

討 9 鉄鋼材料の連続製造法

早稲田大学 理工学部

草川隆次

I 緒言

連続製造法は最近では Strip Casting と一般に呼ばれているが他にも小断面連続製造法とも呼ばれている。過去には直接圧延 (Direct Rolling) と一部のものは云々呼ばれているが最近では連続製造と圧延とを直接連続させた直送圧延の方に云々呼ばれている。

鉄鋼より何らかの方法で鋼の連続製造という考え方はすでに100年以上も以前より実験されて来たが実用化はされなかったようである。しかし非鉄材料ではすでに1960年代に鋳金よりの直接連続製造する技術はほぼ完成し現在では世界中で使用されている。

最近になって金属凝固学の進歩とともにあらゆる工業に省エネルギーが叫ばれ、製鉄技術にも当然のことながらこの方針は取り入れられた。これは別の言い方をすれば Near Net Shape の考え方にあり、連続製造のスラブはさらに薄く連続製造にしようという考えが出て来る。

一方世の中が新素材を必要とするものが多くなり、材料の種類は増えて行く傾向に在っている。材料の中には難可塑性のものも少なくないが、この材料も連続製造に於いては圧延その他の加工が容易になることも多い。一方金属凝固学も工学として整理され、このような連続製造に伴う急速凝固現象もある程度明らかになっており、これによって連続製造法に於いて注目される。

以上のことから本討論会資料としては過去に考えられ、実験された方法について整理分類し、今後これらを実用化して行くに当たっての参考資料としたい。

II 連続製造法の分類

連続製造法について種々の分類法が考えられるが、ここでは1) 使用目的による分類、2) 連続製造機の種類による分類、3) 凝固工学による分類に分けて考え、そのおのおのについて説明する。

1) 使用目的による分類

使用する目的により次の3種に分けて考える。

a) 難可塑性材料を連続製造することにより可塑性を容易にする。

鉄鋼は黒鉛またはセメントが晶出しているため一般には圧延が難しいと考えられているが、これは1~2mm程度の連続製造に於いては、圧下率を少なくすれば容易に圧延は可能である。セメントが晶出している材料も連続製造は可能である。その他 SUS309 の変形材料では連続製造が難しいものがあるが、1~2mm程度の連続製造に於いては、直接冷送することにより欠陥なく圧延が可能である。

b) 省エネルギー

連続製造法 (Strip Casting) の大きな目的の一つで、この方法が Near Net Shape の思想にもつながっている限り、従来の方法に比較して当然のことながら省エネルギーになる。鋼片の加熱と圧延工程の省エネルギーは著しい省エネルギーになる。本国ではエネルギー省がこのプロセスに補助金を出していることは当然のことである。

c) 超急冷

鋳金を10%以上以上の速度で急冷すれば結晶性のなめアマルパスの状態の金属を造り出すことが出来る。もちろん鉄鋼についても限られる組成のものに限られる。一般に10²/s以上で急冷すれば結晶粒度が著しく細くなる鋼が得られ、特性のある鋼が得られる。

え、連続鑄造法の種類による分類

連続鑄造法は非鉄金属材料よりも鉄鋼材料の方が歴史的には早く用いられたことが知られるが、実用化に関しては非鉄金属材料すなわち銅および銅合金、アルミニウムおよびその合金に用いられた。ここでは普通鋼、特殊鋼、鋳鉄および鉄合金について実験されたりまたは実用化されたものについて、その代表的なものについて述べる。

a) 単ロール法 (Single roller casting)

図1に示すように銅合金またはステンレス製のロールを用い、ロールの上部または側面より溶鋼をロール表面に密着するように吹き出し、ロール上にて急冷して箔帯を製造するものである。主としてアモルファスの材料の製造に用いられている。一部には微細結晶を有する材料にも用いられている。この方法は箔帯ばかりでなく微細組織を持つアモルファス材料にも用いられている。

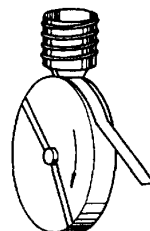


Fig.1 Single roll process.

b) 双ロール法

図2、図3に示すように二つのロール間に溶鋼を注入し、箔帯を製造する方法である。図2は1857年Henry Bessemerが考案し、実験されたもので、120年以上も以前のものである。当時は当然のことながら鋼塊を鋳造した後鍛造で分塊作業を行つたが、手間がかかるため最初より箔帯に圧延し易いようにと考案したのであろう。しかし実用化には困難なものであった。

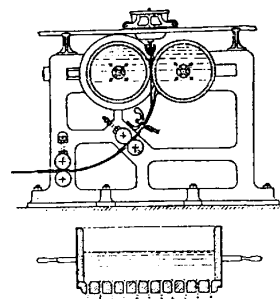


Fig.2 Double roll process. (Bessemer process)

その後ドイツで鋳鉄の箔帯をこの方法で製造する実験が行われ、一方の連でもこの方法を用い、可鍛鋳鉄の箔帯を製造し、屋根材などに利用され、現在も製造されている。

図3は双ロール法ではあるが溶鋼を下部より双ロール間に圧入する方法で、従来ハンター法として非鉄金属では実用化されているが、鉄鋼では実験が行われている程度である。

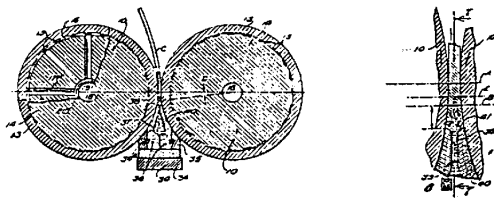


Fig.3 Double roll process. (Hunter process)

又双ロール法でもベッセマー法では高純度鋼の箔帯製造が一部実用化されているが、他の鋼種では未だ実用化されているとは聞かない。

この方法では溶鋼を如何に均一に注入するかということが問題である。これによりて板の凝固が均一になり、肌もよくなる。この方法ではロールを巨大にするのは有利で、板厚1~10mm程度のもの適し、中でも1~5mm程度厚には最も適している。当然に板の冷却速度に影響を与えるものはロール材質、冷却水が問題になる。何れにしても凝固させる区間が短いので、注入する金属は共晶組成のもの、またはこれに近い

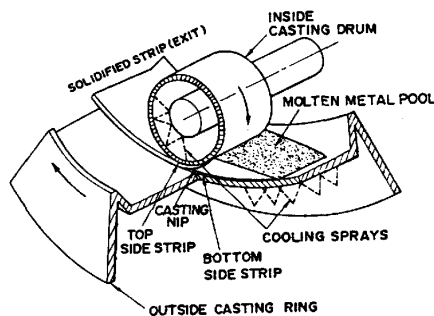


Fig.4 Inside ring process.

の凝固形態を呈するものが直している。凝固区間の大きなものは難しい。現化ではステンレス鋼(SUS 304), 球状鉛鉛鉄(共晶組成)は製造し易いものである。

c) 内部リング法

図4に示しているように大きなリングの内部に小さなロールを設置し、外部リングと内部ロールの間に溶鋼を入れ、溶板を製造する方法である。図9は昭和59年に日本において溶鋼より溶板を直接製造しようとして試みられた装置である。図4のように内部にロールは子リングの内側に溶鋼を録込むだけで溶板を製造することから装置である。アメリカでは昭和30年代にこの方法でほぼ実用に近い実験が行なわれたが、溶板がこの方法で市販されようとは行かなかった。

d) ロールベルト法および双ベルト法

ロールと鋼帯との間に溶金を注入して凝固させる方法で溶板を製造する方法、または上下の鋼帯の間に溶金を注入する方法である。前者は非鉄金属ではプロペルタイ法とかサウスワイヤ法と呼ばれている。万に全世界的に使用されている。一方溶鋼は溶板では未だ行なわれていないが、図5に示すように日本で開発されたビレット(断面様型130x130x160)製造用になっている Rotary Casterがある。1分間に5~6mの速度でビレットが造られる。

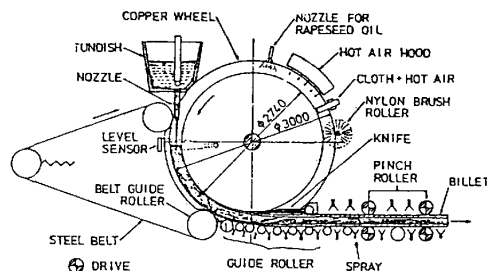


Fig.5 Roll-belt process (Rotary Caster)

図6は双ベルト法の Hezelett 法で、上下の鋼ベルト間に溶鋼を凝固させる。この方法は非鉄金属特に銅および銅合金に多く実用化されているが、鋼に於ては世界各所で実験が行なわれている。この方法では板厚20~50mmの図案のものに用いられようとしている。このベルト法では常に鋼帯の寿命が問題視されるが、今日実用化されている方法から考えれば解決されているものと思われる。

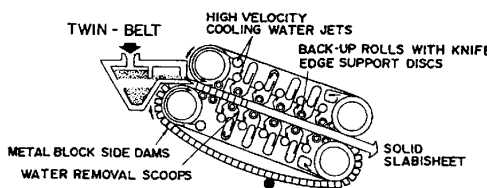


Fig.6 Double-belt process (Hezelett Strip Casting).

e) 移動型連鋳法

図7にこの方法の連鋳機を示している。Alusuisse型と呼ばれている。図に示す双ベルト法の鋼帯をキヤクピラのような鋳型に押し込むのである。双ベルト方式に類似しているが、余り多く実験されている。当然20~50mm程度の厚さのストリップ製造に考えられている。

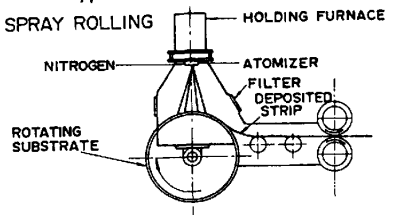


Fig.8 Spray roll process.

f) 噴霧ロール法

図8にこの方法を示している。すなわち溶鋼をロール上に窒素ガスを用いて噴霧状に吹きかけ、溶板状に凝固させ、ロールを用いて引き出す方法である。主として英国で実験が行なわれている。

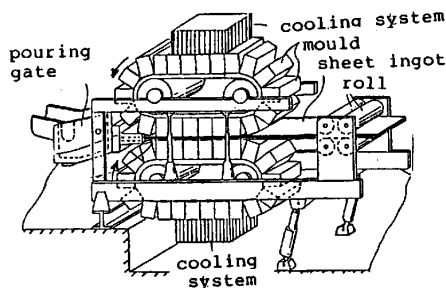


Fig.7 Moving mould process (Alusuisse type).

Ⅲ 製品肉厚による分類

製品肉厚はその連続鋳造機の種類また鋼の種類によつて決められる。現代においては概ね4段階に肉厚を分けて考えられる。

- (1) 1mm以下： 単ロールまたは双ロール法で造られている。寸法がアールフアス全周は単ロールで回転数を速くして $>10^3/sec$ の急速凝固を必要とする。双ロールでも落布は造られている。珪素鋼ではこれで実用化されている。噴霧ロール法も実用化されている。
- (2) 1~10mm： 概ね双ロール法または内部リング法で造られている。すでにステンレス鋼および鉄鋼で実用化されている。中でも1~5mm程度は有利である。
- (3) 10~20mm： この寸法に相当する連続鋳造機は現在では少ないが、薄い方は双ロール法で、厚い方はダブルト法、斜角鋳造型法で製造可能である。
- (4) 20~50mm： 主としてダブルト法または斜角鋳造型法によつて製造されている。主として普通鋼に実用化されているものが多い。

Ⅳ 現在における実用化例

炭素の連続鋳造は非鉄金属材料に対してはすでに20数年以前より実用化されているが、鉄鋼材料への実用化は少ない。その一つはやはり連において実用化されている鋳鉄板である。材質としては可鍛鋳鉄で双ロール法で製造、焼鈍の後波板に整形して屋根板に利用されている。その他米国においてステンレス鋼として2mm以下の板を製造している。

Ⅴ 日本における実験例

日本においては昭和8年 中島によつて内部リング法の一つで薄鋼より直線板を製造する試みが行なわれた(特許101019号 昭和8年公許90号)とされている。実用化されたかは不明である。同9はその連続鋳造機の本機である。草川は昭和32年よりカルシウム処理球状石墨鋳鉄の1mm厚の鉄板を製造、焼鈍後製造、冷延を行ない約0.2mm程度の厚さの炭板を製造した。同10は使用している連続鋳造機である。

Ⅵ 炭板連続鋳造(strip casting)の問題点

この方法は薄鋼、鋳鉄に対して多くの実験が行なわれているが、一部実用化されているものはあるが、多くは実験、試作段階である。これは多くの問題点があり、中でも鋳肌、偏析、厚さの不均一、広幅板の製造等は難しい問題である。しかし現在世界各国で実験されており、実用化も間近に迫つていると思われる。

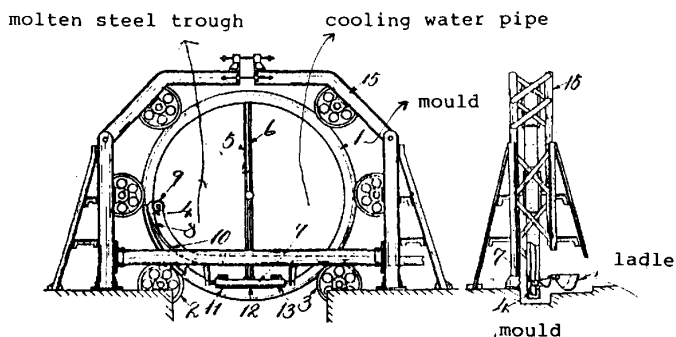


Fig. 9 Continuous casting machine for small hoop (Pat.101019 (1933)) Inventer T.Nakajima

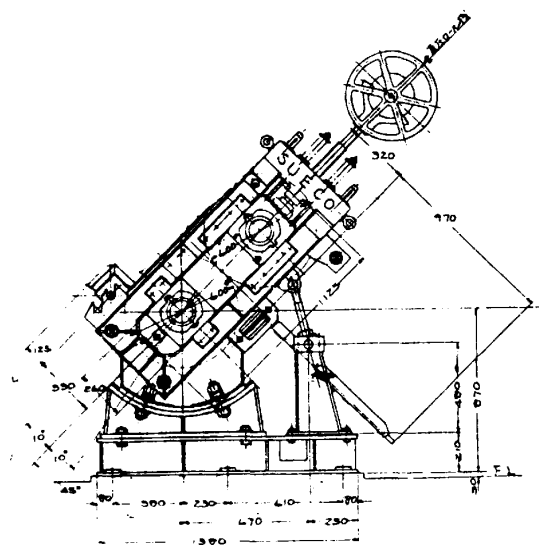


Fig. 10 Double roll continuous casting machine. (Designed by Kasakawa)