

スクラップ原料で 35mm 厚の超微細粒鋼板の試作に世界で初めて成功

- 数値解析シミュレーションを積極的に活用 -

平成 16 年 5 月 25 日

独立行政法人物質・材料研究機構

1. 概要

独立行政法人物質・材料研究機構（理事長：岸 輝雄）超鉄鋼研究センター（センター長：長井 寿）冶金グループの井上忠信主任研究員らは、数値解析技術を積極的に活用し、実機製造設備を用いて、従来の約 1/10 の直径 1 マイクロメートル（ μm / 百万分の 1 m）以下の超微細結晶粒¹⁾組織からなり、従来の 2 倍以上の降伏強さ²⁾を持つ板厚 35mm、重量約 90kg の厚板の製造に世界で初めて成功した（写真 1 参照）。

同センターでは、これまでに微小試験片を用いた基礎実験により結晶粒超微細化の原理を解明し、2001 年 9 月に板厚 18mm、重量約 20kg の鋼板の製造に成功した（既報）。今回は、一層の大型化³⁾を目指すために、まず精度の高い数値解析シミュレーション⁴⁾で大型化方案を検討し、その方案を精緻な加工技術で実現することにより、板厚 35mm、重量約 90 kg 規模での結晶粒微細化を達成した。加工は株式会社日本製鋼所室蘭製作所に委託し、同社の実機製造設備（写真 2 参照）によって行われた。なお、今回は不純物を含むスクラップを原料とした連続铸造材（王子製鉄株式会社製）を用いており、開発した微細粒化プロセスの応用展開性の高さも実証した。

今回の試作材は、当機構の研究プロジェクト⁵⁾「安全で安心な社会・都市新基盤実現のための超鉄鋼研究」と関連して実施される府省連携プロジェクト「新橋梁構造体に関する研究開発」の要望に応じて、今後供給する予定である。

2. 研究背景

当機構では、2002 年度から強度 2 倍・寿命 2 倍の超鉄鋼材料の実現を目指す「安全で安心な社会・都市新基盤実現のための超鉄鋼研究」及び 2000 年度からスクラップ鉄からの材料開発を目指した「リサイクル鉄⁶⁾からの超鉄鋼化プロジェクト」を実施している。今回のスクラップを原料とした超微細粒厚板の試作はその一環として行われたものである。

同センター冶金グループでは、まず微小試験片を用いた基礎実験を通して鉄鋼材料内部で起きる現象を解明することにより、結晶粒超微細化のための基礎原理を明らかにした。その知見から実機製造設備を用い、断面が 18mm 角、重量約 50kg の棒鋼と板厚 18mm、重量約 20 kg の板材の製造を実現していた（写真 1 参照）。しかし、造船、土木、建築などの分野では、今後の資源循環型社会に適した省資源かつリサイクル性に優れた 25mm 以上の大型高強度厚鋼板が望まれている。

3．今回の成果

今回の新しいプロセスは、数値解析シミュレーションを積極的に利用することで考案された。幾つかのアイデアを数値解析で検討し、装置への負荷、組織の予測、鋼板形状という視点で超微細粒厚板を創製できる製造プロセス方案を考案した。しかし、新プロセス方案を実証するためには大型プレス機とともに精緻な加工技術を必要とする。そこで、株式会社日本製鋼所室蘭製作所に委託し、同社において実生産設備である大型プレス機を用い、数値解析で要求された新プロセスを精度よく実現することにより、板表面から中心部まで1 μm以下の超微細粒組織を持つ鋼板創製に成功した。技術的には、板厚 50mm も可能であり、数値解析シミュレーションの積極的利用と精度の高い加工技術のマッチングが、厚板の超微細粒組織鋼板創製を世界で初めて実現させたといえる。

4．波及効果

今回の試作材はあえてスクラップを原料とした。スクラップ鉄のリサイクル⁷⁾は、我が国だけでなく世界においても今後の資源循環型社会形成や環境負荷低減において極めて重要とされている。考案した微細粒化プロセスは、スクラップ鉄からでも製造可能なことを民間の実機製造設備で実証した。

現在、我が国では、大量の鉄スクラップが蓄積され、30年後には、スクラップ量が内需を上回る試算予測もある(図1参照)。さらに、スクラップを破棄する国土も不足していることから、世界的にみても、粗鋼生産量におけるスクラップ原料の占める割合は年々増加しているとともに、スクラップを原料⁷⁾とした更なる材料開発は必須といえる。スクラップ鉄を原料にすることで、鉄鉱石を原料⁷⁾とする場合に比べ、原料費を安価にでき、かつ製造時における消費エネルギー、二酸化炭素排出量、そして設備コストを低減することが期待できる。

省資源かつリサイクル性に優れた高強度鉄鋼材料の実現を目的としている微細粒鋼の研究は、日本を始め、韓国、中国、EUで活発に行われている。その中で、常に先駆的な役割を果たしている日本にとって、スクラップ鉄を原料とした超微細粒鋼の製造は、これまでの目的に“スクラップ鉄を原料にする”ことをプラスした微細粒研究の新しい方向性を世界に発信したといえる。

5．今後の展開

超鉄鋼材料の様々な分野への利用実現に向けて、更なる大型の超微細粒厚板創製を行う。また、今回の試作材の成功により、2004年度から開始されている文部科学省と国土交通省による府省連携プロジェクトに、超微細粒鋼板を供給できる体制が整った。今後、超鉄鋼材料の造船、土木、建築などの分野への適用を見定めるため、同プロジェクトの要望に応じて、超微細粒鋼板を供給する予定である。

(本件に関するお問い合わせ)

〒305-0047 茨城県つくば市千現 1 - 2 - 1

独立行政法人物質・材料研究機構

広報室 TEL : 029-859-2026 FAX : 029-859-2017

(研究内容に関すること)

独立行政法人物質・材料研究機構

超鉄鋼研究センター 冶金グループ

主任研究員 井上忠信 TEL : 029-859-2148

E-Mail : INOUE.Tadanobu@nims.go.jp

用語説明

1) 超微細結晶粒

鋼は多くの小さな結晶の粒の集合体である。その結晶粒が小さくなるほど鋼の強度は向上する。一般に使用されている鋼の結晶粒は10 μm 以上であり、従来の1/10の1 μm 以下を超微細結晶粒と呼んでいる。

今回の超微細粒鋼における試作材の強度データを従来鋼と比較して下記に示す。

	降伏応力	引張応力	公称結晶粒径
従来鋼	290 MPa	428 MPa	40 μm
超微細粒鋼	730 MPa	745 MPa	0.8 μm
	2.5倍	1.7倍	

2) 降伏強さ

材料を変形したときに材料が永久変形（塑性変形）し始める強さ。構造物の設計時に用いる指標。「降伏強さ730MPa」とは、断面積1 mm^2 あたり730N（およそ73kgf）の負荷をかけるまで永久変形しないことを示す。

3) 大型化と微細化との関係

小さなサンプルで結晶粒を超微細にできても、材料全体を超微細粒にすることは別の話である。特に、既存の設備能力で超微細粒試料を大型化することは極めて難しいとされている。

4) 数値解析シミュレーション

複雑な物理現象を伴う実験の代わりに「アイデアを検討する(試してみる、確認してみる、実験してみる)」ために、コンピューターを用いてシミュレーションを行う“仮想実験”を指す。モデルの妥当性と正確な物理データの選択が成否をわける。

5) 研究プロジェクト

「安全で安心な社会・都市新基盤実現のための超鉄鋼研究プロジェクト」

「新世紀構造材料(超鉄鋼材料)プロジェクト」の第一期に当たり、2002年度から開始された。第一期で得られた超鉄鋼に関する基礎基盤技術を応用展開させ、超鉄鋼材料の大型化、構造化技術の開発、さらに設計・構造関係者との連携を深め超鉄鋼材料を利用した革新的構造物の提案を行っている。

「新世紀構造材料(超鉄鋼材料)プロジェクト」

希少合金元素を使わずに、普通の合金元素の組成だけで、強さ2倍かつ寿命2倍という卓越した性能を持つ超鉄鋼材料を開発することを目的として、1997年度から開始された。強度2倍の研究では、従来10 μ m程度の大きさである鉄鋼の結晶粒をおよそ1/10の1 μ m以下と超微細化することにより、省資源かつリサイクル性に優れた高強度鉄鋼材料の実現を目標としている。

「新橋梁構造体に関する研究開発プロジェクト」

橋梁構造化モデルに関する基礎研究開発を土木研究所などと連携し、研究開発課題をユーザー側とともに絞込み、土木、建築、造船などの分野への超鉄鋼材料の適用を見定める。2004年度から開始された文部科学省と国土交通省による異省間での初めての連携プロジェクトである。

「リサイクル鉄からの超鉄鋼化プロジェクト」

新しいミレニアム(千年紀)の始まりを目前に控え、人類の直面する課題に応え、新しい産業を生み出す大胆な技術革新に取り組むこととして始まったミレニアムプロジェクトの一つである。本プロジェクトである「リサイクル鉄からの超鉄鋼化」は、環境・エネルギー材料に分類されており、リサイクル鉄の活用推進のため、強度に優れた高品質のリサイクル鉄を製造する技術を確立するものとして、2000年度から開始された。

6) リサイクル鉄

スクラップされた鉄をリサイクルして生産される鉄のこと。

7) スクラップ鉄のリサイクル

現在、世界の鉄鋼蓄積量は約 130 億トンであり、毎年約 8 億トンの鉄鋼が生産されている。そのうち、鉄鉱石と石炭などを原料としたものが約 5 億トン、スクラップ鉄を原料としたものが約 3 億トンである。すなわち、毎年約 3 億トンのスクラップ鉄が世界でリサイクルされている。

2002 年の世界の粗鋼生産量におけるリサイクル鉄の比率は、約 34% である。国別に見ると、日本 27%、韓国 45%、中国 16%、米国 51%、ドイツ 30%、イタリア 64% であり、先進国において日本のリサイクル比率は決して高くない。

8) スクラップ鉄と鉄鉱石

スクラップ鉄は主に電炉プロセスで、鉄鉱石は高炉プロセスで使用される。高炉プロセスでもスクラップ鉄は使われているが、最近ではその比率を高める検討も盛んである。

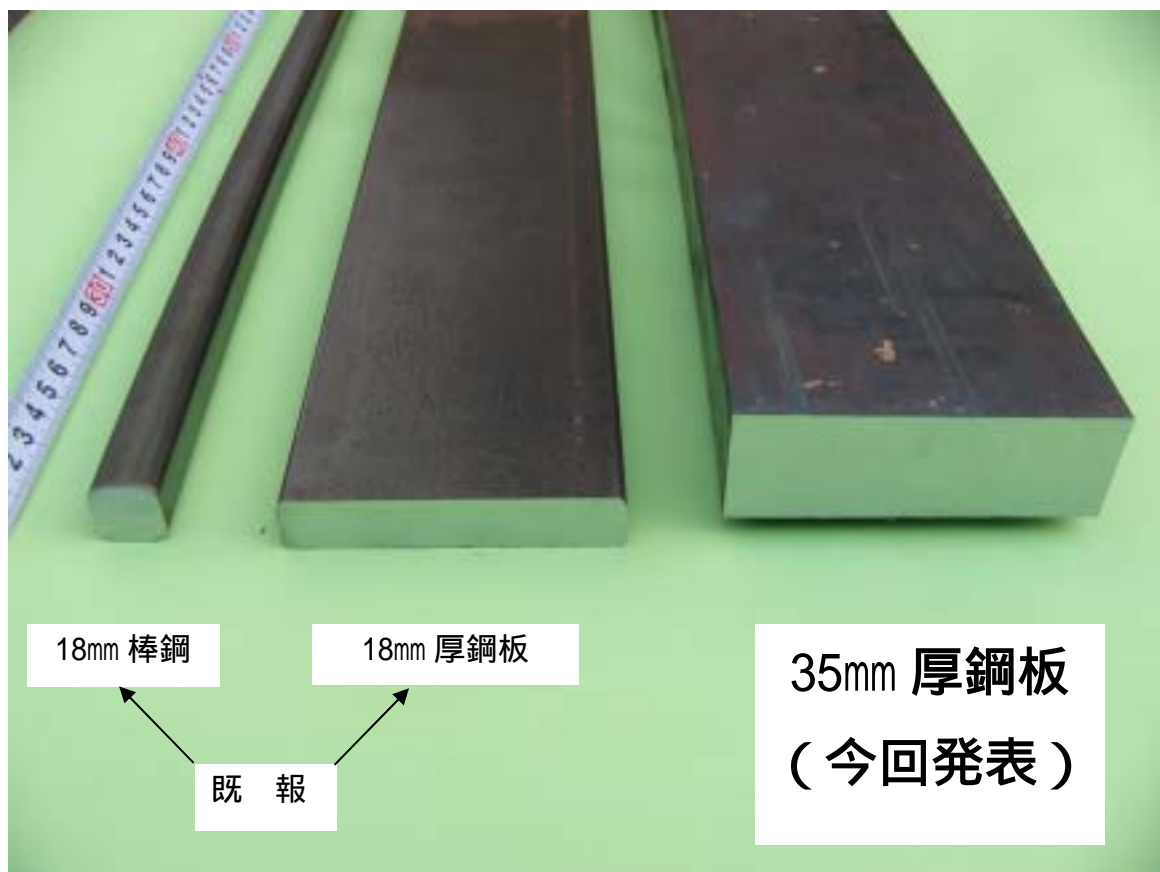


写真 1 超微細粒の大型試作材の外観。右端が
35mm厚の開発鋼板。



写真 2 日本製鋼所室蘭製作所の大型プレス機。

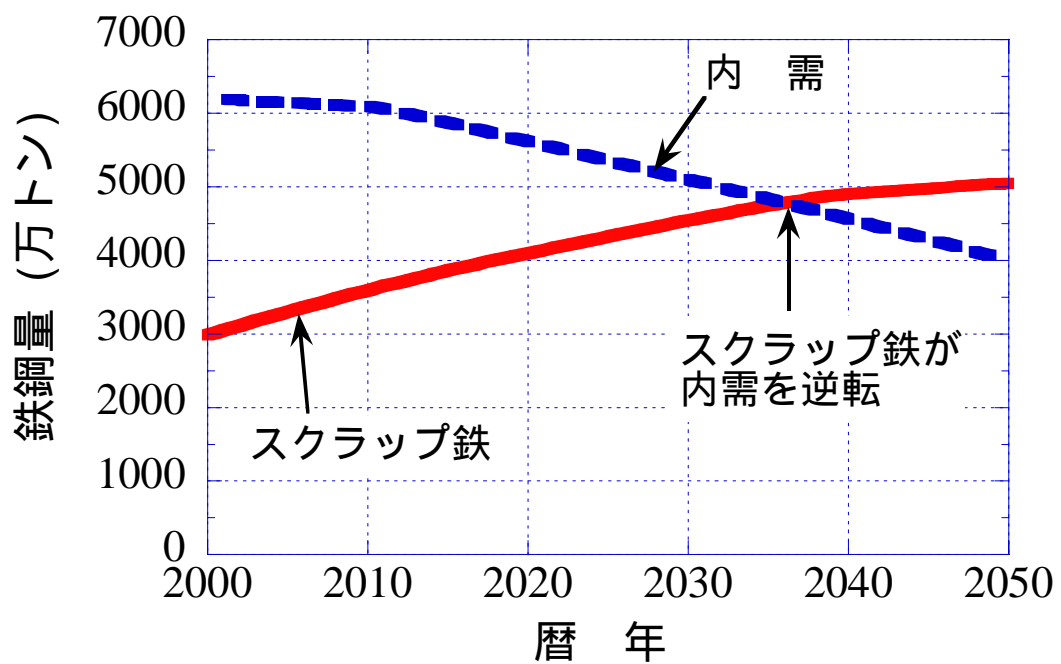


図 1 日本国内における鉄鋼内需と発生スクラップの予測。
 内需予測は予測人口と一人当りの平均需要の積によって、
 スクラップ予測は予想鉄蓄積量と統計的スクラップ発生率
 の積によって予測された。