

研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19760492
 研究課題名（和文）
 TWIP鋼の結晶粒微細化による強靱化
 研究課題名（英文）
 Strengthening of TWIP steel by grain refinements
 研究代表者
 上路 林太郎（UEJI RINTARO）
 香川大学・工学部・助教
 研究者番号：80380145

研究成果の概要：

次世代の構造用鉄鋼材料として期待されている TWIP (Twinning Induced Plasticity: 「双晶変形」の意) 鋼の結晶粒微細化により、高強度と高延性が両立できる理由を実験により検証した。結晶粒を $1\ \mu\text{m}$ 程度にまで微細化した場合、TWIP 鋼の超高延性発現メカニズムとして考えられてる双晶変形の発現が著しく抑制されるにも関わらず、大きな延性は損なわれない。TWIP 鋼の大きな延性発現メカニズムとして、従来言われているような双晶変形のみによるのではなく、低積層欠陥エネルギーに起因する動的回復の抑制も重要であることを示唆している。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,500,000	0	2,500,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	240,000	3,540,000

研究分野：工学・金属材料組織学

科研費の分科・細目：材料工学・構造・機能材料

キーワード：構造用材料・鉄鋼材料・引張試験・結晶粒微細化・高速変形

1. 研究開始当初の背景

結晶粒微細化は、組織制御による高強度化の一指針である。一方で、結晶粒超微細化により、飛躍的な高強度化が達成されるものの、延性（特に均一伸び）は 1-3%以下と極端に小さくなることが明らかとなっている。そこで、超微細粒材料において、強度と延性の両立を図ろうという研究が盛んに行われている。

他方、近年、TWIP 鋼と呼ばれる新しい高 Mn オーステナイト鋼が、ヨーロッパや韓国で注目を受けている。TWIP 鋼では、

30mass%程度の多量の Mn に加えて、3%程度の Al、Si を含有する。また、高い引張強さ（ $\sim 800\text{MPa}$ ）と大きな均一伸び（ $\sim 90\%$ ）を示すことなどから、次世代の構造用鉄鋼材料として期待されている。ところが、TWIP 鋼は、新しい鋼であるため、その研究の多くは合金元素の適正化が多く、組織制御による機械的性質の向上を目指した研究は、粒径制御に限らずとも見られなかった。

上記の状況を鑑み、申請者は、積層欠陥エネルギーの低い材料の例として、TWIP 鋼を取り上げ、結晶粒超微細化を施し室温引張

特性を調査する必要があるのではないか、と考えた。そこでまず初めの試みとして、典型的な TWIP 鋼の組成である 30% Mn-3%Al-3%Si-Fe の 1200°C 熱延板に対して、圧下率 88% (相当ひずみ 1 以下) の冷間圧延と各種温度 30 分間焼鈍により得られた試料の組織観察を行った。その結果、強圧下の冷間圧延と温間焼鈍にのみ超微細粒組織が得られることが明らかとなった。しかも、他の微細粒金属材料と比較して、高強度と高延性を両立しやすいことも判明した。しかし、その優れた機械的性質発現のメカニズムは明らかとはなっていない。

2. 研究の目的

本研究では、TWIP 鋼において結晶粒を微細化した際に高強度と高延性の両立が達成し易い理由を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

熱延・均質化熱処理を施した TWIP 鋼 (31%Mn-3%Al-3%Si-Fe) に対して、圧下率 86% の冷間圧延と 700°C、800°C および 1000°C で 30 分間の焼鈍を行い、平均結晶粒径がそれぞれ 1.8 μ m、7.2 μ m、49.6 μ m の平均粒径を有する試料を作成した。得られた試料に対して初期ひずみ速度 10⁻⁴/sec とする準静的室温引張試験を行った。また、TEM による組織観察と、収束電子線を用いて得た菊池線解析による結晶方位測定を行った。

さらに同様の結晶粒径を有する試料に対して、検力ブロック式高速材料試験機を用い、ひずみ速度を 10⁻³/s から 10³/s まで変化させた際の応力ひずみ曲線の測定も行った。

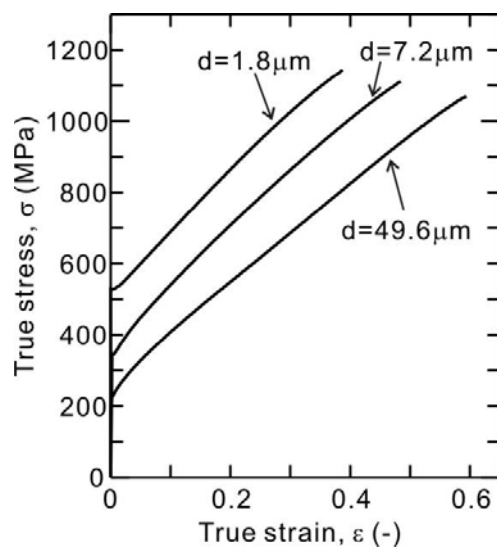


図1 種々の粒径を有する TWIP 鋼の低速変形時応力ひずみ曲線

4. 研究成果

(1) 準静的引張試験による検討結果

図1に各種粒径を有する TWIP 鋼の真応力—真ひずみ曲線を示す。平均結晶粒径が微細になるにつれて、強度が増大し、延性が低下する。しかし、平均粒径 1.8 μ m まで結晶粒を微細化しても TWIP 鋼は、大きな延性を有していた。

真ひずみ 0.2 まで引張変形させた試料の TEM 観察を行い、個々の結晶粒の引張軸の結晶方位を示した標準ステレオ三角形を図2にしめす。図中の黒丸は変形双晶観察された

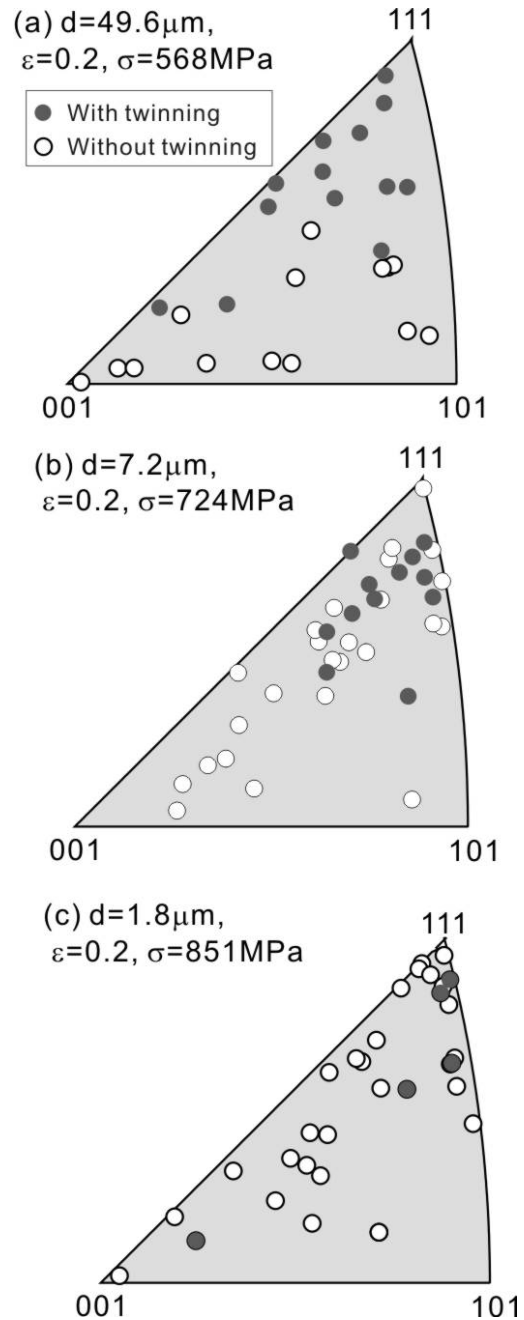


図2 観察された TWIP 鋼中結晶粒の引張方位と変形双晶の有無

粒の方位を示している。結晶粒を微細化することにより、変形双晶が観察される粒の頻度は著しく減少する。一方で、引張軸が $\langle 111 \rangle$ に近い粒において双晶変形が生じやすいという傾向が、結晶粒径の如何に関わらず共通して認められることが明らかとなった。また、双晶変形が抑制された微細粒 TWIP 鋼においても、高強度と大きな延性の両立が達成されている事実は、TWIP 鋼における高延性発現メカニズムとして、双晶変形以外のものが存在することを示唆している。

(2) 高速変形による検討

図3にひずみ速度 10^{-3}s^{-1} , 10^2s^{-1} , 10^3s^{-1} において得られた各種粒径を有する TWIP 鋼の公称応力—公称ひずみ曲線を示す。ひずみ速度 10^3s^{-1} の場合、応力ひずみ曲線は、弾性変形波の干渉に起因すると思われる大きな応力振動を伴っている。平均結晶粒径が

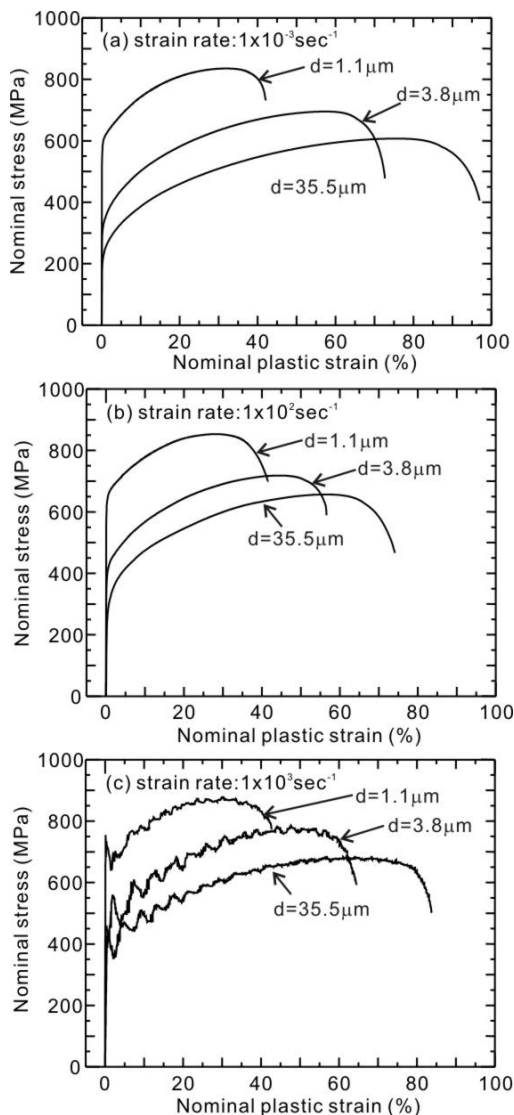


図3 種々の粒径を有する TWIP 鋼の種々のひずみ速度における応力ひずみ曲線

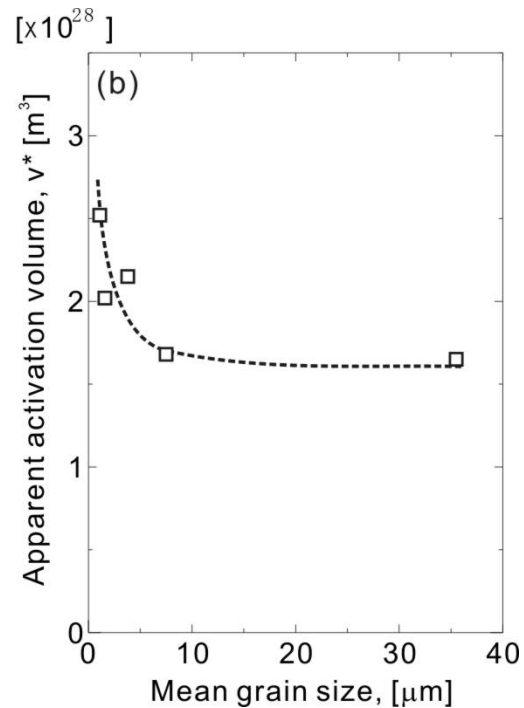


図4 TWIP 鋼における変形の活性化堆積と平均粒径の関係

微細になるにつれて、あるいはひずみ速度が増大するにつれ、強度が増大し、延性が低下する。しかし、平均粒径 $1.1\mu\text{m}$ の超微細 TWIP 鋼の場合においても、大きな延性を有していることが明らかとなった。この結果は、TWIP 鋼の場合、結晶粒微細化強化により、十分な延性を保ちつつ高強度化が達成できることを示している。

図3に示した応力ひずみ曲線より得られた転位運動に関する活性化堆積と平均粒径の関係を図4に示す。平均粒径の減少に伴い、活性化体積は増大する。活性化体積は転位のバーガスベクトルの大きさに比例することが知られている。一方で、先に示したように、結晶粒の微細化に伴い、双晶変形が抑制される。双晶変形は部分転位の単独運動の帰結として生じると考えることができるのであれば、活性化堆積の増大は、変形モードの変化と関連付けることができる。すなわち、双晶変形が生じなくなった場合、塑性変形は完全転位あるいは部分転位対のすべり運動により塑性変形が生じているはずであり、運動転位のバーガスベクトルは当然大きくなる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 4 件)

- ① R.Uejii, K.Harada, A.Takemura, K.Kunishige: "Strain rate sensitivity of 31Mn-3Al-3Si TWIP steel with partially

recrystallized fine grained structure”,
Materials Science Forum, 584-586 (2008)
pp.673-678,査読有

- ② R.Ueji, N.Tsuchida, D.Terada, N.Tsuji, Y.Tanaka, A.Takemura, K.Kunishige, "Tensile properties and twinning behavior of high manganese austenitic steel with fine grained structure", Scripta Materialia, 59 pp.963-966 (2008).査読有
- ③ R.Ueji, K. Harada, N. Tsuchida, K. Kunishige, "High speed deformation of ultrafine grained TWIP steel", Materials Science Forum, 561-565 pp.107-110 (2007) 査読有
- ④ 上路林太郎, 土田紀之, 藤井英俊, 金堂大介, 国重和俊: TWIP鋼の室温引張特性に及ぼす平均結晶粒径の影響”,日本金属学会誌, 71, pp.815-821. (2007),査読有

[学会発表] (計 3 件)

- ① 上路林太郎, 土田紀之, 国重和俊、TWIP鋼の結晶粒微細化による変形双晶抑制と結晶方位の関係、第156回日本鉄鋼協会秋期講演大会、2008年9月4日、熊本大学
- ② 上路林太郎, 土田紀之, 国重和俊、微細粒組織を有する 31%Mn-3%Al-3%Si(TWIP)鋼の高速引張変形特性、(社)日本鉄鋼協会・第154回秋季講演大会、2007年9月20日、岐阜大学
- ③ R.Ueji, H.Fujii, K. Kunishige and K. Nogi, "Friction stir welding of ultrafine grained TWIP steel (Invited)", International Welding Joining Conference (IWJC), 2007年5月11日、韓国・ソウル

6. 研究組織

(1) 研究代表者

上路 林太郎 (UEJI RINTARO)

香川大学・工学部・助教

研究者番号：80380145