

鉄鋼科学技術戦略

ロードマップ-4

創形創質工学部会ロードマップ

学会部門 創形創質工学部会

まえがき

創形創質工学分野の今後10年間のロードマップを作成するにあたっては、1999年日本鉄鋼協会において策定された鉄鋼科学技術戦略の創形創質分野の21世紀に向けた技術戦略を参考にし、創形創質工学分野としてまとまった形になるよう再度ロードマップを見直すこととした。

ロードマップの最初の検討は、創形創質工学部会内の「研究会発足のための委員会」で行った。その委員会より基本案を提案し、創形創質工学部会の11のフォーラム*が更なる具体的ロードマップの提案を行った。

このようにして提案されたロードマップを6つの大分類(1)板圧延加工プロセス、(2)管製造プロセス、(3)棒・

線・形鋼圧延プロセス、(4)2次加工プロセス、(5)矯正加工プロセスおよび(6)創質基礎に分類し、それぞれの大分類に対し、技術項目を検討した。各技術項目においては、そのニーズおよび開発項目のロードマップを策定し、さらにそれぞれの技術項目についてはその内容から研究形態をナショナルプロジェクト、鉄鋼協会の共同研究会、創形創質工学部会のフォーラムおよび個別企業内研究の4種類に整理した。

創形創質工学分野は対象が広いため、技術項目のそれぞれの要素技術についてのロードマップをわかりやすく作成することが難しかったため、各技術項目別についての簡単な解説を加えることにした。創形創質工学分野の研究者がこのロードマップを参考にされ、今後の研究開発項目の有効な指針となり具体化をされることを希望するものである。

*創形創質工学部会の11のフォーラム紹介

創形創質工学部会では下記の11フォーラムが活動しており、技術・研究の内容によっては、フォーラム間で共同活動を実施するなど活発に活動を展開している。

フォーラム	技術・研究の対象
板工学	鋳片、厚板、熱延薄板、冷延薄板の製造および材質制御と利用加工
形工学	鋳片、型材の製造および材質制御と利用加工
棒線工学	鋳片、棒・線材の製造および材質制御と利用加工
管工学	鋳片、継目無・溶接鋼管の製造および材質制御と成型・加工
トライボロジー	ロール、工具、潤滑の研究と評価
数値モデリング	変形・温度解析、材質予測、制御モデル、割れ欠陥予測
粉粒体工学	粉粒の製造・設備、粉粒体の成形加工、焼結
鋳鍛造品工学	鋳造、鍛造、半熔融半凝固加工
鋼構造品工学	建築、土木構造物用鋼材の製造と加工・接合・安全性・長寿命化
接合・結合	接合部組織、継手性能、破壊特性、残留応力、表面改質・複合化、溶接プロセス
切削	切断、剪断加工

創形創質工学部会 研究開発のロードマップ

形態

A：ナショナルプロジェクト

B：共同研究会

C：フォーラム

D：個別企業内研究

大分類	技術項目	環境	ニーズ 生産性	品質	2003	2005	2010	2015	形態
1. 板圧延加工プロセス	超微細粒鋼製造プロセス	◎ 調和		○ 高強度	加工プロセス開発	トライボロジー	材質予測	接合技術	A
					実機レベルの加工プロセスの開発				
	熱・冷延統合プロセス	○ 省エネ	◎ 工程統合省力		統合プロセスのFS	スケールレス加熱	高精度圧延	均一冷却	B→A
						デスケーリング			
	無欠陥鋼板		○ 高歩留	◎ 高品質 高精度	鑄造欠陥・スケール欠陥	高精度温度制御	オンライン検査		D B B
	超高速冷延技術		◎		冷却・潤滑・軸受	高速溶接	高速巻取り技術		D
	表面機能創成圧延技術		○ 歩留	◎ 高付加 価値化 均一化	表面粗さ転写	高精度調質圧延			B

創形創質工学部会 研究開発のロードマップ

大分類	技術項目	環境	ニーズ 生産性	品質	2003	2005	2010	2015	形態
2. 管製造プロセス	高生産・高精度鋼管製造技術		◎	○ 高強度	完全スケジュールフリー電縫管造管技術	高合金マンネスマン圧延技術	高強度・極厚 UO 鋼管製造技術		D
3. 棒・線・形鋼圧延プロセス	材質制御技術	○		◎	材質予測技術	新圧延冷却技術			B
4. 2 次加工プロセス	鋼管の 2 次加工	◎	○		材料評価技術・標準化	加工シミュレーション技術	高度加工技術		B
	板成形の高精度化	○		◎	板成形シミュレーション技術				B
	高精度ニアネットシェープ成形技術		○	◎	鋳鍛造における組織予測技術	粉体成形シミュレーション技術	MIM プロセス		B C C
5. 矯正加工プロセス	残留応力自在制御	○		◎	残留応力予測・制御技術				B
6. 創質基礎	高強度化技術			◎	超ひずみ加工技術				B
	組織制御技術			◎ 高付加	多モードひずみ加工技術				B

1 板圧延加工プロセスの技術項目

1.1 超微細粒鋼製造プロセス

1997年度から2001年度の5年間、スーパーメタルプロジェクトでの研究開発成果として、1 μm の超微細結晶粒鋼の創製原理が明確にされ、700℃程度の低温で圧延圧下率90%/パスという大歪付与が必要条件であることが確認された。この研究成果を受け、2002年度から超微細粒鋼製造のプロセス開発を目的としたナショナルプロジェクト「環境調和型超微細粒鋼創製基盤技術の開発」が開始された。本ナショナルプロジェクトでは、1 μm 超微細結晶粒鋼の工業的生産を可能とする、新しい大歪付与技術を中心として加工プロセス技術と、大歪加工を安定的に可能とするロール・工具技術および焼付き防止・表面品質を保証できる潤滑技術、超微細組織作り込みプロセスの最適化のための数値シミュレーション技術をあわせた革新的なプロセス基盤技術の創製を目的としている。また、超微細粒鋼の実用化のための、接合部の結晶粒径の肥大化を制御できる革新的接合技術の確立も目的としている。

1.2 熱冷延統合プロセス

ナショナルプロジェクト「スーパーメタルの開発」のポストナショナルプロジェクトとして、現在「環境調和型超微細粒鋼創製基盤技術の開発」が実施されている。それら一連のナショナルプロジェクトの成果を生かし、冷間圧延材なみの品質をもった熱間圧延材を造り込む革新的な製造技術を開発する。冷間圧延材には比較的厚い自動車鋼板などと比較的薄いブリキ、TFSなどがあるが、当面は比較的厚い冷間圧延材を開発目標と考える。しかしこの技術を実現するためには、以下のような技術開発が必要である。(1) スケールレス加熱・熱間圧延技術の開発、(2) 高精度圧延技術の開発、(3) 制御圧延・加工熱処理技術の開発、(4) 均一急速冷却技術の開発、(5) プレス成形性向上技術の開発などである。しかし、このうち(3)、(4)については前述の現在進行中のナショナルプロジェクトの知見を生かすことが可能である。この技術が開発された場合の効果として(1) 冷間圧延工程の簡素化または省工程により、エネルギー・環境負荷などの低減、(2) より高強度のハイテン材の製造が容易化、(3) 製造コストの大幅な削減などが考えられ、そのメリットは大きい。

1.3 無欠陥鋼板

鋼板に発生する欠陥は、疵、内部空洞、偏析など各種あり、その原因は圧延工程だけでなく、鑄造工程、加熱工程、搬送工程などにもあり、複雑で不明な点が多い。たとえば、鑄造欠陥、スケール、異物飛び込みなどが原因で圧延工程におい

て顕在化する表面疵は、圧延工程における材料の破断や割れを引き起こし効率的な圧延作業の妨げとなるばかりでなく、圧延製品の品質・精度・歩留まりを著しく損なう結果となる。鑄造から圧延までの各プロセスにおいて、欠陥発生、進展のメカニズムを明らかにし、有効な計測技術、防止技術を開発することにより、無欠陥鋼板の製造を可能にする。

1.4 超高速冷延技術

薄鋼板は高強度化とともに板厚の薄肉化への要求は年々厳しくなっている。板厚が薄くなると圧延能率が低下し、製造コストの上昇を招く。飲料缶用鋼板を例にとると、その平均厚みは0.18 mmをきるようになっており、最大速度で2800 m/minを超える圧延技術も確立されている。高速圧延では、ロールと材料との焼付き、圧延機の振動、平坦度不良による通板性の悪化、軸受の焼損、コイルの巻取り不良を解決することが重要課題となる。

更なる高速圧延(例えば、4000 m/min)を目指し、上記課題解決のキー技術となる圧延材料とロールの冷却・潤滑技術、軸受およびその潤滑技術、圧延コイルの高速溶接技術、巻取り技術について検討を行う。

1.5 表面機能創成圧延技術

自動車用鋼板や缶用鋼板など薄鋼板は、地球環境への対応から他材料との競争が激化しており、連続化プロセスでの全長、全幅に均質で、かつ更なる高品質化、高機能化、低コスト化のつくり込み技術が要求されている。表面品質に関して、自動車用鋼板ではプレス成形性や鮮映性を向上させるため、溶融亜鉛めっきされた鋼板を調質圧延により均一な高粗度の表面を創成する技術が必要となる。飲料缶用鋼板では感性的価値を高めるため、圧延材料の表面低粗度化と鏡面を有する表面光沢を効率的につくり込む技術が必要になる。

連続化プロセスのなかで表面機能を制御する実用技術を目指し、調質圧延における材料の応力、ひずみ、変形機構などミクロ的な理論研究と、摩擦、潤滑、摩耗などトライボロジーの面からロール表面粗さの圧延材料表面への転写機構の研究を行う。

2 管製造プロセス

2.1 高生産・高精度鋼管製造技術

鋼管の用途は多岐にわたり、それぞれの用途に従い生産技術に対して特有のニーズが発生している。電縫鋼管においては、合金鋼を含め溶接部の品質向上が永遠の課題であり、他の溶接法と併用する技術等の実用化が見込まれる。また、製品外径、肉厚の変更に伴うロール変更は、小ロット・多品種

製品においてコスト削減の大きな足枷となっている。この課題では、同一ロールセットで、サイズを作り分ける技術の開発が進められる。継ぎ目無し鋼管では、高合金管を安価に製造する方法として、マンネスマン方式による製造方法の開発が大きな流れになっている。採掘環境の厳しい油田の開発を念頭に、当生産技術の発展を目指している。UOE大径鋼管では、CO₂排出規制に伴い天然ガスの需要が増大している。天然ガスの大量で効率的な輸送には、さらなる高強度・厚肉の大径管が必要となり、この製造技術の開発が進められる。

3 棒・線・形鋼圧延プロセス

3.1 材質制御技術

高層ビルの火災時の崩壊を防止する目的で耐火鋼材が求められ、耐震構造を確保するために低降伏比（降伏応力／引張り強さ）の鋼材が求められる。このように形鋼材は近年材質に関する要求が厳しくなっている。また、棒・線材も自動車部品メーカなどから年々材質に関する要求が厳しくなっている。

これを実現するためには、圧延後の材質を予測するための理論的な枠組みと材料データの研究が必須である。さらに理論的に最適化されたプロセスを実現するための温度制御、冷却制御および加工量制御について、研究が行なわれる必要がある。

4 2次加工プロセス

4.1 鋼管の2次加工

鋼管は閉断面形状で剛性も高く、方向性も無いことから機械構造用として利用されてきた。この分野では、鋼管を加工して使う場合が多く、従来は小型の部品が鋼管から加工されてきた。近年になり、自動車用の大型部材にも鋼管2次加工成形品が利用されるようになってきたが、今後もこの傾向がづくものと考えられる。大型の成形品は複雑な加工履歴を受けるため、素材の加工性が課題になると共に、加工の最適化のために加工シミュレーション技術の開発が不可欠になる。将来的には、これら技術発展を踏まえ、さらに高度な加工技術の開発を目指している。また、使用される鋼管が希望の形状に加工できるか否かは、鋼管の加工性に依存する。しかし、現在鋼管の加工性を簡便に評価する方法も無く、種々の加工に対しどのような材料特性が効いてくるのか明確でない。今後、鋼管の加工性（材料特性）評価技術を確立し、標準化する事が望まれている。

4.2 板成形の高精度化

板成形において高精度化を達成するために、スプリングバック抑制技術などの成形技術を一層高精度に予測する必要がある。そのため、有限要素法の重要性は高まり、破断、しわ、面ひずみを高精度にシミュレーションできる技術の確立が必要である。

4.3 高精度ニアネットシェープ成形技術

半溶融鍛造における組織予測技術としては、凝固や casting プロセスなど材料の成形過程において生成する材料組織（ミクロおよびマクロ）は材料の利用目的に沿う機能や特性を支配する主要因子である。高温での成形プロセスにおける組織形成の予測は従来多くの試みがあり、シミュレーションモデルも開発されてきた。しかしながら複雑な凝固現象と成形条件に対応した、組織形成の合理的予測手法は現在まだ不十分なものといわざるを得ない。組織形成のもととなる凝固核や結晶核の生成と物理化学現象、流動・伝熱の絡みなどを反映させた、より精緻なプロセスモデルによる組織形成予測システムを構築していく必要がある。

鉄系焼結部品の大半は自動車用であり、生産速度の向上やコストの削減が厳しく求められている。とくに部品の成形において割れの予測や金型設計の迅速化のために、成形シミュレーション技術を高める必要がある。5年後までに大きな粉末流動へのモデル拡大やスプリングバックを考慮したモデルの作成、10年後までには離散粒子モデルの改良ならびに連続体モデルとの融合による計算時間の短縮化、金型設計時でのCADとの統合システム化が可能とする。

MIM プロセスは、微細金属粉末と有機系バインダとを加熱混練し、射出成形したのち本プロセス特有の脱バインダ工程を経て焼結を施すもので、小型の複雑形状精密部品の量産に適しているが、製品的大型化、寸法精度の向上、低コスト化が競争力獲得のために必須である。5年後までの±0.1%以下の精度向上と10年後までの全自動化技術が確立され、これにより生産性の向上や低コスト化が期待される。

5 矯正加工プロセス

5.1 残留応力自在制御（板～レール）

鉄鋼製品の平坦度、真直度、真円度などの寸法精度や品質は需要家での自動化技術の進展とともに年々厳しくなっている。また、最近では需要家での2次加工時に発生する反りやキャンバーまでがクレームの対象になることが多い。一方、鉄鋼各社では矯正工程は自動化が遅れ、現場作業者の経験や勘をもとに操業されていることが多く、矯正工程後の手直しや再矯正の率が未だ高いのが現状である。したがって、圧延

工程+矯正工程での残留応力の発生メカニズムを明かにし、材料の用途に応じて残留応力を自在に造り込んで行く技術が必要である。そのためには以下の技術開発が必要である。(1) 矯正時の材料の変形特性の解明とその予測技術、(2) 圧延工程から矯正工程までの材料の変形解析と残留応力の予測技術、(3) 最適な矯正機の開発などである。

6 創質基礎

6.1 高強度化技術

資源やエネルギーの有効利用が切実な問題としてとり上げられてきており、材料分野におけるこの課題に対する解決手段として、材料の高強度化による製品軽量化によりエネルギー損失の低減が有効な手段として考えられている。自動車や航空機などの用途に使用されている構造用金属材料の分野においても軽量化のための高強度化の製造プロセスが確立される必要がある。地球環境調和型の立場から、新たに高強度材料を開発するためには金属材料を合金化する元素を制限に使用するのではなく、金属を構成する元素に制限が加わった材料開発をしなければならない。そのためには金属材料の組織を超微細化して高強度化する新しい加工プロセスの開発が必要とされている。

このような高強度金属材料を創製するための加工プロセスとして超ひずみ加工が注目され、くり返しせん断変形加工 (ECAP または ECAE)、くり返し重ね圧延 (ARB) や高圧付加せん断変形加工 (HPT) などの手法が開発されている。本技術開発項目においては、それぞれの加工方法の開発と創製された超微細粒金属の特性について新たに開発、調査するものである。

6.2 組織制御技術

近年の結晶粒微細化に関する研究成果や、集合組織制御に関する研究によると、材料の組織形成にはひずみの大きさばかりではなく、そのモードや方向が大きな影響を及ぼすことが明らかになっている。たとえば、結晶粒微細化過程において圧縮ひずみにせん断ひずみが重畳されることによる微細化の促進は、単純に相当ひずみの増加によるもののみではなく、多様な変形モードの作用による活動すべり系の増加も有効に作用していると考えられる。そのため、せん断ひずみの付与は集合組織制御の有力な手段ともなり得る。

この技術開発項目では、通常圧延、非対称圧延、クロス圧延、連続せん断変形加工 (ECAE) 等々、種々のモードのひずみを付与することが可能な加工法の組合せにより、材料の組織制御範囲の拡大を目指す。