最近における非鉄金属材料の加工法の進歩

山 路 賢 吉*

1. はじめに

第1次オイルショックを契機とした石油価格の高騰と供給不安は、今や完全に常態化しさらに最近では、金属地金特に非鉄金属類の高騰も相まって、経済環境は従前にもまして一段と厳しさを加わっている。特にエネルギーや主要原料の大部分を海外に依存するわが国の場合、それらのコスト上昇はそのまま製造コストの上昇につながり製品の競争力を著しく低下させるところから、各業界は体質強化に懸命の努力を払っている。

このような状況下にあつて鉄鋼につぐ素材型産業である非鉄金属加工の分野においてもより一層の品質向上とコストダウンを目指して、加工設備ならびに、加工技術の進歩への努力が、基礎から応用にいたる広い範囲にわたって精力的に続けられている。

そこで本稿では、非鉄金属のうちでも最も身近な材料である銅、アルミニウムの分野を中心に最近における加工法の進歩の状況を述べてみたい。なお加工の意味するところは極めて広く、そのすべてを記すことは筆者の能力を越えるものであり、また膨大な紙面を要するので、今回は主に溶湯、鋳塊あるいは半製品の加工などいわゆる1次加工に焦点を絞り筆を進めることとしたい。

2. 溶湯加工へのアプローチ

周知のように金属製品の製造には、溶解、鋳造、加工、熱処理など多数の工程を必要とするところから工程合理化は、日常的課題であり、最近においても省エネルギー、歩留・生産性の向上、品質向上の立場から加工工程の連続化、省略の試みが、たえまなく続けられている。本節では、溶湯の連続加工法および溶湯からの直接加工法について述べる。

(1) 連続鋳造圧延法⁽¹⁾

現在アルミニウムおよび銅の線材の大部分と板材の一部の製造において、溶湯を連続して鋳造、圧延を行うことにより製品あるいは2次加工品の素材を製造する連続鋳造圧延法が採用されている。この種の連続鋳造法には、各種の方式が開発されているが、大別して、(a) ベルト-鋳造輪方式、(b) 双ベルト方式、(c) 双ロール方式、(d) キャタピラ方式、(e) Dip-Forming 方式、(f) Up-Cast 方式がある。

このうちベルト・鋳造輪方式は、連続ロッドの製造法として最も多く使われており、Properzi⁽²⁾、Spidem、SCR (Southwire Continuous Rod)⁽³⁾などの機種が著名である。アルミニウムおよび銅の荒引線の大部分は、本方式で製造され、現在高能率化を目指して大型化が進んでおり、アルミニウム用の Properzi No.14 型で最大 2.5 kg/s (9 t/h)、銅用の SCR で最大 11 kg/s (40 t/h) の生産速度に及んでいる。また荒引線の品質向上のために製造条件の自動管理が進んでいるのも最近の傾向といえよう。例えば鋳造機中での溶湯面の自動制御⁽⁴⁾、鋳造材および荒引線中の欠陥の自動検出技術⁽⁵⁾の開発に力が入れている。また Dip-Forming 法も銅の荒引線の製造法として実用化され、設備が割合簡単であるところから SCR につぐ稼動実績を誇っている。

双ベルト方式は、水冷された上下のベルトの間に溶融金属を鋳造するもので、Hazelett 法が代表的である。双ロール方式の Hunter 法に比べ冷却ゾーンが長いため生産速度も大きい。シャフト炉と圧延機とを組合わせて Contirod 方式⁽⁶⁾として銅の荒引線の製造にも利用されている。キャタピラ方式も同じ流れを汲むものであり、ベルトの代りに金属製のブロックからなるキャタピラを使用する。アルスイスの Castor II はこの型式であり、合金濃度の高いアルミニウム合金や厚板の製造も可能とされている。

Up-Cast 法⁽⁷⁾は、プロセスが単純で設備規模も小さくつむこと、品質面でも無酸素銅を含む高品質の製品

* 日立電線株式会社土浦工場工場長兼金属研究所所長
Recent Progress in Non-Ferrous Metals Processing ;
Kenkichi Yamaji (Tsuchiura Works, Hitachi Cable, Ltd.,
Tsuchiura)
1980年5月30日受理

が得られるところから、少量多品種の銅および銅合金の製造に向いている。

(2) 細線、薄板の直接製造法^{(8)~(11)}

溶湯から鑄造、圧延、伸線などの工程を経ることなく直接に、細線、薄板を製造する方法として、(a) ジェット法、(b) ジェット急冷法、(c) ペンダント・ドロップ法、(d) 融液投出し法、(e) 溶融紡糸法、(f) 網ベルト法などが最近相ついで開発されている。図1は、これらの方法の原理図を示したものである。これらの方法で得られる細線あるいは薄板は、中間加工工程が省略されているので安価である。また圧延、伸線加工の困難な金属の細線、薄板の製造も可能であり、性能的にも融液から非常に速い冷却速度(約 $10^3 \sim 10^5$ K/s)で凝固するため結晶粒の微細化、過飽和固溶体の形成による強度、延性の向上がみられる。さらに冷却速度が大きくなると非晶質金属が形成される。

図1 細線、薄板の各種直接製造法。
(M: 溶湯, S: 凝固材, Q: 冷却媒体,
R: 回転冷却ブロック, H: 加熱源,
N: 網ベルト)

このようにして得られた細線、薄板は、繊維強化複合材の繊維、触媒、フィルタ、焼結用材料として使用される。

(3) 半溶融成形加工

金属を半溶融状態すなわち固液共存状態で加工しようとするもので半溶融押出し法⁽¹²⁾⁽¹³⁾、レオキャストイング法⁽¹⁴⁾⁽¹⁵⁾などがある。

半溶融押出し法は、固液共存状態での変形抵抗が固体状態のそれに比べて低いことに着目したものであり、そ

の状態では押出しを行えば、押出し圧の大幅な低下が可能である。押出しが安定に行われるのは固相の割合が90~95%であり、押出し比が大きいほど、ダイスベアリング部が長いほど健全なものが得られやすい。押出し材には鑄造材でみられる樹枝状晶は消失しており、引張強さや伸びも鑄造材に比べて改善される。本押出し法は、押出し力が小さくてすむところから装置が小型化でき、高力アルミニウム合金など難加工材の加工、複雑な断面形状材の製造への適用が期待できる。

レオキャストイング法は、Flemings らによって研究開発された溶湯加工法であり、半溶融状態の金属を攪拌することにより固相成分を細かい球状として液相中に均一分散させた泥状の半融液(スラリー)を鑄造する方法である。本方式の特徴は、鑄造温度が低くまた潜熱の発生も少ないため従来工業的に不可能であった高融点金属の金型鑄造が可能となるほか、スラリーは大部分が固相であるため製品には引け巣、ガスの巻き込みが少ないことが挙げられる。図2にスラリーの製造原理を示す。なおこのスラリー中に粒状、繊維状の材料を添加して複合材を製造しようとする試みがありコンポキャストイング⁽¹⁶⁾と呼ぶ。この場合スラリー中の球状の固相成分は、添加された材料の沈降、浮上、凝集を阻止し均一な分散状態が得られる。

図2 スラリーの製造原理。

3. 連続化へのアプローチ

近年鑄造の連続製法の実用化に伴い、それに続く加工工程の連続化技術の開発が進められている。棒あるいは線、小型材の加工は、従来伸線、圧延、押出し加工によってきたが、それぞれ一長一短があり、1パスでより高いリダクションがとれる連続加工法が求められてきた。この数年、理想に近いいくつかのアイディアが提案され開発が進んでおり、そのうちの1、2については実用化の段階に達している。以下代表的な方法について原理と問題点を述べる。

(1) 高粘性圧媒を用いた WE 社の方法

Western Electric 社の Fuchs により開発された方式で高粘性圧媒の流体抵抗を利用した方式⁽¹⁷⁾と、さらにその欠点を除き発展させたキャタピラ構造のチャンバを駆動させる方式⁽¹⁸⁾とがある。完全な連続押し出しのアイデアとして初めて提案されたものであるが、エネルギー効率、装置工具の精度と保守の点で問題があり実用化には至っていない。

(2) コンフォーム法⁽¹⁹⁾⁽²⁰⁾ (Conform)

前者のように工具と材料間に媒体を介して力を与える代りに、直接摩擦接触させる方が強い押込力を与えることができる。イギリス原子力庁の Green は、先に開発したヘリカル押し出し法⁽²¹⁾を発展させ、より実用性の高い連続押し出し法を発明し、開発した。

図 3 (a) は、その原理を示すものであるが、コンテナを分割し、それぞれ 1 面、3 面をもつ構造として相互に

図 3 コンフォーム法の原理 (a) と連続押し出しのための構造 (b)。

動かすと、その間のビレット (丸棒) は、差引 2 面相当の接触面積による摩擦力によって上側ブロックの移動方向に押込まれる。十分な接触長さがあれば押し出しが可能になる。図 3 (b) は連続化のための構造で、エンドレス溝のついた回転ホイールと固定したシュー、ダイスとからなり長尺丸棒を押込む。

コンフォーム法は、すでに実用化の段階にある。特徴としては、(a) 完全な連続押し出しが可能、(b) 押し出し材は加工熱により焼鈍材の性能をもつ、(c) 各種の型材、パイプ、線材の押し出しが可能、(d) 従来押し出し機にくらべ小型化が可能など、多くのメリットがある。

今後さらに銅の押し出し機⁽²²⁾、あるいは連鋳機との一貫ライン化、高速、大型化が期待される。

(3) ライネックス法⁽²³⁾ (Linex)

コンフォーム法に触発されてさらに新方法が提案され

ている。ライネックスは、コンフォームと WE 社の方法との中間的なアイデアである。図 4 にその構造を示す。媒体を使用せずに押し出しが可能であるが、使う場合には、やはりシールが難しく工具に高精度が要求される。またダイス部寸法が小さいためパイプ、型材などへの応用は困難である。

図 4 ライネックス法。

(4) ディスク・マシーン⁽²⁴⁾ (Disc machine)

コンフォーム法の応用の 1 つとみられる。とくにコンフォーム法での固定シュー上での摩擦による動力損失を少なくするために、シュー部に相当する部分の駆動を考えている。図 5 は、その構造を示すもので、偏心した 2 枚重ねのディスクの一方に溝加工し、素材を供給し、両ディスクを回転させてダイス方向に押込む。効率はかなり改善されるが、ダイス前面は溝断面積と同じであるため強度を十分大きくとれない。

図 5 ディスク・マシーン。

(5) エクストローリング法⁽²⁵⁾ (Extrolling)

Avitzur が考案した方法である。前記 (4) の方式と同様に固定部での動力損失を少なくする構造が考えられている。図 6 はその原理図であるが、圧延機の構造をそのまま応用できる。圧延時の摩擦かみこみ力を利用して押し出し力を与えるものである。効率は良いが、摩擦かみこみ力は大きくとれず、押し出し比もあまり大きくはとれない。ダイボックス前面の大きさも十分とれないこ

図6 エクストローリング法。

とから、強度的にも問題がある。しかしながらコンフォーム同様に実用化の可能性が大きく、応用用途も広い。大型化への改良により発展が期待できる。

4. 高能率化へのアプローチ

金属加工に関する様々の試みは、窮極的には、加工作業の能率化と品質の向上に関するものに要約される。このうち加工能率を決定する要因としては、採用する加工法の原理そのもの、加工工具あるいは装置の能力、要素技術のシステム化の程度などが挙げられる。すでに述べた前2節のアプローチも高能率化につながる試みであるが、ここでは1回の加工操作でできる限り大きな加工度を確保することにより高能率化を図ろうとする試みを述べる。

(1) 静水圧押し法

静水圧押し法は、原理的にはかなり以前から知られている加工法であるが、7～8年前より生産用プレスが導入され近年ようやくその工業利用が定着しつつある。静水圧押し法は、工具とビレットとの間に圧力媒体を介在させて押しを行うもので、工具と材料間の摩擦を実質的にゼロに近い状態とすることが可能である。このような原理面の特徴から低い温度で大きな加工度が可能、押し中のメタルフローが均一など従来の押し法にない多くの特長が生まれる。

最近の傾向としては、上記のような利点を生かして銅被覆アルミニウム材⁽²⁶⁾、銅・銅合金管⁽²⁷⁾、高力アルミニウム合金管・棒^{(28)～(30)(34)}、貴金属線材、超電導線材⁽⁴⁷⁾⁽⁵⁰⁾の製造への応用が進展し、生産技術としての蓄積が増加しつつあること、また押し技術面で高温押しし指向が強くなっており同用プロセスの開発、利用が進みつつあることが特筆されよう。高温押ししを効果的に行う方法としては、パッチェル研究所のハイドラフィルム

法⁽³¹⁾、神戸製鋼所の粘塑性圧媒を使用した方式^{(32)～(34)}が開発されている。このうち前者は、厚膜静水圧押し法ともいえるものでビレットまたはコンテナ内面に静水圧状態と潤滑効果を生むのに必要な最小量の潤滑剤を予め塗布して行うものであり、後者は、粘塑性圧媒を予めコンテナ内に注入した後、加熱したビレットを装入し、ビレット周囲に圧媒を介在させた状態で押しを行う。

従来のひまし油を使った押し法と比べるとこれら2方式は、圧媒として耐熱性のグリース状物質を使用するので、押し強度を上げることができる(例えば、1300 K程度も可能といわれる。ひまし油の場合は、800 K程度までは工業的に常用されている⁽²⁷⁾)ほか、圧媒の注排出が簡単に押しサイクルタイムの短縮が期待できる。

(2) 間接押し法^{(34)～(40)}

間接押しは、直接押しと異なりコンテナとビレットの間に相対速度がないためこの間の摩擦損失がなく、従って直接押しに比べて押し力が小さくてすむこと、変形発熱量が少ないなど前項の静水圧押しと類似した原理的特徴と実用上も多くの利点があるにも拘らず、主に設備上の問題からその普及が遅れていた。しかし、最近になりその効用が改めて見直され、アルミニウム押し分野を中心に工業利用が本格化しつつある。

その背景としては、市場形態が変化し高力合金に対する需要が増加しつつあり、それに応じて経済性のある製造技術が望まれるようになったこと、また技術的にも間接押し法の構造的な難点とされた押し製品の外径制約の問題も、ホローステムの材質および構造面の改良が進み緩和されるようになったことが挙げられる。さらに間接押しでは、ビレット表皮がそのまま押し材表面に移行するところから押し材の品質が問題とされていたが、この点も予め鋳造ビレットの表皮を最小必要厚さだけ能率的に皮むきする技術⁽³⁹⁾⁽⁴⁰⁾が開発され、品質の向上を可能にした点も見逃せない。

(3) 切削成形法⁽⁴¹⁾⁽⁴²⁾

前項までの加工法は、いずれも大サイズビレットないしは素材に大きな縮径加工を与えて所望の製品を得ようとするものであるが、いずれの場合も程度の差はあるが、工具に対して苛酷な応力負担をしいるものであり、従って加工装置も大がかりになるのが普通である。これに対して切削成形法は、旋盤加工における切屑を製品にみためて、逆にこの種加工を線状体の製造に応用しようとするもので、発想の転換を図った好例といえよう。本方式には文字通りバイト切削式のほかにいくつかのタイプが考案されているが、図7⁽⁴²⁾にその一例を示す。この場合は単純な切削ではなく、皮むきダイスに似た成形ダイ

図7 切削成形による細線製造。

スを用いる。ダイスの先端エッジは、皮むきダイスのようにシャープではなく鈍角である。これを図示のように被加工材の表面に押しつけることにより工具前方の材料内に高圧を発生させその結果ダイス孔を通じてメタルを流出させ成形するものである。本加工法の特長は、装置が簡単なことであるが、実用上はダイス技術を含む量産作業性、製品品質に問題があるものと思われる。しかし特に細線製造の技術として興味ある方式である。

5. 複合加工へのアプローチ

諸工業の進歩ならびにニーズの高度化に伴い金属材料に対する要求は年々シビアになっており、単体材料では応じ切れぬ場合が少なくなく、加えて昨今の貴金属、特殊金属類の高騰から省資源上も複合材料の役割はとみに高まっており、その製造技術についても様々の試みがなされている。本節では導電用クラッド複合材のうち近年工業利用が進んでいる製品を例にとりその複合加工法の状況を述べる。

(1) アルミニウム被覆鋼線

アルミニウムの導電性、耐食性を生かしその機械的強度を大幅にアップさせることを狙った複合線材である。これはアルミニウム粉末を鋼線表面に圧着、焼結する方式で工業化が開始されたが、つぎにアルミシートを鋼線上に圧接圧延する方式が開発されさらに押し出し方式が開発され現在に至っている。押し出し方式においては圧接強度ならびに生産性の面から改良が加えられ、現在は鋼線に一定の前方張力をかけながらアルミニウムをその周囲に被覆押し出す前方張力付加押し出し法による量産が行われている⁽⁴³⁾。写真1は、本方式によるアルミニウム被覆鋼線の外観と断面状況を示すもので、被覆材であるアルミニウムの厚さの調節範囲が広いことが特徴的である。

(2) 複合トロリー

前記の例とは異なり鋼材などの全周をアルミニウムな

2.6	2.9	3.2	4.2	5	7	7	外径(mm)
0.18	0.2	0.23	0.8	1.5	2.2	1.9	アルミ厚さ(mm)

写真1 前方張力付加押し出し法によるアルミニウム被覆鋼線。

どで被覆せず一部は芯材表面を露出させる特殊押し出し材が必要になることもある。複合トロリーはその一例であり、レール形状のアルミニウム型材の一側面すなわちトロリーの摺動面にのみ耐摩耗性の優れた鋼材を接合した構造になっている。従来この種の材料は圧接圧延方式が適用されていたが新押し出し方式によってより複雑な形状の製品の製造が可能になった。図8はその外観と押し出しによる製造法⁽⁴⁴⁾を示したもので、この場合押し出し材2本を同一のダイス孔より押し出しその際自己潤滑性をもたない鋼材露出を腹合わせにして全周をアルミニウムで包含し、押し出し後にそれぞれの型材に分離している。

(3) 銅被覆アルミニウム材

銅の優れた導電性、接続性とアルミニウムの軽量性を兼ねそなえた複合材である。この複合材の製法⁽⁴⁵⁾としては、アメリカ Texas Instrument 社の圧接圧延方式、ドイツの Kabel-Metall 社の銅帯被覆溶接法とスウェーデンの ASEA 社の静水圧押し出し法が知られており、いずれも実用化されている。これら3方式のうち前2者は連続作業が可能なことで、また後者は異型材の製造が可能な点で、それぞれに特長がある。写真2に静水圧押し出し法による銅被覆アルミニウム材を示す。

(4) 超電導線材

現在実用されている超電導線材は、銅または銅合金をマトリックスとしてこれに超電導材料を極細多心構造で埋込んだものが主流である。この種線材の製法としては、マトリックス内に線ないし棒状の超電導材を挿入し共引きあるいは熱間押し出しで複合化する方法が知られているが⁽⁴⁶⁾、最近熱間押し出しに代り静水圧押し出し法の応用が試みられ成果をあげている^{(47)~(50)}。静水圧押し出しによれば、低温での押し出しが可能であるところから構成材相互の化学反応および超電導材への熱影響が少なく、また横断面、長手方向に関し均一な押し出し材が得られるなど高品質の線材が期待できる。写真3は静水圧押し出した超電導線材の一例で、心材は、Nb-Ti 合金であり、マトリックスは無酸素銅である。

図 8 複合トローリとその製造法。

写真 2 静水圧押出しした銅被覆アルミニウム材。

6. おわりに

非鉄金属加工全体からみれば、ごく一部について進歩のあとをたどったに過ぎないが、その内容をみるとき単

写真 3 静水圧押出しした超電導複合材。
(フィラメント本数 ≈ 1100 本, Cu と Nb-Ti 部の体積比 $= 1:1$)

に従来技術の改良あるいは他分野からのテクニカルトランスフェアにもまして非鉄金属の特性を生かした原理的にも新しい技術が数多く生み出されていることは特筆に値する。加工法の進歩が、材料のコストダウン、品質の向上を通じて諸工業に与える効果には計り知れないものがあり、その益々の発展を望みたい。

おわりに筆者は、もとより非鉄金属加工のすべてを能くするものではないので、内容に適切を欠いたり片寄った見方になったことも少なくないものと思う。この点お詫びするとともに諸兄の御叱正を賜りたい。

文 献

- (1) E.F. Emley : Int. Met. Rev., **21** (1976), 75.
- (2) J.B. Russell : *Nonferrous Wire Handbook*, Vol.1, Ed. by L. Collins, Jr., J.D. Dunleavy and O.J. Tassi, The Wire Association International, Guilford, Connecticut, (1977), 71.
- (3) Y.B. Bonnamour : 文献 (2), 37.
- (4) 吉田 浩, 増田一比古, 水口 元, 森川一正 : 日本金属学会会報, **18** (1979), 53.
- (5) S. Ihara and A. Itoh : Wire J., **11** (1978), No. 12, 62.
- (6) J.M. Dompas and J.G. Smets : 文献 (2), 138.
- (7) M. Rantanen : Wire Ind., **43** (1976), 565.
- (8) R.B. Pond, R.E. Maringer and C.E. Mobley : *New Trends in Materials Processing*, ASM, Metals Park, Ohio, (1976), 128.
- (9) R.E. Maringer and C.E. Mobley : Wire J., **12** (1979), No. 1, 70.
- (10) 幸田成康 : 金属, **50** (1980), No. 5, 2.
- (11) 吉井 勇, 志村宗昭, 池田圭介, 田中英八郎 : 東北大学金属材料研究所共通施設技術報告 : (1978), No. 8, 43.
- (12) 木内 学, 福岡新五郎 : 日本金属学会会報, **14** (1975), 441.
- (13) 木内 学 : アルトピア, **10** (1980), No. 1, 63.
- (14) M.C. Flemings, R.G. Riek and K.P. Young : AFS Int. Cast Metals J., (1976), Sept., 11.
- (15) R. Mehrabian and M.C. Flemings : 文献 (8), 98.
- (16) 佐藤 彰 : 金属, **40** (1978), No. 4, 22.
- (17) F.J. Fuchs : Wire J., **3** (1970), No. 10, 105.
- (18) F.J. Fuchs and G.L. Schmehl : Wire J., **6** (1973), 53.
- (19) D. Green : J. Inst. Metals, **100** (1972), 295.
- (20) C. Etherington : Wire Ind., **44** (1977), No. 2, 85, No. 3, 161.

- (21) D.Green : J.Inst.Metals, **99**(1971), 76.
- (22) H.K.Slater : Wire J., **12**(1979), No.2, 76.
- (23) J.T.Black, W.G.Voorhes and D.Breneiser : Wire J., **9**(1976), No.4, 64.
- (24) J.S.Cartwright : Wire J., **10**(1977), No.11, 53.
- (25) B.Avitzur : Wire J., **11**(1978), No.3, 78.
- (26) C.G.Nylund : ASEA J., **50**(1977), No.6, 127.
- (27) R.Hogland, S.Friborg und D.Ermel : Metall, **31**(1977), 515.
- (28) 清藤雅宏, 参木貞彦, エールシュレーゲル・ディートリッヒ, 小村明光 : 圧力技術, **16**(1978), No.4, 37.
- (29) 家田詔夫 : 圧力技術, **17**(1979), No.1, 46.
- (30) R.Hogland, S.Friborg und D.Ermel : Metall, **33**(1979), 827.
- (31) R.J.Fiorentino, G.E.Meyer and T.G.Byrer : Metallurgia and Metal Forming, **39**(1974), No.6, 193.
- (32) 藤田 達, 山口喜弘, 松下富春, 野口昌孝, 山崎龍雄 : R & D/神戸製鋼技報, **24**(1974), 46.
- (33) 松下富春, 中山誠司 : 金属, **47**(1977), No.10, 56.
- (34) A.Asari : Proc. IInd Int. Alumi.Extr.Tech.Semi.,(1977), 149.
- (35) 横田博文, 林 洋正 : 友友軽金属技報, **15**(1974), No.10, 77.
- (36) 野依辰彦 : 金属, **45**(1975), No.1, 38.
- (37) A.Biswas und F.J.Zilges : Metall, **29**(1975), 375.
- (38) 横林寛昉, 千葉 正, 諸岡淳一郎 : 軽金属, **28**(1978), 388, 397.
- (39) 西本武雄 : アルトピア, **9**(1979), No.6, 54.
- (40) 横林寛昉, 千葉 正, 諸岡淳一郎 : 軽金属, **28**(1978), 357.
- (41) M.C.Shaw and T.Hoshi : Wire J., **9**(1976), No.3, 74.
- (42) M.Bastide and J.Bourgon : Wire Ind., **46**(1979), 49.
- (43) Y.Miyake, A.Tanaka, Y.Matsuyama, S.Katahira and K.Yamaji : Wire World Int., **19**(1977), 263.
- (44) J.J.Theiler, A.Wagner und A.Ames : Metall, **30**(1976), 223.
- (45) 山路賢吉, 参木貞彦 : 金属, **48**(1978), No.4, 13.
- (46) 村瀬 暁, 小池吉康 : 塑性と加工, **20**(1979), 172.
- (47) G.E.Meyer, R.J.Fiorentino, F.J.Jelinek and E.W.Collings : Proc.Int.Conf.Manuf. Supercond. Mater.,(1976), 59.
- (48) E.G.Smith, R.J.Fiorentino, E.W.Collings and F.J.Jelinek : IEEE Transactions on Magnetics, **15**(1979), 91.
- (49) J.Breme und C.H.Massat : Metall, **33**(1979), 597.
- (50) 参木貞彦, 清藤雅宏, 石上祐治, 森合英純, 小林明光 : 第 30 回塑性加工連合講演会講演論文集, (1979), 251.

<新刊案内>

噴射分散強化合金 Spray-Dispersion Strengthening of Metals

長谷川 正義 著

表紙に和・英両題目が並ぶ異色の出版物である。そして序文も英・和、目次も同様。各章の冒頭にはそれぞれの章の要約を英文で Introduction として掲げている。読者は先ずこのスタイルに戸惑いと興味を感じさせられる。

噴射分散とは著者の開発した粒子分散型合金を製造する方法をいう。周知のごとく分散強化合金の製造方法は幾つか提案されているが、大半は粉末や金的手法を基本としているため工程が複雑である上、製品寸法や用途が限定されるなどの欠点を有する。もし普通の溶解・ casting 法が適用出来ればこれらの隘路は打開されるであろうと著者は考えた。そしてそのヒントを与えてくれたのは、序文によれば著者の参画していた学振第 19 委員会内の“非金属介在物協議会”であったという。勿論その会議の目的とするところは鋼中の酸化物や硫化物など非金属介在物の除去にあったのであるが、これら粒子を逆に均一微細に分散させる方向に発

想の転換を図ったところが面白い。いうなればこの泥臭い発想に敢然と挑み、忍耐強く試行錯誤を積み重ね、未だ実験室的規模ではあるが可能性の端緒に到達し得た著者の勇気と努力に、心から敬意を表したい。

非金属介在物を均一に分散させるには内在するものでは溶解時に浮上して不可能である。そこで凝固時に外部から粒子を噴射混入せしめる casting 法を考案した。ここで当然粉末粒子と溶融金属との“ぬれ性”が問題となる。著者は界面活性剤の役割を持つ少量の元素(Cr, V, Ti, Nb...)を溶鋼に添加してぬれ性を改善し、 casting 途中不活性ガスで酸化物などの粒子を噴射し、均一な粒子分散材を得ることに成功した。本書ではこれらの経緯、各種酸化物、硫化物、炭化物粒子の実験結果、機械性について述べ、最後に耐食性にも言及している。何れも赤裸々な実験データの提示であり、率直な問題提起である。工業的規模への成長を期待したい。(O.I.)