同時発表：
筑波研究学園都市記者会（資料配布）
文部科学記者会（資料配布）
科学記者会（資料配布）

衝撃に強い1500メガパスカル級低合金鋼の開発に成功

－容易には折れない木材のような高強度棒材の開発－

平成１９年　８月２７日

独立行政法人物質・材料研究機構

概　要

１．独立行政法人物質・材料研究機構（理事長：岸　輝雄）新構造材料センター（センター長：津崎　兼彰）の木村勇次　主任研究員らは、材料創製支援ステーション（ステーション長：片田康行）創製技術セクションとの連携で、衝撃荷重を加えても壊れにくい1500メガパスカル（MPa/1MPa=断面積1mm^{2}あたり1N（およそ0.102kgf））級低合金鋼の開発に成功した。

２．従来、引張強さ[1)] 1300 MPa以上の強度レベルにおいてばね鋼などの低合金鋼の衝撃吸収エネルギーは、30～40J程度であり、靭性[2)]が低く構造用部材としての適用が制限されてきた。

３．今回、ばね鋼の合金成分に近い 0.6%C-2%Si-1%Cr鋼の焼戻マルテンサイト組織に500 ℃で減面率約80%の多パスの溝ロール加工を施すことで、断面積2cm^2、長さ約1mの棒材において、短軸の平均結晶粒径が約0.4マイクロメートル（μm／百万分の１m）で、<110>//圧延方向繊維集合組織[3)]を有する超微細繊維状結晶粒組織を得た（図１）。
　その結果、特殊な合金元素を添加することなくマルテンサイト鋼の優れた引張強さと延性を保持したままで靭性を飛躍的に向上（衝撃吸収エネルギーの平均値は165J）させることに成功した（図２）。

４．本研究成果は、1997年度から2005年度まで実施されてきた「超鉄鋼プロジェクト」で構築された超微細粒鋼[4)]の創製技術と遅れ破壊[5)]に強い1500MPa超級低合金鋼[6)]の創製技術を応用して得られたものであり、新構造材料プロジェクトの成果である。本材料創製技術は、広範囲の高強度鋼に適用可能であることから 2000MPa級の超高ボルトやシャフトなどの超高強度部材の実現を可能にするキーテクノロジーと成るものである。

５．本研究成果は、9月19日から岐阜大学で開催される日本鉄鋼協会秋季講演大会で発表予定である。

研究の背景

次世代の新鋼構造物の実現やCO_2削減による地球温暖化防止の観点から輸送機のさらなる軽量化を目指して、リサイクル性に優れた単純な低合金組成で引張強さが 1500MPa超級の高強度鋼およびその部材の開発への期待が高まっている。しかしながら、強度が高くなるにつれて材料は壊れやすくなる。低合金鋼では 1500MPa以上の強度レベルでとくに靭性が低いことから構造用部材としての適用が制限されてきた。

当機構では、強度２倍・寿命２倍の超鉄鋼材料の実現を目指して、超鉄鋼プロジェクトを 1997 年度から 2005 年度まで推進した。その中の研究テーマのひとつとして耐遅れ破壊性、疲労特性に優れた 1500MPa 超級低合金鋼の開発、および低合金鋼を用いた超高力ボルトの創製を試行した。しかし耐遅れ破壊性を向上させた 1800MPa 級開発鋼でも靭性が極めて低い問題点があった。すなわち、1500 MPa 超級高強度鋼の高靭性化は鉄鋼材料研究に残された大きな課題のひとつであった。そこで 2006 年からの新構造材料プロジェクトでは、高靭性高強度の開発をテーマの一つとして掲げ研究を遂行してきた。

研究成果の内容

中炭素低合金鋼の焼戻マルテンサイト組織が元来、微細な複相組織であることに着目した。ばね鋼の合金成分に近い 0.6%C-2%Si-1%Cr鋼の焼戻マルテンサイト組織に 500 ℃で減面率約80%の多パスの溝ロール加工を施すことで、断面積2cm^2、長さ約1mの棒材において、短軸の平均結晶粒径が約 0.4 マイクロメートル（μm／百万分の 1 m）で、〈110〉//圧延方向繊維集合組織を有する超微細繊維状結晶粒組織を得た（図２参照）。その結果、特殊な合金元素を添加することなくマルテンサイト鋼の優れた引張強さと延性を保持したままで靭性を著しく向上させることに成功した。

通常、1500MP 級の焼戻マルテンサイト鋼を衝撃試験した場合では、衝撃方向に急速に割れが伝播してほぼ真二つに破断する。一方、開発鋼は、木材を折ったときのような、衝撃方向とは直角に割れが進展する層状破壊を示し、割れが衝撃方向には進展しにくい。（写真１参照）。

結晶粒の超微細化は、鋼の強度を上昇させるとともに延性脆性遷移温度を低下できる。また、鉄が脆性破壊を起こす場合、割れは｛100｝結晶面に沿って伝播することは良く知られている。よって、このような層状破壊は、微細繊維状結晶粒組織の形成に加えて、〈110〉//圧延方向繊維集合組織の形成によって、鉄のへき開面[7]である｛100｝面が棒材の圧延（長軸）方向に平行に配向されたことに起因している。つまり、開発鋼では、結晶粒超微細化による割れ発生の抑制効果と集合組織制御による衝撃方向の割れ伝播抑制効果の相乗効果によってこれまでにない高い靭性が実現されたと考えている。

波及効果と今後の展開

本加工熱処理技術は、従来の中炭素低合金の焼戻マルテンサイト組織を 500℃付近で既存の溝ロール圧延機を用いて加工を施すという単純な加工熱処理であるため、汎用性が高い。とりわけ室温では硬くてもろいため冷間成形が困難であった材料にも適用が可能であ

り、靭性を大幅に向上させた超高強度部材の創製に適している。今後は、高強度鋼の実用化に必要な遅れ破壊、疲労破壊[8)]に関するデータなども蓄積するとともに、層状破壊を起こすために必要な組織パラメータを明確にして、より効率的な製造技術を確立する。そして、シャフトからボルトなどの複雑な形状の部材へ本シーズを展開してゆく。

問い合わせ先：
〒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

研究内容に関すること：
独立行政法人物質・材料研究機構
新構造材料センター　金相グループ
主任研究員　木村　勇次（きむら　ゆうじ）
TEL：029-859-2123
E-Mail：KIMURA.yuuji@nims.go.jp

【用語解説】

1）引張強さ

引張試験の経過中、試験片の耐えた最大荷重を試験片の平行部の原断面積で除した値。

2）靭性

粘り強くて、衝撃破壊を起こしにくいかどうかの程度。工業的にはシャルピー衝撃試験などで評価される。シャルピー衝撃試験では、シャルピー衝撃試験機を用い、試験片を４０mm隔たっている二つの支持台で支え、かつ切欠き部を支持台間の中央において切欠き部の背面をハンマによって 1 回だけ衝撃荷重を与えて試験片を破断して、衝撃吸収エネルギー、脆性破面率、延性脆性遷移温度などを測定する試験。

3）集合組織

多結晶体を構成する個々の単結晶の結晶方位が特定の規則的配列を持ったもの。繊維とか加工した金属材料に見られる。<110>//圧延方向繊維集合組織などのように結晶の方向指数と加工方向を用いて表す。

4）超微細粒鋼

ここでは多結晶組織における平均結晶粒径が１μｍ以下の鋼。

5）遅れ破壊

工業的には、大気、川水、海水などの比較的腐食性の弱い自然環境下で、高強度合金が引張強さ以下の負荷応力のもとで、ある時間後に破壊される現象。

6）低合金鋼

鋼の性質を改善向上させるため、又は所定の性質をもたせるために合金元素を 1 種または 2 種以上含有させた鋼。それぞれの元素添加量については下限が定められており、FeとC以外の元素いずれもがその下限に満たないものは、合金鋼と呼ばない。このような鋼は炭素鋼と呼ぶ。

ISOでの下限は、次のようになっている。

Al:0.1、B:0.0008、Co:0.1、Cr:0.3、Cu:0.4La:0.05、Mo:0.08、Nb:0.06、Ni:0.3、Pb:0.4Se:0.1、Te:0.1、Ti:0.05、V :0.1、W:0.1、Zr:0.05 [mass%]

これらの合金元素の合計量が 5[mass%]以下ならば低合金鋼、5～10[mass%]ならば中合金鋼、10[mass%]以上ならば高合金鋼と呼ぶ。

7）へき開面

脆性破壊が進行する特定な結晶面。

8）疲労破壊

静的破壊応力より低い繰り返し応力によって材料が破壊に至る現象。

【参考】

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」

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。

●「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Ⅱ期に当たり、2002 年度から 2005 年まで行われた。第Ⅰ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、構造体化技術の開発、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。

●「ナノーミクロ組織制御による構造材料の高性能化技術の構築プロジェクト（新構造材用プロジェクト）」

新構造材料センターが 2006 年度より開始した研究プロジェクト。結晶方位配向制御や結晶粒超微細化などのナノーミクロの階層的な金属組織制御によって、金属系構造材料やその継ぎ手の高性能化（高耐久性・高成形性・高靭性）を達成することを目標としている。これによって、メンテナンスフリーの耐食材料、従来よりも高温で長時間使用できる耐熱材料、さらなる軽量化を達成する高比強度材料など、輸送機器の小型軽量化やプラントの長寿命化を可能とする構造材料や部材の開発を目指している。

●「新構造材料センター」

環境・エネルギーの視点から、構造材料の新しいメタラジーとプロセス技術を発明提案するとともに、要求特性に応える理想組織像の明確化とその限界特性の理論的裏付けを提示してゆくことを目的として 2006 年から機構に設立されたセンター。

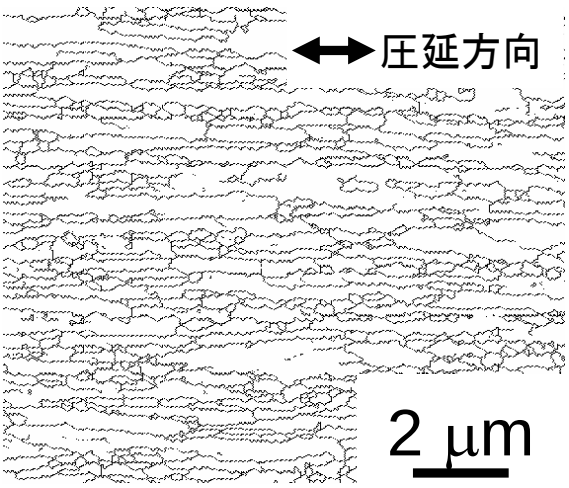

図１　開発鋼の結晶粒界マップ（結晶方位差 5°以上）．繊維状に伸長したフェライト粒の短軸の平均切片長さは結晶方位差が 5、15°以上の粒界でそれぞれ 0.23 および 0.37 μｍである．

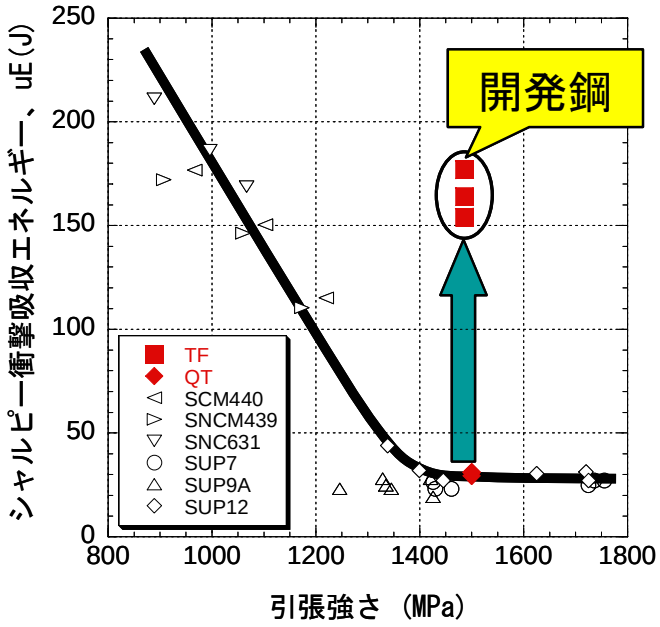

図２　種々の低合金鋼の引張強さと衝撃吸収エネルギーの関係．
（SUP7～SUP12：ばね鋼）

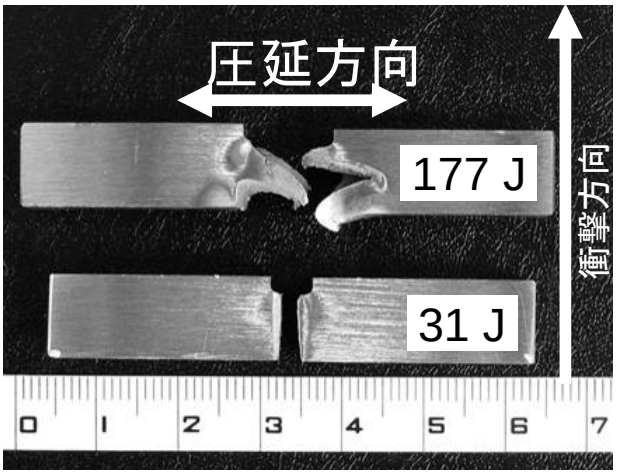

写真１　シャルピー衝撃試験後の試験片の外観写真.
上：開発鋼、下：従来鋼