

Ti 合金の塑性変形挙動に及ぼす不均一塑性変形と集合組織の影響

Heterogeneous Plastic Deformation and Influence of Texture on Plastic Flow of Ti alloys

諸岡 聡¹⁾ 梅澤 修¹⁾ 鈴木裕士²⁾ 塩田佳徳²⁾ 徐 平光²⁾

Satoshi MOROOKA Osamu UMEZAWA Hiroshi SUZUKI Yoshinori SHIOTA Pingguang XU

¹⁾横浜国立大学 ²⁾日本原子力研究開発機構

(概要)

α (アルファ)-Ti 合金は、合金化による高強度化を図ると、加工性が低下する。そのため、温間あるいは熱間加工により材質制御されるが、塑性変形における結晶異方性が極めて高く、加工率や加工方法によって材質と特性が大きく変化する。そこで、本手法を用いて圧延加工を施した Ti 合金の塑性変形挙動に及ぼす不均一変形と集合組織の影響を検討する。

組織観察と引張試験の結果から、加工による結晶粒の形状変化(パンケーキ状から等軸粒)と結晶粒微細化が効果的に働いていると考えていた。極点図の結果から、両合金において、RD に主すべり面である(10-10)が集積しているため、結晶配向による転位運動の違いに差がないと考えられる。内部応力状態をみると、CR 材は粒ひずみ分配による内部応力の発生が転位の抵抗となり、加工硬化が生じているのに対して、GR 材は、粒ひずみ分配に加え、相ひずみ分配による内部応力の発生が転位の抵抗になるため、CR 材より大きな強度を示す。

キーワード : Ti 合金、中性子回折、集合組織、粒応力、相応力

(1行あける)

1. 目的

α (アルファ)-Ti 合金は、合金化による高強度化を図ると、加工性が低下する。そのため、温間あるいは熱間加工により材質制御されるが、塑性変形における結晶異方性が極めて高く、加工率や加工方法によって材質と特性が大きく変化する。したがって、集合組織、残留応力などのパラメータを把握することが重要である。中性子回折は、高い物質透過能を有し、引張特性・疲労特性などの機械的特性に対応したバルク全体の巨視的な定量的情報を得ることができる。そこで、本手法を用いて圧延加工を施した Ti 合金の塑性変形挙動に及ぼす不均一変形と集合組織の影響を検討する。

2. 方法

本研究に用いた供試材は、Ti-1.0mass%Fe-0.4mass%O 合金である。散乱長密度は、 -5.4×10^{10} であり、散乱ゼロ合金ではない。Ti-Fe-O 合金は、850°Cで熱間クロス圧延後、750°Cで1時間焼鈍しひずみ除去した加工材(CR)とその試料を700°Cで10パス熱間溝圧延した加工材(GR)を用いた。材質評価としてSEMによる組織観察、引張試験、X線回折を行った。中性子回折実験は、RESA-Iに引張試験機を搭載し、角度分散法による引張応力下その場中性子回折実験を行った。入射ビームに対して試料と検出器が θ - 2θ の関係を満たすように設置し、引張方向に垂直な面(Axial)の面間隔を取得した。また、RESA-II・MUSASIにオイラークレイドルを搭載し、集合組織測定を行った。

3. 研究成果

図1は、CR材とGR材の引張変形中その場中性子回折測定の結果を示す。応力制御で測定を行うと室温クリープが生じ、破断の恐れがあるため、特定のひずみを負荷後、除荷して荷重軸方向の測定を行った。測定面は、代表的な主すべり面である柱面(10-10)、錐面(10-11)、また双晶面(11-22)を対象とした。CR材は、すべての回折面において、圧縮の残留ひずみが生じた。GR材では、変形初期(ひずみ $\leq 0.2\%$)には、引張・圧縮ひずみが混在した形をとっていたが、

ひずみの増加に伴い、圧縮ひずみに転じた。また、第 2 相と思われる Ti_xO 相が非常に大きな引張ひずみを持つことがわかった。

図 2 は、CR 材と GR 材の極点図を示す。CR 材は圧延材であるため、ND を中心に極点図を作成した。GR 材は溝圧延材であるため、ND と TD が対象関係となるため、RD を中心に極点図を作成した。ちなみに、ND は盤面方向、RD は圧延方向、TD は圧延軸に直行方向を示す。図 2a を見ると、(10-10)面では、RD に極密度 1.8 程度の集積が見られ、引張軸に垂直な面に主すべり面がある。また、(0002)面は、Ti の場合、圧延加工では、ND へ集積するのではなく、TD へ集積が分離する TD スプリットが起こる。しかしながら、クロス圧延加工では、RD へ集積が分離する。これは、第 1 圧延時に TD スプリットを起こしたものを引き継いでいると考えられる。図 2b を見ると、(10-10)は、RD に極密度 3.5 程度の集積が見られ、繊維集合組織を形成している。また、(0002)面は、ND から TD へ分散している。

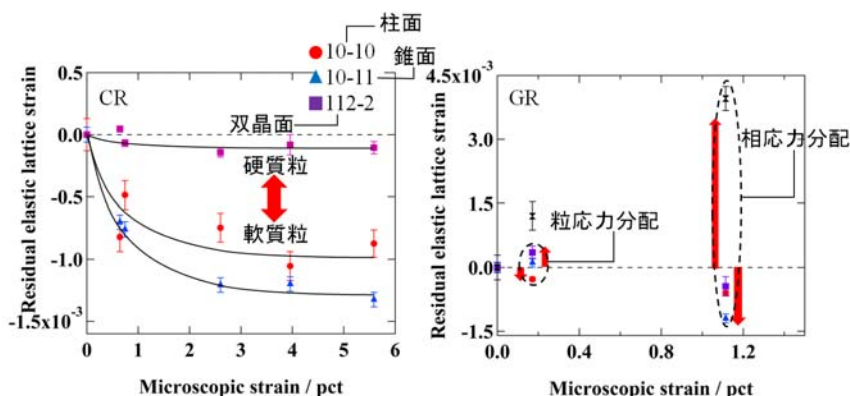


図 1 (10-10)および(0002)の正極点図；(a)CR 材と(b)GR 材

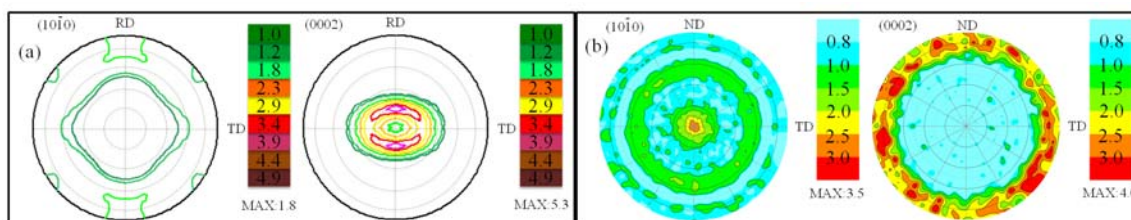


図 2 残留弾性格子ひずみと巨視的ひずみの関係；左：CR 材、右:GR 材

4. 結論・考察

表 1 に両合金の引張試験の結果を示す。GR 材の方が CR 材より大きな引張強さを示す。ここでは、加工による結晶粒の形状変化（パンケーキ状から等軸粒）と結晶粒微細化が効果的に働いていると考えていた。引張変形において、RD に主すべり面である(10-10)が集積しているのは、両合金代わりがないので、結晶配向による転位運動の違いに差がないと考えられる。図 1 で示すように、内部応力状態をみると、CR 材は粒ひずみ分配による内部応力の発生が転位の抵抗となり、加工硬化が生じているのに対して、GR 材は、粒ひずみ分配に加え、相ひずみ分配による内部応力の発生が転位の抵抗になるため、CR 材より大きな強度を示す。この結果から、組織と引張特性のみによる考察に加え、内部応力の役割を把握することできた。しかしながら、GR 材の未知な相（X 線のリートベルト解析の結果により Ti_xO と判断）の解明ができていないことが、この結果の有意性をなくす根拠となっている。今後、この相同定を中心に研究を進めていきたい。

表 1 引張特性

Alloy	YS(MPa)	UTS(MPa)	EL(pct)
CR	512	738	19
GR	734	927	16

5. 引用(参照)文献等

1. 諸岡聡、梅澤修、ステファヌス・ハルヨ：CAMP-ISIJ, 23(6), 1350 (2010).