはメーカー | 年代 | 素材 |
|-----------------------------------|--------|---------|
| 宇宙航空機分野 | | |
| プロペラ | 1920 | 鍛造 |
| エンジクラックケース(Packard,Hornet,Wasp) | 1930 | 鋳物 |
| エンジン部品 (Isotta-Fraschini) | 1930 | 鋳物 |
| 飛行船ゴンドラ (Picard) | 1933 | 板 |
| 飛行船ゴンドラ | 1935 | 板 |
| 民間機座席 | 1930年代 | 板、押出し材 |
| ランディングホイール(Goodyear) | 1930年代 | 鋳物 |
| Ju88ランディングギアストラットフレーム | 1940 | 鋳物 |
| FW190風防サポート | 1940 | 鋳物 |
| 離着陸用車輪 (ドイツ) | 1940 | 鋳物 |
| He177およびJu90部品 | 1940年代 | 鋳物 |
| BMW801エンジン部品 | 1940年代 | 鋳物 |
| 機関銃保持リング | 1940年代 | 鋳物 |
| ラジオシャーシー | 1940年代 | ダイカスト |
| 方向探知器 | 1940年代 | ダイカスト |
| 尾輪 | 1940年代 | ダイカスト |
| B-36爆撃機 | 1940年代 | 各種 |
| ロールスロイスDart エンジン部品 | 1950年代 | 鋳物 |
| S55ヘリコプター部品 | 1950年代 | 鋳物 |
| ロケットおよびミサイル部品 | 1950年代 | 板 |
| ヘリコプターギアケース | 1950年代 | 砂型鋳物 |
| ヘリコプター車輪、エンジン部品 | 1950年代 | 砂型鋳物 |
| Turbojet コンプレッサーケーシング | 1950年代 | 砂型鋳物 |
| メインランディングホイール | 1950年代 | 砂型鋳物、鍛造 |
| B-47ホイール、エンジン部品 | 1950年代 | 砂型鋳物 |
| ホイールファイアリング | 1950年代 | スパンシート |
| C-121、C-124輸送機フローアビーム | 1950年代 | 押出し材 |
| B-47、B-52メインホイール | 1960年代 | 鍛造 |
| 人工衛星部品 | 1960年代 | 各種 |
| HC-18 ヘリコプター フロア | 1960年代 | 押出し材 |
| コックピット風防フレーム | 1960年代 | 砂型鋳物 |
| アポロ振動試験装置 | 1967 | 砂型鋳物 |
| S-64B Skycrane ギアボックス | 1967 | 砂型鋳物 |
| F-20 スピードブレーキ (Northrup) | 1970年代 | 砂型鋳物 |
| F-20 風防フレーム | " | " |
| CH-53E ヘリコプター | 1978 | 砂型鋳物 |
| トランスミッションケース | " | " |
| ヘリコプター パワートレイン | 1980年代 | 砂型鋳物 |
| PW100 タービンエンジン部品 | 1985 | 砂型鋳物 |
| Garrett TPE331,TPE-331-14 &-15 | 1985 | 砂型鋳物 |
| タービンエンジン部品 | | |
| 一定速度ドライブ、補助動力源 | 1985 | 砂型鋳物 |
| エアーマウントドライブシステム部品 | " | " |
| エアークレーク (中華民国) | 1986 | 精密鋳造 |
| ジェットエンジンドライブギアハウジング | " | " |
| 自動車 | | |
| ピストン | 1921 | 鋳物 |
| ホーンディスク | 1920年代 | 板 |
| 炭坑内車のホイールセンター | 1926 | 鋳物 |
| トラックホイール | 1927 | 鋳物 |
| 砲用ホイール | 1929 | 鋳物 |
| クラックケース(ロンドンのバスのエンジン) | 1930 | 鋳物 |
| オイルポンプ | 1930年代 | ダイカスト |

| | | |
|---|--------|--------|
| 発電機マウントおよびハウジング | 1930年代 | ダイカスト |
| ディストリビューター、マグネットハウジング | 1930年代 | ダイカスト |
| ヘッドライトブラケット | 1930年代 | ダイカスト |
| ファンブレード | 1930年代 | ダイカスト |
| カムシャフトハウジング、カバー | 1930年代 | 鋳物 |
| オイルフィルター | 1930年代 | 鋳物 |
| Lizenz オイルパン (Ford) | 1930年代 | 鋳物 |
| トランスミッションハウジング (Opel) | 1930年代 | 鋳物 |
| トランスミッションハウジング (VW) | 1936 | 鋳物 |
| クランクケース | " | " |
| ギアケース、軍用車コントロール | 1940年代 | ダイカスト |
| 農業用トラックタートランスミッションケース | 1947 | 砂型鋳物 |
| ホールディングトップピラー (Chrysler) | 1952 | ダイカスト |
| ステアリングコラムシュラウド、ブラケット | " | " |
| インスツルメントパネルカバー | " | " |
| ギアシフトレバーブラケット | " | " |
| エンジンフロントオイルシールプレート | " | " |
| オイルポンプ、カバー | " | " |
| トランスミッションギアシフトレールガイド | " | " |
| ギアシフトハウジング | " | " |
| クラッチハウジング | " | " |
| ファンスペーサー | " | " |
| ディストリビューターハウジング | " | " |
| キャブレターボディー | " | " |
| ウインドコントロール機構 | " | " |
| 配送トラックボディー | 1950年代 | 板、押出し材 |
| トラックキャブ部品 | 1950年代 | 板 |
| ブロワーファン (Chevrolet Corvair) | 1950年代 | ダイカスト |
| 自動トランスミッションステイターブレード | 1950年代 | 押出し材 |
| 燃料ポンプ (A.C. Spark Plug, div GMC) | 1950年代 | ダイカスト |
| ダッシュパネル (Chevrolet) | 1961 | ダイカスト |
| オイルズンプ (VW Audi, British Leyland, Chrysler) | 1960年代 | ダイカスト |
| ギアハウジング | " | " |
| クラッチ、トランスミッションハウジング | " | " |
| GTV 2.5-6 部品 (Alfa Romeo) | 1964 | ダイカスト |
| ホイール (Fiat) | 1967 | ダイカスト |
| シリンダーヘッドカバー | " | " |
| ディストリビューターサポート | " | " |
| オイルフィルターサポート | " | " |
| オイルフェュームエンジンプレサーボディー | " | " |
| オイルポンプトランペット | " | " |
| オイルシール | " | " |
| 6-シリンダークランクケース (Porsche) | 1968 | ダイカスト |
| ディファレンシャルハウジング (Porsche) | 1972 | ダイカスト |
| ギアボックス | " | " |
| カバー | " | " |
| 13×5.5 ホイール(神戸製鋼) | 1972 | ダイカスト |
| Solex キャブレター (Renault 18 Turbo, Fuego) | 1974 | ダイカスト |
| モーターサイクルホイール (Austria) | 1975 | ダイカスト |
| モーターサイクルエンジン部品 (Austria) | 1975 | ダイカスト |
| マニフォールドバキュームコネクター (Chrysler) | 1976 | ダイカスト |
| ホイール (Alfa Romeo Spider Veloce) | 1978 | 低圧鋳造 |
| モーターサイクルフォーク (Suzuki 370) | 1978 | ダイカスト |
| クラッチハウジング (Ford Light Truck) | 1979 | ダイカスト |
| ステアリングコラムロックハウジング | " | " |
| ブレーキ、クラッチペダルブラケット | " | " |
| ウインドウレギュレータシステム | " | " |

| | | |
|----------------------------------|--------|------------------|
| ロッカーシャフトカバー (Peugot) | 1979 | ダイカスト |
| ステアリングコラムハードウエア (Volvo) | 1980 | ダイカスト |
| ブレーキプーリー | " | " |
| エアークリーナーカバー(Chevrolet Corvette) | 1980年代 | ダイカスト |
| グローブボックスドア | 1980年代 | ダイカスト |
| ロッカーアームカバー(Chevrolet Corvette) | 1981 | ダイカスト |
| シフトハンドル (Chrysler) | 1980年代 | ダイカスト |
| エンジンファン (Mercedes Benz) | 1980年代 | ダイカスト |
| オイルポンプ | " | " |
| シリンダーヘッドカバー | " | " |
| エアークリーナーグリル(Pontiac Fiero, GMC) | 1980年代 | ダイカスト |
| ヘッドライトドア | " | " |
| エア、バキュームポンプブラケット (Buick, GMC) | 1982 | ダイカスト |
| パワーステアリングハウジング | " | " |
| 電動 "Delcotron" マウンティングブラケット | " | " |
| マウンティングブラケット | " | " |
| シリンダーヘッドカバー (ホンダ) | 1982 | ダイカスト |
| バルブハウジング (Porsche) | 1980年代 | ダイカストおよび 砂型鋳物 |
| ファン | " | " |
| ファンハウジング | " | " |
| インタークマニフォルド | " | " |
| フロントホイールドライブ | 1980年代 | ダイカスト |
| トランスアクセルケース(VW) | " | " |
| 4輪駆動トランスファーケース (Ford) | 1985 | ダイカスト |
| 冷凍バン用バルクヘッドラック | 1980年代 | 押出し材 |
| ビスコースファンドライブ | 1986 | ダイカスト |
| シリンダーヘッドカバー(Cadillac Alanti) | 1987 | ダイカスト |
| ブレーキ、クラッチペダルサポート(GM-10) | 1988 | ダイカスト |
| 消費者グッズ | | |
| スーツケース (Samsonite) | 1950年代 | 板、押出し材 |
| ブリーフケースフレーム (Samsonite) | 1960年代 | 押出し材 |
| 芝刈機ハウジング (Lawnboy, Searsなど) | 1960年代 | ダイカスト |
| 車椅子ホイール | 1980年代 | ダイカスト |
| 電動車椅子駆動ホイール | 1986 | ダイカスト |
| 電気工業 | | |
| ラジオ部品、ハウジング | 1930年代 | ダイカスト |
| スイッチボックス | 1930年代 | ダイカスト |
| トランスハウジング、カバー | 1930年代 | |
| 電動機ハウジング | 1930年代 | ダイカスト |
| スピーカーフレーム | 1972 | ダイカスト |
| マルチチャンネル携帯無線電話ハウジング | 1977 | ダイカスト |
| ヒートシンク | 1980年代 | ダイカスト |
| ステレオトーンアーム | 1985 | ダイカスト |
| 照明器ハウジング、グリル | 1985 | ダイカスト |
| 家庭用品 | | |
| 真空掃除機エンペラー | 1930年代 | ダイカスト |
| 調理用天秤ハウジング | 1930年代 | ダイカスト |
| マシン部品 | 1930年代 | 鋳物 |
| はしご | 1940年代 | 押出し材 |
| 折りたたみ椅子 | 1940年代 | ダイカスト |
| 棚受け | 1978 | ダイカスト |
| 電動ナイフハンドル | 1979 | ダイカスト |

| | | |
|---|--------|-----------|
| 機械工具および設備 | | |
| ドリルプレスヘッド | 1930年代 | 鋳物 |
| ミリングマシンヘッド | 1930年代 | 鋳物 |
| 電動モーターハウジング | 1930年代 | 鋳物 |
| Rammers, 道路突固機 | 1930年代 | 鋳物 |
| 空気圧ハンマー | 1950年代 | 鋳物 |
| はしご, 足場 | 1950年代 | 押出し材 |
| プリンティングベース | 1960年代 | ダイカスト |
| 振動試験装置部品 | 1960年代 | 各種 |
| コインテレフォンハウジング (SEL) | 1972 | ダイカスト |
| バイブレーションテーブル | 1976 | 砂型鋳物 |
| 鋳造用中子ボックス(USSR) | 1978 | 砂型鋳物 |
| マテリアルハンドリング設備 | | |
| 土砂運び | 1940 | 鋳物 |
| ブリックトング | 1940年代 | 鋳物 |
| プラットフォームトラック | 1940年代 | 板、厚板、押出し材 |
| キャンフォーク | 1950年代 | 押出し材 |
| ハンドトラック | 1950年代 | 押出し材、鋳物 |
| パン用棚 | 1950年代 | 板、押出し材 |
| ドックボード | 1950年代 | 板、押出し材 |
| 穀物シャベル | 1950年代 | 板、押出し材 |
| ヤードランプ | 1950年代 | 板、押出し材 |
| ロールコンベイヤー、携帯用 | 1950年代 | 押出し材 |
| アプライアンストラック | 1960年代 | 押出し材 |
| 雑 | | |
| ガス冷却型原子炉封缶材 | 1950年代 | 押出し材、鋳物 |
| L.B.ジョンソン図書館の壁画 | 1971 | 板 |
| パーソナル潜水服 | 1972 | 鋳物 |
| 窓ヒンジ | 1977 | ダイカスト |
| 車椅子ホイール | 1978 | ダイカスト |
| 海水電池 | 1980 | 板 |
| 人工衛星アンテナフィードフーン | 1985 | ダイカスト |
| オフィスマシーンおよび設備 | | |
| タイプライターフレーム | 1930年代 | ダイカスト |
| 現金出納機フレーム、ハウジング | 1930年代 | ダイカスト |
| 計算機フレーム | 1930年代 | ダイカスト |
| 鉛筆削り | 1930年代 | 押出し材 |
| あて名印刷器フレーム | 1930年代 | ダイカスト |
| タイプライターロール | 1930年代 | 押出し材 |
| 店頭用天秤部品 | 1930年代 | 鋳物 |
| 簿記マシーン部品 | 1930年代 | 鋳物 |
| ディクテーティングマシーン (Sound Scribe, Dictaphone) | 1950年代 | ダイカスト |
| テープリール | 1950年代 | 板、押出し材 |
| メモリーディスク | 1960年代 | 板 |
| タイプライターキャリッジ | 1960年代 | 押出し材 |
| 複写機ハウジング(3M) | 1972 | ダイカスト |
| ディスクドライブキャリッジ | 1980年代 | ダイカスト |
| プリンターキャリッジ | 1980年代 | ダイカスト |
| パソコンハウジング | 1982 | ダイカスト |
| リボンリフト、コンピュータプリンター | 1985 | ダイカスト |
| 光学機器 | | |
| オペラグラス | 1930年代 | ダイカスト |

| | | |
|------------------|--------|---------|
| スピンドル | 1930年代 | 鋳物、押出し材 |
| たて糸巻き | 1930年代 | 鋳物、押出し材 |
| ニッティングバー | 1930年代 | |
| さばき (picker) | 1930年代 | |
| シャトル | 1930年代 | 鋳物 |
| 針ざお | 1930年代 | |
| 編み機用ファブリックチューブ | 1940年代 | 押出し材 |
| ハーネスフレーム | 1940年代 | 押出し材 |
| レイビーム (lay beam) | 1940年代 | 押出し材 |
| たて糸巻き | 1950年代 | 押出し材、鋳物 |
| ボビン、パーン(横糸管) | 1950年代 | 鋳物 |
| 携帯工具 | | |
| ハウジング、電動ハンドドリル | 1930年代 | ダイカスト |
| 鋳造用フラスコ、底板 | 1940年代 | 砂型鋳物 |
| セーフティトング | 1940年代 | 鋳物 |
| コンクリート仕上げ工具 | 1940年代 | 押出し材、板 |
| ハウジング、携帯回転のこ | 1950年代 | ダイカスト |
| アルコール水準器 | 1950年代 | 鋳物、押出し材 |
| チェーンソ部品 | 1950年代 | ダイカスト |
| コンクリートバケツ | 1960年代 | 板、押出し材 |
| 建築用ステップラー | 1970年代 | ダイカスト |
| ジグ、フィクスチャー、工具 | 1982 | プレート |
| 工具プレート | 1950年代 | プレート |

| Magnesium Applications | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 |
|--|------|------|------|------|------|
| Console Door & Latch | | | | | |
| Harman - Lt. Truck Mirror Bracket | | | | | |
| Steering Column Hub (Automatic) | | | | | |
| Steering Column Hub (Manual) | | | | | |
| Steering Column Lock Housing (Tilt) | | | | | |
| Steering Column Shell Housing (Tilt) | | | | | |
| Steering Column Shell Housing (Fixed) | | | | | |
| Jeep - "ZJ" Alternator/AC Bracket | | | | | |
| Jeep - "MJ, XJ, YJ" Alt. Bracket | | | | | |
| Jeep - 2.5L "XJ, YJ" Alt. Bracket | | | | | |
| Jeep - 4.0L "ZJ, YJ" Alt. Bracket | | | | | |
| Jeep - P/S Pump Bracket | | | | | |
| Viper - V10 Valve Cover | | | | | |
| Viper - V10 Pwr. Strg. Pump Bracket | | | | | |
| Viper - V10 Alt. Idler Bracket | | | | | |
| Viper - Front Headlamp Retainer | | | | | |
| L/H - Steering Column Bracket | | | | | |
| P/L - Lock Housing | | | | | |
| P/L - Adapter "EA" Pivot | | | | | |
| T300 Truck - V10 Valve Cover | | | | | |
| T300 Truck - Steering Column Bracket | | | | | |
| P/L - Steering Wheel Armature | | | | | |
| T450 Truck - V10 Valve Cover | | | | | |
| T450 Truck - Steering Column Bracket | | | | | |
| N/S - Brake Bracket Asm. | | | | | |
| N/S - Passenger Side Airbag Housing | | | | | |
| N/S - Steering Col. Lower Bearing Housing | | | | | |
| N/S - Steering Col. Upper Mounting Bracket | | | | | |
| N/S - Steering Column Tilt Head | | | | | |
| N/S - Center Stack (RHD) | | | | | |
| N/S - Left Side Stack (RHD) | | | | | |
| N/S - Right Side Stack (RHD) | | | | | |
| N/S - Captain's Chair Seat Base | | | | | |
| N/S - ABS Brake System Bracket | | | | | |

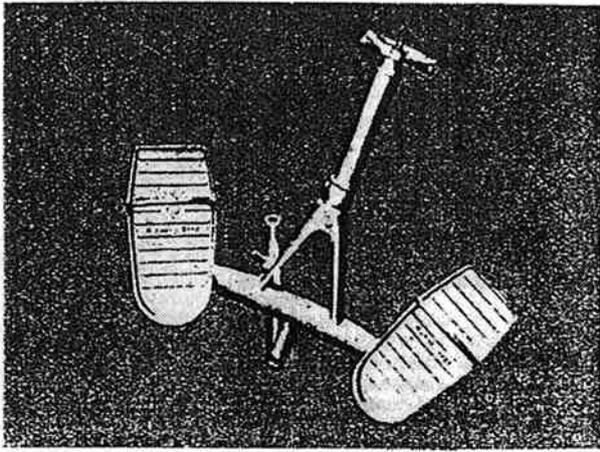
図1 クライスラー社のマグネシウム部品採用状況推移

| Magnesium Applications | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 |
|---|------|------|------|------|------|
| Mustang - Ashtray Door | | | | | |
| Ranger - 3.0L Clutch Housing | | | | | |
| Bronco - Console Support Bracket | | | | | |
| Ranger - Brake Pedal Bracket | | | | | |
| Aerostar - Brake Pedal Bracket | | | | | |
| Dana, Aerostar - 4WD Transfer Case | | | | | |
| Explorer - Brake Pedal Bracket | | | | | |
| B-W 1356 F-Series - 4WD Transfer Case | | | | | |
| Explorer - Console Support Bracket | | | | | |
| 3.8L V6 Valve Cover | | | | | |
| Pass Car - "PR" S/C Actuator Housing | | | | | |
| Pass Car - "PR" S/C Lock Housing | | | | | |
| Lt. Truck - "PR" S/C Actuator Housing | | | | | |
| Lt. Truck - "PR" S/C Lock Housing | | | | | |
| Mondeo - Steering Col. Bracket Asm. (Upper) | | | | | |
| Mondeo - Steering Col. Mounting Bracket | | | | | |
| Mondeo - Steering Col. Bearing (Outer) | | | | | |
| Pass Car - Steering Col. Housing (Fixed) | | | | | |
| Pass Car - Steering Col. Housing (Tilt) | | | | | |
| Lt. Truck - Steering Col. Lock Cylinder (Lower) | | | | | |
| Lt. Truck - Steering Col. Tube (Upper) | | | | | |
| Tempo/Topaz - Window Motor Housing | | | | | |
| Mark VIII - Amplifier Housing (Top) | | | | | |
| Mark VIII - Amplifier Housing (Bottom) | | | | | |
| 5.8L V8 - Engine Manifold Cover | | | | | |
| Windstar - Brake & Accel. Pedal Bracket | | | | | |
| Windstar - Bench Seat Supports | | | | | |
| Windstar - Steering Wheel Armature | | | | | |
| Mustang - Steering Col. Lower Bearing Retainer | | | | | |
| Mustang - Radio Housing | | | | | |
| Corporate "PR" Steering Col. Bearing Cap | | | | | |
| Lt. Truck - "PR" Steering Col. Actuator Housing | | | | | |
| Lt. Truck - "PR" Steering Col. Lock Housing | | | | | |
| Lt. Truck - Clutch & Brake Pedal Bracket | | | | | |
| Crown Vic - Steering Col. Lower Bearing Ret. | | | | | |
| Crown Vic - Steering Col. Lower Actuator | | | | | |
| Explorer - Steering Wheel Armature | | | | | |
| Continental - Steering Wheel Armature | | | | | |
| Mondeo - Steering Wheel Armature | | | | | |
| Mark VIII - Steering Wheel Armature | | | | | |
| T'Bird/Cougar - Steering Wheel Armature | | | | | |
| Taurus - Steering Wheel Armature | | | | | |
| Continental - I/P Brace | | | | | |
| 6.8L V8 Modular Engine - Valve Covers | | | | | |
| 1.9L V8 Engine - Valve Cover | | | | | |
| 5.0L V8 Engine - Valve Cover | | | | | |
| Mustang Cobra - Driver's Side Seat Base | | | | | |
| B-W 4405/Explorer - 4WD Transfer Case | | | | | |
| B-W 4407/HD96 - 4WD Transfer Case | | | | | |
| Corporate - Seat Adjuster Transmission | | | | | |

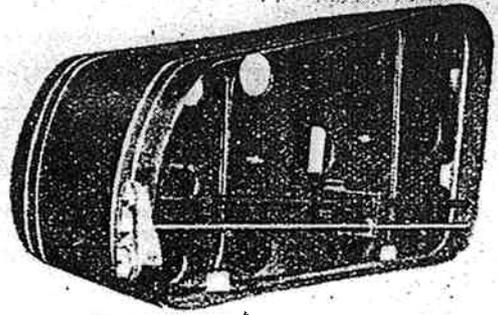
図2 フォード社のマグネシウム部品採用状況推移

| Magnesium Applications | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 |
|---|------|------|------|------|------|
| Allanté - Valve Cover | | | | | |
| Allanté - Oil Filter Adapter | | | | | |
| Cadillac - V8 Engine Valve Cover | | | | | |
| Cadillac - V8 Engine Oil Filter Adapter | | | | | |
| Cadillac - "E/K" Steering Column Shroud | | | | | |
| W-Car - Brake Pedal & Steering Col. Bracket | | | | | |
| Corporate - EGR Valve Plate | | | | | |
| Corvette - LT5 Engine Clutch Housing | | | | | |
| Hydramatic - F4 A/T 14 Blade Stator | | | | | |
| Hydramatic - F4 A/T 18 Blade Stator | | | | | |
| Hydramatic - F4 A/T Reverse Clutch Piston | | | | | |
| Northstar Engine - Upper Inlet Manifold | | | | | |
| Northstar Engine - Lower Inlet Manifold | | | | | |
| Northstar Engine - Cam & Valve Covers | | | | | |
| Northstar Engine - Oil Filter Adapter | | | | | |
| Northstar Engine - Appliques | | | | | |
| Riviera - Steering Column Bracket | | | | | |
| Park Avenue - Lower Knee Bolster Retainer | | | | | |
| Lumina Van - Steering Col. Support Bracket | | | | | |
| Saturn - Steering Wheel Armature | | | | | |

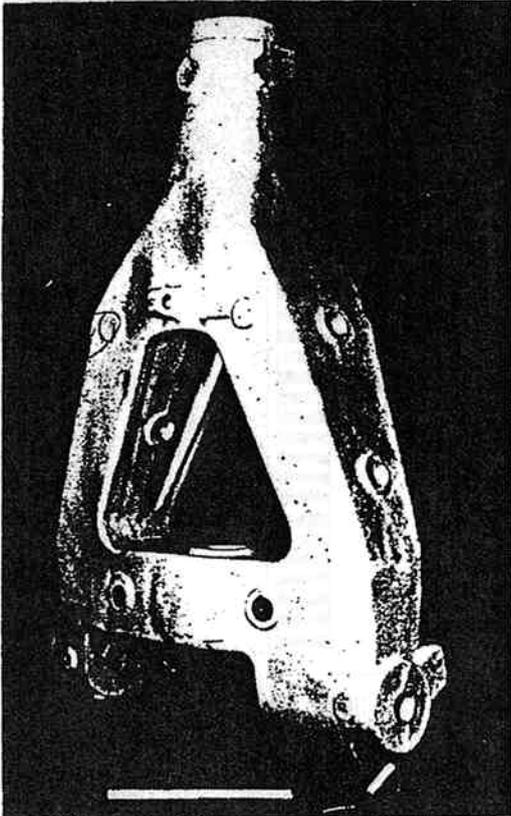
図3 GM社のマグネシウム部品採用状況推移



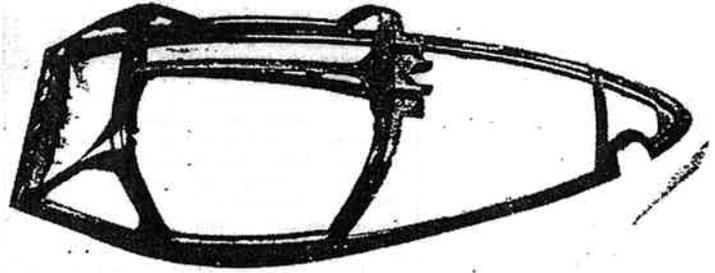
航空機操舵ペダル (1930年代)



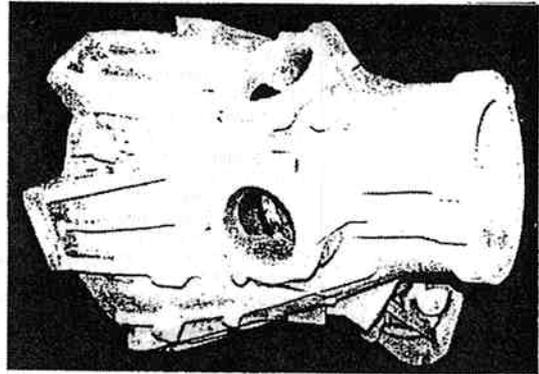
航空機用ガソリンタンク (1930年代)



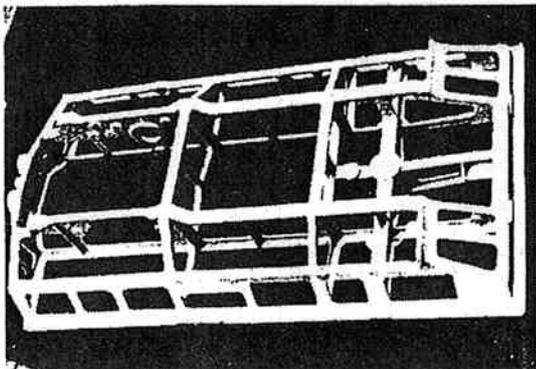
着陸用装置 (英国、Z5Z、重量 115 kg)



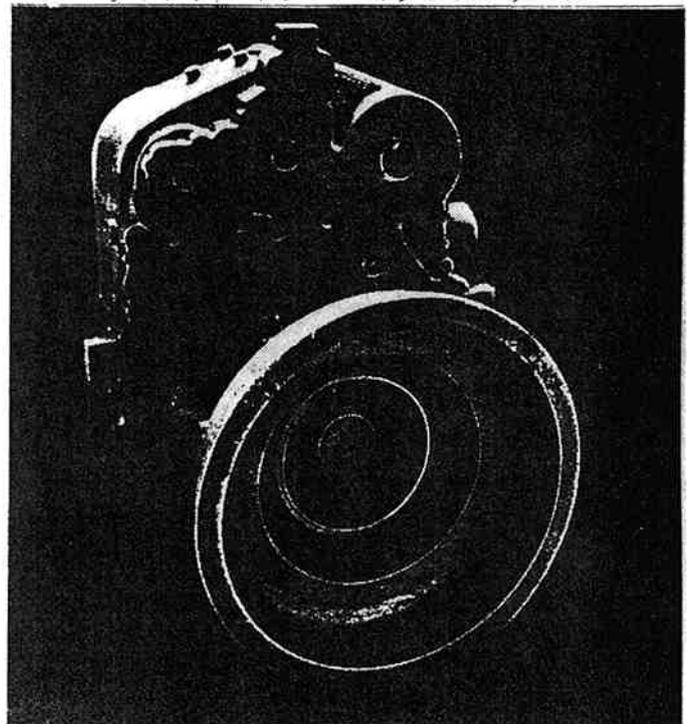
コックピット風防フレーム (英国、RZ5)



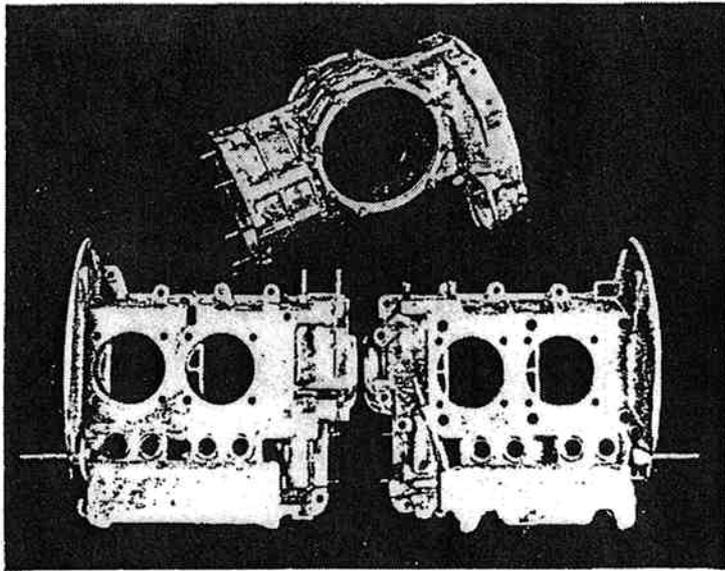
ヘリコプタートランスミッションケース



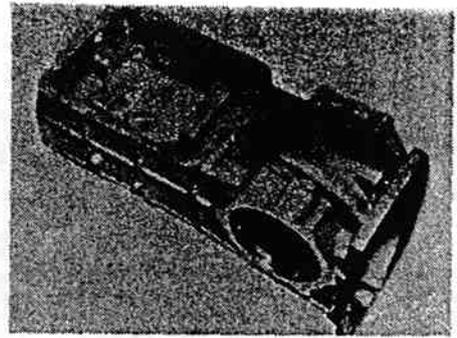
コックピットコントロールパネル
(民間機、RZ5 砂型鋳物、長さ 1.5 m)



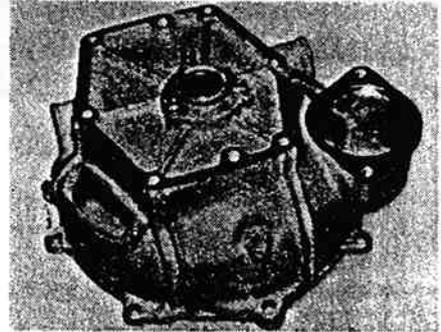
Garrett TPE331, TPE-331-14 & -15、ギアボックス
(1985, QE22A 砂型鋳物)



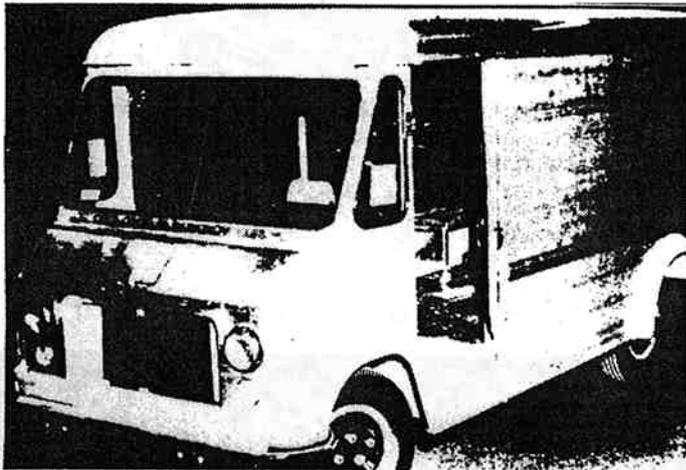
トランスミッションハウジング、
クランクケース (VW,1936)



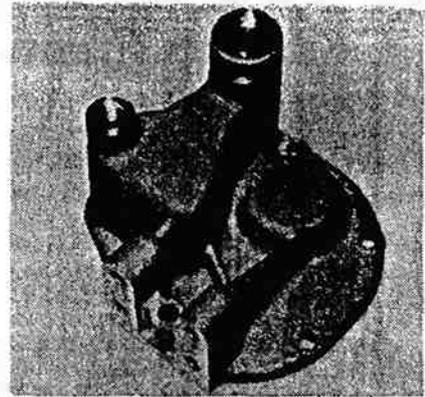
a) トランスミッションケースAZ91



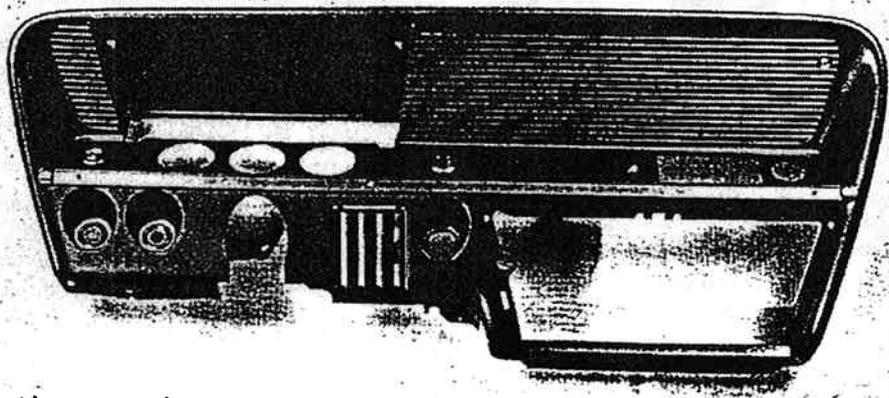
b) クラッチハウジングAZ63



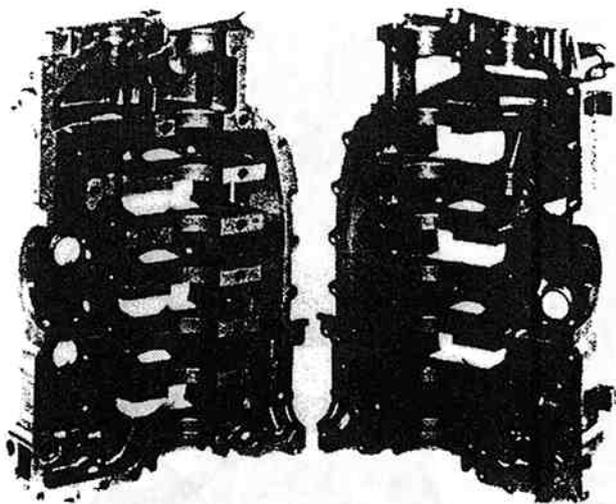
配送トラックボディー (AZ31B、1950年代)



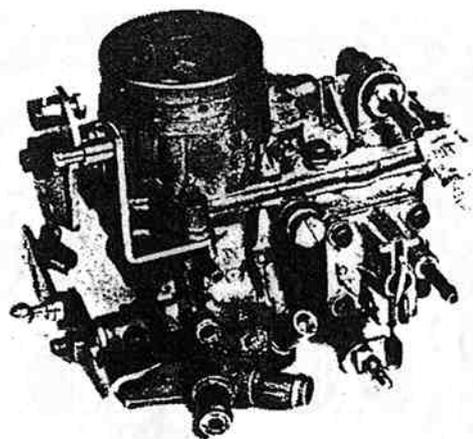
c) フロントカバーAZ91
マツダクーペ部品(1962)



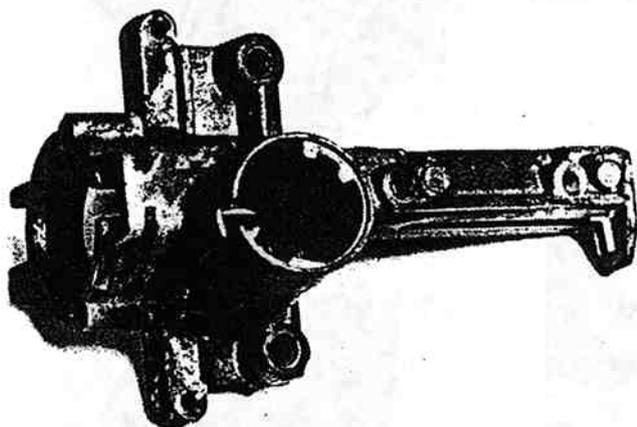
ダッシュパネル (Chevrolet,1961)



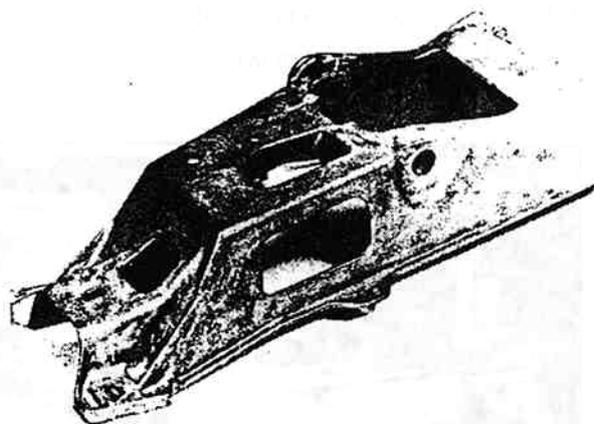
6-シリンダークランクケース (Porsche)



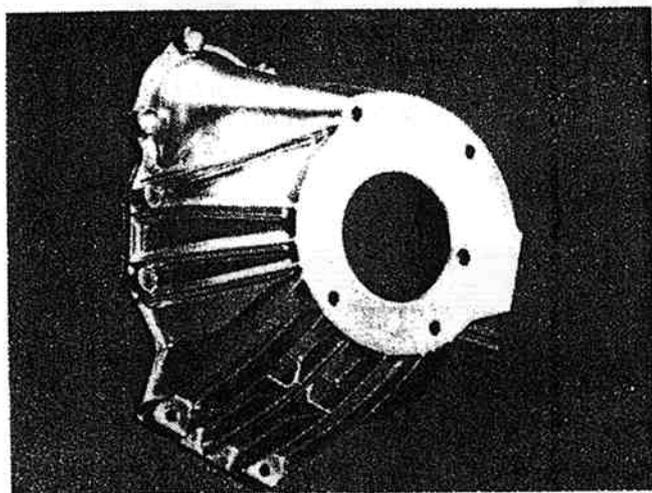
キャブレター (Renault 18 Turbo, Solex, 1974, AZ91B)



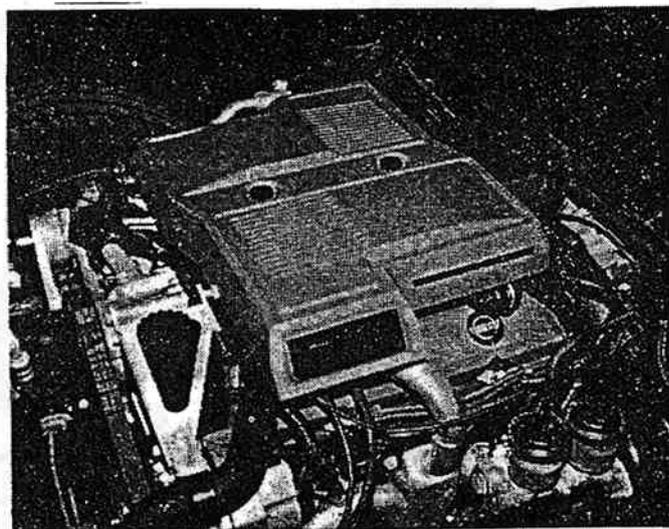
ステアリングコラムロックハウジング (AZ91B)



ブレーキおよびクラッチペダルブラケット (AZ91D)



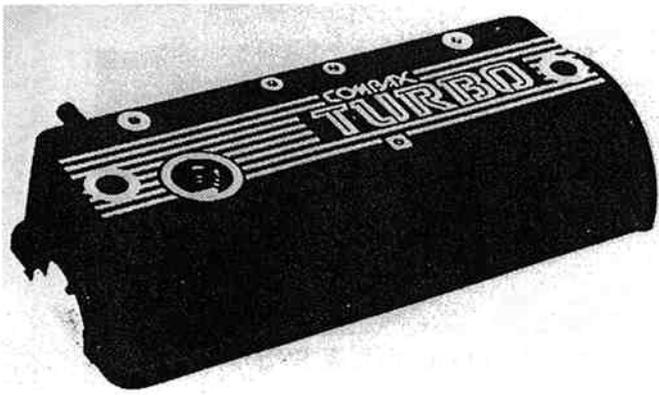
クラッチハウジング (AZ91HP, 1979)



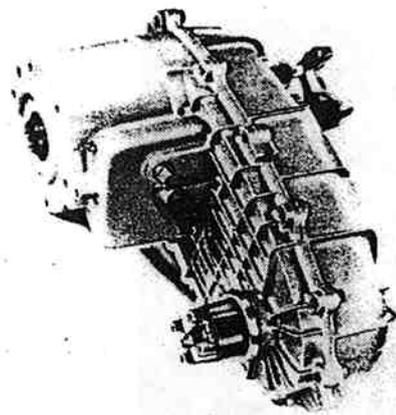
エアークリーナーカバー (Chevrolet Corvette, 1982)



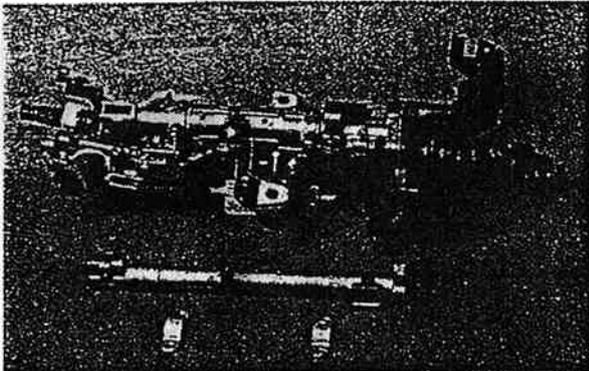
エアークリーナーカバー (Chevrolet Corvette, 1982)



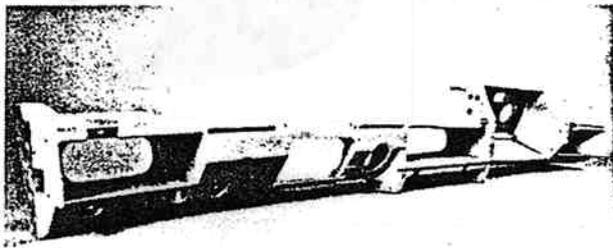
シリンダーヘッドカバー (ホンダ,AZ91B)



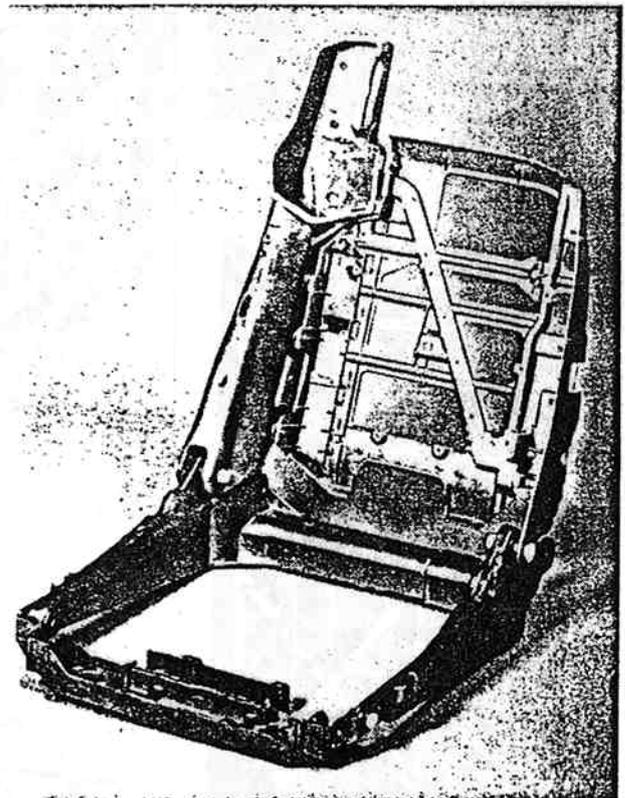
4輪駆動トランスファーケース



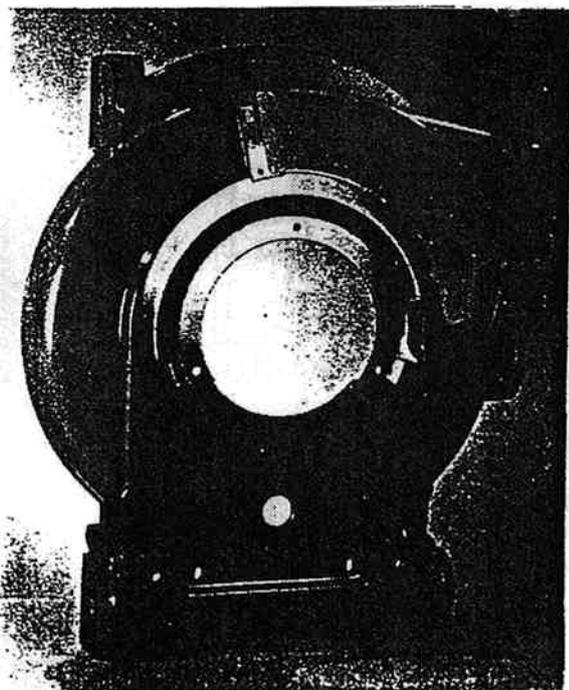
ステアリングコラムアセンブリー (Ford, AZ91D)



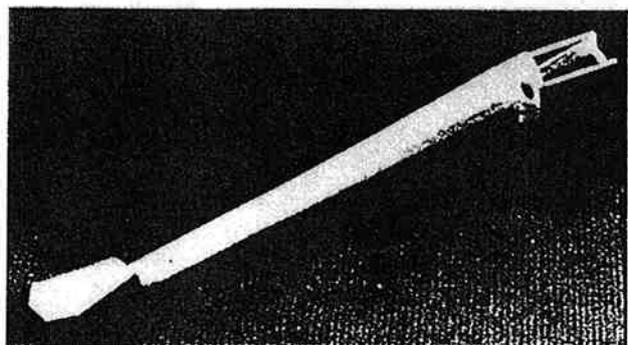
インスツルメントパネル (AM50)



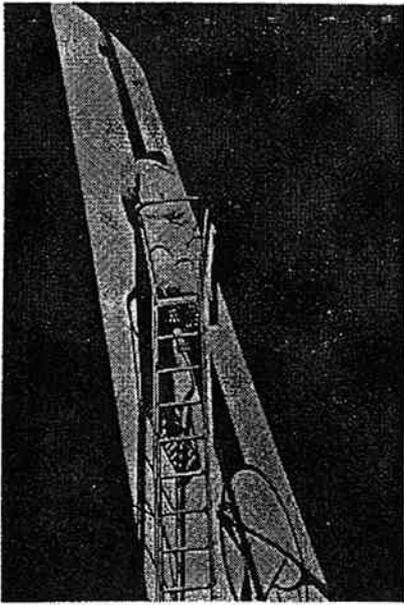
自動車用シートフレーム



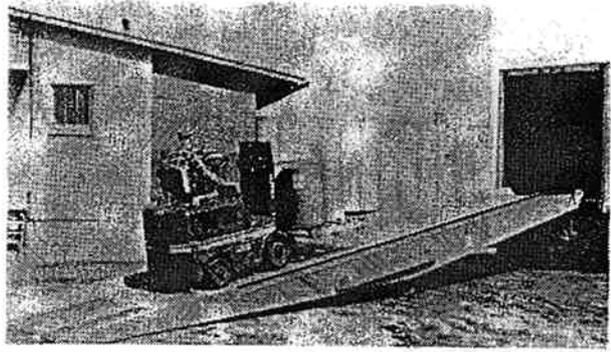
芝刈機ハウジング (Lawnboy, Sears など)



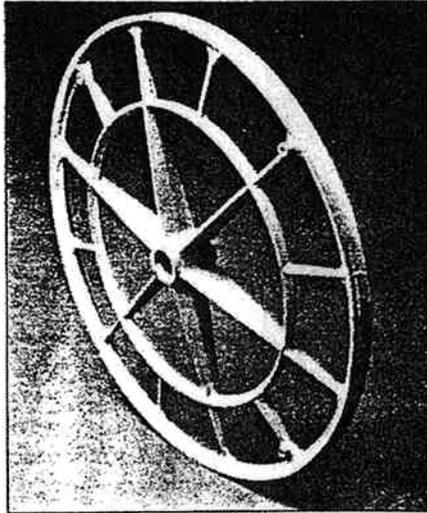
ステレオトーンアーム (1985)



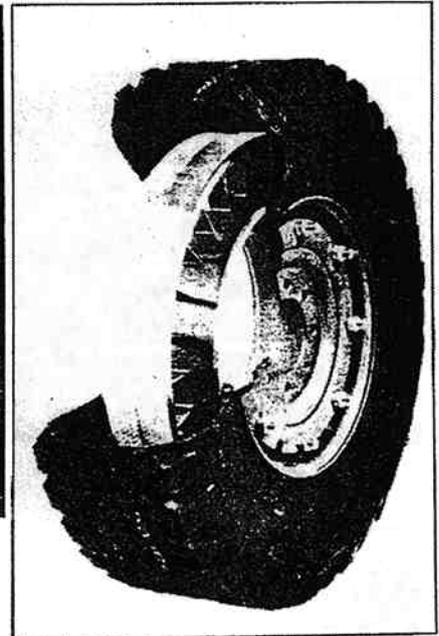
組立用梯子 (1965年)



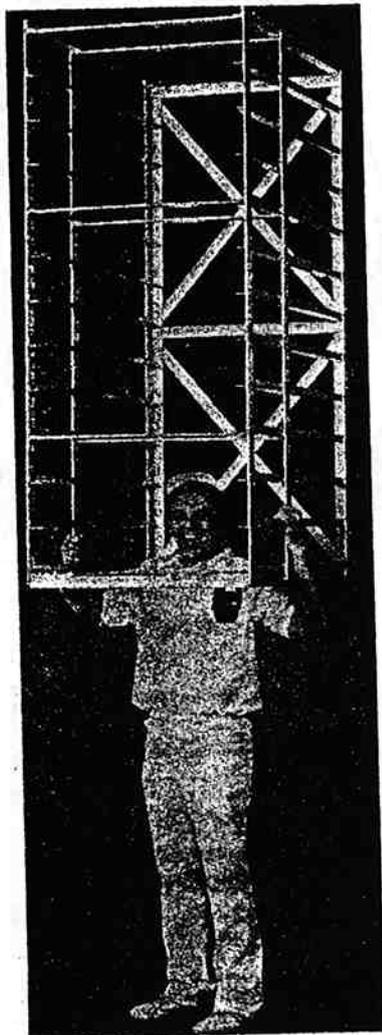
ドックボード (1950年代,板,押出し材)



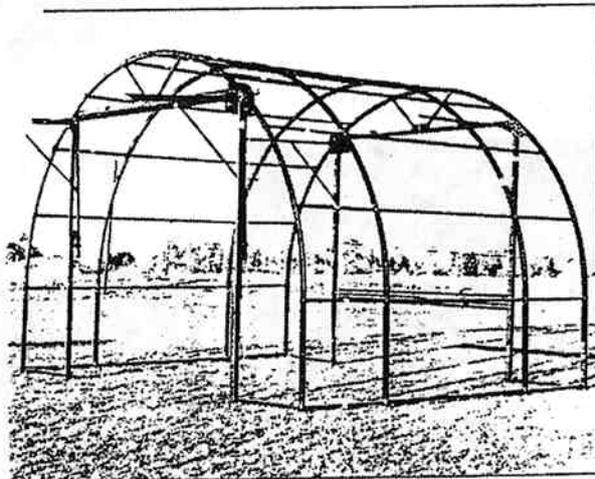
車椅子ホイール



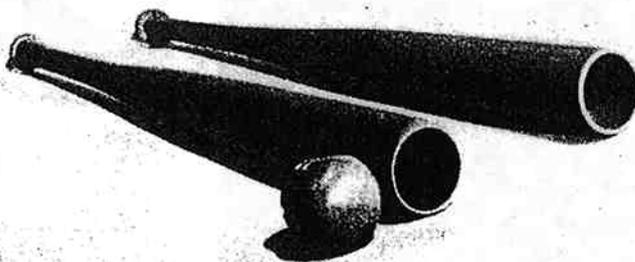
HMMWV ランプラットmgホイール
(1986, AM60)



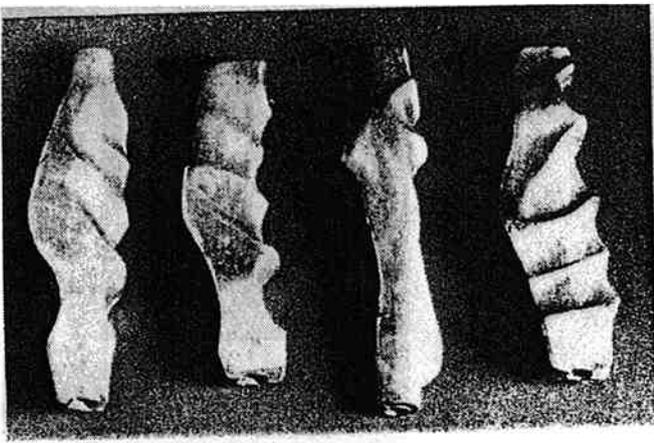
パン用棚 (AZ31,AZ20)



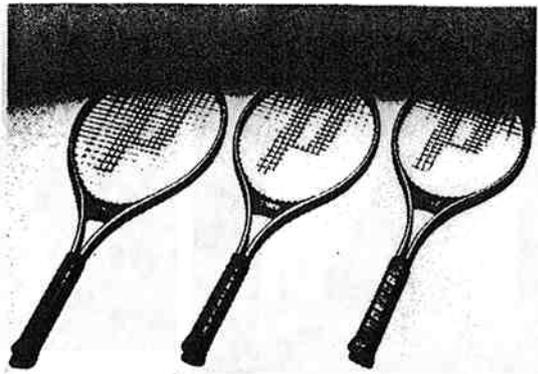
車両修理用シェルター構造 (1986,押出し材)



ソフトボール用バット (AZ71)



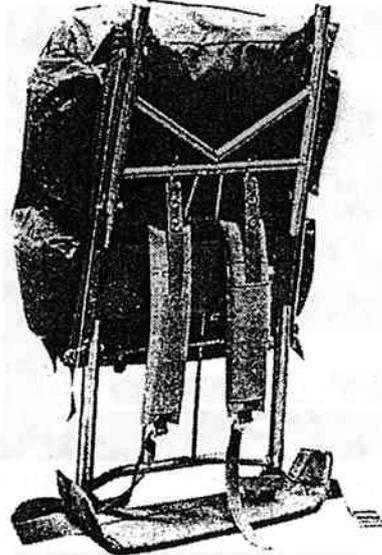
アーチェリーボアハンドル



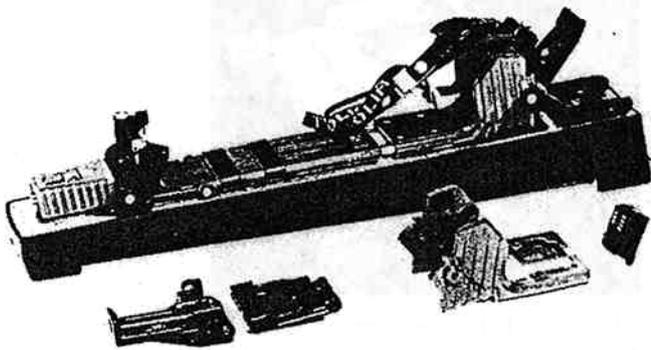
テニスラケット (ZK60A 押し出し材)



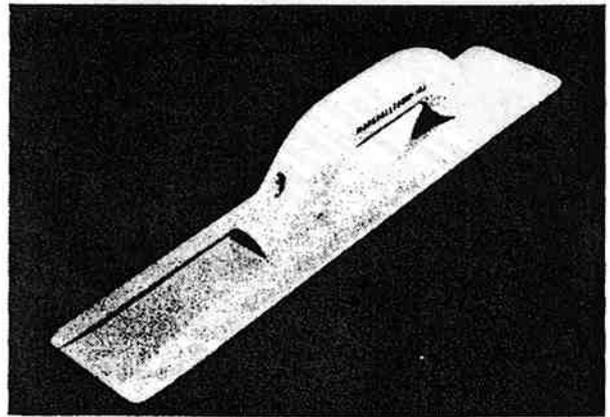
フライフィッシングリール (AZ81/91B)



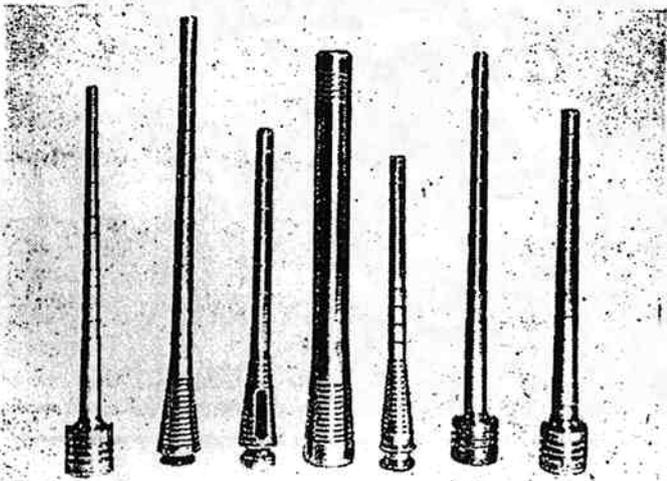
背負い子



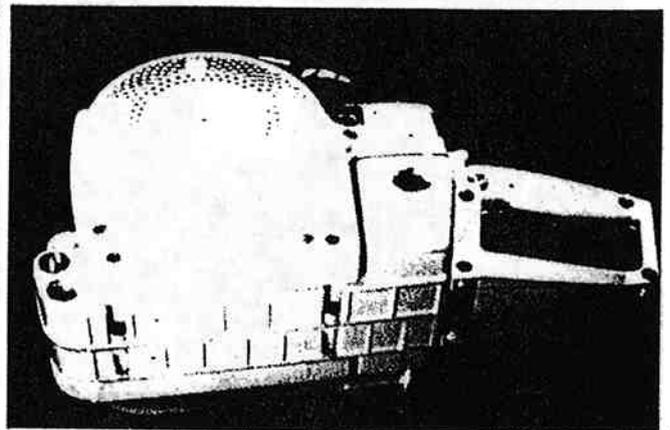
スキーバインディング (AZ81/91B)



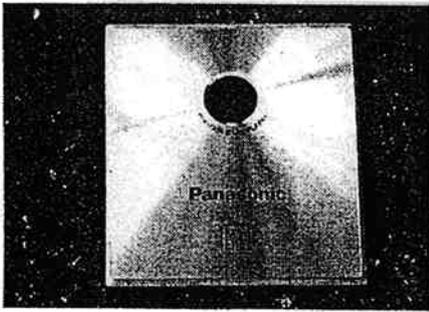
コンクリート仕上げ工具



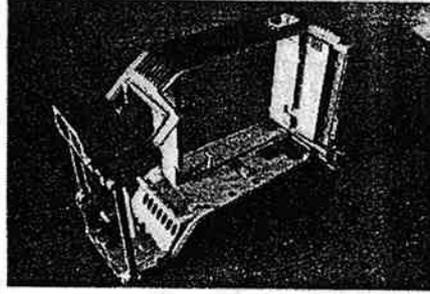
パーン (横糸管)



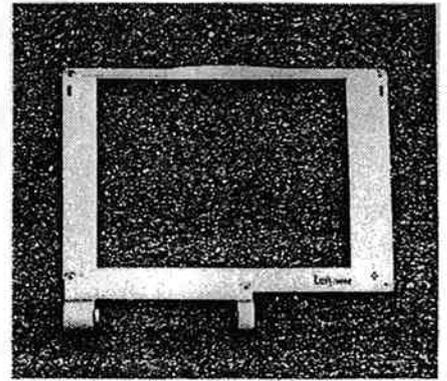
チェーンソ部品



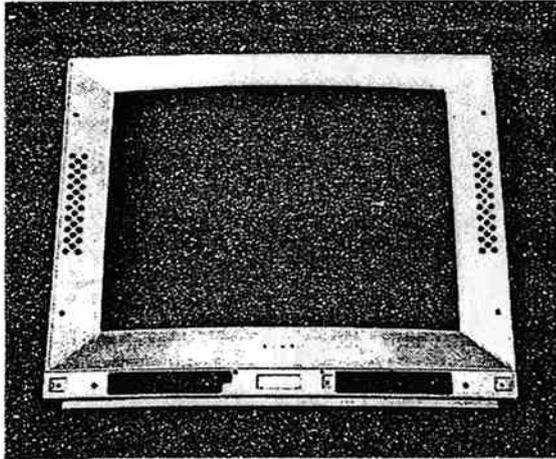
MD プレーヤーディスクのふた



ビデオカメラ筐体 (AZ91D)



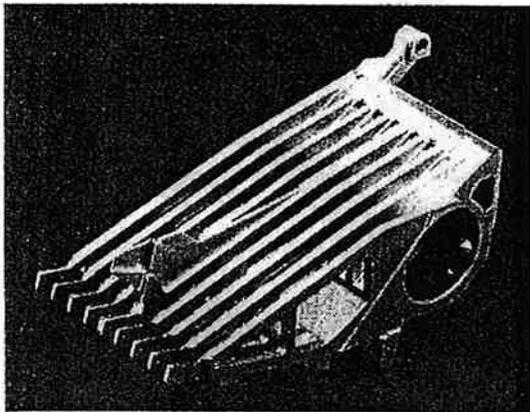
パソコン LCD フロント (AZ91D)



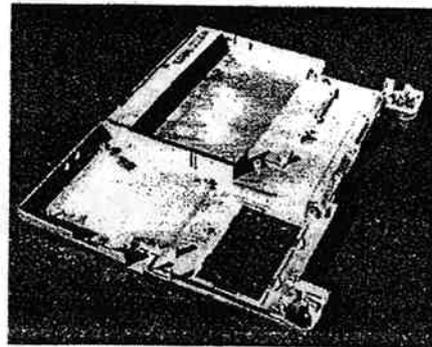
テレビのフロントキャビネット (AZ91D)



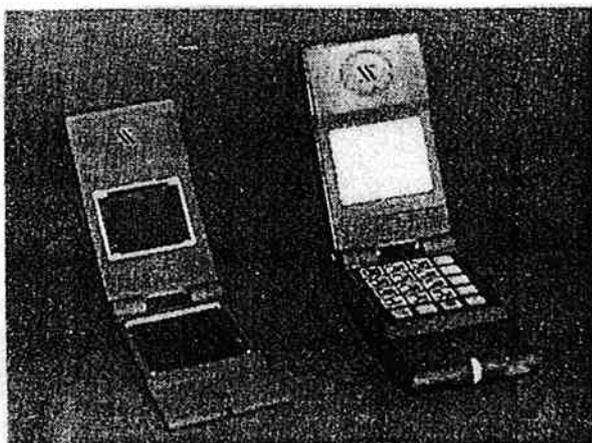
ビデオプロジェクターカバー (AZ91D)



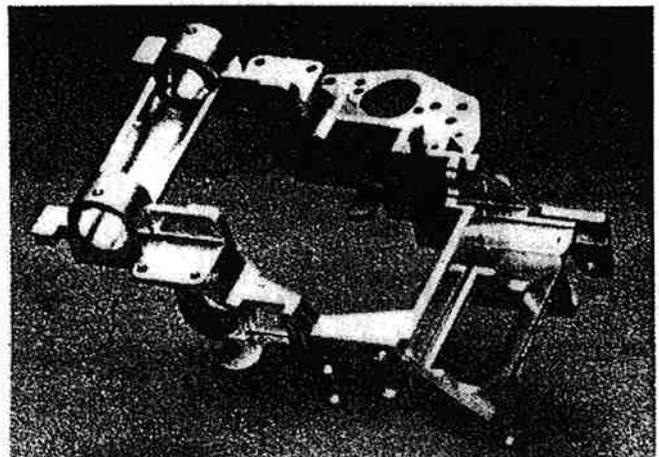
コンピュータ用スイングアーム



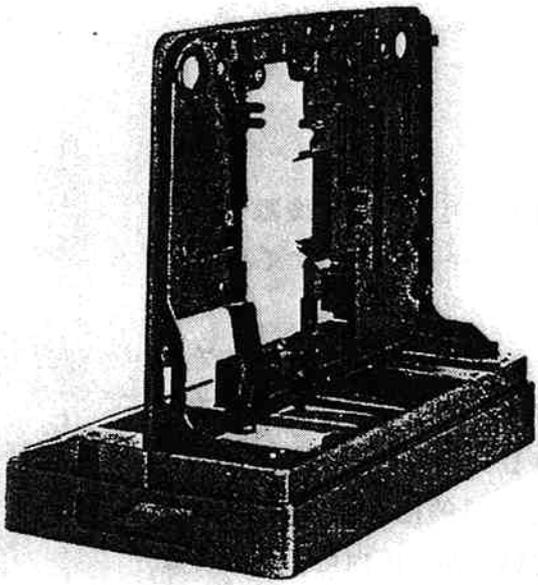
パソコンボトムフレーム (AZ91D)



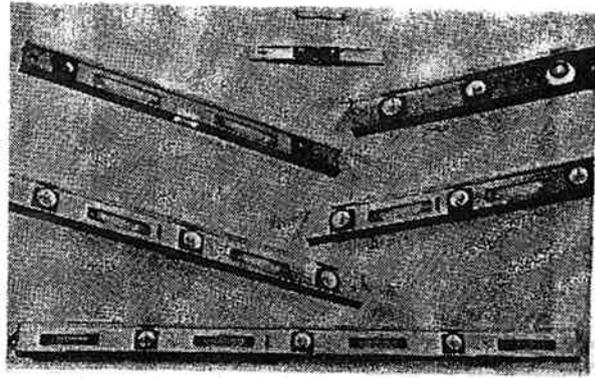
携帯電話筐体



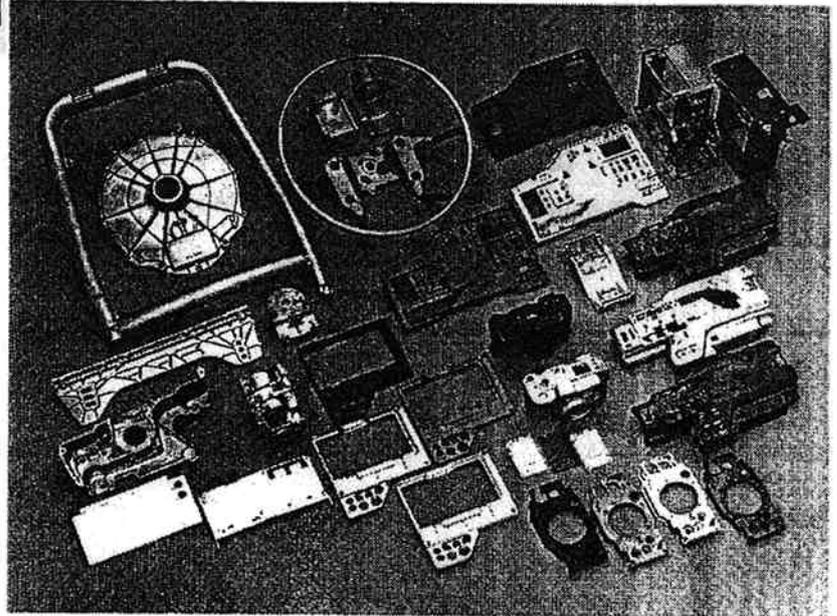
プリンターキャリッジ



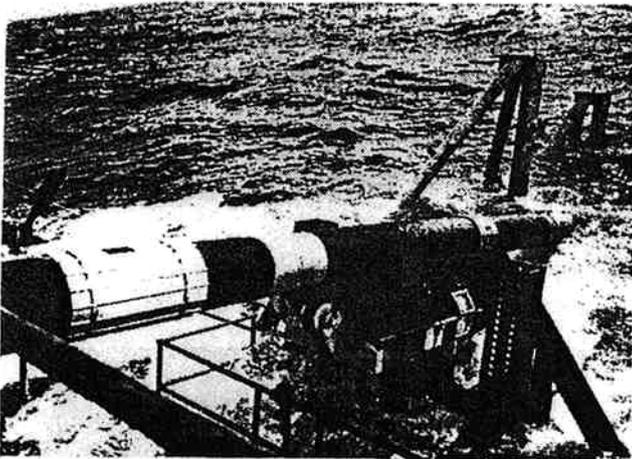
映写機



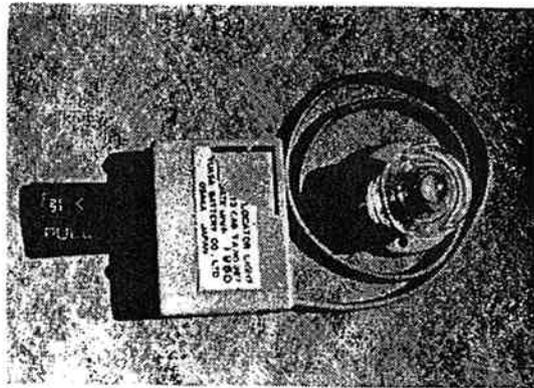
アルコール水準器



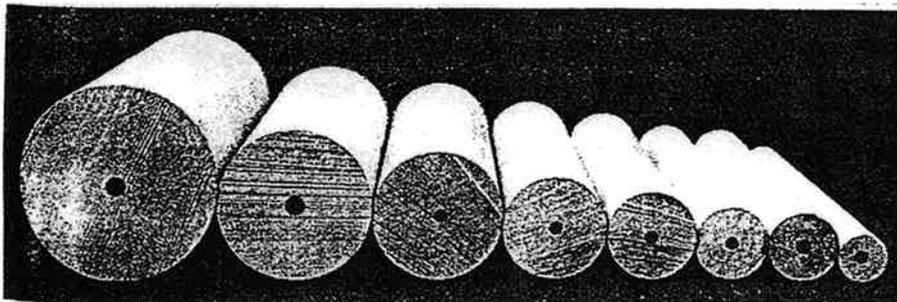
チクソモルディングによる各種部品



海底パイプラインの接合部
アスファルトの型枠（押し出し材）



海水電池



犠牲陽極棒

1 1. おわりに

ここ数年、環境対策や省エネルギー対策、更には安全性の向上などから情報機器や AV 機器のダウンサイジングを背景として、剛性や熱伝導性、電磁波シールド性にすぐれたマグネシウム合金の製品への適用が拡大している。

世界のマグネシウム需要のおよそ 85%は、アルミニウム合金添加材・脱硫剤・マグネシウム合金ダイカストの3分野で占められている。なかでもマグネシウム合金ダイカストの需要は近年増加の一途にある。マグネシウム需要総量に占めるダイカスト需要は1992年に13%であったのに対して1998年には30%に達し、量的にも3倍以上の需要増となっている。国内においても世界と同様の傾向を示しているが、国内における特徴として、需要の牽引役となっているのは携帯情報機器や携帯 AV 家電製品のマグネ化であることが挙げられる。これに対し自動車分野への適用においては、欧米と比較してやや遅れぎみであった。しかし、京都会議に代表される環境問題の高まりを背景として、軽量化による CO₂ 削減ならびに素材のリサイクル性の観点からマグネシウム合金の採用が始まっている。このように急伸してきたマグネシウム合金ダイカストの需要は新たなフェーズを迎えようとしており、マグネシウム化を促進するための契機となる新たな技術提案が期待されている。

今回のマニュアルの取りまとめに当たり、マグネシウムの成形加工に必要な関連技術についても分かり易く解説した。

マグネシウム材料の加工については、金属材料としてアルミニウムより一歩進んだ軽量化用途のほか、プラスチック代替をにらんだ新規参入も活発に続いており、現在はマグネシウム材料の基盤を整備する好機であり、技術開発指針の参考となるべく資料の蓄積が望まれている。このマニュアルが、多少なりとも関係各位の参考になれば幸甚である。

この様なマニュアルのとりまとめの機会をご提供いただいた中小企業総合事業団並びにご関係の皆様にお礼申し上げます。

平成11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-
「マグネシウム合金のダイカスト鑄造・射出成形に係る
技術・技能マニュアル」

発行 中小企業総合事業団 情報・技術部 技術振興第二課
〒105-8453
東京都港区虎ノ門3-5-1 虎ノ門37森ビル
TEL 03-5470-1523 FAX 03-5470-1526

無断転載を禁ずる

Copyright © 2000 中小企業総合事業団 All right reserved.

※このマニュアルは、社団法人日本アルミニウム協会の協力を得て
中小企業総合事業団が作成いたしました。



中小企業総合事業団

〒105-8453東京都港区虎ノ門3-5-1 虎ノ門37森ビル

☎03-5470-1523

情報・技術部

事業団ホームページURL <http://www.jasmec.go.jp/>