

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5006043号
(P5006043)

(45) 発行日 平成24年8月22日(2012.8.22)

(24) 登録日 平成24年6月1日(2012.6.1)

(51) Int.Cl.

C22C 14/00 (2006.01)

F 1

C 22 C 14/00

Z

請求項の数 3 (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願2006-532401 (P2006-532401)
 (86) (22) 出願日 平成16年4月27日 (2004.4.27)
 (65) 公表番号 特表2007-501901 (P2007-501901A)
 (43) 公表日 平成19年2月1日 (2007.2.1)
 (86) 國際出願番号 PCT/US2004/011260
 (87) 國際公開番号 WO2004/106569
 (87) 國際公開日 平成16年12月9日 (2004.12.9)
 審査請求日 平成19年4月19日 (2007.4.19)
 (31) 優先権主張番号 10/443,047
 (32) 優先日 平成15年5月22日 (2003.5.22)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

前置審査

(73) 特許権者 510241351
 チタニウム メタルス コーポレイション
 アメリカ合衆国 テキサス州 75240
 ダラス エルビージェー フリーウェイ
 5430 スイート 1700
 (74) 代理人 100147485
 弁理士 杉村 憲司
 (74) 代理人 100165951
 弁理士 吉田 憲悟
 (72) 発明者 バニア, ポール ジェイ.
 アメリカ合衆国, ネバダ 89005, ボ
 ールダー シティ, ケイ コート 153
 3
 審査官 河野 一夫

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】高強度チタン合金

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

質量%で、
 Al:3.2~4.2、Sn:1.7~2.3、Zr:2~2.6、Cr:2.9~3.5、Mo:2.3~2.9、V:2~2.6、Fe:0.25~0.75、Si:0.01~0.8、O:最大0.21、残部がチタン及び不可避的不純物からなり、時効されたマトリックス中の等軸の一次から構成される固有の-ミクロ組織を有することを特徴とする-チタン基合金。

【請求項2】

1344.5~1482.4MPaの範囲の引張強度レベルにおいて、20%RAを超える合金Ti-17(Ti-5Al-2Sn-2Zr-4Cr-4Mo)に比べて、少なくとも20%向上した延性を有することを特徴とする請求項1に記載の合金。 10

【請求項3】

少なくとも758.4MPaの二面剪断強度を有することを特徴とする請求項2に記載の合金。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、剪断強度を含む引張強度と延性の優れた組み合わせを有する-チタン基合金に関する。

【背景技術】

【0002】

実際に、1950年代の初めに本格的にチタン工業が始まって以来、多数のチタン合金が開発されてきた。これらさまざまな合金開発の努力は、あるものは高温性能の改善を意図して、あるものは耐食性の改善を、そしてさらにあるものは鍛造／成形性能の改善を意図して開発されるというように、最終製品の合金に対して様々な目標を持っていたが、おそらく最も共通する目標は、事実上、引張強度性能であった。この場合、引張強度は“使用可能な”、すなわち満足できる延性レベルでの、引張強度を意味している。ほとんど全ての焼入れ可能な(hardenable)金属系の場合にそうであるように、強度と延性は互いに逆に変化するので、工学的な用途に使用できる合金を得るために、通常、強度と延性との間で釣り合いを取らなければならない。

【0003】

標準の(単軸の)引張特性は、通常、型どおりの引張試験で決定された4つの特性：降伏強度(YS)、最終強度(UTS：普通、単に引張強度と言われる)、%伸び(%EI)および、%絞り(%RA)、で記述される。

はじめの2つの値は、通常、ksi(平方インチ当たりの千ポンド数)のような単位で報告されるが、後の2つ(両方とも延性の測定)は、単にパーセントで与えられる。

【0004】

特に止め具(fastener)などに応用するための参考として、しばしば引用される他の引張特性は“二面剪断”強度(double shear strength)であり、これもksiで報告される。

この特性については、延性も降伏強度も測定されない。一般に、チタン合金の二面剪断強度は、単軸の延性が十分であれば、単軸の引張強度の約60%である。

【0005】

ある引張強度／延性の組み合わせの範囲に熱処理された種々の合金の引張り特性を比較しようとする際は、まず、回帰分析でデータを分析するのが便利である。強度／延性の関係は、通常、延性(%EI又は%RAのいずれかで表される)が従属変数で、強度(通常、UTS)が独立変数であるx-yプロットの直線で記述される。そのような線は簡単な式で記述される。

【0006】

式1： $\%RA = b - m(UTS)$ ；但し、 m = 直線の傾き、 b = 強度0での切片である。(なお、回帰分析でこのような式を決める際には、“r-自乗”(r-squared)で示されるパラメーターも計算され、これは0と1の間で変化し、1の値は直線式と完全に一致することを示し、0の値は一致しないことを示す。)

【0007】

そのような式が一旦制定されると、例えば、仮にある強度レベルでの具体的なデータがなくても、その一定の強度レベルでの“計算された”延性を比較するのに使用することができる。この方法は、合金をランク付けし、比較するために、この開発努力の間じゅう用いられてきた。

【0008】

合金開発計画を実行する際には、引張強度／延性の関係が、溶融した鋳塊から加工された延伸材(棒のような)に変換される間に金属与えられうる熱間加工量に大きく影響されることを認識しておくことが重要であることに注意すべきである。これは、鋳塊から延伸材への変換の間にマクロ組織の微細化がおこり、マクロ組織の微細化が大きい程、強度／延性の関係は良くなるという事実によるものである。

【0009】

フルサイズの製品溶解(heat)に比べ、小さな実験室サイズの溶解に与えられるマクロ組織の微細化の量は、むしろ限られるため、小さな実験溶解での引張強度／延性の関係が、フルサイズの製品溶解から得られた関係を大きく下回るということは、当業者には十分理解される。引張特性を比較するために、フルサイズの溶解を行い、これらを延伸材に変換

10

20

30

40

50

するには実際には不可能であるので、実験的な合金調合物 (formulations) と現存する市場向けの合金調合物の両方で小さい実験室サイズの溶解を行い、結果を 1 対 1 で比較することが実行しうることである。優れた特性を備えた市場向けの合金を選択するのが鍵である。本発明となった開発計画では、実験的な合金と比較するベースラインの市場向け合金として、Ti - 17 (Ti - 5Al - 2Sn - 2Zr - 4Cr - 4Mo) と称される市場向けの合金を選択した。この合金は、棒の形状で優れた強度 / 延性特性を示すので選択された。

【 0 0 1 0 】

【表1】

表1 棒に加工された市場向け高強度チタン合金 (Ti-17) の引張及び剪断強度データ*

合金化学組成 w t %	時効 ° F / HRS [°C / HRS]	降伏強度 Y _S K _{s i} [MPa]	最終引張強度 UTS K _{s i} [MPa]	伸び % E I	絞り % RA	二面剪断 K _{s i} [MPa]	二面剪断 UTS の % で表示	平均二面剪 断 : UTS の % で表示
Ti-17 (Ti - 5Al-2Sn-2Zr- 4Cr-4Mo)	1 1 0 0 / 8 [5 9 3. 3 / 8]	1 8 2 [1 2 5 4. 9]	1 8 3 [1 2 6 1. 7]	1 2	4 4	1 1 4 [7 8 6]	6 2 %	
"	"	1 8 3 [1 2 6 1. 7]	1 8 4 [1 2 6 8. 6]	1 4	3 9	1 1 8 [8 1 3. 6]	6 4 %	
"	"	1 8 9 [1 3 0 3. 1]	1 9 0 [1 3 1 0]	1 1	3 6	1 1 3 [7 7 9. 1]	5 9 %	
"	"	1 9 0 [1 3 1 0]	1 9 2 [1 3 2 3. 8]	1 3	4 1	1 1 1 [7 6 5. 3]	5 8 %	
"	1 0 5 0 / 8 [5 6 5. 6 / 8]	1 9 7 [1 3 5 8. 3]	2 0 0 [1 3 7 9]	9	3 4	1 1 5 [7 9 2. 9]	5 8 %	5 9 . 8 %
"	"	1 9 8 [1 3 6 5. 2]	2 0 1 [1 3 8 5. 9]	9	3 0	1 1 6 [7 9 9. 8]	5 8 %	
"	"	2 0 5 [1 4 1 3. 4]	2 0 9 [1 4 4 1]	8	2 2	なし なし	なし	
"	"	2 0 5 [1 4 1 3. 4]	2 0 9 [1 4 4 1]	8	2 8	なし なし	なし	
"	9 5 0 / 1 2 [5 1 0 / 1 2]	2 1 1 [1 4 5 4. 8]	2 1 6 [1 4 8 9. 3]	9	2 5	なし なし	なし	
"	"	2 1 2 [1 4 6 1. 7]	2 1 7 [1 4 9 6. 2]	9	2 9	なし なし	なし	

* 1 4 8 0 F [8 0 4. 4 °C] で 1 0 分間材料を溶体化処理後、ファンで空冷。

回帰分析 : k_{si} [Mpa]

% R A = 134.5 - 0.5080 (UTS) r - 自乗 = 0.79 UTS : 195ksi で % R A = 35.4 UTS : 215 ksi で % R A = 25.3
 [% R A = 134.5 - 3.5025 (UTS) r - 自乗 = 0.79 UTS : 1344.5MPa で % R A = 35.4 UTS : 1482.4MPa で % R A = 25.3
 % E L = 38.76 - 0.1427 (UTS) r - 自乗 = 0.69 UTS : 195ksi で % EL = 10.9 UTS : 215 ksi で % EL = 8.1
 [% E L = 38.76 - 0.9839 (UTS) r - 自乗 = 0.69 UTS : 1344.5MPa で % EL = 10.9 UTS : 1482.4MPa で % EL = 8.1]

【0011】

表1は、公称 4 5 3 6 kg (10,000 ポンド) のフルサイズの市場向けの溶解から製造された Ti - 17 の直径 9.525 mm (0.375 インチ) の棒製品の引張り及び二面剪断 (double shear) の特性データを示している。この表1の引張強度、剪断強度および延性の組み合わせは、明らかにどのチタン合金に対しても優れている。なお、二面剪断強度の値は、平均すると先に述べた UTS の 60 % に極めて近い。

【発明の開示】

【0012】

この合金開発努力の最終目標は、今日、市場向けに利用可能な Ti - 17 のような熱処理可能なチタン合金と比べて、高い強度レベルにおいて優れた延性を備えた熱処理可能なチタン合金を開発することであった。

この目標はさらに、 Ti - 17 に比べて、与えられた高い強度レベルにおいて延性が 20 %以上向上している合金を開発することとして規定することができる。

【0013】

上記した引張強度を備えたチタン合金には重要な用途があるが、もし、そのような合金が、 758.4 MPa (110 ksi) 以上の最小二面剪断強度を有することができれば、さらにより多くの用途があろう。

熱処理したチタン（特に、 Ti - 6 Al - 4 V ）は、 655 MPa (95 ksi) の保証（すなわち、最小）剪断強度に熱処理された航空宇宙用の止め具（fasteners）に使用されることが知られている。

航空宇宙産業で次に採用される剪断強度レベルは、最小 758.4 MPa (110 ksi) であり、市場向けに利用できるどのチタン合金でも達成されないが、各種の鋼合金では達成されているレベルである。

従って、高強度の航空宇宙用の止め具において、鋼をチタンに置き換えることによって名目上 40 % の重量節約をチタンが提供するにためは、チタン合金は 758.4 MPa (110 ksi) の最小二面剪断強度を有さなければならない。

そうするためには、そのような試験に伴う典型的なバラツキを考慮すると、代表的な値は、少なくとも約 806.7 MPa (117 ksi) となる。

【0014】

チタン合金が、一般的には引張強度の約 60 % である二面剪断強度を有するという上述の相関関係から、 806.7 MPa (117 ksi) 以上（最小 758.4 MPa (110 ksi) を確保するため）の範囲の二面剪断強度を製造するためには、これが“満足しうる延性”を備え、少なくとも 1344.5 MPa (195 ksi) 、（従って、 1344.5 ~ 約 1482.4 MPa (195 ksi ~ 約 215 ksi) の範囲）、の引張強度を有することを期待する。

このように、この計画は、上述の引張特性を有するのみならず、最小 758.4 MPa (110 ksi) の剪断強度の目標を確保する二面剪断強度値を備えるという二次的な目標をもっていた。

【0015】

本発明により、ここに規定されているように、高い強度と延性の組み合わせを有し、かつ、所定の強度レベルにおいて、 Ti - 17 合金と比べ、延性が 20 % 以上向上している - チタン基合金を提供する。

【0016】

より具体的には、ここに規定されているように、この合金は、少なくとも 758.4 MPa (110 ksi) の二面剪断強度を有し得る。

【0017】

この合金は、さらに引張強度が少なくとも 1344.5 MPa (195 ksi) を有し得る。より具体的には、引張強度は 1344.5 ~ 1482.4 MPa (195 ~ 215 ksi) の範囲であり得る。

【0018】

本発明の - チタン基合金は、質量 % で、 Al : 3.2 ~ 4.2 、 Sn : 1.7 ~ 2.3 、 Zr : 2 ~ 2.6 、 Cr : 2.9 ~ 3.5 、 Mo : 2.3 ~ 2.9 、 V : 2 ~ 2.6 、 Fe : 0.25 ~ 0.75 、 Si : 0.01 ~ 0.8 、 O : 最大 0.21 、残部がチタン及び不可避的不純物からなり得る。

【0019】

さらに具体的に、本発明によれば、 - チタン基合金は、質量 % で、 Al : 約 3.7 、 Sn : 約 2 、 Zr : 約 2.3 、 Cr : 約 3.2 、 Mo : 約 2.6 、 V : 約 2.3 、 Fe

10

20

30

40

50

：約0.5、Si：約0.06、O：最大約0.18、残部がチタン及び不可避的不純物からなりうる。

【0020】

この合金は、1379.0 MPa(200ksi)超の引張強度、20%RA超の延性、758.4 MPa(110ksi)超の二面剪断強度を有してもよい。

【発明を実施するための最良の形態】

【0021】

この開発努力において評価されたチタン合金は、全て二重真空アーク溶解した公称4.5 kg / 114.3 mm (101b / 4.5インチ) 直径の実験室サイズの鋳塊により製作された。マクロ組織及び/又はミクロ組織の相違による特性のバラツキを最小にするために、これらの鋳塊は全て同じ工程により棒製品に変換された。採用した変換作業は、以下のとおりである。

【0022】

982.2 (1800F) で 44.5 mm 角 (1.75インチ) に 鍛造する。

【0023】

トランザスを測定する。

【0024】

各合金の トランザスより名目上 4.4 (40F) 下から、19.1 mm (0.75インチ) の角棒に - 压延する。

【0025】

トランザスより名目上 26.7 ~ 65.6 (80F ~ 150F) 下の範囲で選ばれた温度で棒を溶体化処理し、ファンで空冷する。

【0026】

強度 / 延性レベルの範囲を作るために種々の温度で時効する。

【0027】

全ての材料が、時効された マトリックス中の等軸の一次 から実質的に構成される固有の - ミクロ組織を有していることが確認された。

【0028】

10

20

【表2】

溶解 No.	Al	Sn	Zr	Cr	Mo	V	Fe	Si	O	βトランザス° F [°C]
V8226	5.05	1.93	2.09	4.04	4.00	0.00	0.22	0.014	0.110	1600 [871.1]
V8227	4.99	2.09	1.96	4.34	4.33	1.56	0.59	0.027	0.120	1570 [854.4]
V8228	3.79	1.90	2.32	3.30	2.61	2.43	0.48	0.032	0.164	1570 [854.4]
V8229	4.00	1.84	2.16	1.89	3.69	1.42	1.14	0.024	0.116	1600 [871.1]
V8230	3.85	1.93	2.17	2.50	3.96	1.50	1.20	0.025	0.0181	1600 [871.1]
V8231	3.75	1.96	1.98	1.56	3.98	2.92	1.28	0.037	0.173	1570 [854.4]

* 化学組成は質量% ; βトランザス(βトランザス° F [°C])である。

【0029】

表2は、実験室サイズの溶解の1回目の繰返しで製造された調合物(formulations)のまとめである。ベースライン(baseline)のTi-17調合物は、溶解V8226である。なお、Ti-17ベースライン合金は、バナジウムが添加されておらず、鉄の添加量は低く(0.25%未満)、シリコンは意図的に添加されておらず(シリコンが添加されないチタン合金では、0.014は、典型的な“残留”レベルを表している。)、そして酸素のレベルは0.08~0.13の範囲であり、Ti-17に関する一般的な工業的仕様であ

10

20

30

40

50

ることが確認される。

【0030】

表2に挙げた残りの調合物は、Ti-17ベースライン合金に相対して添加/制限を組み入れた実験的な合金である。

基本的な添加の一つはバナジウムである。この元素は相に大きな溶解度(1%超)を持つことが知られており、従って、これは、-の合金の生じた2相の内のその相を特に強化するために添加された。

Ti-17合金の他の安定化元素、Cr、Mo及びFeは、相での溶解度が極めて限定されているので、この添加は重要である。他に鉄および高酸素レベルの添加がある。表2は、各調合物のトランザス温度も示している。

【0031】

【表3】

表3 第1回目繰返しの引張結果*

溶解	時効 °F/Hrs [°C/Hrs]	降伏強度 Y S Ksi [Mpa]	最終強度 U T S Ksi [Mpa]	伸び % E I	絞り % R A
V8226	950/16 [510/16]	214 [1475. 5]	222 [1530. 6]	7	9
	"	212 [1461. 7]	220 [1516. 9]	5	12
	1000/12 [537. 8/12]	209 [1441]	237 [1634. 1]	6	13
	"	210 [1447. 9]	219 [1510]	5	12
	1050/8 [565. 6/8]	203 [1399. 6]	207 [1427. 2]	7	17
	"	198 [1365. 2]	205 [1413. 4]	6	15
	1100/8 [593. 3/8]	191 [1316. 9]	197 [1358. 3]	10	29
	"	191 [1316. 9]	197 [1358. 3]	9	25
V8227	950/16 [510/16]	227 [1565. 1]	234 [1613. 4]	4	9
	"	230 [1585. 8]	239 [1647. 8]	5	15
	1000/12 [537. 8/12]	222 [1530. 6]	222 [1530. 6]	6	15
	"	225 [1551. 3]	231 [1592. 7]	5	19
	1050/8 [565. 6/8]	214 [1475. 5]	221 [1523. 7]	8	15
	"	213 [1468. 6]	220 [1516. 9]	6	12
	1100/8 [593. 3/8]	205 [1413. 4]	211 [1454. 8]	9	21
	"	201 [1385. 9]	207 [1427. 2]	10	17
V8228	950/16 [510/16]	206 [1420. 3]	214 [1475. 5]	8	22
	"	207 [1427. 2]	213 [1468. 6]	9	23
	1000/12 [537. 8/12]	197 [1358. 3]	205 [1413. 4]	10	26
	"	194 [1337. 6]	201 [1385. 9]	14	39
	1050/8 [565. 6/8]	190 [1310]	194 [1337. 6]	11	31
	"	189 [1303. 1]	192 [1323. 8]	13	44
	1100/8 [593. 3/8]	180 [1241. 1]	182 [1254. 9]	13	40
	"	179 [1234. 2]	179 [1234. 2]	13	39

* 材料は全て、 β トランザスより 80°F [26.7°C] 下で溶体化処理し、全て、°F/Hrs [°C/Hrs] で示された時効処理をした。

10

20

30

40

【表4】

表3(続き) 第1回目繰返しの引張結果*

溶解	時効 °F/Hr [°C/Hr]	降伏強度 Y S ksi [Mpa]	最終強度 U T S Ksi [Mpa]	伸び % E I	絞り % R A
V8229	950/16 [510/16]	208 [1434.1]	224 [1544.4]	6	12
	"	209 [1441]	218 [1503.1]	7	11
	1000/12 [537.8/12]	205 [1413.4]	209 [1441]	8	17
	"	200 [1379]	208 [1434.1]	8	19
	1050/8 [565.6/8]	188 [1296.2]	198 [1365.2]	7	19
	"	187 [1289.3]	199 [1372.1]	11	26
	1100/8 [593.3/8]	176 [1213.5]	188 [1296.2]	11	41
	"	178 [1227.3]	187 [1289.3]	12	38
V8230	950/16 [510/16]	212 [1461.7]	220 [1516.9]	6	14
	"	212 [1461.7]	219 [1510]	9	20
	1000/12 [537.8/12]	204 [1406.5]	211 [1454.8]	11	26
	"	197 [1358.3]	208 [1434.1]	9	16
	1050/8 [565.6/8]	198 [1365.2]	204 [1406.5]	10	28
	"	195 [1344.5]	202 [1392.7]	9	23
	1100/8 [593.3/8]	182 [1254.9]	191 [1316.9]	10	25
	"	187 [1289.3]	194 [1337.6]	12	38
V8231	950/16 [510/16]	208 [1434.1]	220 [1516.9]	6	18
	"	208 [1434.1]	220 [1516.9]	8	15
	1000/12 [537.8/12]	200 [1379]	207 [1427.2]	9	23
	"	199 [1372.1]	208 [1434.1]	10	28
	1050/8 [565.6/8]	193 [1330.7]	195 [1344.5]	10	22
	"	191 [1316.9]	199 [1372.1]	11	33
	1100/8 [593.3/8]	184 [1268.6]	189 [1303.1]	11	36
	"	184 [1268.6]	190 [1310]	12	34

* 材料は全て、 β トランザスより 80°F (26.7°C) 下で溶体化処理し、全て、°F/Hrs [°C/Hrs] で示された時効処理をした。

10

20

30

40

【表5】

表4 第1回目繰返しの引張結果の回帰分析

溶解No.	式 ksi [MPa]	r-自乗	UTS:215ksi [1482.4MPa] で 計算された%EI
V8226	%EI=26.0-0.0897UTS [%EI=26.0-0.6185UTS]	0.46	6.7 8.5
V8227	%EI=46.8-0.1802UTS [%EI=46.8-1.2424UTS]	0.84	8.1 11.1
V8228	%EI=37.3-0.1313UTS [%EI=37.3-0.9053UTS]	0.60	9.1 11.7
V8229	%EI=41.7-0.1635UTS [%EI=41.7-1.1273UTS]	0.64	6.5 9.2
V8230	%EI=31.7-0.1078UTS [%EI=31.7-0.7433UTS]	0.42	8.5 10.7
V8231	%EI=38.6-0.1425UTS [%EI=38.6-0.9825UTS]	0.81	8.0 10.8

溶解No.	式 ksi [MPa]	r-自乗	UTS:215ksi [1482.4MPa] で 計算された%RA
V8226	%RA=101.0-0.3966UTS [%RA=101.0-2.7345UTS]	0.62	15.7 23.7
V8227	%RA=49.1-0.1513UTS [%RA=49.1-1.0432UTS]	0.20	16.5 19.6
V8228	%RA=138.0-0.5315UTS [%RA=138.0-3.6646UTS]	0.66	23.7 34.6
V8229	%RA=181.7-0.77089UTS [%RA=181.7-5.31510UTS]	0.85	13.5 29.8
V8230	%RA=125.1-0.4915UTS [%RA=125.1-3.3888UTS]	0.48	19.4 28.6
V8231	%RA=134.5-0.5325UTS [%RA=134.5-3.6715UTS]	0.71	20.0 30.7

【0034】

表3は、棒に加工され熱処理された表2に示した実験的な合金調合物の第1回目の繰返しから得られた単軸引張りの結果をまとめている。表4は、表3のデータの回帰分析を示している。

【0035】

注目すべき第一の事項は、表3（実験室サイズのTi-17の溶解）に挙げられたTi-17材と表1（製造サイズのTi-17の溶解）に挙げられた材料の引張特許性の比較

である。1344.5 MPa (195 ksi) および 1482.4 MPa (215 ksi) において、実験室サイズの溶解で計算された % EI 値は、フルサイズの溶解において得られた値のそれぞれ 78% 及び 83% であり、計算された % RA 値は、同じそれぞれ強度での 67% および 62% である。

このデータは、フルサイズの溶解に対して実験室サイズの溶解が大きく下落することを明確に示しており、比較可能なサイズの溶解での結果を比較することの必要性を強めている。

【0036】

表4にまとめた結果は、1344.5 MPa (195 ksi) および 1482.4 MPa (215 ksi) の強度レベルで、溶解 V8228 が最良の延性の組み合わせを備えており、Ti-17 ベースライン合金のそれを十分上回っていることを示している。実際に Ti-17 ベースライン合金と比較すると、1344.5 および 1482.4 MPa (195 および 215 ksi) のそれぞれの強度レベルにおいて、溶解 V8228 の % EI 値は、38% および 36% 高く、% RA 値は、46% および 51% 高く、20% 以上の向上目標を十分超えている。

【0037】

さらに、表4のデータを検討すると、2つの場合を除く全ての場合において、表2の実験的合金は、ベースラインの Ti-17 合金に比べて、優れた特性を備えたことを示している。1344.5 MPa (195 ksi) での溶解 V8227 の計算された % RA と 1482.4 MPa (215 ksi) での溶解 V8229 の % RA のみが Ti-17 ベースライン合金を超える向上を示さなかった。これらの結果から以下の結論が導かれた。

【0038】

バナジウムを添加した合金は、バナジウムのない同様の合金よりも良好になっていた。バナジウム添加の効果は、2.4% の範囲の添加で最高になるようであった。

【0039】

酸素レベルを上げた合金は、酸素レベルを低減した合金よりも良好であった。

【0040】

鉄を約 0.5% を超えて添加しても効果はないようである。

【0041】

アルミニウムは、約 4% 未満の低いレベルが有利なようである。

【0042】

実験的溶解の全てが、ベースライン Ti-17 のレベルに比べて、僅かに高いシリコンレベルであった。（おそらく、バナジウムの母合金が微量のシリコンレベルを伴ったためであろう。）この僅かに高いシリコンレベルは有害ではない。

【0043】

【表6】

表5 第2回目繰返し溶解—化学組成及び β トランザス

溶解 No.	Al	Sn	Zr	Cr	Mo	V	Fe	Si	O	β トランザス。F [°C]
V8247	3.65	1.96	2.39	3.23	2.55	2.37	0.50	0.035	0.167	1600 [871.1]
V8248	3.72	2.01	2.44	3.33	2.60	2.38	0.50	0.034	0.222	1610 [876.7]
V8249	3.62	1.94	2.31	3.16	2.50	2.36	0.53	0.069	0.208	1620 [882.2]
V8250	3.64	1.96	2.31	3.20	2.57	2.37	0.48	0.070	0.174	1590 [865.6]
V8251	3.13	1.97	2.48	3.17	2.52	2.35	0.48	0.035	0.164	1580 [860]
V8252	3.16	1.92	2.43	3.13	2.48	2.35	0.46	0.070	0.171	1580 [860]

* 化学組成は質量% ; β トランザスは F [°C] である。

【0044】

第1回目の溶解の繰返し (iteration) で得られた優れた特性に鑑み、最良の合金、すなわち溶解 V 8 2 2 8、の化学組成を洗練 (refine) するためには追加の繰返しが望ましいとされた。表5は、この実験溶解の第2回目の繰返しをまとめている。最初の溶解、V 8 2 4 7 は、実質的に V 8 2 2 8 の繰返しである。これは、その結果の再現性を測るものである。第2回目の繰り返しの他の溶解は、V 8 2 2 8 / V 8 2 4 7 調合物に対して以下

10

20

30

40

50

のような修正を加えている。

【0045】

- 溶解V8248は、第1回目の繰り返し溶解のどれよりも高い、0.222wt%の高い酸素を試験している。

【0046】

- 溶解V8249は、より高い酸素(0.208%)を、より高いシリコン、V8247の2倍、と組み合わせて評価している。

【0047】

- 溶解V8250は、より高いシリコンレベルのみを、すなわち、高い酸素なしで、試験している。

10

【0048】

- 溶解V8251およびV8252は、より低いアルミニウムレベル(V8547より約0.5%少ない)を、一つの場合(V8251)は、同じシリコンレベルで、他(V8252)は、より高いシリコンレベルで試験している。

【0049】

【表7】

表6 第2回目繰返しの引張結果*

溶解	時効 °F/Hrs [°C/Hrs]	降伏強度 Y S ksi [Mpa]	最終強度 U T S Ksi [Mpa]	伸び % E I	絞り % R A
V8247	980/8 [526.7/8]	181 [1248]	192 [1323.8]	14	33
	"	185 [1275.5]	196 [1351.4]	12	28
	1040/8 [560/8]	174 [1199.7]	182 [1254.9]	16	39
	"	173 [1192.8]	182 [1254.9]	16	41
	1100/8 [593.3/8]	161 [1110.1]	169 [1165.2]	17	47
	"	161 [1110.1]	169 [1165.2]	19	43
	1160/8 [626.7/8]	152 [1048]	162 [1117]	18	50
	"	153 [1054.9]	162 [1117]	19	44
V8248	980/8 [526.7/8]	189 [1303.1]	199 [1372.1]	10	22
	"	189 [1303.1]	200 [1379]	12	30
	1040/8 [560/8]	179 [1234.2]	188 [1296.2]	13	38
	"	178 [1227.3]	187 [1289.3]	12	43
	1100/8 [593.3/8]	167 [1151.4]	175 [1206.6]	15	40
	"	165 [1137.6]	173 [1192.8]	14	38
	1160/8 [626.7/8]	155 [1068.7]	163 [1123.9]	16	43
	"	155 [1068.7]	163 [1123.9]	16	44
V8249	980/8 [526.7/8]	196 [1351.4]	206 [1420.3]	9	20
	"	202 [1392.7]	211 [1454.8]	8	23
	1040/8 [560/8]	186 [1282.4]	195 [1344.5]	12	34
	"	186 [1282.4]	195 [1344.5]	10	20
	1100/8 [593.3/8]	176 [1213.5]	178 [1227.3]	14	36
	"	174 [1199.7]	182 [1254.9]	12	27
	1160/8 [626.7/8]	161 [1110.1]	170 [1172.1]	15	31
	"	162 [1117]	179 [1234.2]	15	33

* 材料は全て、 β トランザスより 80°F (26.7°C) 下で溶体化処理し、全て、°F/Hrs [°C/Hrs] で示された時効処理をした。

10

20

30

40

【表8】

表6(続き) 第2回目繰返しの引張結果*

溶解	時効 °F/Hrs [°C/Hr]	降伏強度 Y S ksi [Mpa]	最終強度 U T S ksi [Mpa]	伸び % E I	絞り % R A
V8250	980/8 [526.7/8]	186 [1282.4]	197 [1358.3]	11	33
	"	185 [1275.5]	196 [1351.4]	13	36
	1040/8 [560/8]	180 [1241.1]	189 [1303.1]	13	31
	"	178 [1227.3]	187 [1289.3]	14	37
	1100/8 [593.3/8]	164 [1130.7]	171 [1179]	15	38
	"	165 [1137.6]	173 [1192.8]	15	37
	1160/8 [626.7/8]	155 [1068.7]	163 [1123.9]	16	40
	"	155 [1068.7]	164 [1130.7]	15	33
V8251	980/8 [526.7/8]	171 [1179]	183 [1261.7]	13	28
	"	173 [1192.8]	184 [1268.6]	14	33
	1040/8 [560/8]	170 [1172.1]	179 [1234.2]	14	37
	"	173 [1192.8]	182 [1254.9]	13	32
	1100/8 [593.3/8]	158 [1089.4]	166 [1144.5]	17	46
	"	158 [1089.4]	167 [1151.4]	14	41
	1160/8 [626.7/8]	149 [1027.3]	158 [1089.4]	18	47
	"	149 [1027.3]	158 [1089.4]	18	43
V8252	980/8 [526.7/8]	175 [1206.6]	186 [1282.4]	13	32
	"	176 [1213.5]	190 [1310]	10	27
	1040/8 [560/8]	168 [1158.3]	176 [1213.5]	13	36
	"	165 [1137.6]	174 [1199.7]	13	35
	1100/8 [593.3/8]	156 [1075.6]	165 [1137.6]	16	42
	"	152 [1048]	160 [1103.2]	17	39
	1160/8 [626.7/8]	147 [1013.5]	156 [1075.6]	16	39
	"	147 [1013.5]	157 [1082.5]	18	40

*材料は全て、 β トランザスより 80°F [26.7°C] 下で溶体化処理し、全て、°F/Hrs [°C//Hrs] で示された時効処理をした。

10

20

30

40

【表9】

表7 第2回目繰返しの引張結果の回帰分析

溶解No.	式 ksi [MPa]	r-自乗 UTS : 215ksi [1482.4MPa] で 計算された%EI	UTS : 195ksi [1344.5MPa] で 計算された%EI
V8247	%EI = 4.6. 7 - 0. 1719UTS [%EI = 4.6. 7 - 1. 1852UTS]	0. 88	9. 7
V8248	%EI = 3.8. 2 - 0. 1364UTS [%EI = 3.8. 2 - 0. 9404UTS]	0. 88	8. 9
V8249	%EI = 4.3. 1 - 0. 1659UTS [%EI = 4.3. 1 - 1. 1438UTS]	0. 94	7. 4
V8250	%EI = 3.5. 2 - 0. 1170UTS [%EI = 3.5. 2 - 0. 8067UTS]	0. 89	10. 0
V8252	%EI = 4.5. 3 - 0. 1755UTS [%EI = 4.5. 3 - 1. 2100UTS]	0. 81	7. 6
V8252	%EI = 4.7. 0 - 0. 1906UTS [%EI = 4.7. 0 - 1. 3141UTS]	0. 87	6. 0

溶解No.	式 ksi [MPa]	r-自乗 UTS : 215ksi [1482.4MPa] で 計算された%RA	UTS : 195ksi [1344.5MPa] で 計算された%RA
V8247	%RA = 1.30. 2 - 0. 5047UTS [%RA = 1.30. 2 - 3. 4798UTS]	0. 87	21. 1
V8248	%RA = 1.11. 2 - 0. 4084UTS [%RA = 1.11. 2 - 2. 8158UTS]	0. 62	23. 4
V8249	%RA = 8.3. 85 - 0. . 2952UTS [%RA = 8.3. 85 - 2. . 0353UTS]	0. 68	20. 4
V8250	%RA = 5.3. 5 - 0. . 0993UTS [%RA = 5.3. 5 - 0. . 6846UTS]	0. 21	32. 1
V8251	%RA = 1.36. 39 - 0. . 5726UTS [%RA = 1.36. 39 - 3. . 9479UTS]	0. 84	13. 8
V8252	%RA = 9.3. 7 - 0. . 3370UTS [%RA = 9.3. 7 - 2. . 3235UTS]	0. 81	21. 2

【0052】

実験室サイズの第2回目の繰返し溶解は、第1回目の繰返し溶解で先に略述したように処理した。引張試験を再び行い、その結果を表6にまとめた。このデータを回帰分析で分析し、その結果を表7に示す。

【0053】

表7からいくつかの結論が導かれる。第一に、第1回目の繰り返し溶解のV8228とその再現のV8247の間の相関は全く満足すべきものである。

第二に、合金は、シリコンレベルが低い場合は約0.22%以下の酸素は許容できるが、より高いシリコンレベルでは、より高い酸素レベルと組み合わさった場合は、僅かな下落があることが明らかである。

酸素レベルが約0.17%の中間範囲にある限りにおいては、より高いシリコンレベルが特性に重大な損失を与えることはないようである。最後に、より低いアルミニウムレベル（約3.2%より低い）は、より高いレベルより劣っており、アルミニウムは3.2%レベルより上に維持すべきであることを示唆している。これらは全て、3.6%～3.7%の中間のアルミニウムレベルを有しており、そして、全て、最高の酸素と組み合わさった低いか、あるいは中間の酸素レベルと組み合わさった高いか又は低いか、の何れかのシリコンレベルを有している。

【0054】

【表10】

溶解No.	溶体化処理 °F (°C)	時効 °F/Hrs [°C/Hrs]	降伏強度 Y S K s i [MPa]	最終引張強度 UT S K s i [MPa]	伸び % E I	絞り % R A	二面剪断 K s i [MPa]	二面剪断 UT S の % で表示	平均二面剪 断: UT S の % で表示
									試験無効
V8226	β-110F [β-43.3°C]	975/12 [523.9/12]	186 [1282.4]	213 [1468.6]	5	12	106 [730.8]	49.8%	
"	"	"	193 [1330.7]	202 [1392.7]	9	17	107 [737.7]	53.0%	
"	"	1050/8 [565.6/8]	188 [1296.2]	196 [1351.4]	10	24	106 [730.8]	54.1%	53.4%
"	"	1050/8 [565.6/8]	182 [1254.9]	189 [1303.1]	12	33	107 [737.7]	56.6%	
V8228	β-100F [β-37.8°C]	975/12 [523.9/12]	97 [1358.3]	207 [1427.2]	9	19	112 [772.2]	54.1%	
"	"	193	203	9	21	"		54.7%	
"	"	1025/8 [551.7/8]	189 [1303.1]	198 [1365.2]	13	38	108 [744.6]	54.5%	55.0%
"	"	"	189 [1303.1]	198 [1365.2]	9	35	112 [772.2]	56.6%	
V8247	β-130F [β-54.4°C]	975/12 [523.9/12]	91 [316.9]	202 [1392.7]	12	31	110 [758.4]	54.5%	
"	"	"		試験無効					55.6%
"	"	1025/8 [551.7/8]	189 [1303.1]	198 [1365.2]	13	38	"	56.1%	
"	"	"	189 [1303.1]	198 [1365.2]	9	35	"	56.1%	

【0055】

【表 1 1】

表 8 (続き) 選択された溶解からの引張及び二面剪断の結果

溶解No.	溶体化処理 °F [°C]	時効 °F [°C]	降伏強度 Y _S K _s i [MPa]	最終引張強度 UTS K _s i [MPa]	伸び %E I	絞り %RA	二面剪断 K _s i [MPa]	二面剪断:UTS % 表示	平均二面剪 断:UTS % 表示
V8250	β-150F [β-65. 6°C]	925/12 [496. 1/12]	191 [1316. 9]	204 [1406. 5]	11	29	113 [779. 1]	55. 4%	
"	"	"	191 [1316. 9]	204 [1406. 5]	12	32	116 [799. 8]	56. 9%	
"	"	975/12 [523. 9/12]	187 [1289. 3]	198 [1365. 2]	12	38	112 [772. 2]	56. 6%	
"	"	"	188 [1296. 2]	199 [1372. 1]	11	37	109 [751. 5]	54. 8%	
"	β-120F [β-48. 9°C]	975/12 [523. 9/12]	203 [1399. 6]	213 [1468. 6]	8	16	112 [772. 2]	52. 6%	
"	"	"	192 [1323. 8]	204 [1406. 5]	10	29	113 [779. 1]	55. 4%	
"	"	1025/8 [551. 7/8]	181 [1248]	191 [1316. 9]	12	43	109 [751. 5]	57. 1%	
"	"	"	183 [1261. 7]	192 [1323. 8]	13	40	107 [737. 7]	55. 7%	
全体平均: 55. 0%									

【0056】

製造された合金の特性能力を最終決定するものとして、化学組成内の4つ(ベースラインTi-17の溶解V8226、第1回目の繰返しのうちの最良のもの：溶解V8228、V8228を再現したものの：溶解V8247、および溶解V8250)を二面剪断テストのために選択した。各溶解からの棒は、それぞれの トランザス値より低い種々の温度(degree)で溶体化処理し、ファンで空冷した。そして、目標とした1344.5 MPa(195ksi)~1482.4 MPa(215ksi)の範囲の強度レベルを製造す

ることを目的とした様々な条件で時効した。これらの棒は、次に、二面剪断ならびに型どおりの単軸引張り特性の試験を行った。その結果を表8に示した。

【0057】

表8に示されたデータからいくつかの結論を引き出せる。第一に、実験室サイズの溶解の二面剪断強度の値は、それらの対応するUTS値の55%の範囲にあり、Ti-17ベースライン溶解(V8226)は、53.4%の最も低い平均を示している。市場向けのTi-17溶解からの棒は、UTSの59.8%の平均二面剪断強度を示していたので、実験室対市場向けの溶解に関連して、ほぼ6.4%ポイントの、全体として10%を僅かに超える、下落が判る。

延性に関して先に注目したように、小さい実験室溶解によって与えられるマクロ組織の微細化が不足するため、このことは予期されなかったことではない。しかしながらこれは、もし、これらがより大きな市場向けの溶解から処理されたなら、実験室サイズの調合物より名目上10%高い値を期待出来ることを示している。

そのような増加により、表8に示した実験室溶解のデータは二面剪断強度806.7 MPa(117ksi)~889.4 MPa(129ksi)の範囲に置かれることになり、最小758.4 MPa(110ksi)の目標に十分適合する。

フロントページの続き

(56)参考文献 特開平05-148599(JP,A)
特開2003-013159(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
C22C 1/00 - 49/14