

半熔融加工に関する実験的研究 — 第1報 —

— アルミ合金の半熔融変形抵抗・押出し加圧力に関する検討 —

Experimental Study on Metal Forming in Mashy State · 1st Report

— Study on Flow Stress and Extrusion Pressure of Al-alloys in Mashy State —

木内 学*・新井 博男*・杉山 澄雄*

Manabu KIUCHI, Kureo ARAI and Sumio SUGIYAMA

1. はじめに

金属材料の半熔融状態における機械的諸特性の解明は、連結鍛造・溶湯鍛造・ダイカスト等の加工技術の発展とともに、熱間の塑性加工・鍛造加工・溶接加工の境界領域の問題として、近年次第に関心を集めつつあるが、いまだ具体的な研究事例が少なく、不明な点が多い。筆者らはこの問題の解明とあわせて、半熔融状態での特性を利用した加工技術の追求をも目的として、これまで種々の見地から基礎的な研究を積み重ねてきた。本研究はこれらの成果をふまえて、より広範に研究を進め、この新しい分野の学問的・技術的發展を期することを目的としているが、本報では、これまで得た結果¹⁾をもあわせて、半熔融状態での材料の圧縮変形抵抗の挙動と従来方式の押出し加工プロセスにおいて示す特性についてまとめた結果を報告する。

2. 実験方法および条件

供試材は実験用のAl-5.7% Cu合金ならびに市販の高力アルミ7075を用いた。圧縮変形抵抗の測定はカムプラストメータにより、試験片寸法は $26\phi \times 23.5\text{mm}$ 、圧縮ひずみ速度は約0.2/secで一定としてある。なお保温用のサブプレスを用いたがその形状・寸法の概要を図1に示す。押出し加工実験には図2に示す横型100 tonの試験機を用い、所定の半熔融状態からダイスを通して室温中へ押出す。ダイス温度は約520℃でありピレット寸法は $40\phi \times 40\text{mm}$ 、ラムスピードは45, 37mm/min.である。実験条件をまとめて表1に示す。

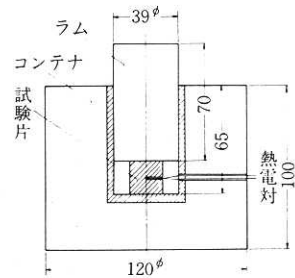


図1 サブプレスの形状・寸法

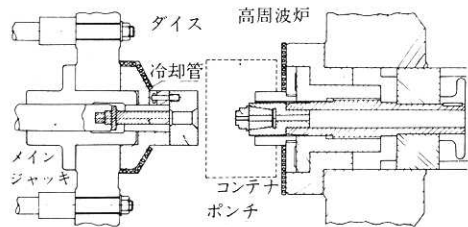
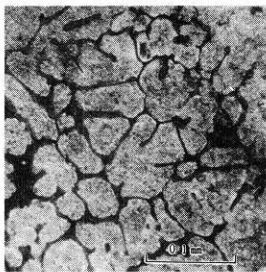


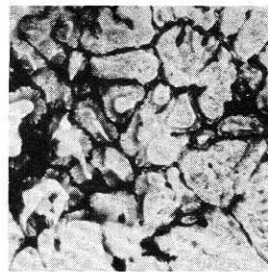
図2 押出し装置主要部

表1 押出し実験条件

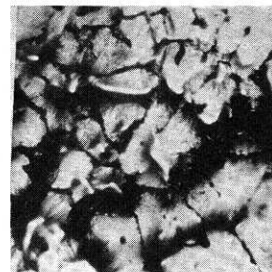
材 質	Al-5.7% Cu						高力アルミ7075																	
ピレット寸法	40φ×40mm, 40φ×25mm						40φ×25mm																	
固相分率φ(%)	100, 90, 80, 70						88.5																	
ダイス径(mm) B. L. (mm)	棒			材			管材			棒			材			管材								
	2	3	4	6	10	8	10	2	4	6	10	8	10	4	6	10	8	10						
押 出 比	400, 178, 100, 44, 16						80, 56, 43 41, 30, 24						400, 100, 44, 16						56, 43, 41 30, 24					
ダイス温度	約 520℃						/						/											
ラムスピード (mm/min.)	約 45						/						約 37											



100℃



540℃ φ=100%



585℃ φ=89.7%

図3 Al-5.7% Cuの高温顕微鏡写真

* 東京大学生産技術研究所 第2部

3. 半溶融圧縮変形抵抗 σ_f に関する検討

図3にはAl-5.7% Cu合金の熱間域および半溶融状態(固相分率 ϕ = 材料中の固相成分の重量比 \approx 約100、89.7%)での顕微鏡写真を示す。これより、ここで対象としているAl合金では、半溶融状態において液相成分が粒界に存在することが推定される。粒界に存在する液相成分は、(a) 各結晶粒間のすべり、(b) 各結晶粒の回転、(c) 各結晶粒自体の変形、に対する拘束を緩和すると考えられるので、このような状態にある材料は変形が極めて容易になるといえる。図4と5には2種の合金についての応力-ひずみ線図の測定例を示すが、温度が固相線

果・液相成分の流出効果等の問題があるが、この点については別途検討する。圧縮変形に伴う材料の破壊その他の要因により、純粋な圧縮変形抵抗 σ_f を高ひずみ範囲まで得ることが困難であるので高力アルミ7075の2、4%・Al-5.7% Cuの4%ひずみ時の σ_f の温度依存性のプロット結果が図6、7である。既述のようにいずれ

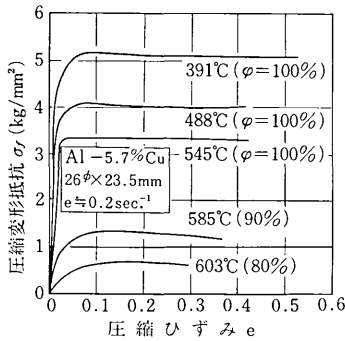


図4 圧縮変形抵抗 σ_f - 圧縮ひずみ e 線図

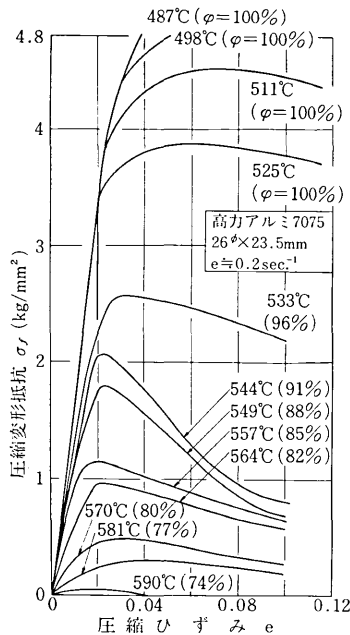


図5 圧縮変形抵抗 σ_f - 圧縮ひずみ e 線図

を越えて材料が半溶融状態に入ると応力の値が急激に低下してくることがわかる。応力-ひずみ線図の特性については、既報¹⁾で指摘したように、応力の値あるいは応力の増加率に対するひずみ速度の効果・試験片の寸法効

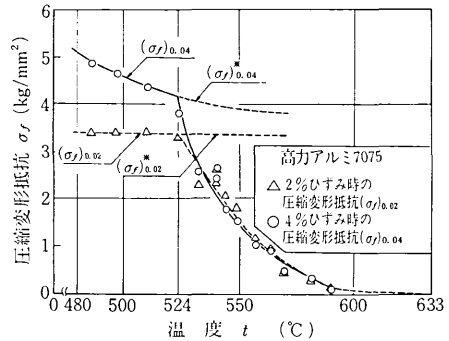


図6 圧縮変形抵抗 σ_f と温度 t の関係

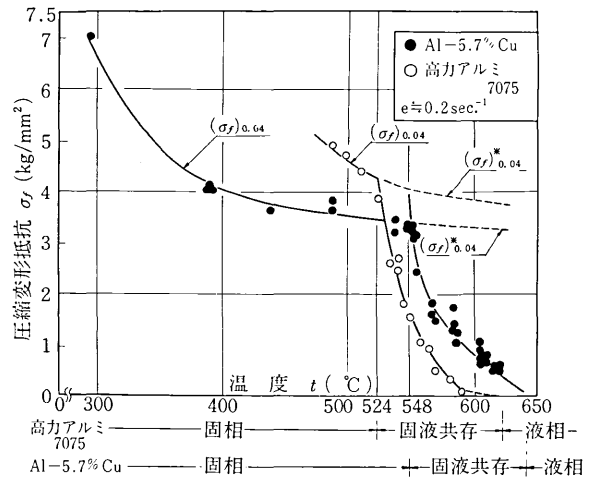


図7 圧縮変形抵抗 σ_f と温度 t の関係

も固相線温度(融点)を越えると σ_f は急激に減少する。ただしAl-5.7% Cu合金は平衡状態図より融点が548°Cと判明しているが、高力アルミについては冷却曲線等によっても明確に知り得ず、一応ここでは図より524°Cを融点に相当する温度と考えておく。ところで図で融点以上の半溶融状態における σ_f の低下は、前述の液相成分の効果によるものと理解できるが、一般の種々の応力条件下、例えば強い静水圧成分の使用下、などでは液相成分が個々の粒界に密閉され、上記(a) (b) (c)の効果が有効に作用できなくなり実質的な σ_f の値は増大してくる。その極限として考えられるのが、固相成分自体の変形抵抗 σ_f^* であり、その値は図中破線を外した程度と考えるのが自然であろう。そして種々の条件下での半溶

研究速報
融金属の変形に際して液相成分の効果を評価する場合、この σ_f^* を基準に考えるのが合理的であると考えられる。その一例として、既報¹⁾で示したPb-19.2%Sn合金の4%ひずみ時の圧縮変形抵抗 σ_f を両合金の σ_f^* で無次元化した値を固相分率に対してプロットすると、両者の値はほとんど一致する(図8参照)。これは、同一の応力条件・同一の固相分率の下では液相成分の効果が同じ程度に作用することを意味している。この関係は当然高力アルミ7075にもあてはまる事が予想され、これを逆用してその固相分率と温度の関係を求めた結果が図9である。

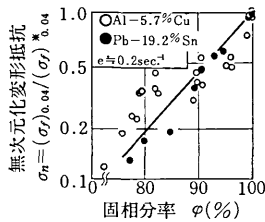


図8 無次元化変形抵抗 $\sigma_n = (\sigma_f)_{0.04} / (\sigma_f)^*_{0.04}$ と固相分率 ϕ の関係

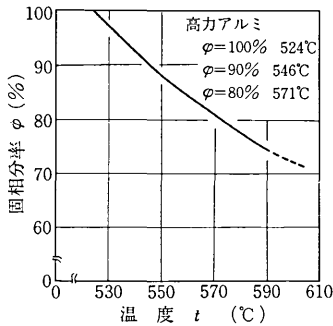


図9 固相分率 ϕ と温度 t の関係

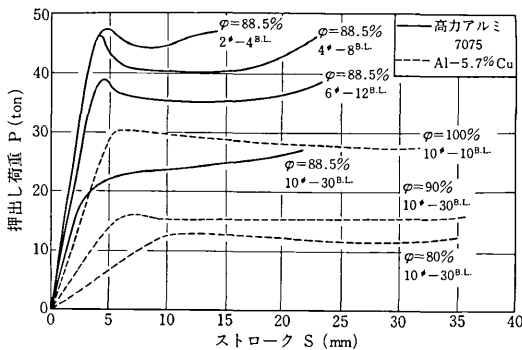


図10 押し荷重 P -ストローク S 線図

線図の測定例を示す。固相分率 ϕ の低下とともに押し開始時の P の立上りがゆるやかになり、また定常押し時の P のレベルが大幅に低下することがわかる。図11はAl-5.7%Cu合金の40 ϕ mmのピレットから各種の寸法の棒材を押し出した場合、定常押し加圧力 p に与える固相分率 ϕ の影響を示す。各場合共、 ϕ の低下とともに p が急速に減少し、減少の度合もほぼ等しい。図12は

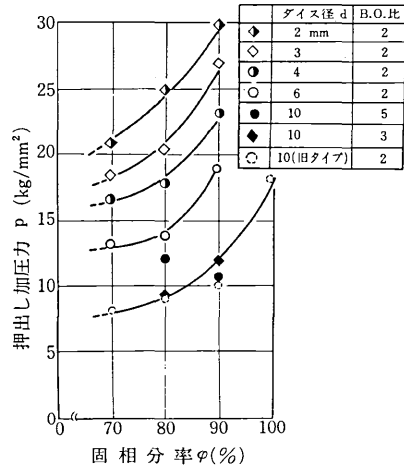


図11 固相分率 ϕ が押し加圧力 P に与える影響

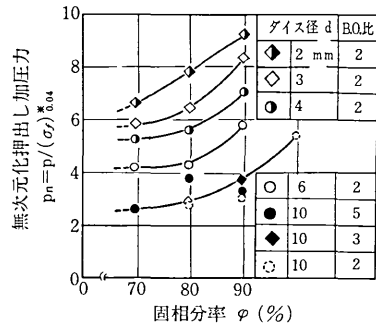


図12 固相分率 ϕ が無次元化押し加圧力 $p_n = p / (\sigma_f)^*_{0.04}$ に与える影響

4. 半熔融押し加圧力に関する検討

図10には半熔融押し加工時の荷重 P -ストローク S p を上述の圧縮変形抵抗 $(\sigma_f)^*_{0.04}$ で無次元した値 p_n を ϕ に対してプロットした結果を示すが、 p_n の値は全体的に通常の押し加工の場合の値に比して低く、液相成分の存在が押し変形を容易にすることがわかる。この結果をよりわかり易く押し比に対して整理しなおした結果が図13である。これより、 $\phi = 80\%$ 、70%程度になると p_n の値は工藤²⁾による理論解の摩擦係数 $\mu = 0$ の場合に近づいてくる事がわかる。すなわち液相成分の存在が押し時の変形を極めて容易にするといえる。図14には同様の p_n についてAl-5.7%Cu合金と高力

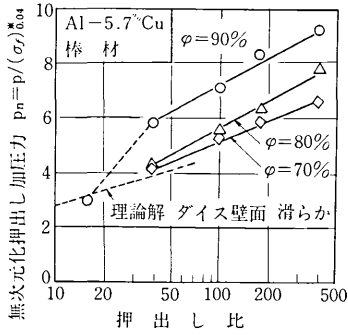


図13 無次元化押し加工力 $P_n = P/(\sigma_f)_{0.04}^*$ と押し比の関係

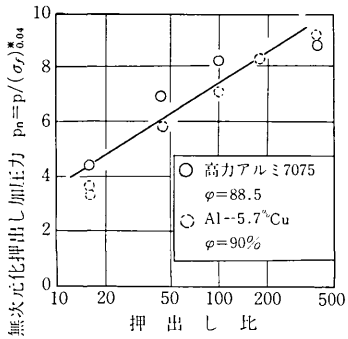


図14 無次元化押し加工力 $P_n = P/(\sigma_f)_{0.04}^*$ と押し比の関係

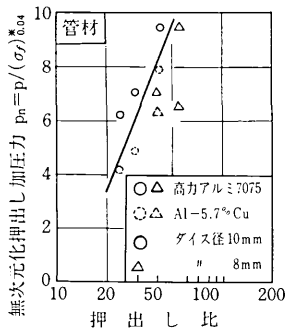


図15 無次元化押し加工力 $P_n = P/(\sigma_f)_{0.04}^*$ と押し比の関係

アルミ7075の結果を比較したもので、両者の p_n の値が各押し比に対してはほぼ等しいことから、同一条件下（ただし高力アルミ7075の場合の方が静水圧成分がやや大きい）では液相成分の変形を容易化する効果がほぼ同程度に作用するという既述の推定の妥当性が示されている。

とい得る。図15は中空材（管材）の押しについて両合金の押し比に対する p_n の変化を示した結果でありこの場合も両者の p_n 値がほぼ一致しているといえる。本実験ではダイスのB.O.比を種々変化(1.0~5.0)させて、 p に対する影響をみたが、特定の影響は認められずB.O.比の変化に対し p はほぼ一定であった。なお製品の表面性状を目視により判別した結果をまとめて表2に示す。

表2 製品表面性状

Al-5.7%Cu 棒材										
φ	d=2φ		3		4		6		10	
	B.O.比=2		0.5	1	2	1	2	3	5	
φ = 100%									○	
90	○	○	○				○	×	×	○
80	○	○	○				○			×
70	○	○	○				○			○

高力アルミ7075棒材				Al-5.7%Cu 管材					
φ	d=2φ		4		6		10		
	B.O.比=2		10×1.5	10×1	8×1.5	8×1			
φ = 88.5%	○	○	○	○	90%	⊖	⊖	○	○

高力アルミ7075 管材										
φ	10φ×2φ		10×1.5		10×1		8×1.5		8×1	
	B.O.比=1									
φ = 88.5%	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

○ 正常
⊖ 部分欠陥
× 不良

さらに、製品の内部組織その他の特性については別途報告する。

5. 結 言

本研究では、半溶融状態にある2種のアルミ合金の圧縮試験および押し加工試験を行ない、圧縮変形抵抗や押し加工力の測定を通して、半溶融状態での材料の変形に際して液相成分が示す変形を容易化する効果について検討した。

謝 辞

本研究を推進するに際してご指導とご協力をいただいた東京大学名誉教授鈴木弘先生、ご協力いただいた古河電工中研の福岡新五郎氏に感謝致します。

(1976年8月31日受理)

参 考 文 献

- 1) 福岡ほか 第25回塑性加工連合講演会講演論文集('74-11) p. 419
- 2) 工藤ほか 第13回塑性加工連合講演会前刷集('62-11) p. 97