

随 想

H. BESSEMER のもう一つの夢

郡 司 好 喜*

偉大な天才であった Henry BESSEMER の数多くの発明の中で鋼の多量生産法である転炉法を発明 (1855 年) したことは、それが人類にとって幸か不幸かは別にして、人類にはかりしれなく大きい贈り物をもたらすこととなった。

この H. BESSEMER は精錬後の溶鋼を凝固させるプロセスの開発にも強い関心を示し、1857 年 1 月 24 日に図 1 に示す直接圧延法の特許をとっている。溶鋼を固めて大きな鋼塊とし、これを鍛造や圧延によって製品化する複雑な工程を省略し、ニアネット・シェープの製品を直接造ることがどれだけ経済的かという素朴な発想は 130 年後の現代でもそのまま生きている。また興味あることは、H. BESSEMER が転炉を発明する前にガラスの連続製造を手がけ、おそらくその時の感触がそのまま鋼の連続製造の発想の原点になっていることだろう。

この連続製造法は H. BESSEMER が試みたばかりでなく、何人かの人々が試験を行い、1880 年代の後半にはアメリカで大がかりな試験が行われたが結局成功しなかった。このように、H. BESSEMER が抱いたもう一つの夢はさすがの天才も実現できなかったばかりでなく、130 年後の今でも世界中の多数の研究者、技術者によって飽くなきチャレンジが続けられ、しかもいまだ成功の見通しのないという罪作りで夢を与える技術ともなっている。

以下に、この技術開発に取り組んでいる P 君と、この技術は 21 世紀まで成功しないと悩んでいる F 君との議論の概要を紹介しよう。

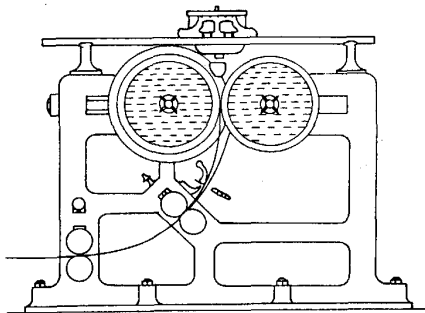


図 1 H. BESSEMER の直接圧延装置

* 元住友金属工業(株)研究開発本部研究主幹 工博

F: 貴方のストリップ・キャストイングの装置は H. BESSEMER の装置 (図 1) とどれだけ違うのですか。

P: ご覧のように、この装置には自動制御システムや品質保証装置といった新しい技術が採用されており、130 年前の装置とは比較できないほど進歩していると思っております。

F: なるほどたいへんすばらしい装置ですね。立派な装置であれば当然すぐれた製品ができるのでしょうか。

P: はい、たしかに合金によっては良い製品ができることもあるのですが、しかし……

F: しかし、どうなんですか。

P: 実は、そうした合金でも 100% すばらしい製品ができるとは限らないし、合金によっては全く製品にならないことだってあるのです。

F: それで、どんな欠陥ができるのでしょうか。

P: いろいろな合金や鋼の厚さ数 mm 以下のストリップを製造していますが、鑄型の固定部分での不安定凝固で生ずる 3 重点欠陥とか厚さ不均一などの細かい問題の他に、本質的にも見える表面の細かいき裂があります。またこの欠陥は、合金の種類によって発生率が異なるのです。

F: そうしますと、ずいぶん長い間研究されたようですが、まだ成功はしていないわけですね。

P: そのとおりです。考えられる対策はすべて試みたのですが安定したプロセスが生まれてこないのです。

F: 長い間の御努力に心から敬服しますが、このプロセスの成功はもっと先になりそうですね。

P: 金属の連続製造は UNGHANS によって開発された固定した振動鑄型によって急速に進歩し、鋼はこの方法だけで連続製造されていますね。しかし工程の改善は不十分なので、ニアネット・シェープの連続製造法の出現を待ち望むことは自然だと思います。

F: そのとおりですね。そして 130 年も続いたこの願望のニアネット・シェープ鑄造法では、鑄型と鑄片が同時に移動する同期鑄型が利用されています。これまでに同期鑄型法には数えきれないプロセスが世界中で提案されていますが、それらを大別すると冷却帯が回転する 1) 双ベルト法、2) 双ロール法、3) 単ロール法、となります。

P: 鑄型と鑄片が同時に移動する同期鑄型の方が合理的に見えるのですが、固定鑄型の方が成功しているのはなぜでしょうか。

F: そのとおりですね。固定された鑄型から鑄片を引き出すのは難しいと考えるのは当然のことです。私も長い間こうした疑問に悩まされたものですが、次のように理解することで納得しております。

固定鑄型内での初期凝固

たとえば、振動数 $f=150$ cpm, 鑄造速度 $V_C=1$ m/min で鑄造すると、間隔が約 6.7 mm のオッシレー

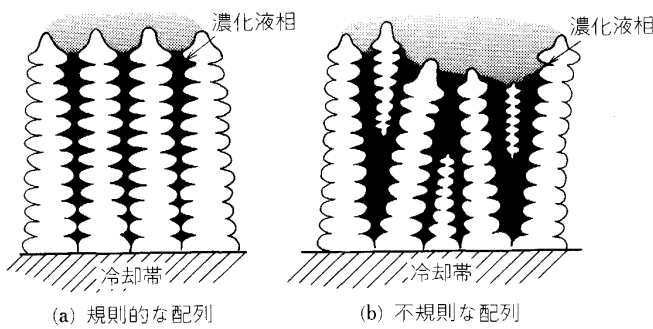


図 2 連続凝固した時のデンドライト配列の模式図

ション・マークを形成しながら多少凹凸のある表面の鑄片が得られます。すなわち、 $60\text{ s}/150=0.6\text{ s}$ ごとに新しい表面が間歇的に造られ、それらの表面が連なって鑄片表面が形成されます。言うなれば、**間歇凝固**が連続して進行するわけです。しかも水冷銅板と鑄片の間には必ず固体と液体のスラグ薄膜が存在し、初期凝固の緩衝材の役目を果たしております。

同期鑄型内での初期凝固

一定速度で移動する冷却帯に溶融金属が供給され、その接触面で結晶化が起こるので凝固は途切れることなく連続的に進行する。しかも冷却帯と溶融金属の間にはスラグ薄膜はないので凝固は急速に進行し、核生成は不規則に起こりやすい。このように、同期鑄型の場合には**連続凝固**が進行するわけです。

P: **間歇凝固**と**連続凝固**の意味は分かりましたが、それが表面品質とどんな関係があるのでしょうか。

F: **連続凝固**が規則正しく進行すると図2(a)に示すようにデンドライトは規則正しく整列するはずですが、こうした理想的な凝固の進行は期待しにくいことですし、マイクロ組織の観察からも立証できます。そうすると、デンドライト樹間に残った濃化液相(あるいは偏析層)の大きさが図2(b)のように不規則になり、小さな歪みを受けただけでデンドライト樹間が割れ、表面割れの原因になるわけです。

P: 少し分かってきましたが、それでは合金の種類によって表面品質が変わるのはなぜでしょうか。

F: それは図2に示すデンドライト樹間に生ずる濃化液相の量が合金によって異なるからなのです。従って合金状態図あるいは成分元素の種類や濃度によって鑄造の難易が推定できるのです。多分、貴方の経験した現象と同

じだと思えます。

P: たしかに、共晶合金が鑄造しやすく、固液共存域の広い合金は鑄造しにくいという現象が説明できますね。

F: ところが、どちらかというが高合金のように偏析しやすい元素を多く含む合金をストリップ・キャストしたいという希望が多いですね。こうした希望は分からないわけではありませんが、同期鑄造による連続鑄造の特徴を全く理解していない人達の無謀と言いたいですね。

P: たいへんよく分かりました。大いに反省いたしましょう。

F: その他、同期鑄型ではサイドダムで起こる3重点の問題もありますが、何よりも断面積が減少し、比表面が大きくなるのが問題となります。比表面が大きくなるのですから表面性状は完全でなければならぬはずなのに、実際は前述のように健全な表面はたいへん形成しにくいという大きな矛盾のあることを十分に理解していただきたいのです。

P: もう一つ、アモルファス合金のストリップ・キャストが容易なのはなぜでしょうか。

F: これは、H. BESSEMER が硝子の連続鑄造をヒントにしたであろうことにも関連するのですが、硝子のようにアモルファス状態で凝固する時は極めて容易なのです。なぜか? アモルファス状態とは液体状態の原子の配列がほぼそのまま凝固するのですから、水飴がそのまま固まるのと同じ現象になるわけです。

ところが、結晶化して凝固する時は原子は再配列して格子を組みデンドライト状に凝固するのですから、アモルファス合金の現象とは比較できません。騙されないようにしたいものですね。

P: 同期鑄型による連続鑄造の難しさはよく分かりました。それではこのプロセスは実現しないのでしょうか。

F: 130年も続いている大きな夢に水をかけるような意見を申し上げてしまいました。私は不可能でないと思っています。成功するには、デンドライト樹間割れないよう初期凝固を制御する新しい技術を開発し、表面品質を完全に保証する必要があります。

それが可能になれば、H. BESSEMER のもう一つの夢は実現できると確信いたします。

P: たいへんよく分かりました。十分反省し、新しい目標に向かって邁進することにいたしましょう。