

SCR 法により製造された半凝固処理金属の二次加工特性- 1

Mechanical Properties and Formability of Metals Manufactured by SCR Process-1

杉 山 澄 雄*・木 内 学*・柳 本 潤*

Sumio SUGIYAMA, Manabu KIUCHI and Jun YANAGIMOTO

1. はじめに

筆者らは、金属溶湯に半凝固化処理あるいは半溶融化処理を施すことにより、均一・微細かつ等軸結晶組織を有する金属素材および製品を製造・加工する技術の開発を目指して一連の研究を行っている。

既報^{1), 2)}では、新たに考案したせん断冷却ロール法(SCR法)により、アルミ合金等を対象とし、半凝固処理材の製造を試み、製造法の特徴ならびに製品の内部組織などについて検討した結果を報告した。

本報では、上記研究に引き続き、SCR法により半凝固処理されたアルミ合金素材を熱間・半溶融状態にまで再加熱し、直接押出し加工を行い、その際の加工特性・製品特性について、樹枝状組織を有する通常の铸造材の押出し加工と比較しつつ検討した結果について示す。

2. SCR材の特性

SCR法により半凝固化処理した後に完全凝固させた素材(以下SCR材という)の押出し加工を行う前に、SCR材の内部組織におよぼす加熱温度ならびに温度保持時間の影響について調べた。

図1は、A2017とADC12のSCR材(製造条件は図

中に示す)の内部組織を示す。図から、SCR材の内部組織は、30~80 μ mの大きさの丸みのある等軸晶組織であることがわかる。

図2は、A2017とADC12のSCR材の冷却曲線と、SCR材の母材(半凝固処理する以前の母材)の冷却曲線とを対比して示す。図から、SCR材と母材との融点および凝固点は、 $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ 程度の誤差範囲内にあり、両者はよい一致を示している。この結果は、SCR材の製造過程において、合金組成に変化がなかったことを示している。

図3は、A2017のSCR材の試片(縦横7mm, 厚さ2mm程度)を500 $^{\circ}\text{C}$, 540 $^{\circ}\text{C}$, 600 $^{\circ}\text{C}$, 620 $^{\circ}\text{C}$ まで再加熱し、15分間保持した後に水冷して得られた内部組織を比較して示す。温度の上昇とともに再結晶化が進行しており、特に、600 $^{\circ}\text{C}$ 以上の温度では、加熱前の内部組織と大きく異なってきたことがわかる。

図4は、A2017の、SCR材の内部組織におよぼす温度保持時間の影響を示す。図4(a)に示したA2017の凝固点直下(約10 $^{\circ}\text{C}$ 低い)の500 $^{\circ}\text{C}$ で12時間保持した場合の内部組織は、図1に示したSCR材の内部組織と比較し、結晶粒の大きさに関してはさほど変化していないものの、結晶粒の形状は多角形化している。図4(b)(c)は、

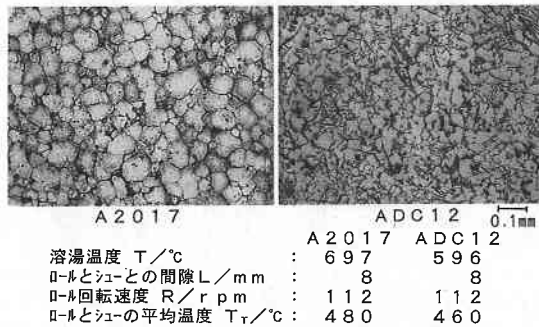


図1 せん断冷却ロール法により製造された半凝固処理材(SCR材)の内部組織

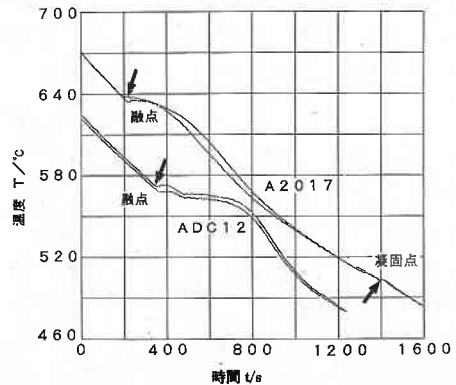


図2 SCR材およびSCR材製造前の母材の冷却曲線

*東京大学生産技術研究所 第2部

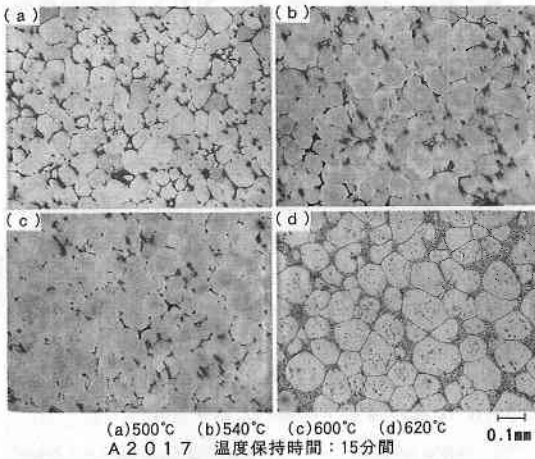


図 3 SCR 材の内部組織におよぼす加熱温度の影響

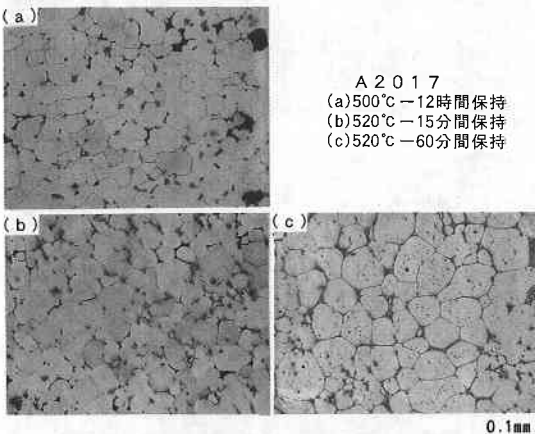


図 4 SCR 材の内部組織におよぼす加熱保持時間の影響

A2017の凝固点直上(約10°C高い)の520°Cにおいて、保持時間を15分と60分とした場合の内部組織である。保持時間が15分の場合は再結晶化の途中の段階であると考えられ、保持時間が60分の場合には再結晶化が大幅に進行していることがわかる。以上、図3・図4の結果から、SCR材の内部組織は、再加熱温度ならびに温度保持時間に敏感に反応していることがわかり、押し出し加工条件を設定するには、これらを考慮することが必要である。

3. SCR材の二次加工性とその製品特性

以下、SCR材の二次加工性を調べるために行った直接押し出し加工実験の結果を示す。被加工材としては、A2017のSCR材のほかに、A2017の溶湯を金型により铸造した素材(自製)を用い、この両者を押し出し加工した際の加工特性・製品特性を比較した。それぞれの被加

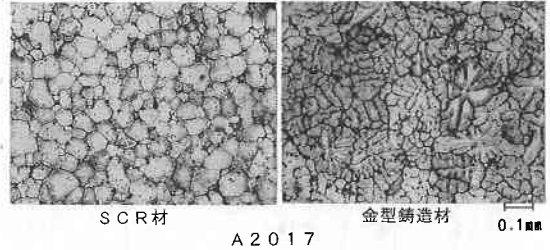


図 5 被加工材(ピレット)のSCR材と金型铸造材の内部組織

表 1 押し出し加工条件

押し出し温度 $T/^\circ\text{C}$	450~558
ラム速度 v/mms^{-1}	0.6~0.7
押し出し比 λ	16, 100
ダイス寸法 $/\text{mm}$	ϕ 4-8
(ダイス径-ベアリング長さ)	ϕ 10-8
コンテナ内径 $/\text{mm}$	40
潤滑	無

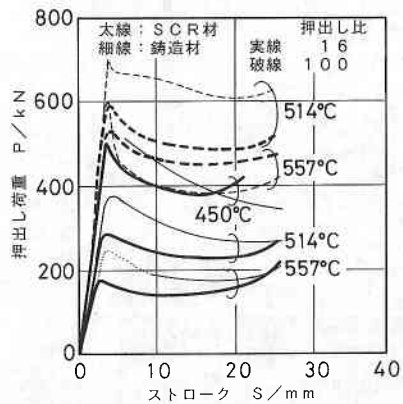


図 6 押し出し荷重 P -ストローク S 線図

工材の内部組織を図5に示す。図から、SCR材では、球状の等軸晶組織であるのに対し、铸造材では樹枝状の組織となっていることがわかる。ダイスは、直径4mmと10mmの二種類を使用し、ダイスベアリング長さは8mm、ダイス角度は180度である。実験は、被加工材(ピレット)をあらかじめコンテナ内に置き、コンテナとピレットとを同時に加熱し、目的とする温度に約15分間保持した後に、ラム速度0.6~0.7mm/sで押し出す方法で行った。押し出し直前にコンテナにダイスを組み込んだが、押し出し加工直後のダイス出側近傍の温度は170~250°Cであった。その他の押し出し加工条件を表1にまとめて示す。

図6は、SCR材と铸造材の押し出し荷重 P -ストローク S 線図を比較して示す。図から以下のことがわかる。

研 究 速 報

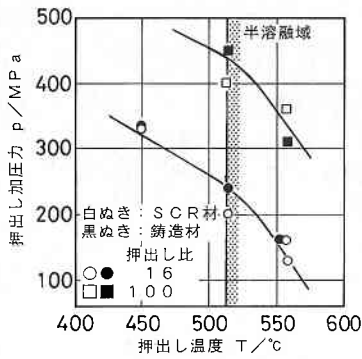


図 7 押出し加圧力 p と押出し温度 T との関係

(1) 熱間押出しの条件下では、SCR 材と鑄造材の押出しに要する加圧力は基本的に変わらない。(2) 半熔融押出し条件下に入ると、SCR 材は急速に軟化し、その押出し加圧力は大幅に低下するが、鑄造材では、樹枝状晶が互いに拘束し合うため、軟化の程度が SCR 材ほどではなく、必要とする押出し加圧力は SCR 材の場合に比して相対的に高い。(3) ただし、温度が高くなり固相率が低下してくると、鑄造材の樹枝状晶の崩壊が一気に進行する傾向も見られ(押出し比100, 温度557°Cの場合参照), 低固相率の場合の鑄造材の流動挙動についてはより詳細な検討が必要である。

図 7 は、図 6 の結果をもとに、押出し加圧力 p と押出し温度 T との関係を整理した結果を示す。ただし、

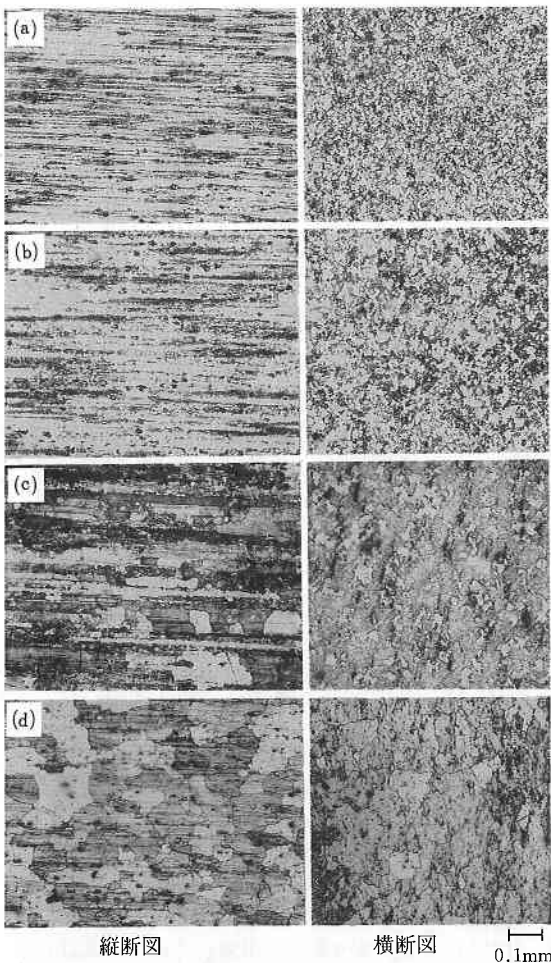


図 8 SCR 材の押出し製品の内部組織

	(a)	(b)	(c)	(d)
押出し温度 $T/^\circ\text{C}$	450	514	557	557
押出し比 λ	16	16	16	100

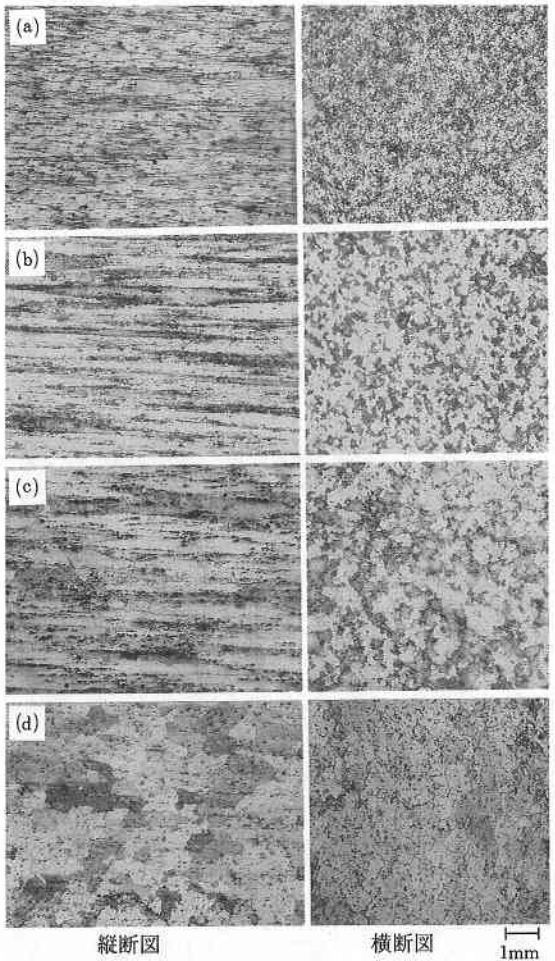


図 9 鑄造材の押出し製品の内部組織

	(a)	(b)	(c)	(d)
押出し温度 $T/^\circ\text{C}$	450	514	557	557
押出し比 λ	16	16	16	100

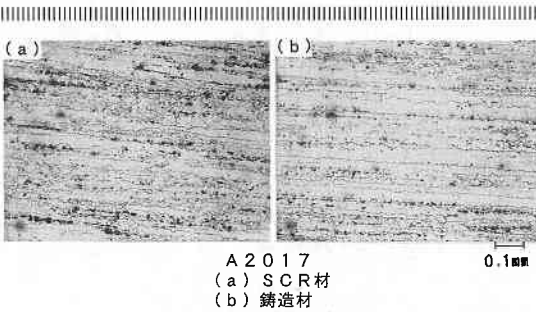


図10 T4 処理後の製品の内部組織

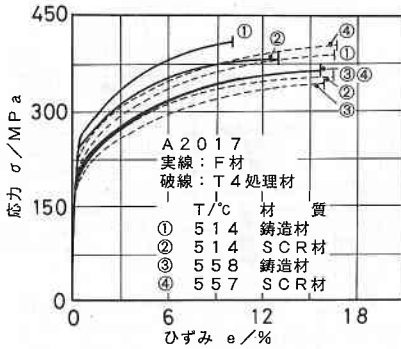


図11 応力 σ -ひずみ e 線図

押出し加圧力 p は、押出しストローク15mmの段階での値である。図から、SCR材・铸造材の双方とも、半溶融押出しになると押出し加圧力は急激に低下してくることがわかる。

図8は、SCR材を押出した場合の製品の縦・横断面の内部組織を示す。図から、熱間状態(450°C)の押出しでは、結晶粒が押出し方向に著しく展伸されていること、半溶融押出し条件に入ると固相率の低下とともに結晶粒の展伸度合いがいくぶん緩和されてくることがわかる。また、半溶融状態(557°C)の押出しでは、再結晶組織が形成されていること、押出し比が大きい場合には、再結晶化が一段と進んでいることなどがわかる。

図9は、铸造材を押出した場合の製品の内部組織を、図8と対応させて示す。熱間状態(450°C)から押出した製品の内部組織を図8左上のSCR材の場合と比較すると、SCR材の場合には結晶粒が細長く筋状に展伸されているのに対し、図9左上に示す铸造材では樹枝状晶の影響を受け結晶粒が若干分断・曲がりつつ展伸されていることがわかる。一方、半溶融押出し(514°C、

557°C)の場合には、押出しに伴って樹枝状晶の崩壊が起こるため、押出し後の製品の内部組織は、SCR材のそれと比較して大きな相違はないといえる。

図10は、半溶融押出し製品を、500°C・12時間保持後、水冷(T4熱処理)した際の、SCR材(a)と铸造材(b)との内部組織を比較して示す。両者はよく似た内部組織となっている。

図11の実線は、押出し比100で押出されたSCR材および铸造材の、引張り試験によって得られた応力-ひずみ線図を示す。図から、ピレットの固相率の低下とともに半溶融押出し材の耐力ならびに引張り強さは低下するものの、破断ひずみは増大すること、同じく固相率の低下とともにSCR材と铸造材とのこれら特性値の相違は減少すること、などがわかる。図11の破線は、押出し製品をT4処理した後の同様な結果を示す。熱処理により全体的に伸び率は改善されるが、引張り強さの変化は微妙に異なり、そのメカニズムははまだ明らかでない。

4. ま と め

せん断冷却ロール法(SCR法)により製造されたA2017半凝固処理材を被加工材として、熱間および半溶融押出し加工を行い、その際の加工特性ならびに製品特性について、樹枝状組織を有する铸造材を対象とする場合と比較検討を行った。その結果、(1)熱間押出しの条件下では、SCR材と铸造材の押出しに要する加圧力は基本的に変わらないこと、(2)半溶融押出し条件に入ると、SCR材は急速に軟化し、铸造材と比較し、相対的に押出し加圧力が低下してくること、(3)押出し後の製品をT4処理することで、内部組織・破断伸びなどの特性値に関して、SCR材と铸造材とで同程度の値となり区別が付きにくくなること、などがわかった。

なお、本研究では、一度完全凝固したSCR材を再加熱し、熱間および半溶融状態での押出し加工を試みたが、金属浴湯からSCR法により半凝固素材を製造しつつ、直接、押出し加工する場合についても同様な結果が得られるものと予想される。(1993年3月1日受理)

参 考 文 献

- 1) 木内 学・杉山澄雄：平3春塑加講論，(1991)，1。
- 2) 木内 学・杉山澄雄：平3春塑加講論，(1991)，5。