

名譽会員からのメッセージ

Strip Castingの研究と私

早稲田大学 名誉教授

草川 隆次



1 はじめに

1998年(平成10年)10月22日の鉄鋼新聞は新日本製鐵(株)が世界に先駆けてステンレス鋼のStrip Castingの実用化に成功したことを発表した。実は私がStrip Castingの研究を始めたのは1957年(昭和32年)で、約40年の年月を経て、実用化が成功したことになる。私が長い間持っていた夢が一つ実現したということで、私自身人知れず喜びを感じている。

一つの新しい技術の種が蒔かれ、育てられ、花が咲き果実が実るまでには非常に長い年月がかかるものであることを改めて認識させられた。

大学の中で行って来た小さな研究の種が、大きく育っていく過程を残しておくことも必要かと思い、その概要を書くことにした。

2 Strip Castingの定義と世界的にみた発展の概要

Strip Castingの研究を述べるに当ってまずその定義を述べておきたいと思う。すなわち「Strip Castingとは溶融金属から直接0.2~5mm程度の薄板を製造する方法」を云っている。多くの場合双ロール間に溶融金属を流し込み、薄板が製造されている。

実はこの方法は1842年頃よりSir Henry Bessemer¹⁾によって銅合金、鉄、鋼について実験が始まり、1857年には大型の双ロール凝固装置²⁾が発表された(図1)。これは特許もとられ、鋼について実験されたようであるが、実用化までには発展しなかった。当時は米国または独国³⁾においてもすでにこのような実験が行われていたようである。

3 鉄鋼材料のStrip Castingの研究を始めた動機

私は昭和17年(1942年)9月に半年大学の年限が短縮されて卒業した。直ちに軍隊に入り丁度3年の後、昭和20年

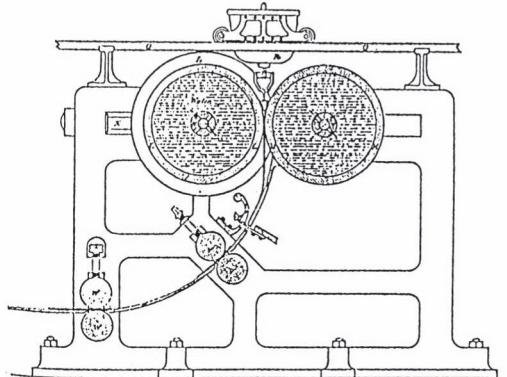


図1 Bessemer法の改良実験装置(1857年)

(1945年)9月に戦争の終了とともに復員し、また直ちに早稲田大学铸物研究所の研究室に戻った。当時問題になっていた溶融時における鋼屑の加炭の研究等を行っているうちに昭和24年(1949年)2月に米国のIron Age誌³⁾に「鉄放して球状黒鉛が晶出していて、伸びのある鉄が得られる」という発表があった。当時はNodular Graphite Cast IronとかDuctile Cast Ironと称せられていた。これを読んで、その数日後に丁度行っていた加炭の研究で得られた過共晶組成の鉄に純Mgを添加して球状黒鉛鉄を作製した。その性質を調べた結果は全く鋼と同様強度もあり、伸びもあることが解ると同時に、私としてはこの材料を铸物ばかりに用いることなく、広く鋼と同様に棒材、板材にできないだろうかと考えた。その後、この鉄の特性を明らかにするための研究を行っていたが、昭和32年(1957年)科学画報という科学雑誌に図2⁴⁾に示すようなソ連において実施されていた鉄のStrip Casting装置とその操業状態のスケッチ画が掲載されていた。これこそ私の考えていた方法と思い実験を決意した。これは可鍛鉄で焼鈍後波板に加工、屋根板として使用されていたようである。

球状黒鉛鉄ならば更によりよい鉄板ができるのではないかとの夢を描き早速実験にとりかかることにした。

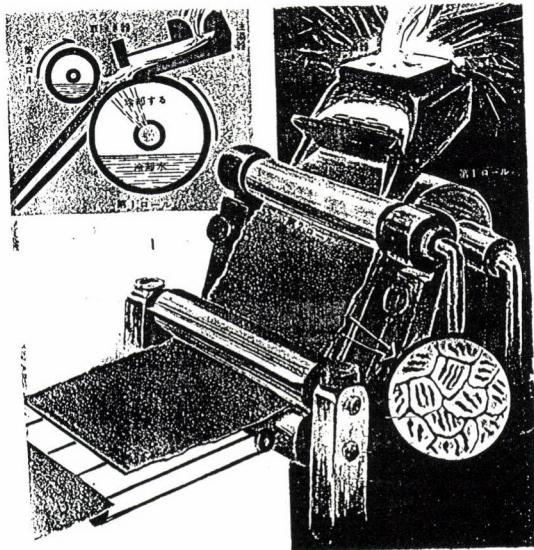


図2 日本で紹介されたソ連の鋳鉄薄板製造図
(昭32 1957年)

4 実験の開始とその展開

前述したように実験を決意した後、文献を調べようとしたが、当時としてはこの文献を探すことは難しいことが解り、自分なりに装置を作製し実験を開始することにした。

最初は小さな製麵機のような機械を自作したが、冷却効果が上がらず失敗、次に鋼性ロール直径200mm、幅40mmの双ロール凝固装置を製造し実験を行った。実験には球状黒鉛鋳鉄を用いたが、比較的容易に1~1.5mmの厚さの鋳鉄板を製造することができた。当然のことながら鋳放しては白銑になっているので、これを熱処理によって黒鉛化させ、基地をフェライトにして後、熱延、冷延によって、厚さ0.2~0.3mmまで薄くすることが可能であることが解った。

しかし鉄放し状態では鉄肌は良好とはいはず、以後の圧延工程に問題を残した。しかし工業的には困難にしても圧延ができない訳でもないので、種々の組成の球状黒鉛鉄板を製造し、その特性を調べた。またさらに板を製造し易くするために昭和38年(1963年)鋼製ロールで直径600mm幅150mmを有する双ロール凝固装置を設計製造し実験を行った(図3)。この装置を用いることにより厚さ1~1.5mm、幅150mmの板が容易に得られた。その後熱処理を行い、基地をフェライトにした後圧延を行い0.2~0.3mmの厚さにした。この板の引張強さは畳390~590N/mm²、伸びは0~3%程度のもののが多かった。これで一応球状黒鉛鉄の薄板装置の可能性は明らかになったものの、その機械的性質が普通の球状黒鉛鉄に比較して、特に伸びの低下が著しく、その欠点が改良できず昭和46年(1971年)にこの実験を中止した。

そこで自分としては今後この実験は行わないつもりで最初の小型凝固装置も後の大型凝固装置も共に請われるままに会社に貸し出しました。しかし昭和48年頃(1973年)になり、いわゆる石油ショックが始まり、急激な経済変革によって省エネルギーが叫ばれ始め、このStrip Castingの方法が多くの会社で検討され始めた。このような社会背景で、私自身再考を促された。

この実験を再開するに当って、従来の実験結果を再検討・その欠点を考えているうち、この双ロール凝固法が理想的に行われれば双ロールの接触点で凝固し、容易に板が製造可能であることに気付いた。このためには共晶凝固をする組成を選べばよいことが解り、球状黒鉛鋳鉄では標準としてC3.5%Si2.5%の組成を選ぶことにした。またステンレス鋼の組成では、その状態図より、共晶的に凝固幅が狭くなっていることが解り、早速実験にとりかかることにした。

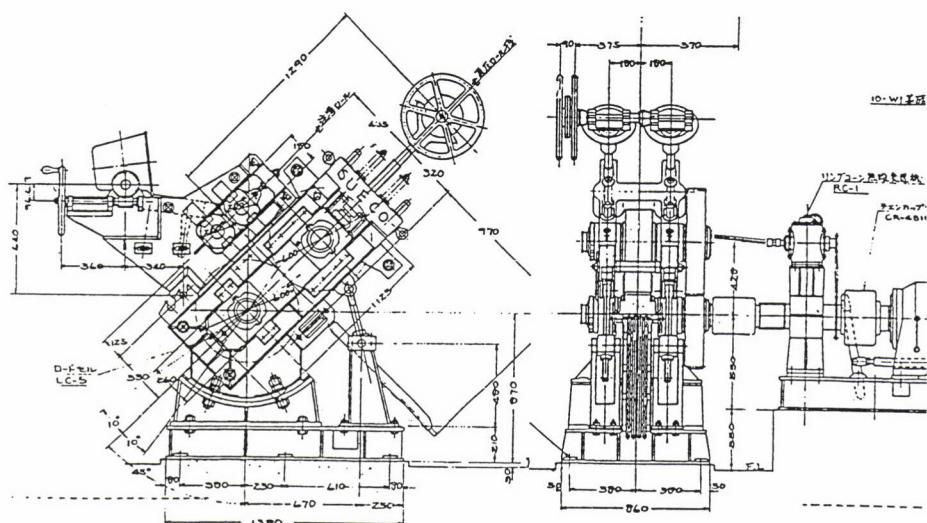


図3 早稲田大学鑄物研究所(現材料技術研究所)に設置した双ロール凝固装置(昭38、1963年)

昭和54年(1979年)貸し出していた小型凝固装置を取り戻し、実験を再開した。従来は球状黒鉛鉄では多く過共晶組成を選んでいたが、今回より共晶組成のものを選ぶことにより、容易に鉄薄板を製造できるようになった。またSUS304ステンレス鋼についても実験を行い、容易に薄板を得ることができた。

そこで実験材料は球状黒鉛鉄ならびにSUS304ステンレス鋼の2種類とした。また凝固装置の方も次に示す2種類を新たに設計製作した。

(1)急速凝固研究用(双ロール、薄板厚さ0.2~1.00mm)

純銅ロール(直径200mm、幅40mm)(铸造製)

回転数 5~2500rpm

(2)一般実験用(双ロール、薄板厚さ0.5~2.00mm)

純銅ロール(直径200mm、幅100mm)(铸造製)

回転数 5~200rpm

これらの装置を用いて実験を行っている過程で次の2点が問題になった。

(1)溶金の流れの状態と組織の関係

(2)溶金の流れと铸肌の関係

すなわち溶金の流れの状態とは乱流か層流かの問題であり、1.5mm程度の薄板の場合乱流では表面より熱伝導性がよいので、中心部まで柱状晶になっているが、層流になればロールの薄板の表面との間に僅かの隙間が生成し、柱状晶が短く中央部に等軸晶が生じている。

溶金は表面張力が大なるため、板状の層流を送り出すための多くの実験を行った。その1例は溶金を管を通して平板上に落下させ扇状に拡げてロール間隙に铸込む方法⁵⁾は比較的良好な結果が得られた。ステンレスの薄板(厚さ1.5mm)でこの方法で得られた試料では引張強さ铸放して700N/mm²、伸び60%、これを50%圧延した後1323Kに焼鈍し、引張強さ760N/mm²、伸び86%の超塑性的性質を有したものも得られた。また球状黒鉛鉄試料では一般には一段焼鈍(1173K)二段焼鈍(973K)を行い、基地をフェライト化にする。また铸放しでは厚さ1.5mm程度で焼鈍後圧延をして厚さ1~0.71mm程度にした試料が機械的性質を調べるために使用した。これは当然化学組成にも影響されるが標準としてはC3.5%Si2.5%で引張強さ290~790N/mm²のものが得られるが、伸びが0~3%程度で一般にこの材料の規格値からみても著しく低いのが欠点である。これも化学組成としてMo等添加することで、ある程度上昇することはできる。

またこれまで大体共晶凝固に近い組成を選び、凝固速度としては10^{2~3}K/sec程度である。そこで更に凝固速度を増せば過共晶組成でも過冷することで同様の結果が得られると考え、前述した急速凝固研究用装置を用い実験を行つ

た。球状黒鉛鉄の共晶や過共晶組成で铸放して0.2mm程度の厚さの試料を作製した。これを一段・二段の焼鈍を行い性質を調べた。この試料の凝固速度は10^{4~5}K/secで一例として引張強さ530N/mm²、伸び6%で、非常にflexibleな材料が得られた。これは球状黒鉛組織が細く、それに伴い基地フェライトの結晶粒度は1μ以下になり超塑性的性質が得られることが明らかになった。

このようなデータが得られたが、私としては大学を定年退職となり、実験は一応終わらざるを得なくなつた。丁度平成元年の3月である。

5 終わりに

この研究は昭和32年(1957年)に始まり平成元年(1989年)に大学としては終わっている。33年の間に数年は中止したものの、私の研究室で卒業論文、修士論文を書かれた学生の方、大学の研究費、文部省の科学研究費の援助のもとに実験を行うことができた。

また結果についても鉄鋼協会に発表したが、最初のうちには余り関心が得られなかつたが、昭和60年(1985年)の秋季講演大会が新潟で行われた時、Strip Castingのシンポジウムを開き、16社から発表があり、丁度アメリカMITのFlemings教授にも発表していただき、世の中で急に関心が高くなつた。しかしその後15年経つた今日、これを実用化にまで進めてきたのは僅か新日本製鐵(株)一社のみとなつたが、他にも実用化の域に達していると思われる企業は数社あると思われる。

またこの技術は150年も前、英國に始まつたが、今日の実用化のためには凝固解析の研究、コンピューターによる制御その他の近代技術が取り入れられ、日本の各社が独自の技術を実用化にまで完成されたもので、日本独自の技術と考えることができると思われる。

このように鉄鋼材料の技術は完成までは膨大な費用と長い年月が必要であることを認識した。

私もいつの間にか傘寿を迎ってしまった。このStrip Castingの研究の本当の概要を述べさせていただいたことを感謝致します。

参考文献

- 1) Henry Bessemer : J. of Metals (1965), 1189.
- 2) 同上, 1191.
- 3) The Iron Age, 17 (1949), 77, 24 (1949), 97.
- 4) 科学画報, 5, 4 (1957)
- 5) 日本特許, (1992), 2338.

(1999年3月18日受付)