

カムプラストメータによる6063合金の 熱間押し加工と機械的性質

小 林 義 一*

1. 緒 言

6063合金の熱間押し加工を行なうにあたり問題となるのは、押し加工性の改善および得られた押し材の機械的性質が適当であるかということにあると思われる。この両者すなわち押し加工性を向上させることと押し材の機械的性質を向上させることは相反する性質を示し、たとえば鋳塊を均質化処理後炉中冷却したり、鋳塊の合金元素の量を少なくすることは押し加工性の向上という立場からすれば良い効果を示すが、逆に押し材の機械的性質は著しく低下する。そこでこの両者を考えあわせて最適な条件を見出す必要がある。

押し加工性の良否は押し可能な荷重を加えたときに押し速度をどれだけ向上させることができるかという問題であるが、一般には押し可能な最高押し圧力が低いほど押し速度が上昇するので、この最高押し圧力の大小をもって押し加工性を知る目安とする場合が多い。熱間押し加工の場合には、この最高押し圧力におよぼす因子は、押し温度、加工度、押し速度、ダイスの形状、潤滑剤の有無、鋳塊の化学成分と熱処理など非常に多くあり、これを理論的に導くことは非常に困難である。そこで個々の因子が押し圧力におよぼす影響を実験的に求めて、これらを総合して最高押し圧力に関する実験式を導いている⁽¹⁾⁽²⁾。一方押し材の機械的性質は Mg と Si の量、鋳塊の均質化処理、押し条件および押し後の熱処理などによって大きく影響されるが、6063合金が多量に使用されているわりにはこれらの点に関する報告は少ない⁽³⁾。そこで筆者はこれらの点に関する基礎的研究を進めており、すでに押し速度が比較的遅い場合についての結果を報告した⁽⁴⁾⁽⁵⁾。しかし押し速度が速くなると材料の変形抵抗が変化することや加工中に発生する熱が多くなることなどの影響により、押し加工性や押し材の機械的性質も当然変化すると思われるので、今回はカムプラストメータを利用して実際現場操業に近い押し速度のもとに、Mg と Si の量を種々変えた6063合金の熱間押し加工を行ない、そのときの押し圧力を調べ、あわせて押し材の機械的性質を調べて、低速押しの場合と比較検討した。

2. 試料の調製と実験方法

2-1 試料の作成

試料としては化学成分の押し加工性および機械的性質におよぼす影響をみるために、Si 0.2, 0.35および0.5%, また Mg 0.2, 0.5および0.8%を組み合わせた9種類の合金を作成した。

*機械工学科

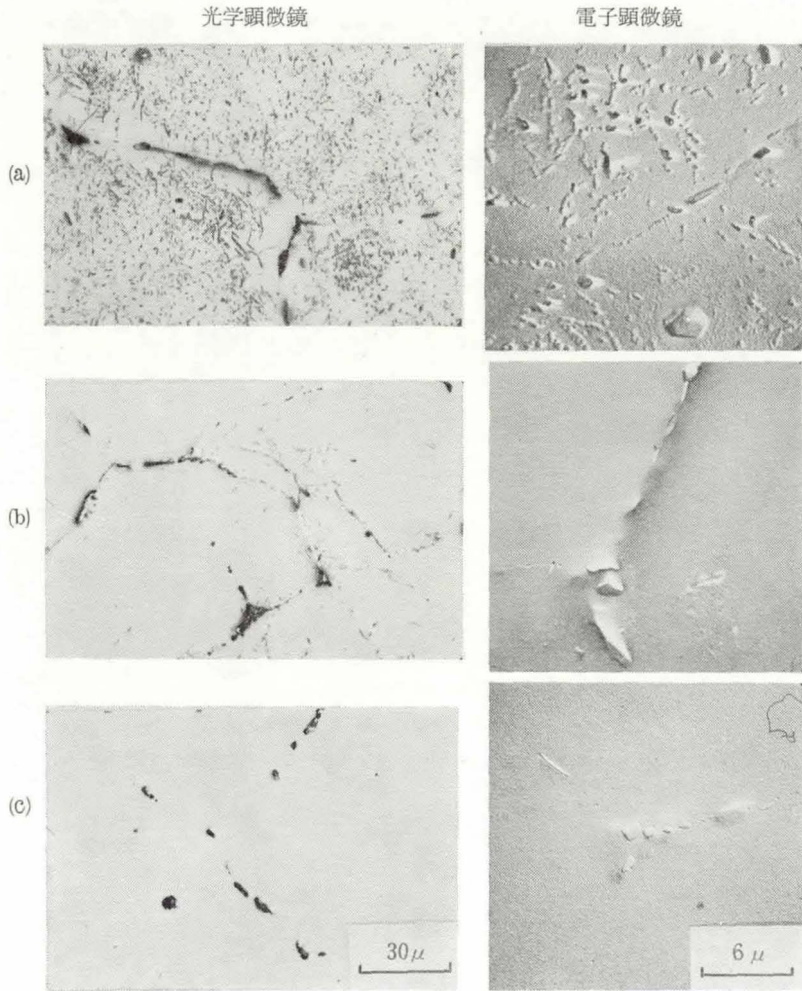
使用地金は99.9%Al (Si0.04%, Fe0.06%, Cu0.00%含有), Al-24.9%Si (Fe0.3%, Cu 0.00%含有) および 99.9%Mgを用い, 内面をアルミナで内張りした黒鉛るつぽにより溶解した. 溶湯の温度は760°Cで铸込温度は720°C, 金型温度はほぼ120°Cとした. なお金型は直径45mm長さ160mmのものを使用した. 金型铸造後560°C, 8 hrの均質化処理を行なったのち, 表面の柱状晶の影響を除去するために铸塊の表面を丸削りしてピレットを作成した. ピレットの寸法は押出し装置の関係で, 押出し速度が速い場合のものは直径30mm長さ50mm, また押出し速度が遅い場合のものは直径40mm長さ50mmとした. 表1は試料の配合成分とその分析結果を示す.

表1 試料の配合値と化学分析値 (%)

番号	配合値		化学分析値						
	Si	Mg	Si	Mg	Fe	Al	Mg ₂ Si	過剰Si	過剰Mg
1	0.2	0.2	0.20	0.24	0.06	残り	0.38	0.06	
2	0.2	0.5	0.16	0.47	0.06	〃	0.44		0.19
3	0.2	0.8	0.19	0.80	0.07	〃	0.52		0.47
4	0.35	0.2	0.38	0.24	0.06	〃	0.38	0.24	
5	0.35	0.5	0.30	0.43	0.05	〃	0.68	0.05	
6	0.35	0.8	0.35	0.68	0.06	〃	0.96		0.07
7	0.5	0.2	0.52	0.21	0.06	〃	0.33	0.40	
8	0.5	0.5	0.52	0.47	0.07	〃	0.74	0.25	
9	0.5	0.8	0.50	0.68	0.05	〃	1.07	0.11	

2-2 铸塊の均質化処理

铸塊の顕微鏡組織は, たとえ Mg と Si の量が同じ試料でも均質化処理後の冷却速度の大小によって大きな違いが生じ, この違いが押出し加工性や押出し材の機械的性質に大きな影響をおよぼすと考えられるので, 9種類の合金を560°Cで8hr加熱後炉冷, 空冷および0°Cの水に急冷した場合の組織を光学顕微鏡および電子顕微鏡で調べた. 1例として6063合金の標準組成に近い試料6を光学顕微鏡および電子顕微鏡で観察した結果を写真1に示す. なお組織観察は試料を磷酸62cc, 硫酸14cc, 水24cc, クロム酸15.5gの混合液で電解研磨し, その後0.5% HF水溶液で40secエッチングしてから行ない, 電顕観察はレプリカ法によった. これらによると均質化処理後炉冷の場合には粒界近傍の無析出帯 (PFZ)を除けば Mg₂Siが結晶粒内に均一に全面析出している. 水冷の場合には粒界にそってわずかに Mg₂Siの析出が認められるものの粒内には析出物は全然認められず, ほとんど全部の Mg₂SiはAl地に固溶しているものと思われる. 一方空冷の場合には粒界に析出物がわずかに認められるほかは粒内にはほとんど析出物が認められず, 本合金は均質化処理後空冷のみで大部分の Mg₂SiはAl地に固溶するものと考えられる. そこで本実験においては均質化処理後空冷したものについて熱間押出し加工を行なった. 写真2は本実験に用いた9種類の試料を560°Cで8hr加熱後



(a) 560°C, 8hr 加熱後炉冷
 (b) " " 空冷
 (c) " " 水冷

写真1 鋳塊の均質化処理と顕微鏡組織

空冷したときの顕微鏡組織を示す(写真の番号は試料番号を示す). また図1にはそのときの鋳塊の冷却曲線を示す. 冷却曲線は鋳塊の中心部と外周部(表面より3mm入った位置)に熱電対をさし込んで測定したが, 中心部と外周部における冷却曲線の違いは認められなかった.

2-3 実験方法

押し出し温度および押し出し速度が押し出し加工性や押し出し材の機械的性質におよぼす影響をみるために, 押し出し温度を400, 440, 480 および 520°C の4種類に変え, 押し出し速度は押し出されてくる押し出し材の速度で15m/min(ラムの移動速度で1.2m/min) および0.4m/min(ラムの移動速度で32mm/min)の2種類とした. なおダイス穴の形状は円形で加工度は92%(押し出し比は12.5)と一定にした.

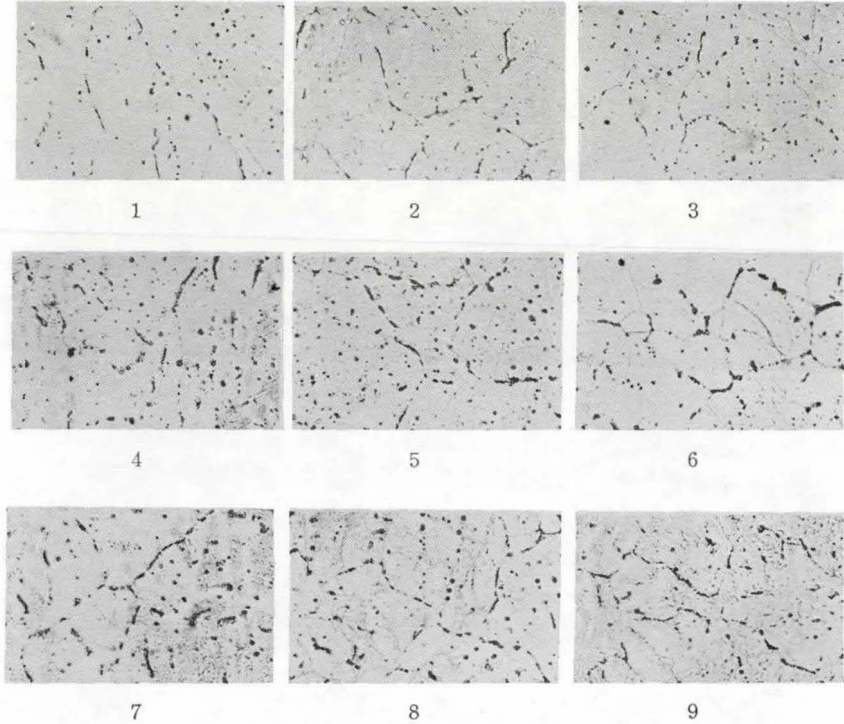


写真2 ビレットの顕微鏡組織 (10×10×0.64) (560°C, 8hr 加熱後空冷)

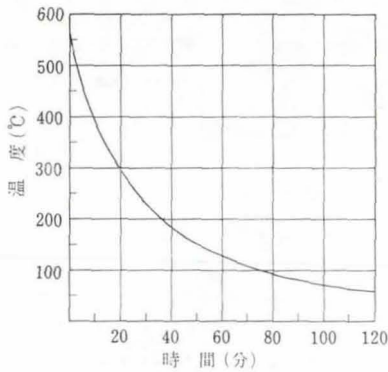
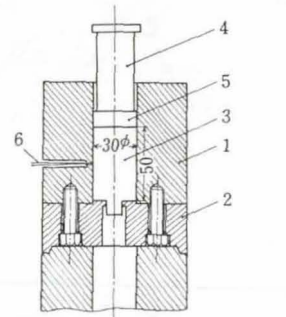


図1 均質化処理後空冷したときの
鋳塊の冷却曲線



1 コンテナ 4 ラム
2 ダイス 5 押板
3 ビレット 6 熱電対

図2 押し装置

押し装置としては、押し速度が速い場合は35tonカムプラストメータを使用し、焼入熱間ダイス鋼で作成した内径30mmのコンテナの中にビレットを入れ、電気炉にて加熱検温し所定の温度に達してから試験機へ移して押し加工を行なった。なお押し圧力は荷重—ストローク曲線を2現象シンクロスコープで35mmフィルムに記録して求めた。図2にはこの押し装置を示す。また押し速度が遅い場合には50tonリーレ型万能試験機を使用し、

コンテナの中にピレットを挿入後試験機に取り付け、管状電気炉でコンテナもろとも加熱し所定の温度に達してから15min 保持して押し出した。なお潤滑剤には黒鉛を使用した。

押し出し材の機械的性質は押し出し材から直径 6 mm 標点距離 40mm の試験片を切削加工し、インストロン型引張試験機により引張速度 2 mm/min で引張試験を行なった。またかたさは押し出し材中央部の組織が安定しているところから切り出した試料の縦断面をエメリーペーパーとバフで仕上げてから 0.5%HF 水溶液に浸漬して表面の加工層を除去して、マイクロビッカース硬度計 (荷重 500 g) で測定した。

3. 実験結果とその考察

3-1 押し出し圧力

図 3 は 9 種類の試料を押し出し速度 15m/min と 0.4m/min で押し出したときの押し出し圧力と押し出し温度の関係を半対数方眼紙上に表わしたものである。これによると押し出し圧力は化学成分の違いおよび押し出し速度の大小により異なるが、いずれも押し出し温度の上昇につれて直線的に減少しているので、押し出し圧力および押し出し温度をそれぞれ P, T とすれば

$$P = Ae^{-\lambda T} \dots \dots (1) \quad (A, \lambda \text{ は定数})$$

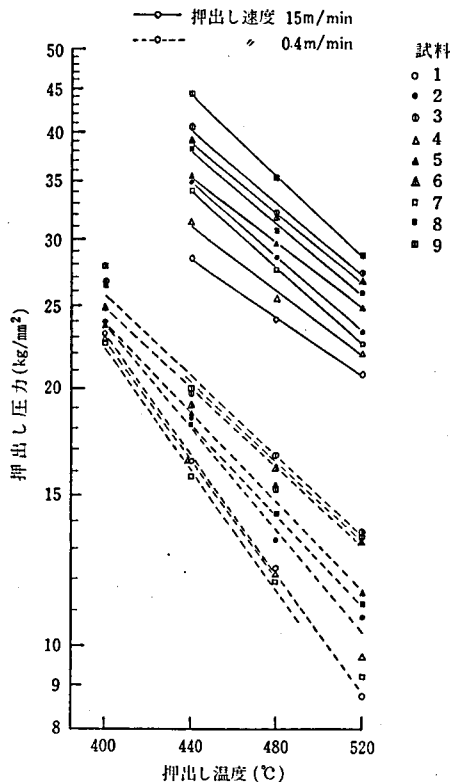


図 3 押し出し圧力と押し出し温度の関係

とおくことができる。(1)の関係は Schishokin⁽⁶⁾ および Peason⁽⁷⁾ の示した関係と一致する。そこでこのλの値を図3から各試料について計算した結果を表2に示す。これによると、押出し速度が速い場合には化学成分とλ値の間には特別の関係は認められずほぼ0.004~0.005の間にあるが、押出し速度が遅い場合にはMgの量が増えるにつれてλ値は小さくなる傾向を示す。そして平均値は押出し速度が速い場合には0.0048となり、この値は麻田ら⁽⁶⁾ が300ton押出し機を使って求めた値の0.004とほぼ一致した。また押出し速度が遅い場合のλ値の平均は0.0066となり、Peason⁽⁷⁾ がAl合金で求めた値の0.0064とほとんど一致した。

また(1)式においてλの値が小さくなるとPが大きくなる。すなわちMgは押出し圧力を高めて押出し加工性を減ずる傾向を示すと思われるので、この点をくわしく調べるために、押出し圧力がMgとSiの量によってどのように変化するかを調べた。その結果を図4に示す。これによると押出し速度の大小および押出し温度の高低によって押出し圧力の値は異なるが、いずれもMgの量が増えるにつれて押出し圧力が上昇し、とくに押出し速度が速い場合にこ

表2 λの値

試料	押出し速度	
	高 (15m/min)	低 (0.4m/min)
1	0.0040	0.0081
2	0.0050	0.0069
3	0.0049	0.0054
4	0.0044	0.0080
5	0.0045	0.0061
6	0.0048	0.0054
7	0.0051	0.0081
8	0.0049	0.0061
9	0.0055	0.0054
平均	0.0048	0.0066

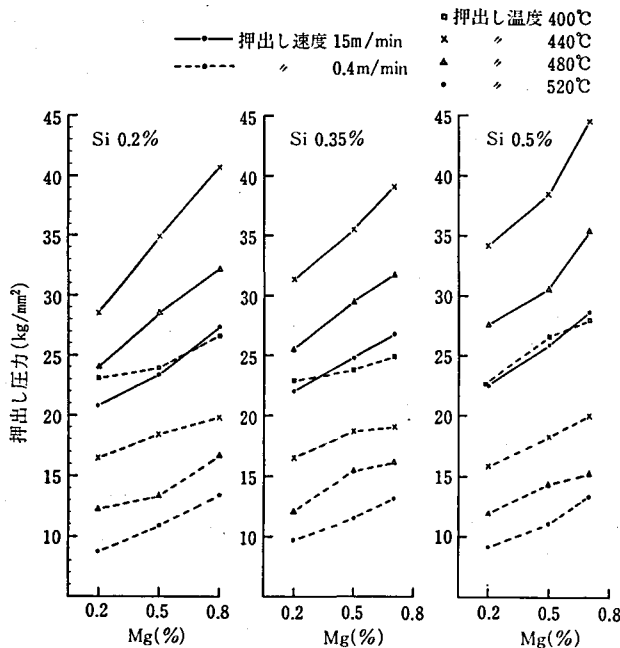


図4 押出し圧力におよぼす Si, Mg の影響

の傾向が著しい。しかしSiの量が増えた場合には押し速度が速い場合に押し圧力が若干上昇するものの、押し速度が遅い場合にはほとんど押し圧力の上昇は認められない。

つぎに押し速度と押し圧力の関係については Peason⁽⁹⁾, Singer⁽¹⁰⁾, 竹内⁽¹⁾, 堀ら⁽¹¹⁾ によって、押し速度が増加するにつれて押し圧力は高くなり、両者の関係を両対数方眼紙にかくと直線関係を示すと報告されている。すなわち押し圧力をP, 押し速度をVとすると $P = CV^n$ (C, nは定数) の関係にある。そこで今回の9種類の試料について押し圧力と押し速度の関係を両対数方眼紙にかいてみた。1例として図5に試料6の場合を示す。これらの図からnの値を計算し、9種類の試料の平均値を求めると440°C押し出しの場合は0.19, 480°C押し出しの場合は0.20そして520°C押し出しの場合は0.22となり、押し出し温度の上昇につれてn値は高くなったが、これらの値は竹内ら⁽²⁾ が600 ton たて型熱間押し機を使用して求めた値より若干大きくなった。この理由は、竹内らも指摘しているように、押し速度の変化に対して押し圧力の変化は小さいからn値の誤差が大きくなりがちであることおよび押し速度を2種類しか変えていないことなどによるものと思われる。

3-2 押し出し材の機械的性質

図6～図8は9種類の試料を押し出し速度15m/minと0.4m/minで、押し出し温度400, 440, 480および520°Cで押し出したときの押し出し材のかたさ、引張強さ、0.2%耐力および伸びを調べた結果を示す。図6は15m/minおよび0.4m/minで押し出した押し出し材のかたさにおよぼすSiとMgの影響を

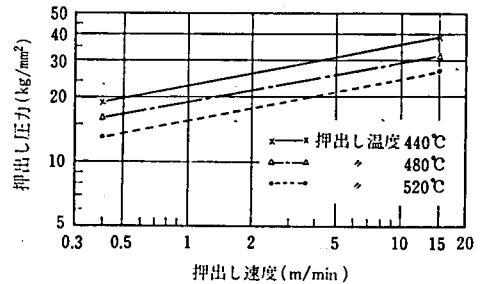


図5 押し出し圧力と押し出し速度の関係 (試料……6)

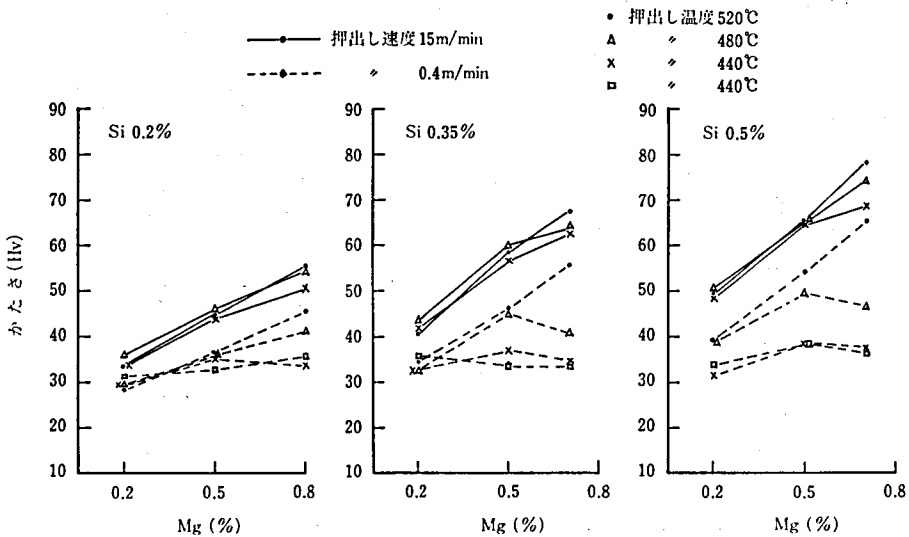


図6 押し出し材のかたさにおよぼす Si, Mg の影響

示し、1点は5~10ヶ所の平均値である。図7は15m/minで押出した押出し材の引張試験の結果、そして図8は0.4m/minで押出した押出し材の引張試験の結果である。これらによると押出し材のかたさは、押出し速度の速い場合の方が遅い場合よりも明らかにかたい。また引張強さもMgおよびSiの量が多い場合には、押出し速度が速い場合の方が遅い場合に比較して高くなっている。しかし押出し速度が速い場合でも押出し温度が400°C以下で押出した場合および押出し速度が遅い場合には440°C以下の温度で押出した場合には、MgおよびSiの量が増加しても引張強さはほとんど変化せず値も一様に低い。一方伸びは押出し速度が速い場合の方が遅い場合に比較して5%ほど大きくなっているが、MgおよびSiの量による変化はあまり認められない。このようにMgとSiの量が多い試料において、押出し温度が高くなるほど強度が上昇するのは、6063合金の硬化要素であるMg₂Siが温度が高くなるほどAl地に多く固溶するためであり、逆にMgおよびSiの量が少ない試料はMg₂Siの絶対量が少ないので、Mg₂Siの固溶による強度の増大はほとんど期待できず、加工硬化の影響により押出し温度が低い場合の方が強度は高くなっている。また押出し速度が速い方が加工中に発生する熱が大きいので、Mg₂Siがより多くAl地に固溶するために強度は上昇するものと思われる。

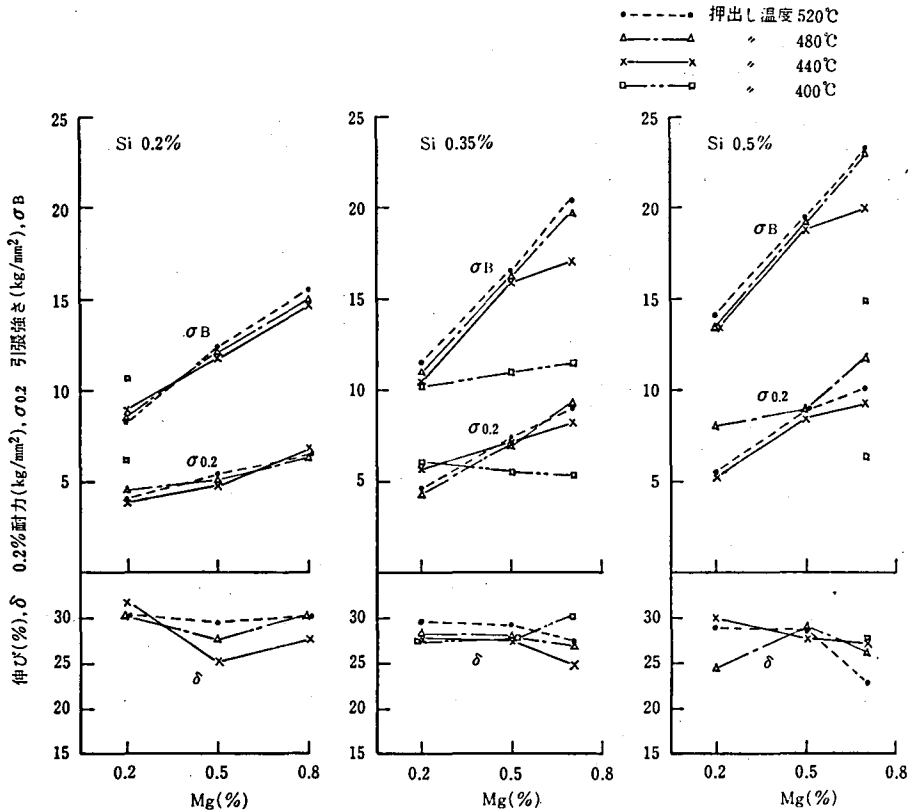


図7 押出し材の機械的性質におよぼすSi, Mgの影響
(押出し速度 15m/min)

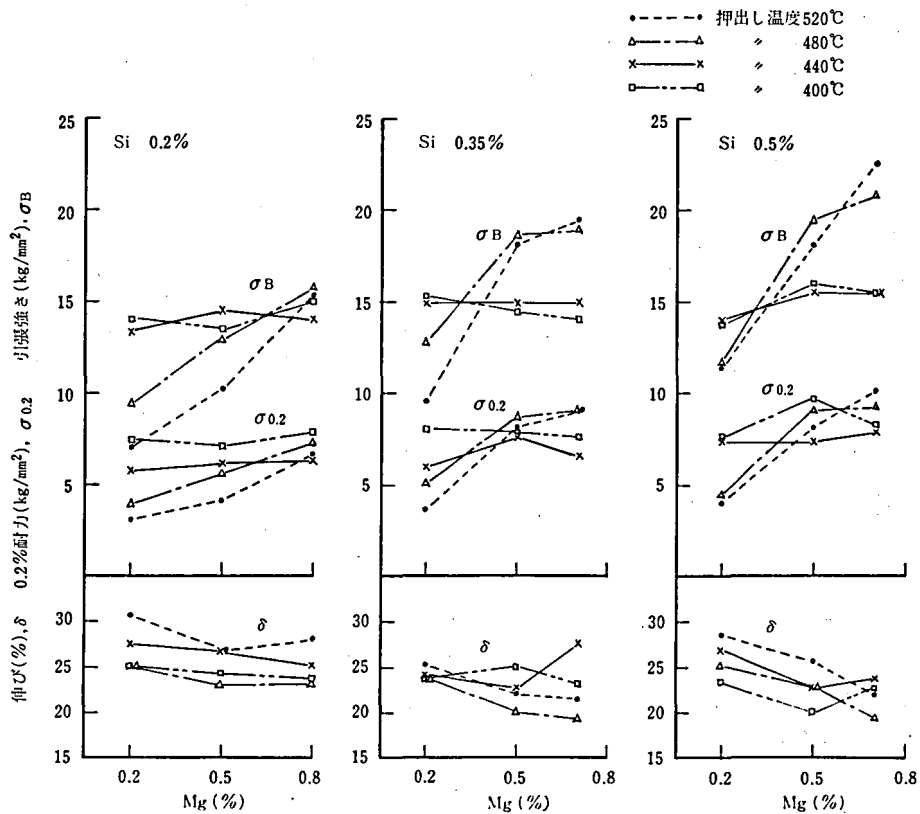


図8 押し材の機械的性質におよぼすSi, Mgの影響
(押し速度 0.4m/min)

以上のように押し材の機械的性質は押し速度, 押し温度およびMgとSiの量によって大きく影響され, 良好な機械的性質を得るためには, Si 0.3%以上で Mg 0.45%以上の合金を押し速度 15m/minの場合には440°C以上の温度で, また押し速度 0.4m/minの場合には480°C以上の温度で押し出すことが必要であることがわかった。

4. 結 論

MgおよびSiの量を変えた6063合金を, カムプラストメータを使用して, 実際現場操業に近い押し速度のもとに 400~520°Cの範囲で熱間押し加工を行ない, そのときの押し圧力の変化を調べ, かつ押し材のかたさ測定や引張試験を行なって, 低速押しの場合と比較したところつぎのようなことがわかった。

(1) 押し圧力Pと押し温度Tの関係 $P=Ae^{-\lambda T}$ において, λ の値は押し速度が15/minのときは平均値で0.0048であった。また押し速度が0.4m/minのときは平均値で0.0066となり, Mg量が多くなるにつれて λ 値は小さくなる傾向を示した。

(2) 押出し速度 V と押出し圧力 P の関係 $P=CV^n$ において、 n の平均値は押出し温度が440°Cのとき0.19, 480°Cのとき0.20そして520°Cのとき0.22となり、温度が高くなるにつれて n 値はわずかに大きくなった。

(3) 押出し加工性とMgおよびSiの関係は、Mgの量が増加すると押出し圧力が高くなり押出し加工性は著しく低下したが、Siは押出し加工性をそれほど低下させなかった。

(4) 押出し材の機械的性質は押出し速度、押出し温度およびMgとSiの量によって相互に影響を受け、良好な機械的性質はSi 0.3%以上でMg 0.45%以上の試料を、押出し速度15m/minの場合には440°C以上の温度で、また押出し速度が0.4m/minの場合には480°C以上の温度で押出すことによって得られた。そして押出し速度が速い場合の方が遅い場合よりもかたさや引張強さが大きくなりかつ伸びも大きくなったが、これは押出し速度が速いほどMgとSiがAl地に多く固溶するためであると考えられる。

終りに本実験を行なうにあたり、東京工業大学高橋恒夫教授には試料の作成とその化学分析等に御援助を賜わり、またカムプラストメータの使用については富山大学時沢貢助教授の御援助を賜りましたことを付記して深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- (1) 竹内寛司, 小林啓行, 菊地隆士: 軽金属, Vol. 15 (1965), p. 340.
- (2) 竹内寛司, 草野拓男: 軽金属, Vol. 22 (1972), p. 28.
- (3) 寺井士郎, 馬場義雄: 住友軽金属技報, Vol. 1 (1960), p. 196.
- (4) 小林義一: 長野工業高等専門学校紀要, 第3号 (1969), p. 45.
- (5) 高橋恒夫, 小林義一, 小島陽: 軽金属, Vol. 19 (1969), p. 189.
- (6) W. P. Schishokin : Zhur. Priklad. Khimii, Vol. 2 (1929), p. 663.
- (7) C. E. Peason, R. N. Parkins : The Extrusion of Metals, p. 193.
- (8) 麻田宏, 田中英八郎, 小池吉蔵, 森本三郎: 日本金属学会誌, Vol. 21 (1957), p. 176.
- (9) C. E. Peason, R. N. Parkins : The Extrusion of Metals, p. 190.
- (10) A. R. E. Singer, J. W. Coakham : J. Inst. Metals, Vol. 89 (1960-61), p. 177.
- (11) 堀茂徳, 時沢貢, 室谷和雄: 軽金属, Vol. 21 (1971), p. 520.