

直接圧延とひずみ付加を利用した半凝固鍛造用素材の開発

大阪工業大学 工学部 機械工学科

助教授 羽賀俊雄

(平成 12 年度研究開発助成 AF - 2000011)

キーワード：半凝固加工，ストリップキャストリング，球状化組織

1. 緒言

半凝固加工に関する研究は、1970 年代から始まったが 1990 年代に実用化されるに至った。半凝固加工(半溶融加工も含める)は、機械的性質の中でも特に伸びの向上が著しい。これには、空気の巻き込みや引け巣などの欠陥が少ないこともあるが、初晶の球状化の影響が大きい。しかし、最も普及している半凝固加工であるチクソキャストリングでは、球状化した組織を得るために特別な素材を作製する必要がある。チクソキャストリング用の素材の作製方法としては、電磁攪拌しながら連続铸造する方法¹⁾が一般的である。半凝固加工により作製した製品のコストを下げるために、より安価に素材を作製することが望まれている。本研究では、ロールキャストリングにより作製した薄板を積層して半凝固加工用の素材とすることを考案した。実際にロールキャストリングで作製した薄板から積層材を作製してチクソキャストリングを行い、組織や機械的性質について調査を行った。

2. プロセスの概要

2・1 薄板、積層材の作製方法

図 1 に薄板と積層材の作製方法を示す。薄板を双ロールキャストリングにより作製する。薄板は溶湯または半凝固スラリーから作製する²⁾。積層材は、铸造したままの板と圧延によりひずみを付加³⁾した板から作製した。薄板を所定の寸法に切断する。各板を溶接により接合して積層材とした。

2・2 初晶の球状化

半凝固状態において初晶を球状化する素材の作製方法としては、以下のようなものがある。ひずみを付加する方法²⁾、半凝固铸造²⁾、低温铸造²⁾、結晶粒微細化剤の添加¹⁾などがある。本研究では、①半凝固铸造、②半凝固铸造とひずみ付加、③低温铸造、④低温铸造とひずみ付加、⑤ひずみ付加の方法を検討した。

2・3 薄板作製用ロールキャスト

薄板は、縦型の高速双ロールキャストリングを用いた。従来のアルミニウム合金用の双ロールキャストリングのロール周速は 10m/min 以下である。これに対して、本研究の高

速双ロールキャストリングは、60m/min 以上の高速で薄板の作製が可能である。従来のアルミニウム合金用双ロールキャストリングのロールは鋼製で薄板の固着を防ぐために表面に離型剤を噴霧している。これに対して本研究の双ロールキャストリングでは銅ロールを採用し、離型剤は使用していない。このため従来のアルミニウム合金用双ロールキャストリングで作製した薄板より、本研究で作製した薄板の冷却速度は高い。

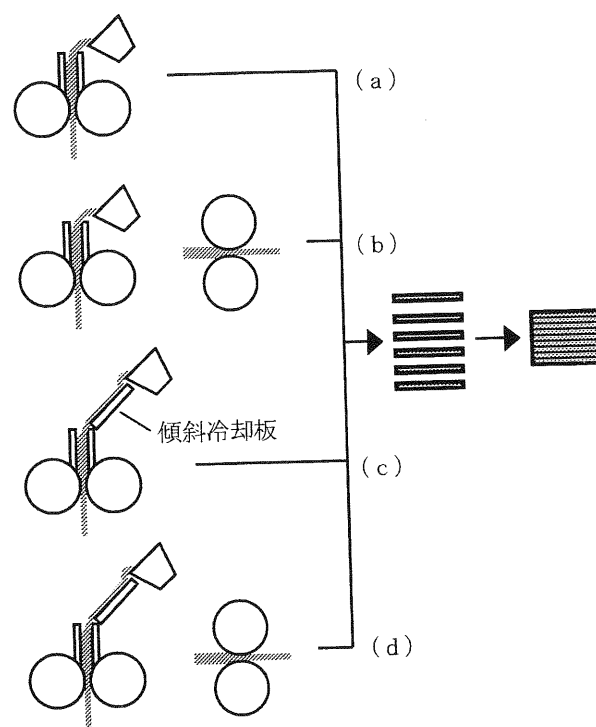


図 1 薄板の各種作製法と積層材の作製

(a) 通常の注湯 (スーパーヒート 50°C)、低温铸造 (スーパーヒート 5°C)、(b) 通常の注湯で作製した板と低温铸造板にひずみを付加する、(c) 傾斜冷却板を用いた半凝固铸造、(d) 半凝固铸造板にひずみを付加する

本研究の双ロールキャストリングは、従来のアルミニウム合金用の双ロールキャストリングと比較して生産性は格段に高い。つまり低コスト化が期待できる。離型剤を使用していないこともコストの低減に寄与する。半凝固铸造や

や低温鋳造では、凝固時の冷却速度が高いほうが半凝固状態まで加熱したときに初晶の球状化は良好である²⁾。

2・4 傾斜冷却板と固相率

半凝固スラリーの作製方法としては、電磁攪拌、機械式攪拌、傾斜冷却板があるがこの中で傾斜冷却板⁴⁾が構造的最もシンプルでありランニングコストも低い。また、双ロールキャスターに取り付けるのも容易である。装着のために双ロールキャスターに特別な改造を施す必要は無い。双ロールキャスターでは連続的に薄板を作製するためには注湯量を適切にコントロールする必要がある。このコントロールが傾斜冷却板では容易である。注湯方法は、傾斜冷却板を組み込まない場合と相違がないからである。半凝固加工では、成形時の固相率は50%の場合が多い。ダイカストなどにおいて空気の巻き込みを防ぐには適切な固相率であると考えられる。しかし、ロールキャストイングの場合は、ロール間隙への材料の供給や凝固によるロールの停止などを考慮すると固相率は20%未満が良いと考えられる。本研究では5%未満とした。低固相率の半凝固スラリーを作製するのに傾斜冷却板は適当である。固相率は、注湯温度、傾斜冷却板の長さ、傾斜角度で調節可能である。

3. 実験条件

表1に双ロールロールキャスターの仕様を示す。

表1 ロールキャスターの仕様

タイプ	縦型
ロール	直径 300mm 幅 100mm 材質 銅 冷却 水冷
離型剤	使用しない
ロール周速	30~180m/min
成形荷重	50~400N/mm (単位幅)
荷重の付加方法	バネ
凝固距離	40~100mm
溶湯ヘッド	50~100mm
溶湯プールの保持	サイドダムプレート 注湯ノズル
ノズル	鋼板に耐火ペーパーを接着したものを使用
サイドダムプレート	鋼板に耐火ペーパーを接着したものを使用
注湯量	2.5kg

表2に薄板の作製条件として、鋳造条件と圧延条件を示す。

表2 薄板の作製条件

傾斜冷却板	長さ 300mm 幅 100mm 材質 軟鋼 傾斜角度 60度 離型剤 BN 冷却 水冷
実験試料	AC4C 2.5kg
注湯温度	通常 660℃ 半凝固鋳造 620℃ 低温鋳造 615℃
ロール周速	90m/min
成形荷重	140N/mm (単位幅)
冷間圧延	圧下 20%

半凝固成形の条件を表3に示す。また、成形方法の概要を図2に示す。

表3 半凝固成形条件

積層材寸法	40×40×40mm
成形温度	580℃
成形荷重	100kN
ラム速度	500mm/s
型	80×70×8mm 材質 黒鉛
加熱方法	高周波加熱

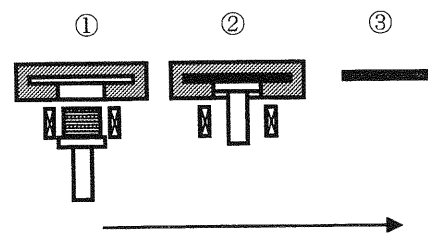


図2 縦型プレスによる積層材の半凝固成形の概要
①高周波による加熱、②成形、③半凝固成形片

4. 実験結果

4・1 AC4C板のロールキャストイング

AC4C板は、一般的な鋳造においては鋳造性が良いとされている。ロールキャストイングにおいても薄板を作製し易い合金であった。90m/minの高速でもすべての条件で薄板の作製が可能であった。板厚は、通常の注湯、低温鋳造、半凝固鋳造の順で厚くなった。1.8mmから3mm

程度の範囲の板厚であった。溶湯から作製した板と半凝固スラリーから作製した板の表面状態には差異は見られなかった。

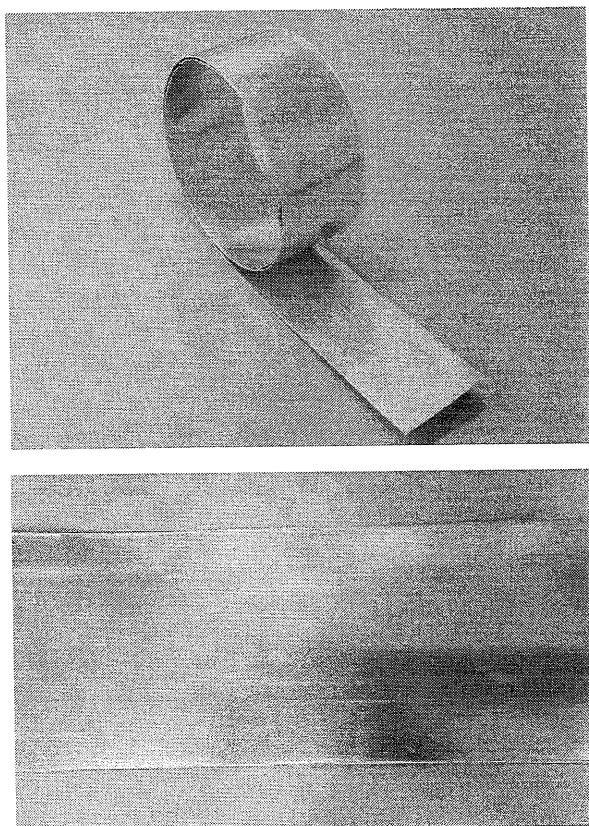


図3 作製した AC4C 板 上：コイル，下：表面

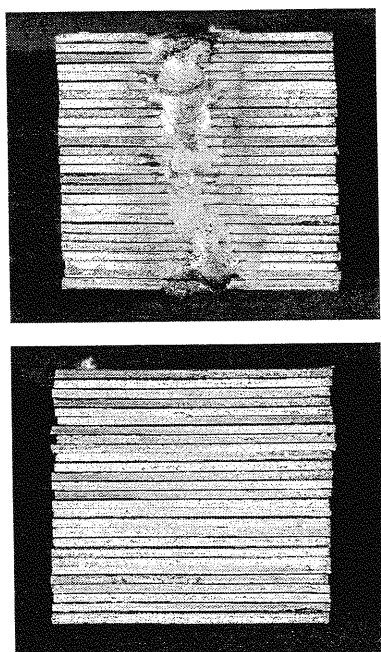


図4 ロールキャスト板より作製した積層材
上：溶接を施した面，下：溶接を施していない面

図3にロールキャスト AC4C 板の一例を示す。铸造したままの状態の板をコイル状にすることが可能であり、板幅は一定であった。表面には積層時に害を及ぼすと考えられる表面欠陥は存在しなかった。

4・2 積層材の作製と誘導加熱

図4に積層材を示す。2面を溶接することで各板を結合して積層材を作製した。溶接時に板が反るようなことはなかった。

積層材はチクソフォーミング用素材を加熱するのと同等の方法で、半凝固状態まで加熱することができた。加熱するときの積層材の置き方は、板が水平の場合(図4)と垂直の場合があるが、どちらの場合も半凝固状態まで加熱することができた。

4・3 半凝固状態における初晶の球状化

ロールキャストしたままの状態の板と冷間圧延によりひずみを付加した板を半凝固状態まで加熱して初晶の状態を調査した。AC4CにはSiが6 mass%以上含まれているが、铸造したままの状態でも冷間圧延が可能であった。本研究のロールキャスト板は、冷却速度が高く結晶粒が微細化したため、延性が得られたと考えられる。図5にロールキャスト板の共晶Siを示す。共晶Siは1 μ m以下と大変微細であり、かつ粒状かしていた。これが延性の向上に大きく影響していると考えられる。

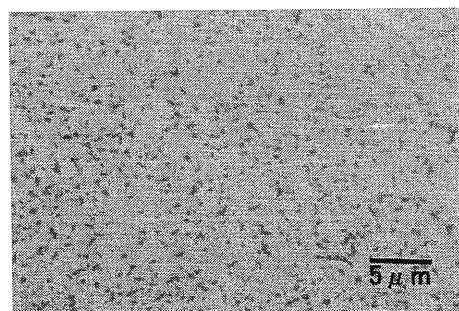


図5 ロールキャストした AC4C 板の共晶 Si

表4 半凝固状態における初晶の球状化

薄板の作製方法	球状化の可否
通常の注湯	否
通常の注湯+冷間圧延	可
低温铸造	可
低温铸造+冷間圧延	可
半凝固铸造	可
半凝固铸造+冷間圧延	可

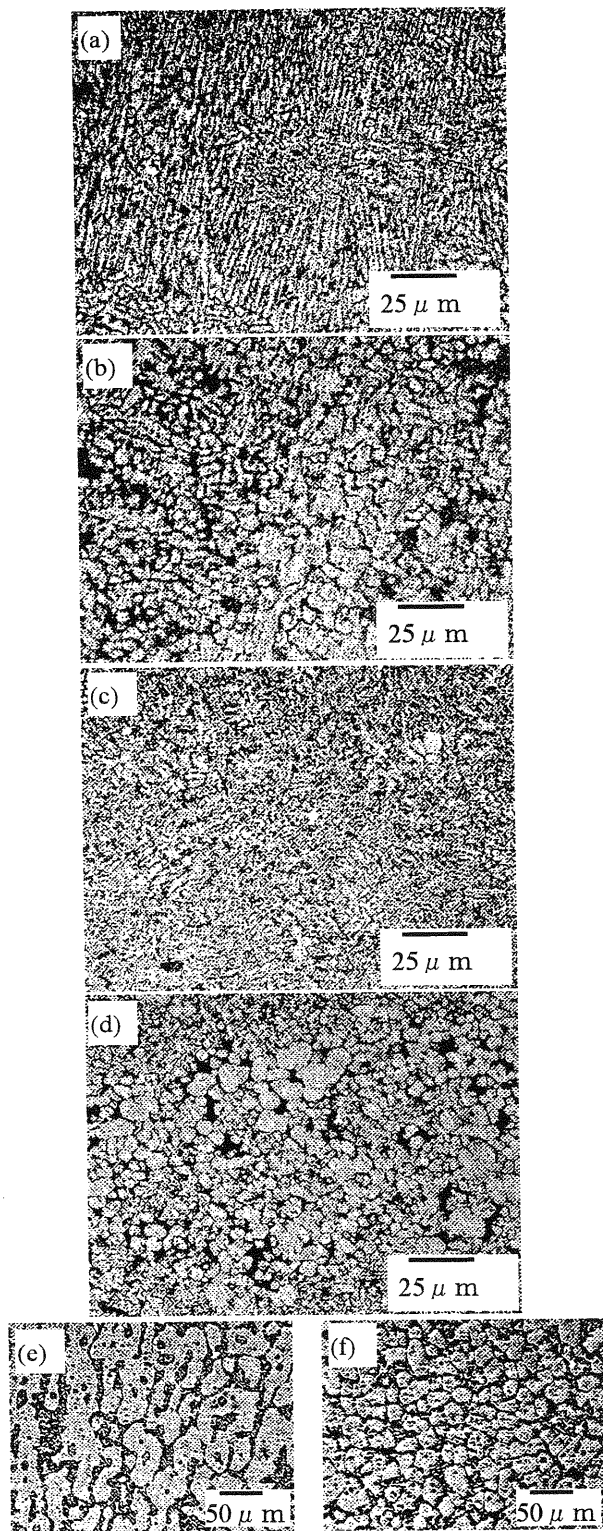


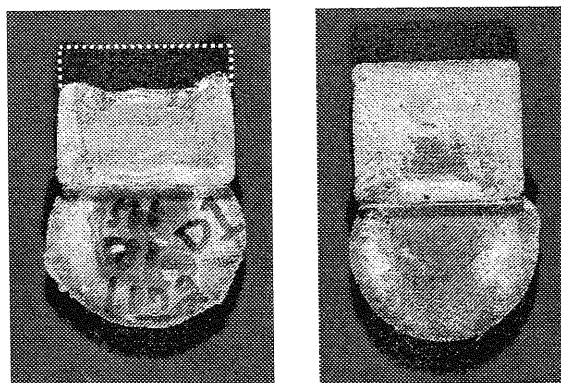
図6 薄板の铸造したままの組織と半凝固温度まで加熱して水冷したときの組織

通常の注湯で作製した板の表面近傍の組織(a)と中心付近の組織(b), 半凝固铸造で作製した板の表面近傍の組織(c)と中心付近の組織(d), 通常の注湯で作製した板を半凝固温度まで加熱して水冷したときの組織(e)と同様の操作を半凝固铸造で作製した板に行ったときの組織(f)

各方法で作製した薄板を半凝固状態に加熱して水冷し、半凝固状態における組織を調査した。結果を表4に示す。また、薄板の組織と半凝固状態まで加熱後に水冷した場合の組織を図6に示す。スーパーヒートが50℃の通常の注湯で作製した薄板は、半凝固状態まで加熱しても初晶は球状化しなかった。しかし、冷間圧延でひずみを付加すると初晶は球状化した。低温铸造と半凝固铸造で作製した薄板は、半凝固状態で初晶が球状化した。また、低温铸造と半凝固铸造で作製した薄板にさらにひずみを付加しても、初晶が小さくなるまたは球状化の度合いが増すなどの効果は見られなかった。ひずみを付加すると球状化する温度が若干高くなる現象が見られた。通常の注湯で作製した薄板と半凝固铸造で作製した薄板の両方も中心部と表面近傍では組織は異なり、板厚方向で組織は均一ではなかった。通常の注湯で作製した薄板の表面近傍は小さく短い柱状組織であるのに対し中心部は等軸組織に近かった。半凝固铸造で作製した薄板の表面近傍は、通常の注湯で作製した薄板より細かな柱状組織でその中に球状組織が点在した。また、内部は微細な球状組織であった。低温铸造で作製した薄板の組織は、半凝固铸造で作製した薄板の組織に似ていた。半凝固状態まで加熱したとき、通常の注湯で作製した薄板の初晶は球状化しなかった。しかし、他の条件で作製した薄板の初晶は球状化し、チクソキャスト用の素材として使用できる可能性があることが明らかになった。铸造したままの状態の板の組織は板厚方向で均一ではない。しかし、半凝固状態まで加熱したときは、板厚方向でほとんど均一な組織になった。

4・4 積層材のチクソキャスト

図7に薄板から作製した積層材を使用したチクソキャストの結果を示す。



(a) 材料が型に未充满 (b) 材料が型に充满

図7 積層材の半凝固成形における型充满の状態

(a)通常の注湯で铸造した薄板で作製した積層材を使用 (b)半凝固铸造した薄板で作製した積層材を使用

半凝固状態まで加熱したときに初晶が球状化しなかった板、つまり通常の注湯で铸造した板で作製した積層材をチクソキャストした場合は、図7(a)に示すように材料は型に充満しなかった。これは初晶が球状化していないため、良好な流動性が得られなかったためと考えられる。これに対し、表4で半凝固状態において初晶が球状化する条件の板で作製した積層材をチクソキャストした場合は、図7(b)に示すように材料は型に充満した。この結果より、薄板から作製した積層材はチクソキャスト用の素材として使用可能であると判断できる。

低温铸造と半凝固铸造で作製した板は、ひずみを付加しなくても初晶は球状化した。これらの方法で板を作製すれば、圧延工程が必要ではなく通常の注湯で作製した板からチクソキャスト用素材の積層材を作製するより低コストになる。実際の生産においてスーパーヒートを5°C程度に保持して溶湯をハンドリングするのは容易ではない。傾斜冷却板を使用すれば、低温铸造の場合であればスーパーヒートは30°C程度まで高くできる。操作とコストの点から判断すると、傾斜冷却板を使用して低温铸造した板で積層材を作製するのが適当である。

4・5 半凝固成形材の機械的性質

表5に半凝固铸造板で作製した積層材をチクソキャストしたものの機械的性質を示す。電磁攪拌で作製

した連铸棒の素材とほぼ同等の機械的性質を示した。

表5 半凝固成形材の機械的性質 (T6)

引張り強さ	0.2% 耐力	伸び
315 MPa	253 MPa	8%

5. 結言

ロールキャストにより作製したを所定の形状に切断し、それを用いて作製した積層材をチクソキャスト用の素材として使用することを検討した。スーパーヒート50°Cの通常の注湯で铸造した板には、初晶を球状化させるために、ひずみを付加する必要がある。低温铸造板と半凝固铸造板はひずみを付加しなくても、半凝固状態に加熱したときに初晶は球状化した。低温铸造板と半凝固铸造板で作製した積層材は、チクソキャストのとき良好な流動性を有し、積層材がチクソキャスト用の素材として使用できる可能性を示した。

参考文献

- 1) たとえば岡野忍：塑性と加工,41-479 (2000),1162.
- 2) 羽賀俊雄：塑性と加工,41-479 (2000),1231.
- 3) 羽賀俊雄：塑性と加工,41-479 (2000),1226.
- 4) 劉馳・青山俊三・坂本勝美・茂木徹一：第175回組成加工シンポジウム,(1997),17.