

© 1987 ISIJ

研究委員会調査研究小委員会



鉄鋼を中心とする加工技術の将来像

委員長 川 並 高 雄*

Future of Metal Working in Steel Industry

Takao KAWANAMI

1. ま え が き

現在の鉄鋼業を取り囲む環境は極めて厳しく、NICS等の追い上げ、競合材料の台頭等で生産は低迷し、多くの問題を抱えている。一方、高度化、多様化する我が国産業の先端技術とこれを支える加工技術や新素材の登場は、あらゆる製造分野において積極的に開発が行われており、今や大きな変革期を迎えつつあるといえる。このような動きが当然鉄鋼製造部門の近い将来に、直接、間接的に影響すると考えられるが、どのように変革されていくか具体的に予想するとなると、それは非常に困難な問題である。

鉄鋼協会研究委員会（加藤健三委員長）のもとに当研究調査小委員会が設けられ、鉄鋼を中心とする加工技術の将来を展望するにあたり、現状の鉄鋼製造プロセスをベースに他業界からの様々の知見を得て、近い将来を前提にまとめることにした。もとより限られたマンパワーと時間が前提であり、これまで以上の将来予測になるとは考えていない。予想したものも、すでに目前に動き始めているものが多い。本文に入る前にあらかじめご容赦を乞うしだいである。

2. 鉄鋼製品の共通将来像

代表的鉄鋼製品として、板、条線、管の圧延およびこれらへの影響要因として非鉄、新素材など、おのこの技術動向を詳細に見た。

その結果、圧延における大きな技術の流れは、各分野共通に図1のように、連铸化、直送化、工程連続化の三つの用語に集約された。これらの技術はこれまでも著しい進展をみているが、現段階で完成されたというものではなく、ここしばらくの間、これらの技術の極限に向かって、改善発展が行われると考えられる。これらを支える技術は、①従来からの鉄部門技術の、より高精度化

技術、②他分野の応用技術、新しい発想による高機能化技術、の二つに分類でき、これらによつて従来の大量生産プロセスに、少量多品種を取り込む努力が行われるが、結局は低コストを狙った多量生産プロセスと、多様な

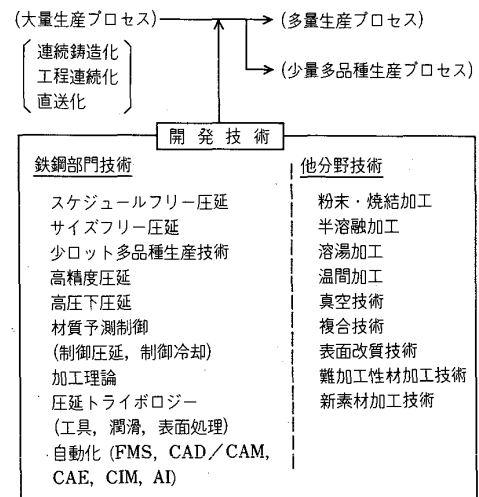


図1 鉄鋼圧延技術の動き

表1 薄板圧延の最近の代表的加工技術

最近の加工技術	改善された点, 特徴	問題点
1) 新形式圧延機 (熱延)	形状, クラウン, 板厚精度等の向上, スケジュールフリー圧延技術 (SFR)	エッジドロップ
2) 新形式圧延機 (冷間)	形状, 板厚精度の向上, 高圧下圧延	エッジドロップ
3) 連铸 HCR, HDR	省エネルギー, 省力	HCR, HDR 率の拡大
4) 幅大圧下技術	サイズ造り分け, SFR への支援	クロップ最小化
5) エッジャー技術	HCR, HDR 率の向上	コイルの幅精度
6) 材質制御技術	幅精度向上	コイルの幅精度
7) 小ロット対応技術 (スケジュールフリー)	各種高張力鋼板の製造成分集約, 材質造り分け	材質予測制御の精度アップ
	サイズ, 材質造り分け, 製造工期の短縮, 生産管理システムの改善	高精度圧延制御技術
		ロールの耐久性向上

HCR; Hot Charge Rolling HDR; Hot Direct Rolling

昭和 62 年 4 月 27 日受付 (Received Apr. 27, 1987)

* 本会研究委員会調査研究小委員会委員長 新日本製鉄(株)塑性加工研究センター所長 (現: 金沢工業大学教授) 工博 (Material Forming Process Lab., Nippon Steel Corp. Now Kanazawa Institute of Technology, 7-1 Ohgigaoka Nonoichimachi P. O. Kanazawa South Ishikawa pref. 921)

Key words: iron and steel; plate rolling; shape rolling; wire rod rolling; tube rolling; nonferrous metal; continuous casting; forging; extrusion; tribology.

ニーズと高付加価値に対処するため、より高機能を狙う
少量多品種生産プロセスに2極化すると考えられる。

その次に登場するプロセスは、よりドラステックであり、超薄 CC、粉末などの技術を総合し、加工の役割は形を造るよりも、目的とする機能を引き出すことに主眼をおいたものになるであろう。この実現に向かった研究開発は既に開始されつつある。

3. 板圧延技術

本節では、薄板を主として考察する。表1に、薄板圧延での最近の代表加工技術、表2に将来の加工技術をまとめた。将来の薄板製造プロセスを決定する最大の技術は、薄肉連铸技術と考えられ、その铸造可能スラブ厚しだいでは、一挙に熱延～冷延という垣根が取り除かれ、

表 2 薄板圧延の将来の代表的加工技術

ニーズ	最近の加工技術	将来の方向、可能性 参考になる他分野の技術	課題 予想される問題
1. 低コスト ①省エネルギー ②低設備費 ③省力化 ④高歩留り 2. 高品質	連铸 HCR HDR	薄肉連铸製造 (連铸—熱延—冷延の一体化) 高表面品位確保技術 高効率脱スケール技術	ビルトインミル 高圧下高精度圧延ミル 保温技術 温度降下の少ないデスクーリング法 非酸化雰囲気での連铸、圧延 高耐久性ロール 機械的な研掃法 バイオ技術の利用
	材質制御技術	材質予測制御 高精度・高機能調質技術 汎用連続焼鈍技術	汎用鋼化 潤滑制御 ロール粗さ制御 高精度圧下率制御 形状制御 過時効処理省略
	計算機制御 自動化	高精度セットアップ技術 現代制御理論の適用 ロボット化、FMS、AI エキスパートシステム	
	スケジュール フリー圧延	少量多品種対応技術	品質、材質の高精度造り分け
	新工具、ロール	新材料とその加工技術の応用	
3. 高付加価値 ニーズの多様化	クラッド圧延 複合鋼板 不等厚断面鋼板 制振鋼板 箔圧延	表面改質鋼板 サイズ、種類の拡大 専用ミル化	溶接技術 切断技術 ロール耐久化 形状、そり 蛇行制御

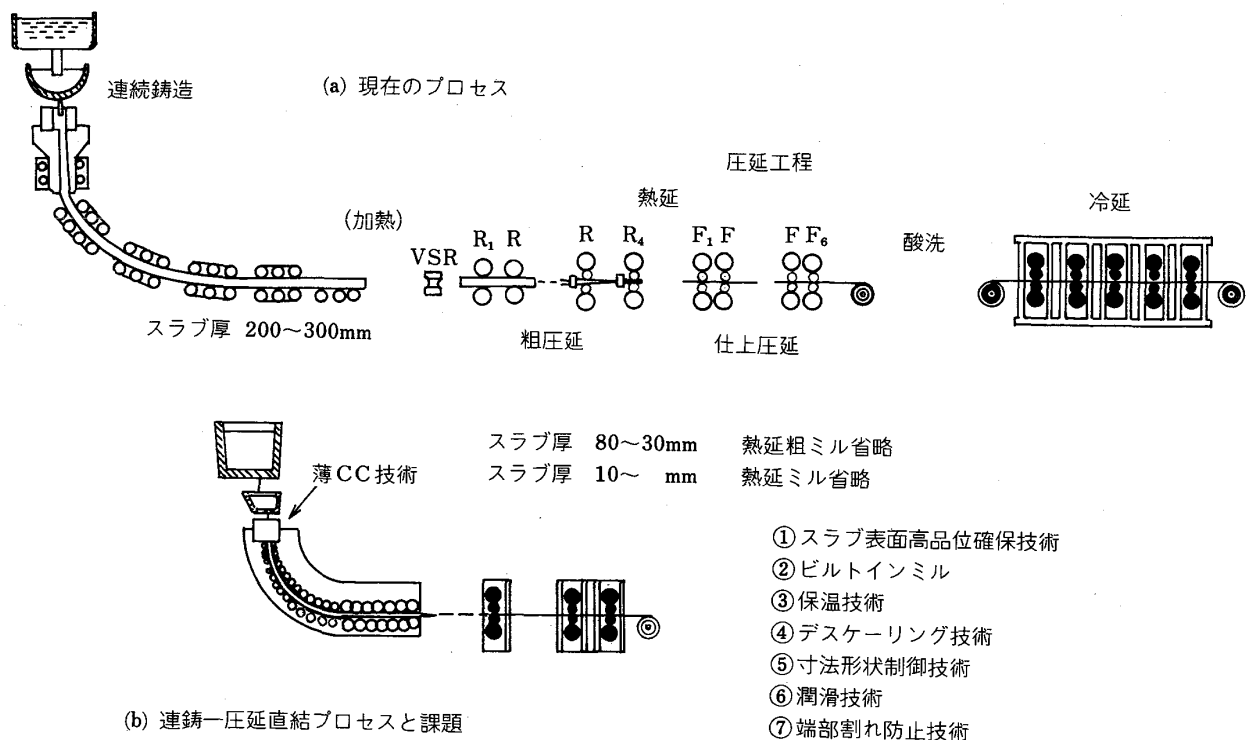


図 2 薄板圧延工程の将来

連铸と最少スタンドのプロセスが考えられる。現在のスラブ厚 200~300 mm が 30~80 mm に変わったとき熱延粗ミルが省略され、10 mm 以下が可能になれば寸法的には従来の冷延ミルの機能を持つスタンドが存在すればよく、設備費最小のプロセスが実現することになる。

図2に、従来のプロセスと将来のプロセスを比較し、技術開発課題を示した。また、急冷凝固、粒滴凝固、粉体凝固などの超薄連铸、粉末焼結圧延、半熔融圧延などの技術は現在特殊な製品を対象に技術開発が行われているが、鉄鋼分野においても既に珪素鋼、ステンレス鋼などへの適用が進められている。しかしながら、いわゆる量産鋼製造プロセスとして成立させるためには多くの技術課題が解決されねばならないだろう。

いずれのプロセスに変革されようとも、製品の品質を決定する圧延の役割は一層増大し、板厚、板幅、形状・クラウンなどの寸法精度の向上の要求は更に高まる。とくに小ロット、多品種生産には安定圧延条件を前提にした学習制御は不可能になり、より正確な圧延理論と制御理論に立脚した高度の設定制御が必要となる。高速大容量コンピューター、各種の検出端、汎用ソフトウェアの採用、開発によつて、スケジュールフリー、サイズフリー圧延が可能となり、高度の寸法形状制御が行われるであろう。また特に材質予測制御としてメタラジ一面の計測、評価システムが組み込まれて、あたかも板厚が制御されるかのように材質が制御されることが可能になる。一方徹底したコストダウンのための自動化、省力化が各要素プロセスで行われる。

薄板製品の品質として、強度、耐食性、耐熱性、耐摩耗性あるいは装飾性までを考慮した、多種多様な製品が需要家ニーズだけでなく、鉄鋼製品の需要拡大の面からも必要となる。複合鋼板、フォイル、装飾鋼板、表面改質鋼板などの製造において、新素材に関連した加工技術が取り込まれ、新しい機能を持つ鉄鋼素材、鉄系新素材、チタンなどにおいて続々新製品が出現してくるであらう。

う。

これらの加工技術は、直接鉄鋼製品の加工だけでなく、例えば超耐熱、耐摩耗、熱膨張の少ない超硬合金ロール、セラミックロールの採用にもつながり、製造プロセス面から鉄鋼製品のコストと品質に寄与することになる。

4. 条鋼の圧延技術

最近の代表的な条鋼圧延技術を表3に、将来技術を表4に、(1)低コスト(2)高品質(3)高付加価値の三つの観点から纏めた。これまでの量的指向の技術開発に続き、省エネルギーを主目的とした連続製造化の拡大技術は一段落した感があるが、更に省エネルギーを図るため、HCRの徹底、拡大が今後も進むであろう。薄板圧延で実現しているHDRの条鋼への適用については、現在のミルおよびミルレイアウトは熱的に不向きであり、上流工程のコンパクト化、あるいは大圧下圧延技術等を取り入れる必要があろう。一方連铸化は本来 Near net shape の思想と合致するものであるが、現在の単一ビームブラ

表3 条鋼圧延の最近の代表的加工技術

最近の加工技術	改善された点、特徴	問題点
1) 単一ビームブランクからの多サイズ形鋼の圧延技術	連铸化拡大(コストダウン)	クロップロス、パス回数、長手方向寸法変動 設備費、FMS
2) スラブからの形鋼圧延技術	連铸化拡大(コストダウン)	
3) 連続圧延技術	生産性、寸法精度 線材ノーズイスト 生産性	機械設備保守 ロール耐久性
4) 高速圧延(ブロックミル)	設備のコンパクト化 連铸と圧延直結	ロール耐久性
5) 高圧下圧延	圧延チャンスフリー ロール交換省略	
6) カリバーレス圧延	能率向上、寸法精度 表面品質	FMS
7) 多ロール化 ユニバーサル化	生産性向上、非定常部 減少	
8) エンドレス圧延	自動化、省力 寸法精度向上	設備制約 レイアウト制約
9) 孔型 CAD/CAM	材質改善 ユーザ熱処理省略 省エネルギー	
10) 材質制御技術		
11) 連铸-HCRの拡大		

CAD : Computer Aided Design CAM : Computer Aided Manufacturing FMS : Flexible Manufacturing System

表4 条鋼圧延の将来の代表的加工技術

ニーズ	最近の加工技術	将来の方向、可能性、参考になる他分野技術	予想される課題、問題点
1. 低コスト (1-1)省エネルギー (1-2)省工程 (1-3)低設備費 (1-4)少量多品種対応	HCRの拡大 Near net shape 大圧下ミル スケジュールフリー圧延	HDRの採用、拡大、保温技術 非鉄技術の応用、急冷凝固極細線材 押し込み圧延技術、連続鍛造機 カリバーレス圧延拡大、ロール迅速交換技術	無欠陥連铸技術、熱間傷検出手入れ ロール耐久性、潤滑技術 ロール耐久性 高精度セットアップ、上流工程との対応
2. 高品質 (2-1)高強度 高靱性 高品質 (2-2)表面品質 (2-3)高寸法精度	制御冷却(線材) 連続圧延技術、計算機制御	制御圧延技術 スケール制御、雰囲気圧延 高度化、材形寸法測定センサー	形状の維持、向上 (熱歪み(形状不良)) 残留応力制御
3. 高付加価値 ニーズの多様化 (3-1)特殊鋼化 (3-2)クラッド (3-3)サイズフリー (3-4)新断面形状 (3-5)極薄、極細線材	材質設計合理化、高炭素鋼線材 ロール成形、伸線 H形鋼矢板 スチールウール、ファイバー	高度化 押し出し、引抜き、溶射、肉盛 多ロール化、カリバーレス圧延拡大 ロールサイズ可変技術	

ンクあるいはスラブを素材とすることだけではまだ不十分とも言え、できるだけ製品形状、寸法に近い多くの種類の素材サイズを持つことが、加工の面からでは望ましい。最終的にいずれのプロセスに落ち着くかは予断を許さないが、後者のためには連铸プロセスでの能率、コスト上の問題を解決しなければならない。しかしながら線材においては、例えば極細線の製造のように、できるだけ最終製品寸法に近い素材を製造することは比較的容易と考えられよう。

生産性、寸法精度向上の技術はこれまで積極的に取り組まれてきた。しかし量の拡大が望めない、量から質の時代においては、むしろ圧延プロセスにおける材質制御が一層重要な技術といえる。線材での制御冷却技術は他の製品に先行して確立されてきたが、条鋼においては、圧下率、圧延温度の点で制約条件が多く、まだ実現されていない。断面形状に起因する形状不良や残留応力の問題を解決しつつ、圧延スケジュール、圧延機自身まで含めて、材質制御の点から見直されるべきであろう。

高付加価値化、ニーズの多様化に対処するには、他の製品と同じように、複合化も行われるであろう。とくに条鋼においては、新断面形鋼、ジャンボサイズH形鋼、規格以外の自由なサイズ(外矩一定H形鋼)等、線材においてはスチールファイバー、スチールウール等が指向されよう。条鋼の製造においては、これまでに多種類を特徴としてきたが、この傾向は今後も一層強まり、これらの多様なサイズに対し、いかにフレキシブルな製造プロセスとシステムを開発するかが、そのコストに大きく寄与することになる。

5. 鋼管製造技術

最近の鋼管製造技術を表5、将来の加工技術を表6にまとめた。最近の10年間は石油関連産業等の高度成長に対応して、国内外で最新の大型設備が相次いで建設された。これらの設備では新プロセスとその関連技術が積

極的に導入され、鋼管製造技術が飛躍的に進歩した。

継目無鋼管の穿孔圧延ではプレスピアシング法や交叉穿孔法が実用化され、内面欠陥の発生を抑制することができ、角連铸片やステンレス鋼の穿孔が可能になった。これにより従来熱間押し出しで製造されてきた難加工材の材質でも穿孔圧延に移行するものが増えるであろう。延伸圧延では製品外径10インチ未満の寸法ではマンドレルミルが定着したが、それ以上の中径管の圧延法がミルの経済性、設備技術的な検討を含めて今後の課題である。管材の連铸化は材質的には一部の合金鋼を除いてすでにほとんどの材質に適用され、また丸連铸片も採用されており、今後その適用拡大が一層図られるであろう。またNear net shapeの観点からホロー連铸片の考えは従来からあるが、生産能率と無欠陥連铸技術が成否の鍵でありその解決の努力がなされよう。

溶接鋼管では特に電縫鋼管の進歩が目ざましく、熱延コイル品質、成形、溶接、品質保証技術の向上で、製品品質の信頼性が大幅に向上した。今後電縫鋼管は高級化とコスト優位性を背景に、従来の継目無鋼管の使用分野へかなり進出するであろう。

制御圧延は溶接鋼管の素材圧延に適用され目覚ましく

表 5 鋼管の最近の代表的加工技術

最近の加工技術	改善された点、特徴	問題点
1) 連铸ビレットの直接穿孔技術 (PPM法、交叉穿孔法) PPM: Press Piercing Mill	連铸化拡大、コストダウン、ステンレス鋼等、難加工材の穿孔	
2) マンドレルの大型化 (リテインドマンドレル方式)	製品径 9-5/8 インチのミル、生産性、表面品質、寸法精度向上	設備費
3) 電縫管の製造範囲拡大 (ケーシロール法、ダブルベンド法)	薄肉 $T/D \sim 1\%$ 厚肉 $T/D \sim 20\%$	極薄肉 ($T/D < 1\%$) 極厚肉 ($T/D > 20\%$)
4) 継目無、溶接鋼管の計算機制御 (伸ばし長さ制御、入熱制御他)	寸法精度向上、歩留り向上、溶接品質の安定	

表 6 鋼管の将来の代表的加工技術

ニーズ	最近の加工技術	将来の方向、可能性、参考になる他分野技術	予想される問題
1. 製造コスト低減 (1-1) 管材コスト低減 (1-2) 生産性向上 (1-3) 歩留り向上	角、丸連铸片の拡大 大型ミル(マンドレルミル 9-5/8、電縫管ミル 26") コンパクトミル 肉厚制御(マンドレルミル油圧圧下、レデュース管端肉厚制御)	ホロー連铸片の採用、遠心铸造技術 マンドレルミル 10" 以上、電縫管ミル 26" 以上 スリーロールプラネタリミル 完全連続ストレッチレデュース	無欠陥連铸技術 既存ミルとの品質、コスト比較 品質 管端接合技術
2. 高品質 (2-1) 寸法精度 (2-2) 表面品質 (2-3) 高強度、高靱性	孔型設計理論の高度化 計算機制御の導入 マンドレルミルの普及 ビード切削技術向上 溶接管素材の制御圧延、制御冷却	真直製管技術 低残留応力製管技術 雰囲気圧延 継目無鋼管の制御圧延	圧延機強度
3. 高付加価値、 ニーズの多様化 (3-1) クラッド管 (3-2) 粉体ビレット管 (3-3) 多品種少量生産	クラッド管材製法技術 (鑄ぐるみ、合わせ引き他) 粉末製法、焼結技術 (アトマイズ法、HIP 他) FMS の導入	管材製法の低コスト化 継手技術開発 特殊合金設計 特殊機能材 スケジュールフリー加工法	コスト、品質

進歩しており、今後継目無鋼管でも冶金的検討、ミルの設備強度的な問題が解決され実用化されよう。

鋼管製造プロセスは加工条件が苛酷であり、工具、表面処理、潤滑剤を総合したトライボロジー技術は重要である。これは単に工具原単位等の直接的な効果だけでなく、新プロセス、新製品の開発を促す可能性を秘めており今後の発展が期待される。

経済的かつ高性能の製品要求に対応して、クラッド鋼管や表面処理鋼管の需要が増加し、管本体、継手の各種製造技術が開発されよう。ニーズの多様化に伴う多品種少量生産への対応技術は、生産性と操業性の観点から重要な課題であり、鋼管分野においても、FAの導入はもとより、スケジュールフリー加工法の開発が重要になってくるであろう。

6. 製品の加工技術

6.1 鍛造・押出しなどの加工技術

圧延加工された線・棒・管・板はその後、各種の塑性加工で最終製品形状あるいはそれに近い形状に成形される。この工程では、形状、材質、表面品質が同時に満足されるのでなければならず、従来多くの工程を必要としていたが、今後はより少ない工程でかつ歩留り良く、目標が達成できるような加工技術の開発が要求されよう。

(鍛造)

鍛造加工は現在熱間、温間、冷間で実施されている(表7)が、従来の大量生産技術としての位置付けから、多品種少量生産、高付加価値化をめざした複雑形状、難加工材への対応が進められつつある。このとき対象品種を拡大するためには他の加工法よりも安価にする必要があり、コスト低減が最大の課題である。このため最もコストメリットの高い冷間鍛造分野での技術開発が顕著で

表 7 鍛造加工技術の進展

分類	加工技術	今後の進展
冷間鍛造	新鋼種(焼入性、切削性改善) 超硬工具の普及と表面硬化処理 液体潤滑剤の採用 クイックダイチェンジ方式	今後の進展 ・ 工程設計のシステム化 (CAE, CIM, AI 利用) ・ プレスの多軸化 (多段化、複動化) (閉塞鍛造の普及) ・ 加工熱処理の利用 ・ 熱間鍛造の温間・冷間 鍛造化
温間鍛造	工具材料の改善 潤滑剤の改善 閉塞鍛造化	
熱間鍛造	熱間非調質鋼 温間への移行 閉塞鍛造化 歩留り向上対策	
その他	回転鍛造 粉末鍛造	
非鉄金属の精密鍛造技術 非鉄金属溶湯鍛造・加圧成形技術		

CAE ; Computer Aided Engineering
CIM ; Computer Integrated Manufacturing
AI ; Artificial Intelligence

あつたが、一方温間鍛造は低い変形抵抗で寸法精度のよいものが得られるとの見通しもある。今後広くこの温間鍛造が用いられるためには、工具寿命の延長、潤滑剤の改良が課題となる。

鉄鋼材料の熱間鍛造のうち原子力容器や発電機用ロータシャフトなどの大容量プレスによる自由鍛造では、従来内部品質に重点がおかれていたが、最近では少ない工数となる工程設計、熱間寸法計測による精度向上が求められている。またメカニカルプレスやハンマーによる小寸法部品の鍛造では、寸法精度および歩留り向上策として、閉塞鍛造や粉末鍛造が採用されつつある。今後ますますこの傾向は強まるであろう。

一方、航空・宇宙産業用の Ni 基合金や Ti 基合金は鍛造後の機械加工を軽減すべく、精密鍛造技術の開発が指向されている。またアルミ合金の熱間精密鍛造では加工時のひずみ履歴、温度履歴を考慮して、材質を満足させながら寸法形状、表面品質の確保も達成している。このような非鉄鍛造分野における高精度化と品質制御の技術動向は、鉄鋼材料分野においても同様であり、例えば従来の熱間自由鍛造から熱間あるいは温間閉塞鍛造に移行する傾向がある。

今後は更に、従来技術の延長上で、素材・工具・潤滑剤の改良が加えられるとともに、①金型工程設計技術のシステム化、②複雑形状に対応するための多段化、複動化を含めたプレスの多軸化、③加工熱処理の利用などが重要な動向となろう。また個別技術としては回転鍛造が再び見直されており、また粉末冶金の発展にともなう粉末鍛造、溶融・半溶融素材の鍛造は新機能創出、コスト低減の手段として発展するであろう。これにおいては、とくに耐熱性の高いセラミックや複合材料の開発が進めば、耐熱性の強靱金型材料の出現や温度制御による湯流れ低下の防止など工具設計技術の発展によつて、低融点金属材料と同様に鉄鋼溶湯の加圧成形も可能になるであろう。

(押出し)

鋼管や型材の熱間ガラス潤滑押出しは、1950年代に我が国に導入されて以来広く活用され、ピレット加工の簡略化、ガラス潤滑剤の開発、長寿命工具の開発が進められてきた。超合金など耐熱材料の押出し、粉末を素材とする難加工材や鉄系複合材の押出しは今後も重要な開発課題で、新素材を活用した耐熱工具の開発がキーになるであろう。

アルミ合金や銅合金の分野では直接押出しの代わりに間接押出しが採用され、生産性の向上と品質の改善がなされてきた。また静水圧押出しによる複合材や難加工材の押出しが工業化されつつある。さらにこの分野では押出しの連続化や押出速度および冷却の制御による材質制御、溶湯押出しが検討されだしている。いずれ鉄鋼材料の分野においてもこの種の技術が注目されるであろう。

6.2 品質高級化のための加工技術

成品の高級化は形状、材質、表面品質のいずれにおいても進むと考えられ、それに対応しうる加工技術の発達が要求される。図3に塑性加工製品の寸法と寸法精度の関係を示すが、大きさと精度は大略直線関係にある。重厚長大の製品から軽薄短小の製品まで、産業界のニーズ

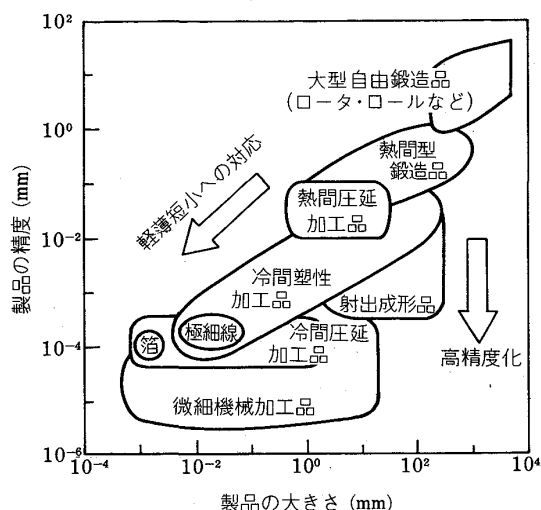


図 3 塑性加工品の精度概念図

はますます高精度化の方向に向かうであろう。そのためには鍛造、押出し、板成形、せん断、等いずれの加工においても、①適正な工具の形状および材質に関する工具設計技術、②目的にかなった工具の精度・表面に加工する工具加工技術、③加工過程において寸法、変位、荷重、温度、材質などを精度よく測定し、応答性よく制御する計測・制御技術の進歩が不可欠である。そしてこの計測・制御技術を駆使することによって、形状のみならず、材質制御と表面品質制御が同時に行われる、システム化された加工技術が出現するであろう。

6.3 新素材の加工技術

次世代を担う先端産業の基盤技術として、材料の果たす役割は極めて大きく、高機能性高分子材料、ファインセラミックス、新金属材料、複合材料などの新素材の開発が活発に行われている。これら新素材の加工にはまず既存の加工法が採用され、課題を残しつつも利用できるものはそのまま、あるいは改善されつつ実用に供される。例えば延性に乏しい材料には静水圧応力場、良好な潤滑状態、適当な温度場を与える意味で熱間静水圧押し出しや側圧付加押し出しが粉末素材、金属基複合材、超伝導材、磁性材料の加工に生かされている。

しかし、新金属材料やファインセラミックスは難加工

表 8 新素材の加工技術の動向

ニーズ	最近の加工技術	将来の方向・可能性	予想される問題
1. 難加工性材料の加工			
1-1 省エネルギー	粉末鍛造	鍛造温度の精密制御	型寿命
1-2 省工程	液体急冷法	機能材料の製造	複雑形状品の製造
1-3 Near net shape 品の製造	HIP 超塑性鍛造 恒温鍛造	大型素材への適用 成形速度向上 型材料の開発	生産性 型材料、非破壊検査方法 潤滑技術
1-4 複雑形状品の製造	CIP 粉末押し出し 組合せ押し出し	生産性向上、小品種大量生産 無結着剤による押し出し 分散強化型複合材の製造	寸法精度 高密度圧粉 結合剤の除去
1-5 寸法精度	粉末鍛造	精密鍛造	型寿命
1-6 新加工法	側圧付加押し出し ダイレス引抜き 固相拡散+複合加工 in Situ 法 高温塑性加工	難加工材の押し出し 一般金属材料への適用 成形不可能な金属間化合物への適用 高磁界特性の改善 センダストの塑性加工	複合加工工程が複雑
2. 高品質・機能向上			
2-1 新合金の製造	HIP Mechanical alloying 液体急冷法 化学蒸着 (CVD) 一方向凝固	耐熱温度特性の改善 機能材料の製造 長尺化技術、雰囲気制御 共晶合金、単結晶製品の製造	生産性 生産性、長尺化技術
2-2 複合化	HIP 超塑性成形/拡散接合 半溶融加工 固相接合	拡散接合、金属とセラミックスの接合 FRM の製造 粒子強化金属基複合材料 FRM 繊維の均一な分散 複合材料の製造、金属とセラミックスの接合 異種金属の接合	生産性、経済性 生産性、加圧力
2-3 微細結晶化	HIP 液体急冷法 融体急冷法 化学蒸着 (CVD) 析出法 スパッターリング	機能材料の製造 冷却速度向上 長尺化、雰囲気制御	生産性 非晶質化有無 冷却速度
2-4 特性改善	Mechanical alloying 一方向凝固 恒温鍛造 熱間クリープ成形	耐熱温度特性の改善 共晶合金、単結晶製品の製造 成形速度向上、型材料の開発 成形速度向上	生産性、コスト

性材料の範囲に属するものが多く、従来の加工法では加工が不可能であったり、工程数の増加、加工コスト等の理由から、また Ni 基耐熱合金、Ti 基合金では塑性加工や機械加工によつて目的とするものが得られないことから、各種の新しい加工法が研究開発されてきた。これらに関連する加工技術は要約すれば、上述した難加工性材料を割れなどの欠陥のない製品を Near net shape に成形し、その上で表面改質、内部の健全性の確保、複合化による機能向上をめざしているものと言える。表 8 に示すように、粉末成形（鍛造、圧延）、CIP、HIP、液体急冷法（溶融、凝固の利用）、超塑性の利用等実に多くのものがあり、これらはいずれも超高压、超塑性等、極限状態の環境を適切に活用することで新素材の加工を可能にしたものである。今後材料の基礎研究結果にもとづいて、必要な加工環境を満足する加工法の開発が活発に展開されるであろう。

新素材の開発過程で出現した加工技術は、鉄鋼分野における一般普通大量鋼材を対象とすれば、そのコスト、生産性の点から直ちには採用され難い。しかし特殊な分野には逐次実用化が進められるであろう。すなわち、新素材に関連する加工技術は、①鉄鋼および鉄鋼系新素材、複合材料の製造プロセスへの直接的適用、②その高機能化、商品化のための加工技術、③それらの加工工具の製造技術、と三つ巴になつて影響しあつてゆくものと考えられる。

鉄鋼産業界自体が鉄鋼系新素材、複合材料だけでなく、あらゆる材料に進出する気運にあり、これまで培つた量産加工プロセス技術とこれからの新素材加工技術が今後適切に組み合わせられ、相互に影響しあつて発展していく

ことが期待される。

7. 圧延プロセスでの材質制御

鋼材製造プロセスはこれまで高生産性を中心に設計され、材質制御は副次的に考えられ、特殊な材質は成分の調整とオンライン熱処理などで作り出されてきた。この結果、単純化された量産プロセスの中で、多様化・高級化するユーザーの要求に応えるためには、製造プロセス内での材質制御の重要性が増大してきた。加工熱処理による製造工程内での材質制御の典型的な例として厚板の制御圧延があるが、最近ではこれに制御冷却が加わり多彩な組み合わせが可能となつてきた。制御冷却は以前から線材・棒鋼で実用化されており、連続熱延のランアウトテーブルの冷却も材質制御としての機能をますます増している。

このような材質制御は最終工程での材質の調整だけではなく、一貫工程の中で一定の役割を分担する場合が多い。冷延鋼板の連続焼鈍化に伴い連続熱延後の巻取り温度を高めて合金炭窒化物の析出を巻取り工程で行うのはその一例である。線材圧延後の制御冷却には多くの種類があるが、多くはユーザーを含め線材加工製品の一貫工程の中での工程簡省略を目的としている。このような傾向はますます広がり、今後は製鉄メーカーや加工メーカーの区別を越えて溶製から最終製品までの一貫最適化という観点から製造工程が検討されることになる。

このように各工程の材質形成への役割が複雑になつていくと、各工程で起こっている基本冶金現象の理解が重要となる。このような基盤研究もかなり進んできたので材質変化が定量的に計算できるようになつてきた。図 4

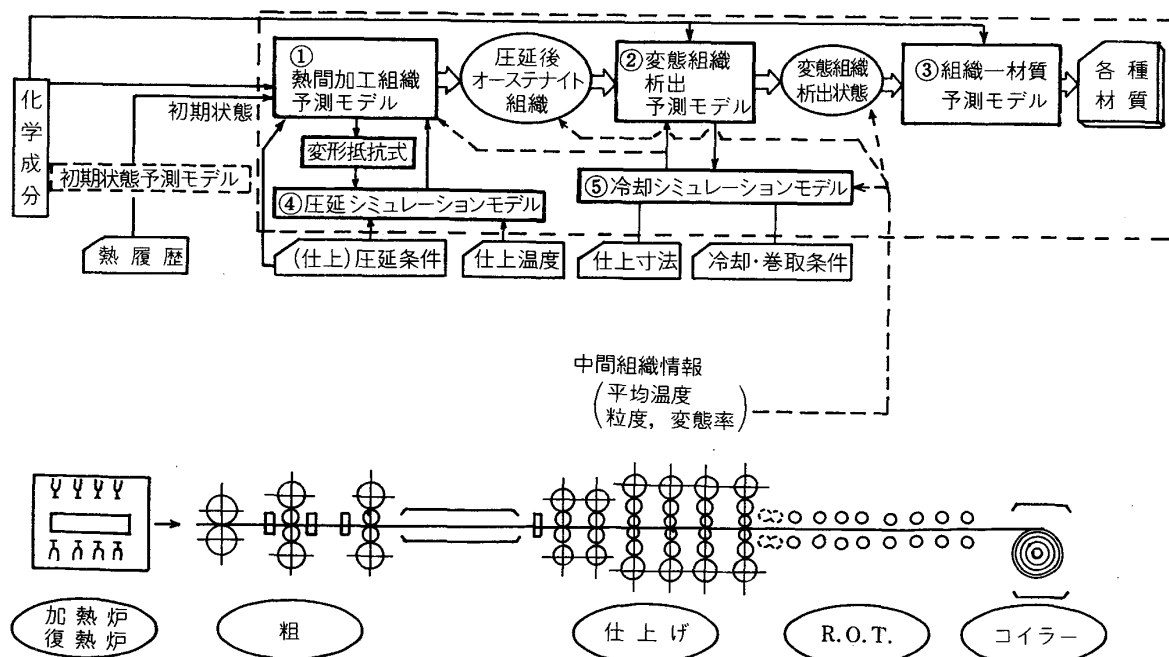


図 4 薄板圧延工程での材質予測制御システムの想定図

はこのような計算機プログラムをオンラインに組み込み、粒度、変態率など中間組織情報の検出によつて、狙いの材質を正確に制御して作り込むシステムのイメージである。近い将来鉄鋼の製造工程全体がこのようなオートメーション工場になつていくであろう。

8. トライボロジー

これまでの加工技術の開発には、ユージンセジュールネ法のガラス潤滑、冷間引抜き、冷間鍛造のボンデライト処理などトライボロジーの果たした役割は大きい。将来においても潤滑技術に課せられる期待は大きい。

ここでは、圧延潤滑の面に絞つて今後の動向を考察することにする。これまで、冷間圧延においては大量生産のための高速化に伴うトライボロジー、すなわち高速時で安定した潤滑性能を有する圧延油の開発、表面欠陥の発生を防止する圧延油の開発などが行われ、熱間圧延においては省エネルギーのための技術開発に注意の目が向けられ、潤滑油が使用されるようになった。現在、冷間圧延においては、連続化、高圧下圧延、などのため、高ミルクリーン性の油、高せん断強度の圧延油の要求も高まっている。これと平行して、高精度の板形状の製品を得るために新しい圧延機が開発され、その技術を高めるために、圧延油の性能向上が望まれている。これらの問題は、これまでの装置の改良及び添加剤の配合により解決が可能となるであろう。今後、同じ圧延機で鋼板だけでなく、ステンレス鋼板、珪素鋼板などの圧延を行うこと、また表面光沢の優れた高品質の製品を従来よりも高速で圧延することも考えられている。これらの達成のためには、新たな発想によるトライボロジー的な発展により、高性能圧延油が開発されねばならない。

一方、ロールを含め広く摩擦面材料としての金属材料を考えたとき、高速度、高荷重、腐食雰囲気、高温下で使用されるようになり、表面損傷、摩耗が起りやすい状況にある。そのため、金属材料は製鋼法の改良、熱処理法の改良あるいは合金設計などにより、耐焼付性、耐摩耗性、耐腐食性、高温性能を向上させる方法がとられている。また、窒化、侵蝕、溶融侵蝕、気相めつき、溶射などの方法で金属材料表面に金属化合物、金属間化合物の被膜を形成する方法も盛んである。イオン注入による耐摩耗性の向上、金属材料表面に固体潤滑剤の複合化、自己潤滑性をもつ新しい複合材料なども威力を発揮することであろう。更に、ファインセラミックス、FRP、FRM などの新素材は、極限環境下対応のトライボロジー材料としての期待が大きい。

9. 加工理論

塑性理論と数値解析については最近いくつかのシンポジウムが行われている。それらの資料により塑性理論の現状を要約すれば、有限要素法については計算技術上の

表 9 塑性理論の将来の課題

	課 題	補 足 説 明
基礎式	構成式	新材料、複合材料等(変態、凝固を含む)
	摩擦条件	温度、速度の影響、焼付き条件等
	破壊条件	温度、ひずみ速度、加工履歴の影響
解析法	従来法の拡充	初等解析法、すべり線場法、FEM 等
	解法の複合化	初等解析法・エネルギー法と FEM との複合化、エネルギー法・BEM と実験との複合化等
	新解析法	変分法、重みつき残差法に基づく方法
応 用	大規模高精度数値シミュレーション	三次元大変形、成形限界(板成形のくびれ、鍛造・押出しのき裂発生)
	詳細な材料特性の導入	温度、ひずみ速度、変態、凝固を含む解析、難加工性材料の加工の解析
	工具設計 CAD のための簡易近似解析	大変形の近似解法と CAD への応用
	材料-工具-機械系の解析	工具・機械の弾性変形、機械の振動、摩擦の Stick-slip の動的問題等

FEM ; Finite Element Method BEM ; Boundary Element Method

大きな問題は一応解決され、従来からの他の解析法についても小規模ながらそれぞれに進歩が認められる。

塑性理論の将来を現在の延長線上に考えれば、以下のような課題を想定することができる。(表 9) まず基礎式に関しては、在来材料、新材料および複合材料について従来の環境を越えた広い範囲での構成式、摩擦条件および破壊条件の高精度な数式化に努力が払われるであろう。

次に解析法に関しては、従来の個々の解析法の発展に加えて、初等解析法、エネルギー法などの在来法と有限要素法、境界要素法などの数値解析法との複合的、折衷的解法が開発され、また、変分法または重みつき残差法に解法が開発され、また、変分法または重みつき残差法に基づく、各加工様式に固有の解析法が考案されるであろう。

応用面については、構成式等の基礎式が拡充されれば、それに対応した解析法が確立され、加工条件の厳しい難加工性材料の変形解析等への応用が期待できる。三次元大変形問題については計算機の進歩による計算能力の増大だけでは急増する数値解析の需要に十分対応できず、上述の複合的解析法等の開発が必要であるが、これらの方法により実用規模の大変形解析が可能となろう。一方、工具設計用 CAD のために三次元大変形も近似的に試算できるような簡易算法が開発され、実用に供せられるであろう。さらに各種加工に対して、材料-工具-機械の系全体の静的および動的な解析も行われ、加工特性、精度の改善に役立てられるであろう。

10. あ と が き

最近のいわゆる先端技術あるいは新素材に関する加工技術の発展には素晴らしいものがある。このことから、鉄鋼製造プロセスおよび加工技術も今後飛躍的に発展す

るのではないかと、あるいは全く異なつたプロセスに変革されるのではないかと、といった希望あるいは危惧さをも、鉄鋼技術者は抱いているのではなからうか。

これまでの考察によれば、新素材、非鉄における先端技術の多くは難加工性材料あるいは低融点金属を対象にしたものが大部分である。従つて鉄鋼分野においては、普通鋼をベースとする大量生産プロセスにそのまま適用されるものではないと考える。むしろ、これらの技術の2次的な影響下で、計算機と情報処理の一層の発達を背景に、鉄鋼生産技術が低コスト、高品質に大きく進展すると考えるべきであろう。現在の多くの鉄鋼生産設備が一挙に新しいプロセスに更新されることは想像し難い。長期的にみれば、量的な拡大は望めないものの、今後も鉄鋼が基幹素材であることは変わりはなく、その製造プロセスは徐々に、しかしこれまでよりは格段に加速されて上述した方向に変化していくものと考えられるべきであろう。

最後に本調査活動期間において別表に示す他業界各社を訪ねたがその際に得た絶大なご協力に対し、ここに感謝の意を表します。

なお、本報告は調査結果の概要であり、詳細版は鉄鋼協会及び各委員が保管しているので、詳しくはこれを参照されたい。

加工技術の将来像 調査研究小委員会委員

	氏 名	所 属 ・ 役 職
研究委員会 委員長	加藤健三	阪 大・工学部金属材料工学科・教授
小委員長	川並高雄	新日鉄・第三技術研究所・塑性加工研究センター 所長
委 員	木原諄二	東 大・工学部金属工学科・教授
	加藤和典	東工大・工学部機械工学科・助教授
	小豆島明	横国大・工学部生産工学科・助教授
	関口秀夫	奈良工専・機械工学科・助教授
	渡辺和夫	新日鉄・第三技術研究所・塑性加工研究センター・ 主任研究員
	日下部俊	鋼 管・本社・鉄鋼技術企画部企画室・主任部員
	阿部英夫	川 鉄・技術研究本部鉄鋼研究所・プロセス研究 部・圧延研究室長
	益居 健	住 金・中央技術研究所・加工研究室・主任研究 員
	古堅宗勝	住 金・中央技術研究所・加工研究室・主任研究 員
	松下富春	神 鋼・技術開発本部機械研究所・加工技術研究 室長
	水田篤男	神 鋼・加古川・鋼板開発部薄板開発室・主任研 究員
	竹添明信	日新製鋼・阪神研究所・冷延・加工研究室長
	岩崎 守	東洋鋼鉄・製造第一部第一製造課長
事務局	続木雄次	日本鉄鋼協会・技術部・主査

見学先一覧

1	三菱重工(株)広島研究所	広島
2	宇部興産(株)	宇部
3	金属材料技術研究所	東京
4	日本真空技術(株)	茅崎
5	北海鋼業(株)銭函工場	小樽
6	大金 RM(株)	千歳
7	大昭和製紙(株)白老工場	白老
8	王子製紙(株)苫小牧工場	苫小牧