

MD法/ME法複合プロセスによる溶湯直接成形板の 高速化とファインサーフェイス化

大阪工業大学 工学部 機械工学科
講師 羽賀 俊雄

(平成8年度研究開発助成AF-96029)

キーワード : ロールキャストリング, ストリップキャストリング, メルトドラッグ法

1. 研究の目的と背景

ロールキャストリング法は、急冷効果により材質の改善が期待できる。また装置の価格とランニングコストが低くアルミニウム合金のリサイクルキャスターとしての使用が検討されている。しかし、アルミニウム合金に関しては、双ロール法を代表とするロールキャストリング法は、ロール周速が遅く特有の表面欠陥^{1),2)}が発生するなどの欠点がある。本研究では、メルトドラッグ法(MD法)とメルトエクストラクション法(ME法)を複合し改良したメルトドラッグ双ロール法と下方メルトドラッグ双ロール法により、アルミニウム合金ストリップのファインサーフェイス高速キャストリングの可能性を追求した。

2. 従来のロールキャスターとの比較

従来のロールキャスターは、固液相線間における凝固形態の違い、マッシータイプかスキンフォーメーションタイプを考慮したキャスターに関する研究は無いようである。本研究では、亜共晶非マッシー状態、亜共晶マッシー状態、過共晶マッシー状態のアルミニウム合金に適したキャスターの開発を目指した。従来のアルミニウム合金用キャスターでは、ロール周速が20m/min以上の高ロール周速領域における研究例がない。したがって表面欠陥の状態、欠陥の発生メカニズム、対処の方法について明らかではない。本研究では、単ロール法の一つであるメルトドラッグ法により高速キャストリングにおける表面欠陥および操作条件との関係に関する基礎データを得た。従来のアルミニウム合金用ロールキャスター^{1),2)}は、一對の縦形に配置したロール間にノズル(チップ)より注湯する方式を全てが採用していると言っても過言ではないと思われる。本研究では、メルトドラッグ法とメルトエクストラクション法をベースにして考案したメルトドラッグ双ロール法^{3)~6)}、および下方メルトドラッグ双ロール法でアルミニウム合金ストリップの高速キャストリングを検討した。

3. 高速キャストリングと薄板の表面欠陥

図1は、メルトドラッグ法を示す。図2は溶湯高さ、溶湯とロールの接触長さ、ロール周速が薄板の表面状態に対する影響を調査する場合のノズルとロールの位置関係を示す。(a)は溶湯高さは同じで接触長さが異なる。 $V1 : V2 = Lc1 : Lc2$ の場合は、接触時間が等しくなり、

ロール周速の影響を調査することができる。また、ロール周速を一定にして、ノズル位置が上方に移動するほど接触時間は長くなり、接触時間の影響を調査することができる。(b)は接触長さは同じで溶湯高さは異なる。 $V1 = V2$ の場合は、接触時間が等しくなり、溶湯高さの影響を調査することができる。図3は、ロール周速、溶湯高さと板のロール接触面の関係を示す。ロール周速が高いほど、溶湯高さが低いほど薄板のロール接触面に板幅方向の欠陥が発生する。欠陥部分の板厚は他の部分より薄い。また、欠陥は周期的に発生しているようである。

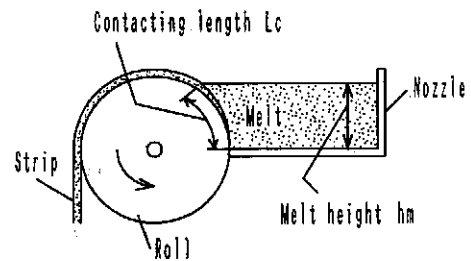


図1 メルトドラッグ法

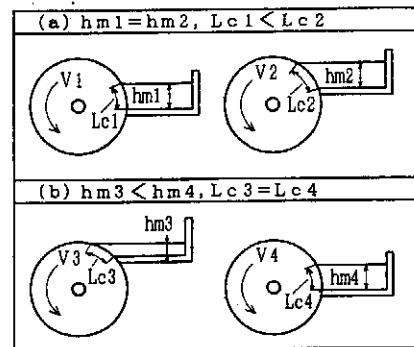


図2 ノズルの位置と各条件の関係

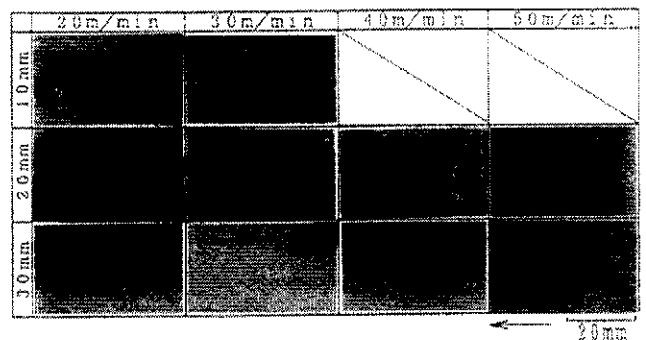


図3 薄板のロール接触面(Al-12%Si)

図4に欠陥発生メカニズムの推測図を示す。溶湯高さが低くなると欠陥が発生することからノズル底面の静水圧が関係し、静水圧が低いほど欠陥ができやすい。欠陥の部分は板厚が薄くなっているの、溶湯とロール間の接触状態が悪くなっている、つまり熱伝達係数が低くなっている。図5にオープントップとクローズドトップノズルを示す。双ロール法の上ロールと溶湯の関係に等しい。オープントップノズルでは接触開始点の圧力がゼロであるため欠陥が発生するが、クローズドトップノズルでは、溶湯ヘッドに等しい接触圧力が掛かるので表面状態は良好になる。図6は、ロール周速、ロールと溶湯の接触時間と板厚の関係を示す。接触時間が長くなると板厚は増加する。接触時間が同じでも、ロール周速と接触長さの組み合わせが異なると厚さも異なる。接触時間が長くなるに従い、厚さの差は小さくなる。図7は、ロール周速、ロールと溶湯の接触時間と薄板・ロール間の熱伝達係数の関係を示す。板厚、溶湯とロールの接触時間より1次元の伝熱凝固解析^{7)~9)}により熱伝達係数を推測した。図6の板厚からも推測できることであるが、熱伝達係数は溶湯高さやロール周速の影響を受ける。その差は、接触時間が短いほど大きい。接触時間が長くなるに従い熱伝達係数の差は小さくなる。ロールと溶湯の接触状態が時間の経過とともに不良になっていき、熱伝達係数は0.9秒後にはほぼ一定になる。図8はロール周速、溶湯高さや板厚の関係を示す。接触時間は一定であるが、溶湯高さやロール周速により板厚は異なる。しかし、溶湯高さが高くなるに従いロール周速の影響は小さくなる。図9は、ロール周速、溶湯高さや薄板・ロール間の熱伝達係数の関係を示す。熱伝達係数は、ロール周速が低いほど、溶湯高さが高いほど大きくなる。熱伝達係数と薄板のロール接触面の状態とは相関関係があり、欠陥が発生し易い条件では熱伝達係数が小さくなる傾向が見られる。溶湯高さが高くなるほど静水圧は高くなるので溶湯とロールの接触圧力も高くなり、熱伝達係数が高くなると思われる。ロール周速が高いほど欠陥ができ易いことより、高ロール周速では、溶湯とロールの接触状態は不良になり、熱伝達係数も小さくなると思われる。

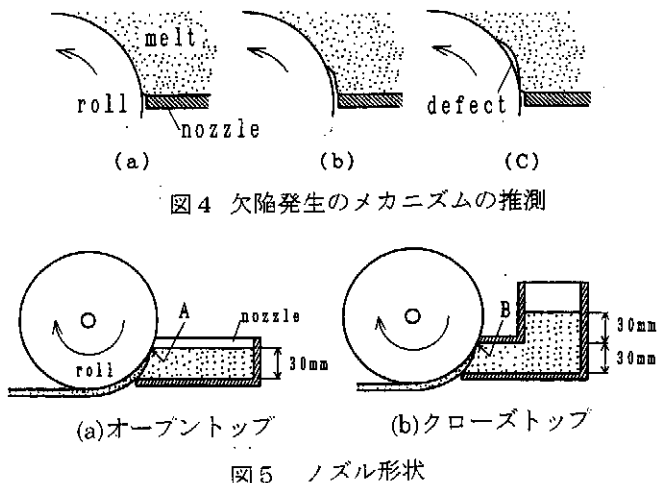


図4 欠陥発生メカニズムの推測

図5 ノズル形状

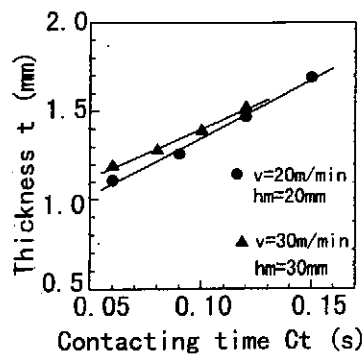


図6 各条件および接触時間と板厚の関係(Al-12%Si)

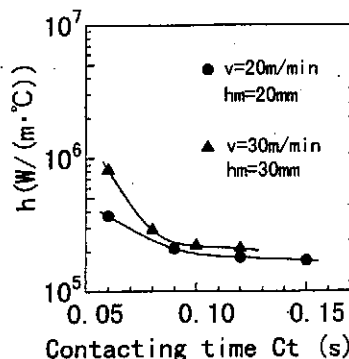


図7 各条件、接触時間と熱伝達係数の関係(Al-12%Si)

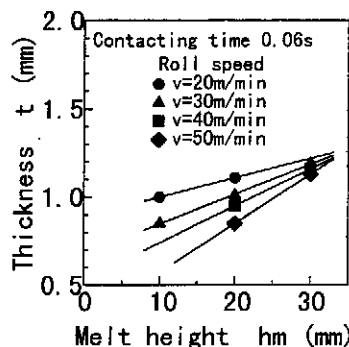


図8 各条件および溶湯高さや板厚の関係(Al-12%Si)

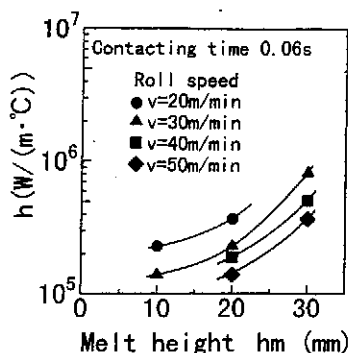


図9 各条件、溶湯高さや熱伝達係数の関係(Al-12%Si)

4. メルトドラッグ双ロール法

メルトドラッグ双ロール法は、単ロール法のメルトドラッグ法にロール付加し双ロールにしたものである。上ロール(本プロセスでは成形ロールと呼ぶ)の位置と溶湯との接触状態が他の双ロール法とは異なっている。図10に本研究のメルトドラッグ双ロール法を示す。図1に示したオリジナルのメルトドラッグ法と同様にオープントップのノズルを用いているが、溶湯液面が高い。成形ロールはノズルの外に配置してある。サイドダムを使用しなくても溶湯は両サイドに広がらない。本方法では、圧延は行わない。したがって、離型剤をロール面に噴霧しなくても板がロールに固着せず、ロールキャスト法の一つの欠点である固着が解決できたことになる。圧延を行わないため、銅ロール(通常は鋼製ロール)を用いることができ、冷却速度とロール周速を向上することができる。成形ロールの成形荷重は、バネにより調節している。成形荷重は、板の成形ロール面の成形と、板とロール間の熱伝達を向上させる必要以上に高く無い。板幅は、ノズル幅より広い。

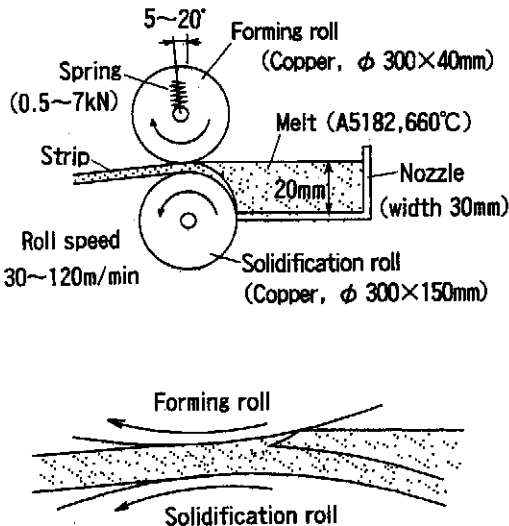


図10 メルトドラッグ双ロール法の概略図とロールギャップ周辺の拡大図

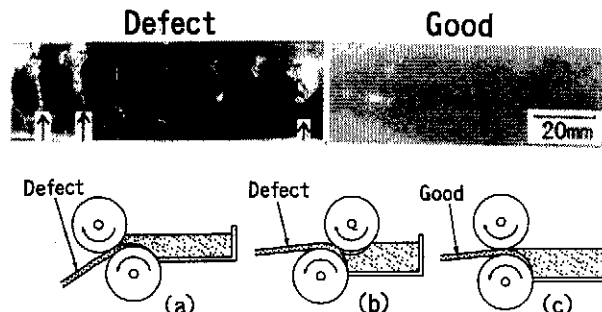


図11 上ロール位置と板の表面状態の関係(A5182)

図11には本研究以外に考えられる成形ロールの位置と作製した板の表面状態を示す。(a)は本研究のメルトドラッグ双ロール法である。(b)は傾斜双ロール法と、また

(c)は鉄鋼で研究されてる異径双ロール法と同様な成形ロールの配置になっている。(b)と(c)の場合は、ロール周速が高くなると上ロール面に欠陥が発生する。これは、図5に示すように溶湯とロールの接触開始時の圧力が低いためである。特に傾斜双ロール法は、上ロールおよび下ロールともに溶湯とロールの接触開始時の圧力が低く、高速ロールキャストには適していない。また、(b)、(c)では、上ロールによる凝固層が溶湯内で剥離りする場合がある。(a)の本研究では、上ロールと下ロール上の凝固層間の溶湯の厚さは薄い。溶湯とロールの接触圧力は高くなり、溶湯とロールの接触後、短時間の内に半凝固に近い状態で圧下を受けるために、上ロール面は良好な状態になる。また、溶湯の層が薄く液面の振動が起こらないのも表面状態が良好になることの原因の一つであると考えられる。

図12にロール周速と板厚の関係を示す。ロール周速20~120m/minで実験を行った。120m/minまで板の作製は可能であるが、50m/min程度までが最も安定している。従来、双ロール法でA5182合金を作製した例では、ロール周速は15m/min以下である。本研究のプロセスの高速ロールキャストにおける有効性を示している。高速でロール周速が高くなるに従い、板は薄くなる。ロール周速が40m/min以下であれば、厚さ2mm以上の板の作製が可能である。

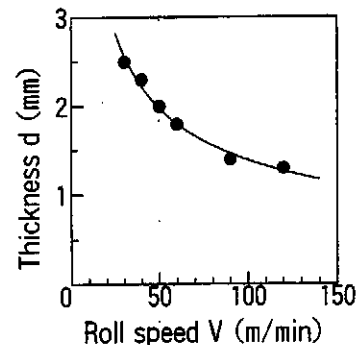


図12 ロール周速と板厚の関係(A5182)

図13、14に薄板の断面組織を示す。従来の双ロール法で作製した薄板の断面組織は、ロール接触面から板中央部に向って発達した柱状組織で、板厚中央部に上下ロールによって凝固した層が接合され、その接合界面が存在するのが一般的である。メルトドラッグ双ロール法で作製した薄板の断面組織は、等軸組織組織である。また、接合界面は存在しない。組織は、ロール周速が高くなるに従い小さくなる。凝固ロール(下ロール面)が組織は最も小さく、成形ロール面側になるに従い徐々に大きくなっている。

図15に薄板の表面を示す。凝固ロール接触面は図3に示したのと同様な幅方向の欠陥が存在する。Al-Mg系のA5182は、Al-Si系と比較して欠陥が発生し易いようである。ロール周速が高くなるに従い、欠陥と欠陥の間隔

は広くなる。成形ロール(上ロール)面は、凝固ロール面と比較すると平坦で良好であり、目立った欠陥は存在しない。これは、本研究で採用した成形ロールが高速ロールキャストに對し優れていることを示している。

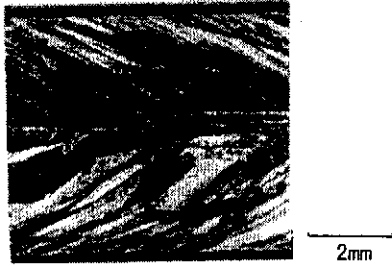


図13 従来の双ロール法で作製した板の断面組織

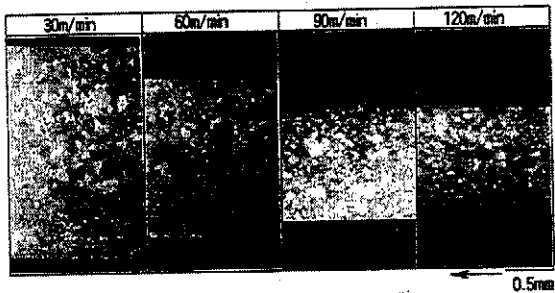


図14 板の断面組織(A5182)

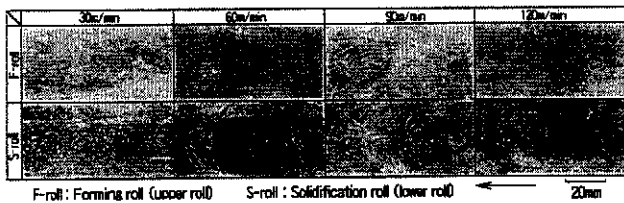


図15 板の表面状態(A5182)

5. 下方メルトドラッグ双ロール法

前術のメルトドラッグ双ロール法は、亜共晶のマッシータイプのアルミニウム合金のストリップキャストには適しているが、スキnfォーメーションタイプまたは過共晶のマッシータイプのアルミニウム合金には適していない。スキnfォーメーションタイプの場合、半凝固状態における変形抵抗が大きく薄板の成形ロール接触面の成形は困難である。過共晶のマッシータイプのアルミニウム合金では、薄板の成形ロール接触面の凝固が完了しない。そこで、メルトドラッグ双ロール法を改良した。下方メルトドラッグ双ロール法を考案した。

図16に下方メルトドラッグ双ロール法を示す。上ロールが凝固ロール、下ロールが成形ロールになる。成形ロール上にパドルが成形される。パドル内で薄い凝固層ができる。したがって両面がロールにより成形された薄板が作製できる。パドルが形成されることにより、メルトドラッグ双ロール法では、成形ロール面が成形できなかったスキnfォーメーションタイプのアルミニウム合金も成形できるようになる。図17に示すように下方メルトドラッグ法用のノズルには、スロープがある。スロープの役割は、スロープとロールの間隙から溶湯が流出する

量をコントロールする。スロープが長いほど、スロープとロールの間隙が狭いほど流出量は少なくなる。

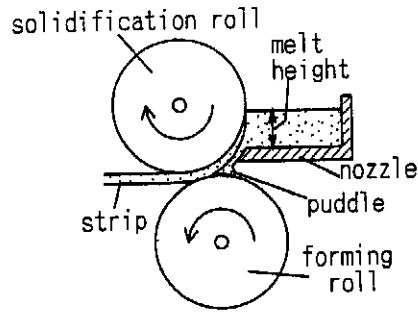


図16 下方メルトドラッグ双ロール法

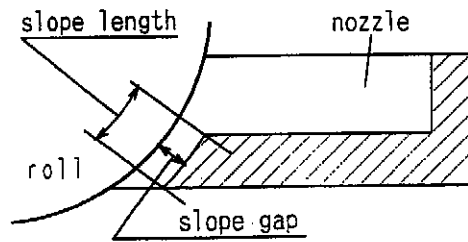


図17 下方メルトドラッグ双ロール法のノズル形状

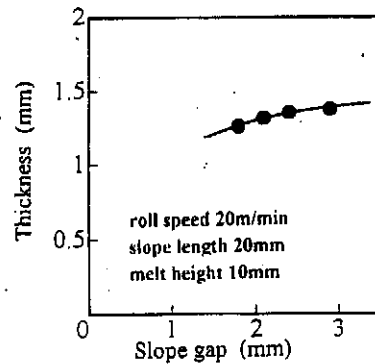


図18 スロープ間隙と板厚の関係(A1050)

図18にスロープ間隙と板厚の関係を示す。スロープ間隙が広くなるに従い、板厚も増加している。これは、スロープ間隙が広くなると流出する溶湯量も増加し、パドルが大きくなるために成形ロールによる凝固層厚さが増し、結果として板厚が増したと考えられる。

図19は、スロープ長さと板厚の関係を示す。スロープ間隙が1.8、2.4mmの両条件において、スロープが長くなると板厚も増加している。これは溶湯とロールの接触長さが増加するためであると考えられる。図20にスロープ長さと薄板の表面状態の関係を示す。凝固ロール面は、スロープ長が20mmと36mmでは差異は無いが、50mmの場合は幅方向の欠陥が発生している。この欠陥は、板厚がスロープ間隙に近くなり、詰まるために発生すると考えられる。板幅は、スロープが長くなるに従い狭くなる。これは、スロープが長くなるに従い板が厚くなりスロープと板の間隙が狭くなり、溶湯の流出量が少なくな

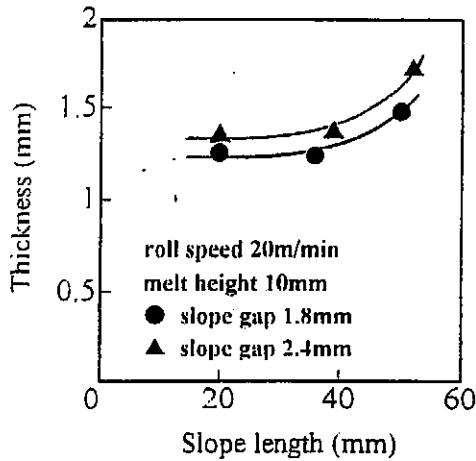


図19 スロープ長さと板厚の関係(A1050)

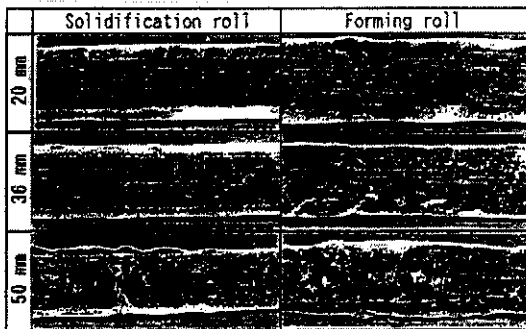


図20 スロープ長さと板の表面状態の関係 20mm (A1050)

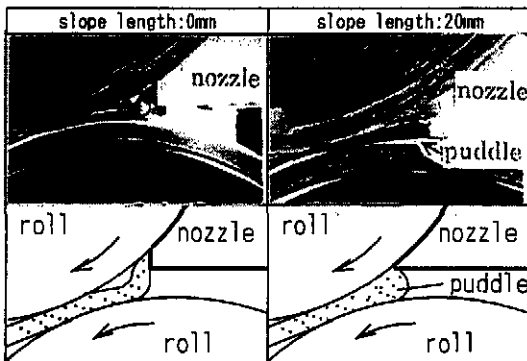


図21 スロープとバドルの状態の関係(A1050)

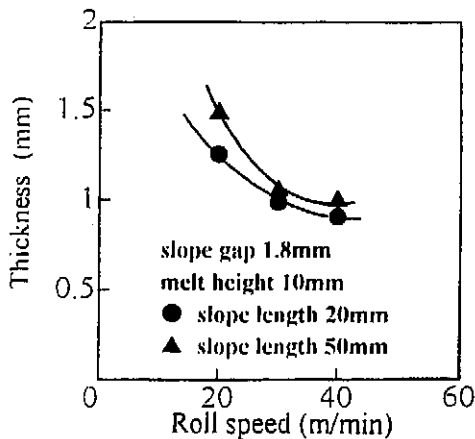


図22 ロール周速と板厚の関係(A1050)

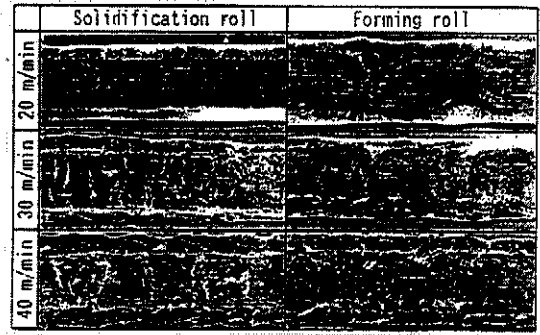


図23 ロール周速と板の表面状態の関係 20mm (A1050)

りバドルが小さくなるので、ロール間隙における溶湯の幅広がり小さくなるためである。図21は、バドルの状態の観察を示したものである。スリットがない場合は凝固ロール面に凝固層が成形されておらず、スロープ出口で溶湯は凝固ロールから剥離している。スロープがある場合は、凝固層は凝固ロールに固着しており、バドルも成形されている。図22は、ロール周速と板厚の関係を示している。他のロールキャスト法と同様に、ロール周速が高くなるに従い板は薄くなる。板厚は、スロープ長とロール周速によってコントロールされる。図23は、薄板の表面状態へのロール周速の影響を示す。ロール周速が高くなるに従い、板の凝固ロール面に幅方向の欠陥が発生するようになる。これは、溶湯液面の振動によるところが大きいと考えられる。これに対しては、図5に示したクローズトップノズルを用いることで解決できる。

6. 結言

アルミニウム合金ストリップのファインサーフェイス高速キャスト法を目指し、メルトドラッグ双ロール法と下方メルトドラッグ法を開発した。これらの方法により低圧下・高速でファインサーフェイスのアルミニウム合金ストリップを作製することができた。

<謝辞>

本研究は、(財)天田金属加工機械技術振興財団による研究開発助成を受けたものであり、記してここに感謝の意を表します。

<参考文献>

- 1) 例えば、松尾守：軽金属, 39(1989), 524.
- 2) 例えば S.A.Lockyer, Ming Yun, J.D.Hunt, D.V.Edmonds: Materials Science Forum.217-222(1996),367.
- 3) 羽賀俊雄, 他3名：軽金属, 44(1994), 136.
- 4) 羽賀俊雄, 他3名：軽金属, 44(1994), 498.
- 5) 鈴木進補, 羽賀俊雄, 本村貢：軽金属, 47(1997), 632.
- 6) 鈴木進補, 羽賀俊雄, 本村貢：軽金属, 47(1997), 638.
- 7) 大中逸雄：コンピュータ伝熱・凝固解析入門, 丸善, (1985)
- 8) 高橋恒夫編：非鉄金属材料選択のポイント, 日本企画協会, (1984), 64.
- 9) 板村正行, 山本直道：鑄造工学, 68(1996), 493.