

半溶融圧延に関する研究・第1報

—アルミ合金板の半溶融圧延特性—

Study on Rolling of Metals in Mashy-State・1st Report

—Investigation into Mechanical Properties of Aluminum Alloys Rolled in Mashy-State—

木 内 学*・杉 山 澄 雄*・星 野 祐 作**・川 桐 純***

Manabu KIUCHI, Sumio SUGIYAMA, Ytsaku HOSHINO and Jun KAWAGIRI

1. はじめに

半溶融状態にある合金材料は、他にみられない種々の特性を有している。たとえば、変形抵抗の大幅な低下、変形能の向上、接合性・分離性・流動性・造形性・攪はん性・混合性の誘起、などが見られる。筆者らは、合金材料の半溶融状態におけるこのような諸特性を有効に利用した加工プロセスの開発について一連の研究を推進している。これまでに、主としてアルミ合金材を用い、半溶融状態のもとでの押し出し加工や鍛造加工法による各種複合材料の製造および加工などについて報告している。

本報では、アルミ合金材の半溶融圧延を行い、その際の加工条件（温度・圧下率・圧延速度等）と圧延荷重および製品の内部組織等との関係について検討を行ったので、その結果について報告する。また、加工プロセス自体に関するこれら諸問題とあわせて、加工後の製品に熱処理と冷間圧延を施し、その機械的特性の変化について検討を行ったので、その結果についても報告する。

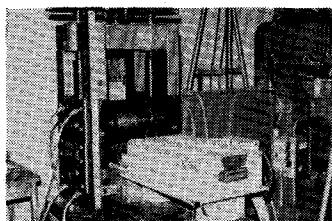
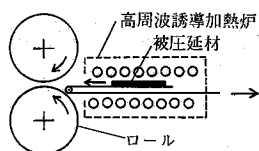


図1 半溶融圧延装置

2. 実験方法および条件

本圧延実験では、同径同周速の二段圧延機を使用した。ロール胴長は 110 mm, ロール直径は 250 mm である。ロールは室温に保ちロール表面は無潤滑である。実験は、ロール入側直前に設置した高周波誘導加熱炉で被圧延材（アルミ合金）を半溶融状態に加熱し、ベルトコンベア方式で被圧延材をロール間に挿入し圧延する方式で行った。図1に実験装置の概略ならびに写真を示す。そのほか、半溶融圧延条件を表1にまとめて示す。半溶融圧延後の製品については、表2に示す条件で熱処理と冷間圧延を施し、一軸引張り試験、マイクロビッカース硬さ試験、および内部組織の観察を行った。なお、表2の冷間圧延の全圧下率 r_{CR} は 50% ± 1% を基準とし、圧延温度 $T=626^{\circ}\text{C}$ ($\phi_c=30\%$) で半溶融圧延した製品についてのみ、 r_{CR} を 10, 30, 50, 70% と変化させて冷間圧延の圧下率の影響を見た。

表1 半溶融圧延条件一覧表

被圧延材材質	A2017-T3, A5052-H34, A7075
被圧延材寸法	3×30×200mm 3×50×200 5×50×200
圧延温度 $T/^{\circ}\text{C}$ (固相分率 $\phi_c/\%$)	626~510, 500, 450 (30)~(100)
圧下率 $r_{3R}/\%$	10~76 (1パス)
圧延速度 $v/\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	0.86~0.42
ロール	同径2段 $\phi 250 \times 110\text{mm}$ (胴長)
ロール温度/ $^{\circ}\text{C}$	室温
潤滑	無
圧延機電動機	VSモータ 22kW

表2 半溶融圧延製品の熱処理と冷間圧延の組合せ一覧表

試験片材質	A2017 半溶融圧延材
熱処理と冷間圧延の組合せ	① [半溶融圧延 (MR)] ② [(MR)→T4] ③ [(MR)→冷間圧延 (CR)→T4] ④ [(MR)→焼なまし (TO)→(CR)→T4]

* 東京大学生産技術研究所 第2部

** 松本精機(株)

*** 三井アルミニウム工業(株)

研 究 速 報

3. 実験結果および考察

3.1 単位幅当たり圧下力-圧下率線図

図2には、単位幅当たり圧下力 p -圧下率 r_{MR} 線図を示す。ここに示す p は、実測した圧延荷重値を素材幅により割って求めた値である。図より、圧延温度 T の上昇(固相分率 ϕ_c の低下)とともに p が低下し、同時に圧下率の増加に対する p の立ち上がり方も緩やかになっていることが分かる。特に、熱間圧延と比べて、同じ圧下率に対し数分の一の圧下力で圧延できることに注目され

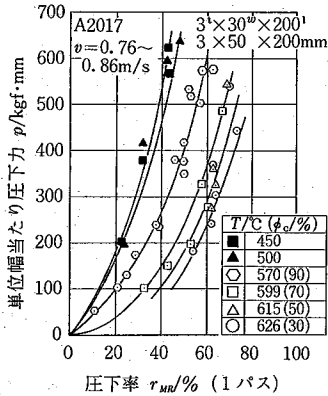


図2 単位幅当たり圧下力 p と圧下率 r_{MR} の関係

たい。一般に、半溶融状態における合金材料の変形は、①液相成分の流動による変形、②固相成分である結晶粒の回転やすりによる変形、③結晶粒自体の変形、のそれぞれが組み合わさったものと考えられる。すなわち、固相成分に比べて液相成分が相対的に多い場合には、①②の変形が主体となり、少ない場合には、②③の変形が主体となる。このことは半溶融圧延におけるロールパイト内の変形においてもあてはまるものと考えられる。すなわち、圧延の開始とともに①②が先行し、続いて、ロールによる被圧延材の冷却とともに②③に移行する過程が予想される。これらのことは、以下に示す圧延条件と内部組織の観察からも推測できる。

3.2 圧延条件と製品の内部組織

図3には、圧延温度 $T=626^\circ\text{C}$ ($\phi_c=30\%$) の際の製品の内部組織に与える圧下率の影響を示す。図より、丸みをおびた圧延時の固相成分と、それをとりまいている液相成分が明確に識別でき、圧下率の増加とともに組織が展伸されているようすが分かる。また、液相成分が板表面層部に多く集まってきていることも分かる。これは、板厚中心部にある液相成分が、圧延の進行とともにロールにより表面に絞り出されるためと考えられる。

図4には、製品の内部組織に与える圧延温度の影響に

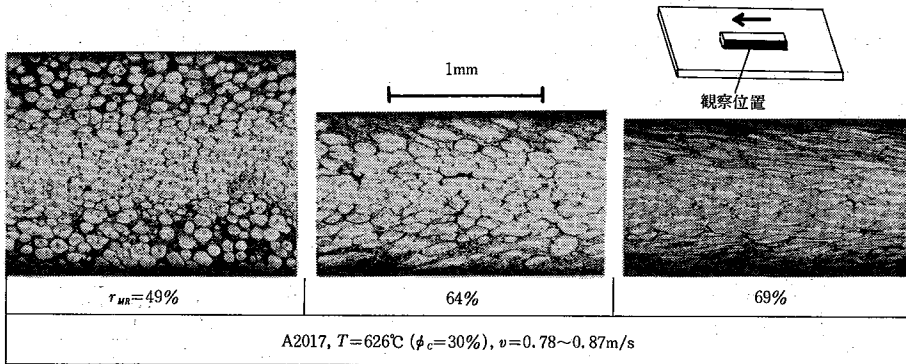


図3 圧下率 r_{MR} が製品の内部組織に与える影響

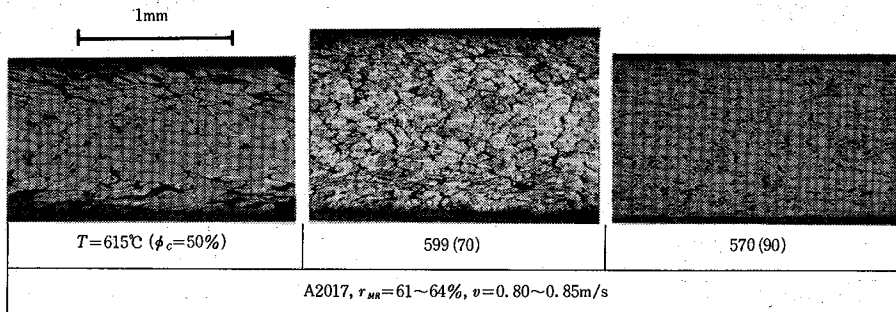


図4 固相分率 ϕ_c が製品の内部組織に与える影響

ついて示す。図 3 の $T=626^{\circ}\text{C}(\phi_c=30\%)$ 、 $r_{MR}=64\%$ の組織も参照されたい。図より、圧延温度が低くなるに従い、液相成分が少なくなり、丸みをおびた固相成分の組織が角ばった組織に変化し、通常の熱間圧延の組織に近づいてくるようすが分かる。

図 5 には、同様に圧延速度の影響を示す。図 3、図 4 の $v=0.80\sim 0.85\text{ m/s}$ の組織も参照されたい。図より、圧延速度が遅くなるに従って組織は引き伸ばされていることが分かる。これは、圧延速度の差により、ロールによる被圧延材の冷却速度に差異が生じるためと考えられる。すなわち、ロール速度の遅い圧延では、固相成分の圧延が多くなるためと思われる。

3.3 製品の内部組織に与える被圧延材材質の影響

図 6 は、被圧延材材質が製品内部組織に与える影響を示す。図には、Al-Mg 系合金の A 5052 と Al-Zn-Mg 系合金の A 7075 について示す。いずれの場合にも、Al-Cu

系合金 A 2017 の場合と同様な内部組織を示していることが分かる。

3.4 製品の機械的特性

半溶融圧延により得られた製品に、表 2 に示す熱処理と冷間圧延を組み合わせ、市販材と同じ後処理を行い、それぞれの場合の引張り特性・硬さ特性について検討を行った。以下、処理のプロセスの表示は表 2 に示す記号による。

図 7 には、単位断面積当たりの引張り荷重 σ -変位 S 曲線を示す。図より、[MR-T0-CR-T4] 処理、[MR-CR-T4] 処理を施した製品は、十分伸びて破断しているのに対し、[MR-CR] 処理 [MR-T0-CR] 処理した製品は、 σ - S 曲線の立ち上がりの途中で破断している。MR 処理および [MR-T4] 処理の製品はそれらの中間の段階で破断していることが分かる。

図 8 には、製品の引張り強さ σ_B ・伸び E_L と半溶融圧延

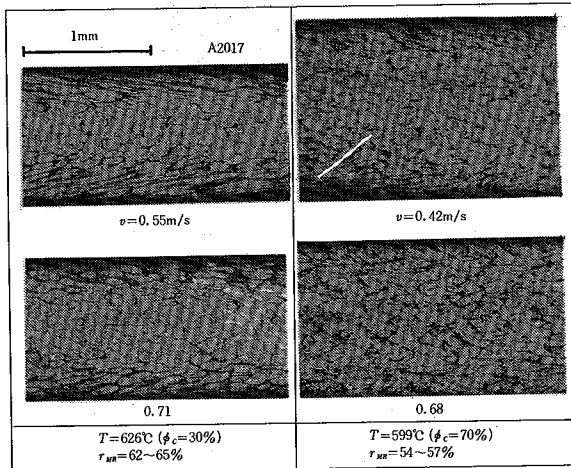


図 5 圧延速度 v が製品の内部組織に与える影響

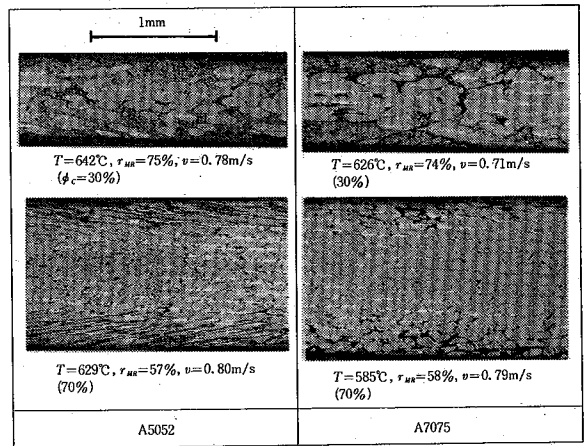


図 6 被圧延材材質が製品の内部組織に与える影響

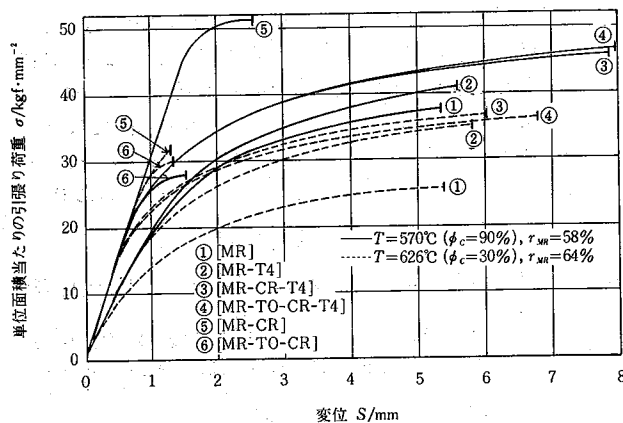


図 7 単位面積当たりの引張り荷重 σ -変位 S 曲線

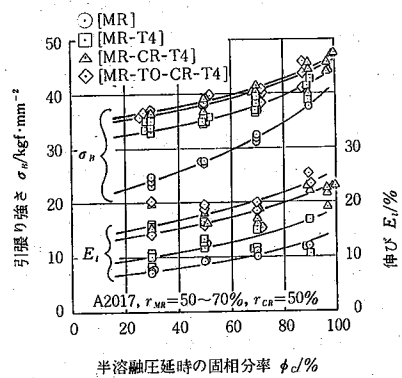


図 8 引張り強さ σ_B 、伸び E_L と半溶融圧延時の固相分率 ϕ_c の関係

研 究 速 報

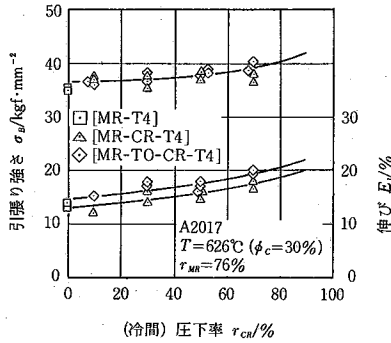


図9 引張り強さ σ_B , 伸び E_i と (冷間) 圧下率 r_{cr} の関係

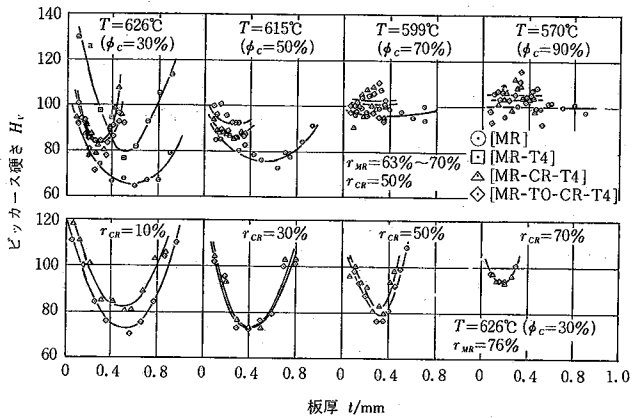


図10 板厚方向における硬さ分布

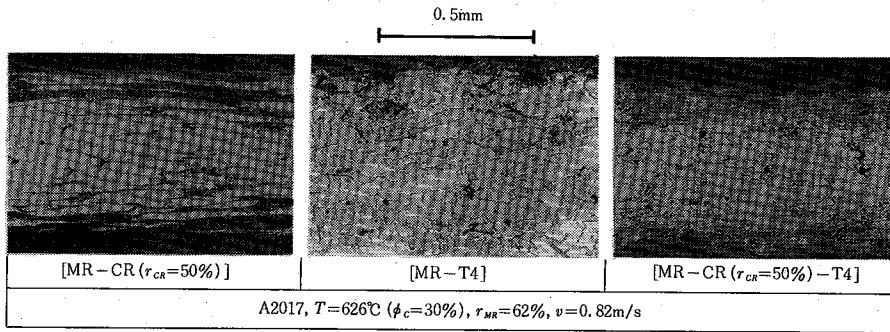


図11 半溶融圧延製品の熱処理と冷間圧延後の内部組織

温度 T (固相分率 ϕ_c) との関係を示す。図より、 T の低下 (ϕ_c の増加) とともに引張り強さ σ_B ・伸び E_i が増加していることが分かる。また、半溶融圧延(MR)製品は、冷間圧延と T4 処理を組み合わせることで、 σ_B , E_i いずれも向上し、高固相分率での圧延製品では市販材 A2017-T4 の値まで回復していることが確認できる。

図9には、圧延温度 $T=626^\circ\text{C}$ ($\phi_c=30\%$) の製品について、 σ_B ・ E_i と後処理で加えた冷間圧延の圧下率 r_{cr} との関係について示す。 r_{cr} を大きくすることによって、 σ_B , E_i が向上することが分かる。

図10には、製品の板厚方向硬さ分布に与える、圧延温度 T ・冷間での圧下率 r_{cr} の影響を示す。 T が高い (ϕ_c が低い) 圧延では、表層部が板厚中心部より数10%硬い製品ができる。 T の低下とともに、硬さ分布は板厚方向にみてもほぼ均一となってくる。また、冷間圧延の圧下率 r_{cr} を増加するに従い、板厚方向における硬さ分布も均一化し、全体的に見ても硬くなってくる。

図11には、半溶融圧延製品をそれぞれ冷間圧延・T4 処理およびそれらの組み合わせを行ったときの内部組織を示す。[MR-CR] 処理では、図3に示した組織がさらに

細長く展伸されているようすが分かる。[MR-T4] 処理では、組織は再結晶している。[MR-CR-T4] 処理では、[MR-T4] 処理の組織が冷間圧延の影響で細かくなっていることが分かる。

4. ま と め

アルミ合金の半溶融圧延を試み、圧下率と圧延荷重の関係および圧延条件と内部組織について検討を行った。さらに、半溶融圧延製品に熱処理と冷間圧延を施しその機械的特性の変化についても検討を行った。これらの結果は、実際的な半溶融圧延の可能性を示すと同時に、溶湯からの直接圧延加工、ならびに半溶融圧延による各種複合材料の製造・加工に関する種々の示唆を与えている。(1984年3月28日受理)

参 考 文 献

- 1) 木内・杉山・新井：塑性と加工，20-224 (1979-9)，826
- 2) 木内・杉山：同上，23-260 (1982-9)，915
- 3) 木内・杉山・欽崎・星野：昭58 春鋳加講演，(1983)，21
- 4) 木内・杉山・遠藤・欽崎：塑性と加工，24-272 (1983-9)，974
- 5) 木内・杉山・遠藤：同上，24-274 (1983-11)，1113