

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4013761号
(P4013761)

(45) 発行日 平成19年11月28日(2007.11.28)

(24) 登録日 平成19年9月21日(2007.9.21)

(51) Int.C1.

F 1

C22F	1/18	(2006.01)	C 22 F	1/18	H
B21B	1/16	(2006.01)	B 21 B	1/16	L
B21B	3/00	(2006.01)	B 21 B	3/00	K
C22C	14/00	(2006.01)	C 22 C	14/00	Z
C22F	1/00	(2006.01)	C 22 F	1/00	624

請求項の数 1 (全 29 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2002-570785 (P2002-570785)
(86) (22) 出願日	平成14年2月26日 (2002.2.26)
(86) 國際出願番号	PCT/JP2002/001710
(87) 國際公開番号	W02002/070763
(87) 國際公開日	平成14年9月12日 (2002.9.12)
審査請求日	平成16年11月22日 (2004.11.22)
(31) 優先権主張番号	特願2001-54809 (P2001-54809)
(32) 優先日	平成13年2月28日 (2001.2.28)
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)

(73) 特許権者	000001258 J F E スチール株式会社 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号
(74) 代理人	100105968 弁理士 落合 憲一郎
(74) 代理人	100130834 弁理士 森 和弘
(72) 発明者	深井 英明 東京都千代田区丸の内一丁目1番2号 日本鋼管株式会社内
(72) 発明者	小川 厚 東京都千代田区丸の内一丁目1番2号 日本鋼管株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】チタン合金棒材の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

質量 % で、 A l : 4 % 以上 5 % 以下、 V : 2 . 5 % 以上 3 . 5 % 以下、 F e : 1 . 5 % 以上 2 . 5 % 以下、 M o : 1 . 5 % 以上 2 . 5 % 以下、 残部 : T i および不可避的不純物からなり、 变態点が T である + 型チタン合金を、 表面温度が (T - 150) 以上 T 以下の範囲になるように加熱する工程と、 前記加熱された + 型チタン合金を、 圧延中の被圧延材の表面温度が (T - 300) 以上 (T - 50) 以下の範囲に、 最終圧延パスを終えた直後の表面温度である仕上表面温度が (T - 300) 以上 (T - 100) 以下の範囲になるように熱間圧延する工程と、

を有し、 該熱間圧延をリバース型圧延機にて圧延速度 6 m / s e c 以下で行う + 型チタン合金棒材の製造方法。

【発明の詳細な説明】

技術分野

本発明は、 延性、 疲労特性および加工性に優れたチタン合金棒材、 特に、 + 型チタン合金棒材の製造方法に関する。

背景技術

チタン合金は、 高強度で、 軽く、 その上耐食性にも優れているので、 化学プラント、 発電機、 航空機などの分野で構造用材料として用いられている。 なかでも、 高強度であり、 比較的良好な加工性を備えている + 型チタン合金が多用されている。

チタン合金を用いた製品には、薄板、厚板や棒材など様々な形状のものがある。棒材には、そのままの形状で使用される場合もあるが、ボルトのネジ部のように複雑な形状に加工されたり、鍛造素材として使用される場合もあるので、棒材自体の優れた延性や疲労特性の他に、優れた加工性も要求される。

図1に、棒材の代表的な製造方法を示す。

溶解により製造されたインゴットは、鍛造によりビレットに加工され圧延素材となる。図2A、2Bに示すように、圧延は、ビレットを加熱炉で加熱後、リバース型圧延機あるいはタンデム型圧延機により行われ、必要に応じて中間加熱炉により圧延可能な温度まで再加熱される。

しかし、チタン合金棒材、特に、 $\alpha + \beta$ 型チタン合金棒材では、加工発熱により熱間圧延中に被圧延材の温度が上昇するため、安定した熱間圧延ができず、延性、疲労特性、加工性ともに優れたチタン合金棒材が得られないのが実状である。例えば、被圧延材の温度が

変態点以上まで上昇すると、針状のα相が主体の組織となるため、優れた延性や疲労特性が得られない。また、変態点が高いため、加工発熱により被圧延材の温度が変態点以上になり難いTi-6Al-4V合金の場合でも、加工発熱により圧延温度が上昇すると粒成長が促進され、優れた延性、疲労特性および加工性が得られない。

加工発熱による温度上昇の問題を解決する方法として、特開昭59-82101号公報には、 $\alpha + \beta$ 域温度および β 域温度での1圧延パス当たりの断面減少率を40%以下にする圧延方法が開示されている。また特開昭58-25465号公報には、加工発熱による温度上昇を抑えるために被圧延材を水冷する方法が開示されている。さらに、論文1：「Hot Bar Rolling of Ti-6Al-4V in a Continuous Mill (Titanium '92 Science and Technology)」には、加工発熱自体を抑制するために圧延速度を使用する圧延機の性能限界まで低速化することが記載されている。

しかしながら、特開昭59-82101号公報および特開昭58-25465号公報の方法では、延性、疲労特性および加工性ともに優れたチタン合金棒材が得られない。

また、特開昭59-82102号公報の方法により1圧延パス当たり40%以下の断面減少率としても、合金の種類によっては加工発熱の抑制が不充分の場合もある。さらに、特開昭58-25465号公報の方法では、水冷しているため水素吸収による材質劣化が生じたり、急速冷却による歪みのために正確な温度制御が困難になるという問題もある。

論文1に記載の方法は、対象がTi-6Al-4V合金であって、以下に示すように、加工発熱が大きくより低温域で圧延される合金に対しては必ずしも当てはまらず、優れた延性、疲労特性および加工性が得られない。

図3に、Ti-6Al-4V合金およびTi-4.5Al-3V-2Fe-2Mo合金の棒材圧延における被圧延材の温度と圧延時間の関係を示す。

ここで、加熱温度は、Ti-6Al-4V合金では950℃、変態点がTi-6Al-4V合金より100℃低いTi-4.5Al-3V-2Fe-2Mo合金では変態点の差の分だけ下げて850℃とした。圧延は、リバース型圧延機およびタンデム型圧延機を用いて行い、圧延速度、圧下率、パススケジュールは両合金とも同じにした。リバース圧延機での圧延速度は両合金とも2.7m/sec、タンデム圧延機での圧延速度は最も速くなる最終圧延パスで両合金とも2.25m/secとした。なお、この圧延速度は上記の論文1に記載の圧延速度(6m/sec)よりさらに低い速度である。断面減少率は、両合金ともに最大で26%とした。

Ti-6Al-4V合金の圧延の場合には、この合金の変態点である1000℃より充分に低温域で圧延が行われ、良好な組織が得られる。一方、Ti-4.5Al-3V-2Fe-2Mo合金の場合には、変態点が低い分だけ加熱温度を低下させたにもかかわらず、低温圧延により変形抵抗が増大して加工発熱が大きくなり、変態点を超える温度域まで被圧延材の温度が上昇して良好な組織が得られない。したがって、優れた延性、疲労特性および加工性が得られることになる。このことは、圧延速度のみならず、圧延温度、圧下率、圧延パス間時間などの圧延条件を考慮する必要のあることを示唆している。

10

20

20

30

40

50

発明の開示

本発明の目的は、延性、疲労特性および加工性に優れた高強度チタン合金棒材の製造方法を提供することにある。

この目的は、質量%で、A1：4%以上5%以下、V：2.5%以上3.5%以下、Fe：1.5%以上2.5%以下、Mo：1.5%以上2.5%以下、残部：Tiおよび不可避的不純物からなり、変態点がT_iである+型チタン合金を、表面温度が(T-150)以上T_i以下の範囲になるように加熱する工程と、前記加熱された+型チタン合金を、圧延中の被圧延材の表面温度が(T-300)以上(T-50)以下の範囲に、最終圧延パスを終えた直後の表面温度である仕上表面温度が(T-300)以上(T-100)以下の範囲になるように熱間圧延する工程とを有し、該熱間圧延をリバース型圧延機にて圧延速度6m/sec以下で行う+型チタン合金棒材の製造方法によって達成される。

発明の実施の形態

まず、本発明者等は、+型チタン合金棒材の組織をどのような組織にすれば、優れた延性、疲労特性および加工性が得られるかを検討した。その結果、以下のことが明らかになった。

+型チタン合金は初析相と変態相から成るが、すべり系が少ないHCP構造を有する相の体積分率が極めて多くなったり、針状相を内部に有する変態相の体積分率が極めて多くなっても加工性や延性が低下するので、初析相の体積分率は10%以上90%以下とする。なお、熱間加工の加熱時に相と相との体積分率が等しいか、あるいは近い場合にはさらに加工性は良好となるので、初析相の体積分率は50%以上80%以下が望ましい。

図4に、初析相の平均結晶粒径と高温引張試験による全伸びとの関係を示す。

初析相の平均結晶粒径が10μmを超えると、高温引張試験による全伸びが急激に低下する。また、それにともない加工性が低下する。

図5に、初析相の平均結晶粒径と疲労試験における10⁸回での疲労強度との関係を示す。

初析相の平均結晶粒径が10μmを超えると、疲労強度が低下する。また、初析相の平均結晶粒径が6μmより小さいと、より高い疲労強度が得られる。

棒材を鍛造する場合、金型に接しない自由変形面では結晶粒の形状、すなわち結晶粒のアスペクト比に起因して肌荒れが発生する。一般に棒材の場合は、結晶粒が圧延方向に展伸する傾向にある。特に、アップセット鍛造のような場合には、展伸した組織が自由変形面となる棒材の側面表面に現れるため、鍛造後の製品の肌荒れを防ぐには、鍛造時のアスペクト比が大きくなり過ぎないように、具体的には棒材の圧延方向に平行な断面での初析相の結晶粒のアスペクト比を4以下にする必要がある。

以上のことから、初析相の体積分率を10%以上90%以下、より好ましくは50%以上80%以下、初析相の平均結晶粒径を10μm以下、より好ましくは6μm以下、さらに圧延方向に平行な断面での初析相の結晶粒のアスペクト比を4以下にすれば、延性、疲労特性および加工性に優れた高強度チタン合金棒材が得られる。

このような組織を有する+型チタン合金棒材は、質量%で、A1：4%以上5%以下、V：2.5%以上3.5%以下、Fe：1.5%以上2.5%以下、Mo：1.5%以上2.5%以下、残部：Tiおよび不可避的不純物からなる成分とする必要がある。各元素の含有量の限定理由を以下に説明する。

A1：相を安定化させるのに必須の元素であり、高強度化にも寄与する元素である。4%未満では高強度が十分に達成されず、5%を超えると延性が劣化する。

V：相を安定化させる元素であり、高強度化にも寄与する元素である。2.5%未満では高強度が十分に達成されないとともに、相が安定せず、3.5%を超えると変態点の低下により加工温度領域が狭くなることに加え、高コスト化を招く。

Mo：相を安定化させる元素であり、高強度化にも寄与する元素である。1.5%未満では高強度化が十分に達成されないとともに、相が安定せず、2.5%を超えると変

態点の低下により加工温度領域が狭くなることに加え、高コスト化を招く。

F e : 相を安定化させる元素であり、高強度化にも寄与する元素である。また、拡散速度が速く加工性を改善する効果を有するが、1.5%未満では高強度化が十分に達成されないとともに、相が安定せず、優れた加工性が得られない。2.5%を超えると変態点の低下により加工温度領域が狭くなることに加え、偏析による特性の劣化を招く。

本発明の+型チタン合金棒材は、上記の成分の+型チタン合金を、加熱温度、圧延温度域、圧下率、圧延速度、パス間時間などの圧延条件を調整して加工発熱による温度上昇を抑制しながら、その表面温度が常に変態点以下になるように熱間圧延する方法により製造できる。例えば、変態点がTである+型チタン合金を、表面温度が(T-150)以上T以下の範囲になるように加熱する工程と、加熱された+型チタン合金を、圧延中の被圧延材の表面温度が(T-300)以上(T-50)以下

10 以下の範囲に、仕上表面温度が(T-300)以上(T-100)以下の範囲になるように熱間圧延する工程を有する方法である。

ここで、圧延前に表面温度を(T-150)以上T以下の範囲に加熱する理由は、(T-150)未満だと圧延最終段階における被圧延材の温度低下が大きくなり割れ感受性や変形抵抗の上昇を引き起こし、Tを超えると被圧延材の組織が針状を主体とする組織となり延性や加工性が劣化するためである。また、圧延中の被圧延材の表面温度を(T-300)以上(T-50)以下の範囲にする理由は、(T-300)未満だと熱間加工性が低下し割れなどの問題が生じ、(T-50)を超えると加工発熱による温度上昇で結晶粒の粗大化や針状組織の形成を招くためである。さらには、被圧延材が最終圧延パスを終えた直後の表面温度である仕上表面温度を(T-300)以上(T-100)以下の範囲にする理由は、(T-300)未満だと割れ感受性や変形抵抗が上昇し、(T-100)を超えると結晶粒の粗大化を招くためである。

熱間圧延は複数回の圧延パスにより行われるが、加工発熱による温度上昇を防ぐために、1圧延パス当たりの圧下率を40%以下にすることが好ましい。

熱間圧延をリバース型圧延機を用いて行うとき、加工発熱による温度上昇を防ぐために、圧延速度を6m/sec以下にすることが好ましい。また、タンデム型圧延機を用いて行うときは、圧延速度を1.5m/sec以下にすることが好ましい。

各圧延パス後、被圧延材は表面から冷却されるので、加工発熱による温度上昇があっても、被圧延材表層部では次の圧延パスまでにある程度の温度低下がある。しかし、図6に示すように、被圧延材の径が大きい場合は（直径106mmの場合）被圧延材の中心部での温度低下が小さいため、被圧延材の表層部と中心部で大きな温度差が現れる。中心部の温度低下が小さい場合は、中心部の温度が低下する前に次の圧延パスを受け、加工発熱によってさらに温度が上昇する。この現象が繰り返すと、中心部は初期温度より高温で圧延されることになる。このため、被圧延材の径が大きい場合は、十分な圧延パス間時間を取って中心部を冷却する必要がある。

そこで、本発明者らが表層部と中心部の温度差について詳細に検討したところ、図7に示すように、温度差は被圧延材の圧延方向と直角方向の断面積が 3500 mm^2 以上で顕著に大きくなり、そのような大きな断面積を有する被圧延材を断面積が 5 mm^2 となるように圧延したとき、次の圧延を開始するまでの時間を $0.167 \times S^{1/2}\text{ sec}$ 以上にすることが温度差を小さくでき、均一な特性の棒材を製造する上で好ましいことを見出した。

なお、本発明の製造方法においては、被圧延材の表面温度が常に変態点以下になるように圧延するため、圧延パス間時間や被圧延材の径によっては被圧延材の表面温度が圧延中に適切な圧延温度域より低温側に外れる可能性がある。そのような場合は、高周波加熱設備などにより再加熱することも可能である。

実施例1

表1に示す化学成分の+型チタン合金A01（本発明範囲内）およびA02（本発明範囲外）より125mm角の圧延素材を切り出し、カリバー圧延機を用いて表2に示す圧

延条件 B 0 1 - B 1 8 で直径 2 0 m m または 5 0 m m の棒材を製造した。表 2 における圧延パス間時間は、各圧延条件において、全ての圧延パスで圧延パス間時間が $0 . 1 6 7 \times S^{1/2}$ s e c 以上になっている場合を \square で、なっていない場合を \times で示してある。また、各圧延条件におけるそれぞれの圧延パスでの被圧延材の断面積 S 、圧下率、 $0 . 1 6 7 \times S^{1/2}$ 、圧延パス間時間、表面温度および圧延速度を表 3 - 表 2 0 に示した。表中の圧延設備欄の R はリバース圧延機、 T はタンデム圧延機を表す。

製造した棒材を 7 0 0 以上 7 2 0 以下で焼鈍後引張試験を行い、降伏強度 (0 . 2 % P S) 、引張強度 (U T S) 、のび (E 1) 、絞り (R A) を測定した。また、平滑試験 (条件 : K t = 1) および切欠試験 (条件 : K t = 3) を行い、疲労強度を測定した。さらに、微細組織を調べるために、棒材の中心部および直径の 1 / 4 位置 (1 / 4 D) のミクロ組織の観察を行い、初析 相の結晶粒径、その体積分率および圧延方向に平行な断面での結晶粒のアスペクト比を測定した。

結果を表 2 1 に示す。表のミクロ組織で結晶粒径の記載がないところは、その部位が針状を主体とする 組織のみからなり、等軸の初析 相を観測できなかったためである。

表面の加熱温度が (T - 1 5 0) 未満の場合は、被圧延材の表面温度が低過ぎ、圧延荷重が超過して圧延できなかった。また、加熱温度が T より高い場合は、圧延条件 B 0 2 および B 1 1 のように、圧延パス間時間が本発明範囲内であっても被圧延材の表面温度が高過ぎるため、加工発熱によって被圧延材の表面温度が T を超え、中心部の組織が針状 を主体とする 組織となり、延性や疲労特性が劣化する。

仕上表面温度が (T - 3 0 0) 未満の場合は、被圧延材の温度が低過ぎ、加工性が低下して圧延中に割れが生じる。また、仕上表面温度が (T - 1 0 0) より高い場合は、圧延条件 B 0 4 、 B 0 5 および B 0 7 のように、組織の微細化が図れず延性や疲労特性が劣化する。

圧延中の被圧延材の表面温度が (T - 3 0 0) 未満の場合は、被圧延材の表面温度が低過ぎ、圧延中に割れが生じる。また、被圧延材の表面温度が (T - 5 0) より高い場合は、圧延条件 B 0 2 - B 0 5 、 B 0 7 および B 1 1 のように、圧延後の中心部や 1 / 4 D 部の組織が針状 を主体とする 組織となり延性や疲労特性が劣化する。

1 圧延パスの圧下率が 4 0 % を超えると、加工発熱が大きくなり、被圧延材の温度が T を超え組織の微細化が図れなかった。

圧延条件 B 1 4 のようにリバース型圧延機を用い、圧延速度が 6 m / s e c を超えると、また圧延条件 B 1 5 のようにタンデム型圧延機を用い、圧延速度が 1 . 5 m / s e c を超えると、加工発熱が大きくなり、被圧延材の表面温度が T を超え、組織の微細化が図れなかった。

圧延パス間時間が本発明範囲外の場合は、加工発熱による被圧延材の表面温度上昇が放冷による温度低下に勝り、被圧延材の表面温度が T を超え、組織の微細化が図れなかった。

化学成分が本発明範囲内の A 0 1 を用い、圧延条件 B 0 1 、 B 0 6 、 B 0 8 、 B 0 9 、 B 1 6 、 B 1 7 および B 1 8 によって製造した棒材では、初析 相の結晶粒径が 1 0 μ m 以下の均一な微細組織が観察され、優れた延性や疲労特性が得られる。これらは、伸びが 1 5 % 以上、絞りが 4 0 % 以上、平滑の疲労強度が 5 0 0 M P a 以上でかつ切欠 (K t = 3) の疲労強度が 2 0 0 M P a というより優れた延性や疲労特性が得られる。さらに、圧延条件 B 0 1 、 B 0 6 、 B 0 8 および B 0 9 のように初析 相の体積分率が 5 0 % 以上 8 0 % 以下、初析 相の平均結晶粒径が 6 μ m 以下である + 型チタン合金棒材によって、伸びが 2 0 % 以上、絞りが 5 0 % 以上、平滑の疲労強度が 5 5 0 M P a 以上でかつ切欠 (K t = 3) の疲労強度が 2 0 0 M P a というさらに優れた延性や疲労特性が得られる。

一方、化学成分が本発明範囲外の A 0 2 を用い、圧延条件 B 1 0 および B 1 2 によって製造した棒材では、圧延条件が本発明範囲内であるため加工発熱は抑制されたが、初析 相の結晶粒径が 1 0 μ m を超えたため、十分な延性や疲労強度が得られない。

実施例 2

実施例 1 で圧延条件 B 0 1 - B 1 8 により製造した棒材の径方向中心部より 8 m m × 高

10

20

30

40

50

さ 12 mm の円柱試験片を採取し、800 に加熱して 70 % 壓縮し、圧縮後の表面における割れや肌荒れの発生の有無を調べて、熱間鍛造性の評価を行った。

結果を表 2 1 に示す。

ミクロ組織が本発明範囲内に入る圧延条件 B 0 1、B 0 6、B 0 8、B 0 9、B 1 6、B 1 7、B 1 8 で製造された棒材では、割れや肌荒れが発生せず良好な熱間鍛造性が得られた。

一方、初析 相の結晶粒径が 10 μm を超える圧延条件 B 1 0、B 1 2 で製造された棒材では、割れは発生しなかったが肌荒れが発生した。また、中心部や 1 / 4 D 部が 相のみからなる圧延条件 B 0 2、B 0 3、B 0 4、B 0 5、B 0 7、B 1 1、B 1 4、B 1 5 で製造された棒材では、割れと肌荒れの両方が発生した。さらに、初析 相の結晶粒径および体積分率は本発明範囲内であるが、圧延方向に平行な断面での結晶粒のアスペクト比が 4 を超える圧延条件 B 1 3 では、やはり肌荒れが生じた。
10

表 1

素材	Al	V	Fe	Mo	O	C	N	H	β 変態点
A01	4.7	3.1	2.1	1.9	0.1	0.001	0.005	0.0017	900°C
A02	6.1	4.1	0.2	---	0.2	0.01	0.006	0.0016	1000°C

単位は質量%。

表2

圧延条件	素材	仕上寸法(mm)	加熱温度(°C)	圧延温度(°C)	仕上温度(°C)	バス時間	全バス数	最大1バス圧下率(%)	粗圧延(リバース)での圧延速度(m/sec)		仕上圧延(タンデム)での最終圧延速度(m/sec)
									粗圧延(リバース)での圧延速度(m/sec)	仕上圧延(タンデム)での最終圧延速度(m/sec)	
B01	A01	φ20	800	700-811	714	○	17	25.8	2.7	1.125	本発明例
B02	A01	φ20	950	755-929	765	○	17	25.8	2.7	1.125	比較例
B03	A01	φ20	890	754-911	764	○	17	25.8	2.7	1.125	比較例
B04	A01	φ20	850	818-930	919	○	8	42.4	2.7	1.125	比較例
B05	A01	φ20	800	845-901	865	×	17	25.8	2.7	1.125	比較例
B06	A01	φ50	800	711-804	731	○	12	18.4	2.7	1.125	本発明例
B07	A01	φ50	830	864-909	874	×	12	18.4	2.7	1.125	比較例
B08	A01	φ20	800	670-812	690	○	17	25.8	2.7	1.125	本発明例
B09	A01	φ20	820	721-829	726	○	17	25.8	2.7	1.125	本発明例
B10	A02	φ20	900	791-887	806	○	17	25.8	2.7	1.125	比較例
B11	A02	φ20	1050	815-1024	825	○	17	25.8	2.7	1.125	比較例
B12	A02	φ50	900	810-906	830	○	12	18.4	2.7	1.125	比較例
B13	A01	φ20	920	698-928	698	○	17	25.8	2.7	1.125	比較例
B14	A01	φ20	800	774-911	774	○	17	25.8	10.8	1.125	比較例
B15	A01	φ20	800	719-910	864	○	17	25.8	2.7	2.250	比較例
B16	A01	φ50	830	764-845	766	○	12	18.4	2.7	1.125	本発明例
B17	A01	φ20	830	757-842	777	○	17	25.8	2.7	1.125	本発明例
B18	A01	φ20	865	772-850	772	○	17	25.8	2.7	1.125	本発明例

下線を付した数値は本発明の範囲外であることを示す。

表3

圧延条件: B01							
バス数	断面積 (mm ²)	圧下率 (%)	0.167 \sqrt{S} (sec)	バス間時間 (sec)	圧延速度 (m/sec)	温度 (°C)	圧延 設備
	15625						
1	13000	16.8	19.0	25	2.7	790	R
2	11000	15.4	17.5	25	2.7	796	R
3	9500	13.6	16.3	25	2.7	801	R
4	8000	15.8	14.9	25	2.7	803	R
5	6500	18.8	13.5	25	2.7	811	R
6	5200	20.0	12.0	25	2.7	801	R
7	4150	20.2	10.8	25	2.7	779	R
8	3300	20.5	9.6	25	2.7	761	R
9	2450	25.8	8.3	25	2.7	738	R
10	1850	24.5	7.2	25	2.7	719	R
11	1450	21.6	6.4	5	0.350	721	T
12	1150	20.7	5.7	5	0.466	732	T
13	900	21.7	5.0	5	0.581	739	T
14	700	22.2	4.4	5	0.733	745	T
15	550	21.4	3.9	5	0.871	741	T
16	420	23.6	3.4	5	0.982	730	T
17	320	23.8			1.125	714	T

10

20

30

表 4

圧延条件: B02							
バス数	断面積 (mm ²)	圧下率 (%)	0.167 / S (sec)	バス間時間 (sec)	圧延速度 (m/sec)	温度 (°C)	圧延 設備
	15625						
1	13000	16.8	19.0	25	2.7	929	R
2	11000	15.4	17.5	25	2.7	925	R
3	9500	13.6	16.3	25	2.7	919	R
4	8000	15.8	14.9	25	2.7	913	R
5	6500	18.8	13.5	25	2.7	911	R
6	5200	20.0	12.0	25	2.7	900	R
7	4150	20.2	10.8	25	2.7	891	R
8	3300	20.5	9.6	25	2.7	880	R
9	2450	25.8	8.3	25	2.7	868	R
10	1850	24.5	7.2	25	2.7	860	R
11	1450	21.6	6.4	5	0.350	852	T
12	1150	20.7	5.7	5	0.466	839	T
13	900	21.7	5.0	5	0.581	829	T
14	700	22.2	4.4	5	0.733	822	T
15	550	21.4	3.9	5	0.871	803	T
16	420	23.6	3.4	5	0.982	785	T
17	320	23.8			1.125	765	T

10

20

30

表5

圧延条件：B03							
パス数	断面積 (mm ²)	圧下率 (%)	0.167/ S (sec)	パス間時間 (sec)	圧延速度 (m/sec)	温度 (°C)	圧延 設備
	15625						
1	13000	16.8	19.0	25	2.7	890	R
2	11000	15.4	17.5	25	2.7	894	R
3	9500	13.6	16.3	25	2.7	899	R
4	8000	15.8	14.9	25	2.7	906	R
5	6500	18.8	13.5	25	2.7	911	R
6	5200	20.0	12.0	25	2.7	902	R
7	4150	20.2	10.8	25	2.7	889	R
8	3300	20.5	9.6	25	2.7	881	R
9	2450	25.8	8.3	25	2.7	867	R
10	1850	24.5	7.2	25	2.7	860	R
11	1450	21.6	6.4	5	0.350	852	T
12	1150	20.7	5.7	5	0.466	839	T
13	900	21.7	5.0	5	0.581	830	T
14	700	22.2	4.4	5	0.733	820	T
15	550	21.4	3.9	5	0.871	803	T
16	420	23.6	3.4	5	0.982	784	T
17	320	23.8			1.125	764	T

10

20

30

表 6

圧延条件 : B04							
バス数	断面積 (mm ²)	圧下率 (%)	0.167 \sqrt{S} (sec)	バス間時間 (sec)	圧延速度 (m/sec)	温度 (°C)	圧延 設備
	15625						
1	9300	40.5	19.0	25	2.7	849	R
2	5500	40.9	17.5	25	2.7	865	R
3	3300	40.0	16.3	25	2.7	879	R
4	1900	42.4	14.9	25	2.7	896	R
5	1100	42.1	13.5	25	2.7	912	R
6	660	40.0	12.0	25	2.7	921	R
7	400	39.4	10.8	25	2.7	930	R
8	320	20.0			2.7	919	R

10

20

表 7

圧延条件: B05							
バス数	断面積 (mm ²)	圧下率 (%)	0.167 \sqrt{S} (sec)	バス間時間 (sec)	圧延速度 (m/sec)	温度 (°C)	圧延 設備
	15625						
1	13000	16.8	19.0	10	2.7	791	R
2	11000	15.4	17.5	10	2.7	805	R
3	9500	13.6	16.3	10	2.7	819	R
4	8000	15.8	14.9	10	2.7	836	R
5	6500	18.8	13.5	10	2.7	850	R
6	5200	20.0	12.0	10	2.7	865	R
7	4150	20.2	10.8	10	2.7	871	R
8	3300	20.5	9.6	10	2.7	875	R
9	2450	25.8	8.3	10	2.7	879	R
10	1850	24.5	7.2	10	2.7	884	R
11	1450	21.6	6.4	5	0.350	901	T
12	1150	20.7	5.7	5	0.466	899	T
13	900	21.7	5.0	5	0.581	895	T
14	700	22.2	4.4	5	0.733	895	T
15	550	21.4	3.9	5	0.871	883	T
16	420	23.6	3.4	5	0.982	875	T
17	320	23.8			1.125	860	T

10

20

30

表 8

圧延条件: B06							
パス数	断面積 (mm ²)	圧下率 (%)	0.167 \sqrt{S} (sec)	パス間時間 (sec)	圧延速度 (m/sec)	温度 (°C)	圧延 設備
	15625						
1	13000	16.8	19.0	25	2.7	791	R
2	11000	15.4	17.5	25	2.7	796	R
3	9500	13.6	16.3	25	2.7	801	R
4	8000	15.8	14.9	25	2.7	804	R
5	6700	16.3	13.7	25	2.7	806	R
6	6000	10.5	12.9	25	2.7	784	R
7	5200	13.3	12.0	25	2.7	764	R
8	4650	10.6	11.4	25	2.7	746	R
9	3800	18.3	10.3	25	2.7	733	R
10	3100	18.4	9.3	5	0.622	733	T
11	2600	16.1	8.5	5	0.837	734	T
12	2210	15.0			1.125	731	T

10

20

表9

圧延条件：B07							
バス数	断面積 (mm ²)	圧下率 (%)	0.167/S (sec)	バス間時間 (sec)	圧延速度 (m/sec)	温度 (°C)	圧延 設備
	15625						
1	13000	16.8	19.0	10	2.7	819	R
2	11000	15.4	17.5	10	2.7	836	R
3	9500	13.6	16.3	10	2.7	849	R
4	8000	15.8	14.9	10	2.7	873	R
5	6700	16.3	13.7	10	2.7	879	R
6	6000	10.5	12.9	10	2.7	896	R
7	5200	13.3	12.0	10	2.7	901	R
8	4650	10.6	11.4	10	2.7	904	R
9	3800	18.3	10.3	5	2.7	909	R
10	3100	18.4	9.3	5	0.622	902	T
11	2600	16.1	8.5	5	0.837	883	T
12	2210	15.0			1.125	874	T

10

20

表10

圧延条件: B08							
バス数	断面積 (mm ²)	圧下率 (%)	0.167/S (sec)	バス間時間 (sec)	圧延速度 (m/sec)	温度 (°C)	圧延 設備
	15625						
1	13000	16.8	19.0	25	2.7	790	R
2	11000	15.4	17.5	25	2.7	795	R
3	9500	13.6	16.3	25	2.7	799	R
4	8000	15.8	14.9	25	2.7	804	R
5	6500	18.8	13.5	25	2.7	812	R
6	5200	20.0	12.0	25	2.7	800	R
7	4150	20.2	10.8	25	2.7	780	R
8	3300	20.5	9.6	25	2.7	759	R
9	2450	25.8	8.3	25	2.7	741	R
10	1850	24.5	7.2	25	2.7	720	R
11	1450	21.6	6.4	10	0.350	719	T
12	1150	20.7	5.7	10	0.466	724	T
13	900	21.7	5.0	10	0.581	730	T
14	700	22.2	4.4	10	0.733	729	T
15	550	21.4	3.9	10	0.871	721	T
16	420	23.6	3.4	10	0.982	705	T
17	320	23.8			1.125	690	T

10

20

30

表 11

圧延条件: B09							
パス数	断面積 (mm ²)	圧下率 (%)	0.167/ S (sec)	バス間時間 (sec)	圧延速度 (m/sec)	温度 (°C)	圧延 設備
	15625						
1	13000	16.8	19.0	25	2.7	810	R
2	11000	15.4	17.5	25	2.7	816	R
3	9500	13.6	16.3	25	2.7	821	R
4	8000	15.8	14.9	25	2.7	824	R
5	6500	18.8	13.5	25	2.7	829	R
6	5200	20.0	12.0	25	2.7	821	R
7	4150	20.2	10.8	25	2.7	800	R
8	3300	20.5	9.6	25	2.7	779	R
9	2450	25.8	8.3	25	2.7	761	R
10	1850	24.5	7.2	25	2.7	749	R
11	1450	21.6	6.4	5	0.350	741	T
12	1150	20.7	5.7	5	0.466	751	T
13	900	21.7	5.0	5	0.581	760	T
14	700	22.2	4.4	5	0.733	766	T
15	550	21.4	3.9	5	0.871	761	T
16	420	23.6	3.4	5	0.982	751	T
17	320	23.8			1.125	726	T

10

20

30

表 12

圧延条件: B10							
バス数	断面積 (mm ²)	圧下率 (%)	0.167/S (sec)	バス間時間 (sec)	圧延速度 (m/sec)	温度 (°C)	圧延 設備
	15625						
1	13000	16.8	19.0	25	2.7	886	R
2	11000	15.4	17.5	25	2.7	884	R
3	9500	13.6	16.3	25	2.7	884	R
4	8000	15.8	14.9	25	2.7	887	R
5	6500	18.8	13.5	25	2.7	885	R
6	5200	20.0	12.0	25	2.7	859	R
7	4150	20.2	10.8	25	2.7	841	R
8	3300	20.5	9.6	25	2.7	820	R
9	2450	25.8	8.3	25	2.7	800	R
10	1850	24.5	7.2	25	2.7	791	R
11	1450	21.6	6.4	5	0.350	801	T
12	1150	20.7	5.7	5	0.466	810	T
13	900	21.7	5.0	5	0.581	830	T
14	700	22.2	4.4	5	0.733	836	T
15	550	21.4	3.9	5	0.871	829	T
16	420	23.6	3.4	5	0.982	821	T
17	320	23.8			1.125	806	T

10

20

30

表13

圧延条件: B11							
バス数	断面積 (mm ²)	圧下率 (%)	0.167/S (sec)	バス間時間 (sec)	圧延速度 (m/sec)	温度 (°C)	圧延 設備
	15625						
1	13000	16.8	19.0	25	2.7	1024	R
2	11000	15.4	17.5	25	2.7	1015	R
3	9500	13.6	16.3	25	2.7	1003	R
4	8000	15.8	14.9	25	2.7	996	R
5	6500	18.8	13.5	25	2.7	985	R
6	5200	20.0	12.0	25	2.7	969	R
7	4150	20.2	10.8	25	2.7	961	R
8	3300	20.5	9.6	25	2.7	949	R
9	2450	25.8	8.3	25	2.7	930	R
10	1850	24.5	7.2	25	2.7	921	R
11	1450	21.6	6.4	5	0.350	911	T
12	1150	20.7	5.7	5	0.466	901	T
13	900	21.7	5.0	5	0.581	891	T
14	700	22.2	4.4	5	0.733	881	T
15	550	21.4	3.9	5	0.871	864	T
16	420	23.6	3.4	5	0.982	845	T
17	320	23.8			1.125	825	T

10

20

30

表14

圧延条件 : B12							
バス数	断面積 (mm ²)	圧下率 (%)	0.167 \sqrt{S} (sec)	バス間時間 (sec)	圧延速度 (m/sec)	温度 (°C)	圧延 設備
	15625						
1	13000	16.8	19.0	25	2.7	891	R
2	11000	15.4	17.5	25	2.7	895	R
3	9500	13.6	16.3	25	2.7	899	R
4	8000	15.8	14.9	25	2.7	905	R
5	6700	16.3	13.7	25	2.7	906	R
6	6000	10.5	12.9	25	2.7	886	R
7	5200	13.3	12.0	25	2.7	865	R
8	4650	10.6	11.4	25	2.7	845	R
9	3800	18.3	10.3	25	2.7	836	R
10	3100	18.4	9.3	5	0.622	835	T
11	2600	16.1	8.5	5	0.837	834	T
12	2210	15.0			1.125	830	T

10

20

表 15

圧延条件：B13							
パス数	断面積 (mm ²)	圧下率 (%)	0.167 \sqrt{S} (sec)	パス間時間 (sec)	圧延速度 (m/sec)	温度 (°C)	圧延 設備
	15625						
1	13000	16.8	19.0	25	2.7	929	R
2	11000	15.4	17.5	25	2.7	925	R
3	9500	13.6	16.3	25	2.7	919	R
4	8000	15.8	14.9	25	2.7	913	R
5	6500	18.8	13.5	25	2.7	911	R
6	5200	20.0	12.0	25	2.7	900	R
7	4150	20.2	10.8	25	2.7	891	R
8	3300	20.5	9.6	25	2.7	880	R
9	2450	25.8	8.3	25	2.7	868	R
10	1850	24.5	7.2	25	2.7	850	R
11	1450	21.6	6.4	10	0.350	832	T
12	1150	20.7	5.7	10	0.466	804	T
13	900	21.7	5.0	10	0.581	777	T
14	700	22.2	4.4	10	0.733	749	T
15	550	21.4	3.9	10	0.871	728	T
16	420	23.6	3.4	10	0.982	713	T
17	320	23.8			1.125	698	T

10

20

30

表16

圧延条件: B14							
バス数	断面積 (mm ²)	圧下率 (%)	0.167 / S (sec)	ハス間時間 (sec)	圧延速度 (m/sec)	温度 (°C)	圧延 設備
	15625						
1	13000	16.8	19.0	25	10.8	810	R
2	11000	15.4	17.5	25	10.8	836	R
3	9500	13.6	16.3	25	10.8	861	R
4	8000	15.8	14.9	25	10.8	883	R
5	6500	18.8	13.5	25	10.8	911	R
6	5200	20.0	12.0	25	10.8	901	R
7	4150	20.2	10.8	25	10.8	869	R
8	3300	20.5	9.6	25	1.8	841	R
9	2450	25.8	8.3	25	10.8	808	R
10	1850	24.5	7.2	25	10.8	779	R
11	1450	21.6	6.4	10	0.350	781	T
12	1150	20.7	5.7	10	0.466	792	T
13	900	21.7	5.0	10	0.581	799	T
14	700	22.2	4.4	10	0.733	805	T
15	550	21.4	3.9	10	0.871	801	T
16	420	23.6	3.4	10	0.982	790	T
17	320	23.8			1.125	774	T

10

20

30

表 17

圧延条件: B15							
バス数	断面積 (mm ²)	圧下率 (%)	0.167 / S (sec)	バス間時間 (sec)	圧延速度 (m/sec)	温度 (°C)	圧延 設備
	15625						
1	13000	16.8	19.0	25	2.7	790	R
2	11000	15.4	17.5	25	2.7	796	R
3	9509	13.6	16.3	25	2.7	801	R
4	8000	15.8	14.9	25	2.7	803	R
5	6500	18.8	13.5	25	2.7	811	R
6	5200	20.0	12.0	25	2.7	801	R
7	4150	20.2	10.8	25	2.7	779	R
8	3300	20.5	9.6	25	2.7	761	R
9	2450	25.8	8.3	25	2.7	738	R
10	1850	24.5	7.2	25	2.7	719	R
11	1450	21.6	6.4	5	0.700	751	T
12	1150	20.7	5.7	5	0.932	782	T
13	900	21.7	5.0	5	1.162	829	T
14	700	22.2	4.4	5	1.466	865	T
15	550	21.4	3.9	5	1.742	891	T
16	420	23.6	3.4	5	1.964	910	T
17	320	23.8			2.500	864	T

10

20

30

表 18

圧延条件：B16							
バス数	断面積 (mm ²)	圧下率 (%)	0.167/S (sec)	バ入間時間 (sec)	圧延速度 (m/sec)	温度 (°C)	圧延 設備
	15625						
1	13000	16.8	19.0	25	2.7	821	R
2	11000	15.4	17.5	25	2.7	817	R
3	9500	13.6	16.3	25	2.7	834	R
4	8000	15.8	14.9	25	2.7	838	R
5	6700	16.3	13.7	25	2.7	845	R
6	6000	10.5	12.9	25	2.7	824	R
7	5200	13.3	12.0	25	2.7	794	R
8	4650	10.6	11.4	25	2.7	776	R
9	3800	18.3	10.3	25	2.7	767	R
10	3100	18.4	9.3	5	0.622	764	T
11	2600	16.1	8.5	5	0.837	769	T
12	2210	15.0			1.125	766	T

10

20

表19

圧延条件：B17							
バス数	断面積 (mm ²)	圧下率 (%)	0.167 / S (sec)	バス間時間 (sec)	圧延速度 (m/sec)	温度 (°C)	圧延 設備
	15625						
1	13000	16.8	19.0	25	2.7	822	R
2	11000	15.4	17.5	25	2.7	825	R
3	9500	13.6	16.3	25	2.7	833	R
4	8000	15.8	14.9	25	2.7	834	R
5	6500	18.8	13.5	25	2.7	842	R
6	5200	20.0	12.0	25	2.7	830	R
7	4150	20.2	10.8	25	2.7	809	R
8	3300	20.5	9.6	25	2.7	790	R
9	2450	25.8	8.3	25	2.7	765	R
10	1850	24.5	7.2	25	2.7	757	R
11	1450	21.6	6.4	5	0.350	759	T
12	1150	20.7	5.7	5	0.466	772	T
13	900	21.7	5.0	5	0.581	771	T
14	700	22.2	4.4	5	0.733	774	T
15	550	21.4	3.9	5	0.871	771	T
16	420	23.6	3.4	5	0.982	779	T
17	320	23.8			1.125	777	T

10

20

30

表 20

圧延条件: B18							
バス数	断面積 (mm ²)	圧下率 (%)	0.167/S (sec)	バス間時間 (sec)	圧延速度 (m/sec)	温度 (°C)	圧延 設備
	15625						
1	13000	16.8	19.0	25	2.7	850	R
2	11000	15.4	17.5	25	2.7	847	R
3	9500	13.6	16.3	25	2.7	847	R
4	8000	15.8	14.9	25	2.7	845	R
5	6500	18.8	13.5	25	2.7	844	R
6	5200	20.0	12.0	25	2.7	845	R
7	4150	20.2	10.8	25	2.7	843	R
8	3300	20.5	9.6	25	2.7	834	R
9	2450	25.8	8.3	25	2.7	830	R
10	1850	24.5	7.2	25	2.7	829	R
11	1450	21.6	6.4	5	0.350	821	T
12	1150	20.7	5.7	5	0.466	814	T
13	900	21.7	5.0	5	0.581	803	T
14	700	22.2	4.4	5	0.733	794	T
15	550	21.4	3.9	5	0.871	790	T
16	420	23.6	3.4	5	0.982	782	T
17	320	23.8			1.125	772	T

10

20

30

表 21

圧延条件	0.2% PS				UTS				EI				RA				疲労强度				切欠試験				1/4D				ミクロ組織				備考
	(MPa)	(%)	(MPa)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)			
B01	931	1030	20.4	51.9	565	230	2.5	66	1.5	2.7	66	1.8	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	本発明例			
B02	885	1009	3.5	12.3	350	120	3.7	59	4.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	比較例			
B03	879	1010	4.1	13.5	355	125	3.4	58	4.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	あり	比較例		
B04	881	1011	4.1	11.6	365	115	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	あり	比較例		
B05	874	1014	3.8	11.1	360	100	3.8	29	4.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	あり	比較例		
B06	921	1020	20.0	50.8	560	225	5.4	60	2.1	5.8	68	2.2	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	本発明例			
B07	887	1005	3.7	12.1	355	120	5.9	31	4.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	あり	比較例		
B08	930	1030	20.5	52.3	570	240	1.7	67	1.9	1.9	69	2.3	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	本発明例			
B09	929	1027	20.1	50.1	550	210	4.1	62	1.7	4.9	64	2.1	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	本発明例			
B10	911	1019	14.8	43.3	480	185	11.4	89	2.8	12.0	88	3.2	なし	あり	あり	あり	あり	比較例															
B11	863	1012	3.6	9.8	230	95	13.2	85	2.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	あり	比較例		
B12	902	1011	13.8	42.1	440	175	14.5	80	3.0	15.0	89	3.4	なし	あり	あり	あり	あり	比較例															
B13	899	987	12.1	38.2	395	155	5.5	85	4.2	5.8	87	4.5	なし	あり	あり	あり	あり	比較例															
B14	884	971	13.7	34.5	345	115	5.2	84	4.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	あり	比較例		
B15	894	955	11.9	33.3	340	120	5.3	81	4.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	あり	比較例		
B16	910	1014	17.4	40.1	505	205	6.2	63	2.5	6.4	60	2.7	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	本発明例			
B17	914	1021	18.3	42.3	510	205	5.8	64	2.7	6.3	61	2.9	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	本発明例			
B18	902	1008	15.6	40.1	500	200	6.5	60	3.1	6.6	60	3.3	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	本発明例			

【図面の簡単な説明】

図1は、棒材の代表的な製造方法を示す図である。

図2は、棒材圧延の工程を示す図である。

図3は、Ti-6Al-4V合金およびTi-4.5Al-3V-2Fe-2Mo合金の棒材圧延における被圧延材の温度と圧延時間の関係を示す図である。

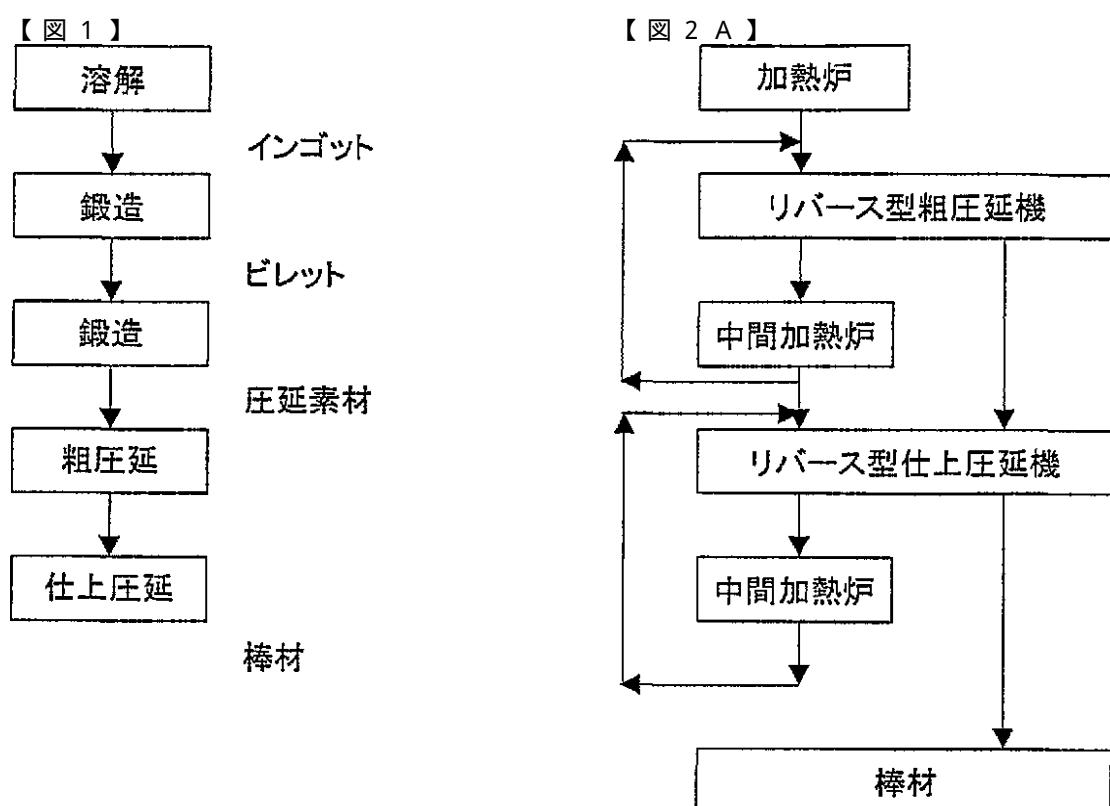
図4は、初析相の平均結晶粒径と高温引張試験による全伸びとの関係を示す図である。

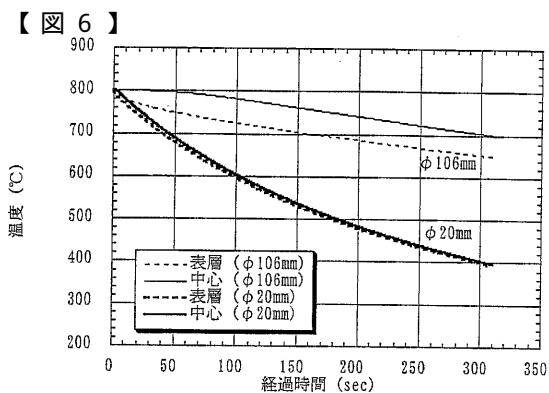
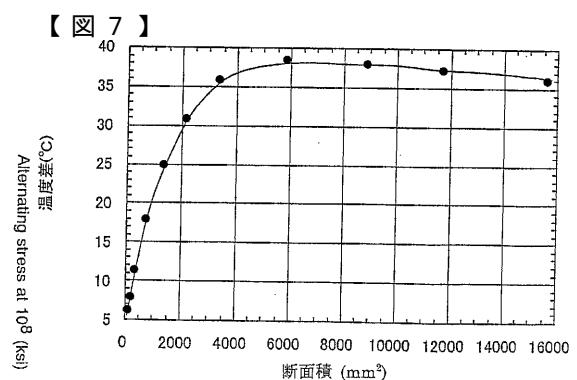
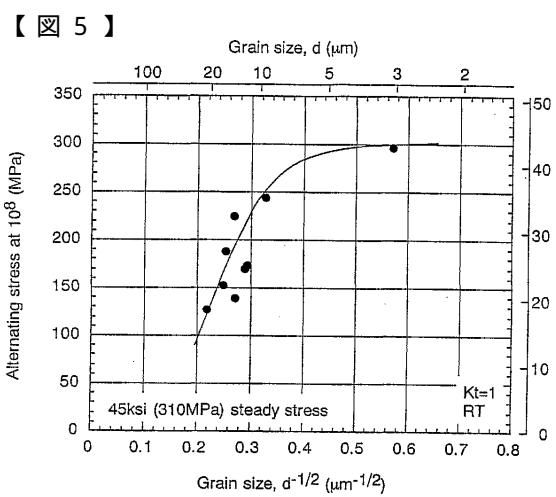
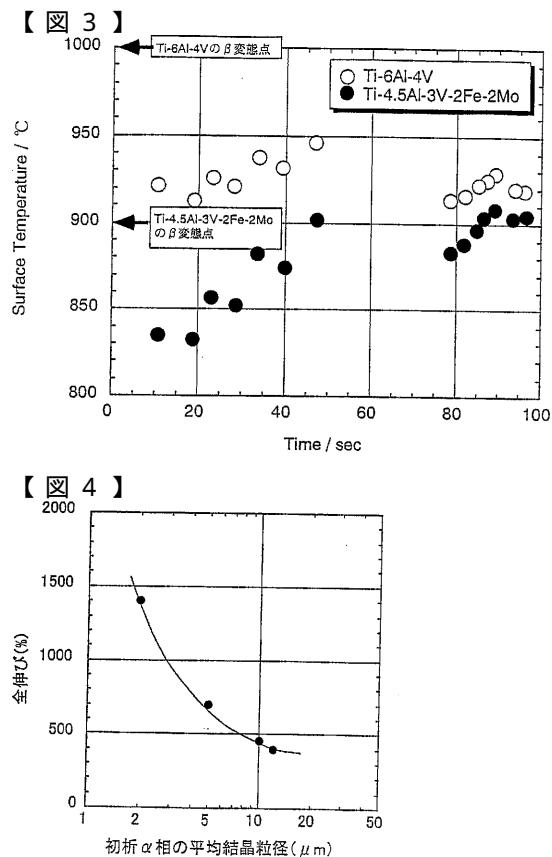
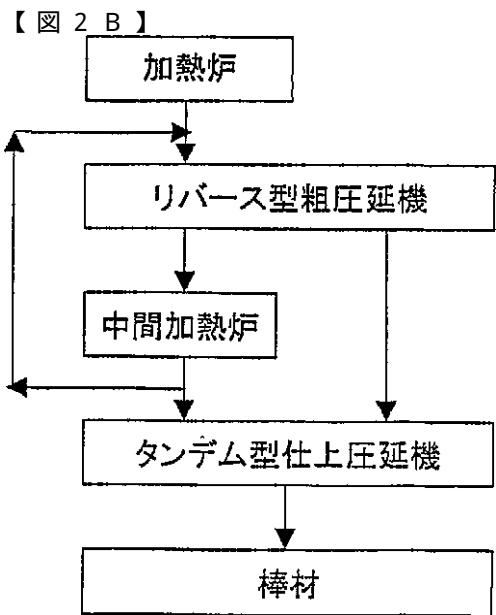
図5は、初析相の平均結晶粒径と疲労試験における 10^8 回での疲労強度との関係を示す図である。

図6は、表層部と中心部の温度の経時変化を示す図である。

図7は、被圧延材の断面積と、表層部と中心部の温度差との関係を示す図である。

10





フロントページの続き

(51)Int.Cl.

F I

C 2 2 F	1/00	6 3 0 G
C 2 2 F	1/00	6 3 0 K
C 2 2 F	1/00	6 9 1 B
C 2 2 F	1/00	6 9 4 A
C 2 2 F	1/00	6 9 4 B

(72)発明者 皆川 邦典

東京都千代田区丸の内一丁目1番2号 日本鋼管株式会社内

審査官 河野 一夫

(56)参考文献 特開平10-306335(JP,A)

特開昭58-025465(JP,A)

特開平05-295502(JP,A)

特開平08-103831(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

C22F 1/00 - 3/02

B21B 1/16

B21B 3/00

C22C 1/00 - 49/14