論
Paper
説

高性能Near- 耐熱Ti合金ディスクの開発

野田俊治^{*}，岡部道生^{**}，磯部 晋^{*}

Development of High Performance Heat Resistant Near-Alpha Titanium Alloy Compressor Disk

Toshiharu Noda, Michio Okabe and Susumu Isobe

Synopsis

For near-alpha DAT54, Ti-5.8Al-4Sn-3.5Zr-2.8Mo-0.7Nb-0.4Si-0.06C, designed as a compressor disk alloy, the optimum primary alpha was defined 17vol.% in the transformed beta. The full-scale disks in the alloy were successfully manufactured through the melting by PPC-VAR-VAR and the thermomechanical processing by GFM press- die forge. The solution treatment for the above structure, at beta transus-25 , contributed to the proper balance of the LCF life with the creep strength of the disks up to 540 .

1 . 緒 言

先進ジェットエンジンの推力 / 重量比を高めるためには，各部品の軽量化が極めて大きな課題である．高温で稼動するコンプレッサーディスク後段には，これまで耐熱超合金が使用されてきた．しかし，耐熱超合金に比べ比重が40%小さい耐熱Ti合金は，比強度（強度 / 密度）が高く，近年従来の超合金に替わる新しいコンプレッサーディスク材料として実用化が進められている．

より高性能な耐熱Ti合金を開発するため，これまで特に英国および米国において多大な努力がなされてきた．英国ではnear- 合金のIMI829が開発された．この合金は変態組織を有し，クリープ特性に優れている．しかし，低サイクル疲労(LCF)特性については + 組織を有する合金に比べて劣っていた．そこで，クリープ特性とLCF特性を同時に高めるため，変態組織に少量の等軸粒を含むnear- 合金IMI834が開発された^{1), 2)}．一方，米国

ではIMI834よりクリープ特性の優れた合金として 変態組織を有するTi-1100が開発された³⁾．

著者らは，これまでIMI834の機械的性質におよぼす合金元素の影響を調査してきた．Fig.1は引張特性およびクリープ速度におよぼす合金元素の影響を示したものである．これらの元素の中で特にMoが高強度化に効果があり，2.8%までは延性を劣化させないことが判明した⁴⁾．そこで著者らは，これらの合金の中で最も優れたものをDAT54(Ti-5.8Al-4.0Sn-3.5Zr-2.8Mo-0.7Nb-0.4Si-0.06C)⁵⁾と命名した．

コンプレッサーディスクでは，特にボア部のLCF特性およびリム部のクリープ特性が大きな問題となる．そこで本研究では，DAT54においてLCF特性とクリープ特性の両方に優れた組織を得るため，組織の最適化を行うとともに，実規模サイズのディスクを試作し，その性能を検証することを目的とした．

1995年4月18日受付

^{*} 大同特殊鋼(株)技術開発研究所(Research & Development Lab., Daido Steel Co., Ltd.)

^{**} 大同特殊鋼(株)技術開発研究所，工博(Dr., Eng., Research & Development Lab., Daido Steel Co., Ltd.)

Fig. 1. Effect of alloying elements on mechanical properties of a near-alpha alloy

2. 実験方法

2.1 組織の最適化

本実験では、DAT54のパンケーキ試験片を用いた。合金はプラズマ積層凝固(PPC)炉によって1次溶解を行い、直径190mm、重量約70kgの電極に鋳造した。その後、真空アーク溶解(VAR)炉によって2回再溶解を行い、直径240mmのインゴットに鋳造した。このインゴットを温度域で直径190mmまで分塊鍛造を行い、その後、+温度域において直径110mmの丸棒に鍛造した。この丸棒より直径100mm、長さ150mmの鍛造素材を切り出し、これを+温度域で厚さ35mmのパンケーキに据え込み鍛造を行った。

パンケーキ試験片には、変態温度(1010)の上下の各温度で1時間の固溶化熱処理を行った後、空冷を行った。次に、635/1hr、空冷の時効熱処理を行った。特性評価

用試験片はすべて半径方向から採取した。特性評価としてLCF試験およびクリープ試験を実施した。LCF試験は、450でひずみ速度0.2/sの三角波を用いてA=1で行い、クリープ試験は540で初期応力300MPaの一定荷重で行った。

2.2 実規模ディスクの試作および特性評価

一次溶解としてPPCで溶解し、直径410mm、重量1.8tのインゴットに鋳造した後、VARにより2回再溶解し、最終直径530mmのインゴットに鋳造した。インゴットは、4面拘束鍛造機(GFM)により、直径210mmのビレットに鍛造した。このビレットから、直径200mm、長さ302mmの鍛造素材を機械加工によって加工し、800tプレスによりパンケーキに据え込み鍛造した後、35m・tカウンタブローハンマーによって直径425mm、高さ90mmのディスクに型打鍛造した。鍛造はいずれも+温度域で行った。

固溶化熱処理は、前述した組織の最適化試験で決定した温度(変態温度直下25)で2時間行い、Arガスによりファン冷却した。さらに時効熱処理として635/2hr、空冷の熱処理を行った。

特性評価として、LCF試験およびクリープ試験を行った。LCF試験は、450および540で行い、クリープ試験は500~600、150MPa~600MPaの一定荷重で行った。その他の条件は、組織の最適化で行った条件と同一である。

3. 結果および考察

3.1 組織の最適化

パンケーキ鍛造材を用い、変態温度(T)の上下において固溶化熱処理を行った試料のミクロ組織をFig.2に示す。最も温度の高いT+50では全体が変態組織

Fig. 2. Microstructure of specimens solution treated at various temperatures.

(+針状組織)となっている。これに対し、Tより温度が低下すると変態組織のマトリックスに白色の等

軸 相が認められ、温度の低下とともにその量が増加し、 $T = -70$ では45%に達しているのが観察される。

Fig.3は、等軸 粒量がLCF特性とクリープ特性に及ぼす影響を示したものである。LCF寿命は、等軸 粒量が

Fig. 3. Effect of primary alpha volume

約30%まで増加を示し、それ以上では一定となった。一方100時間クリープひずみは、等軸 粒量の増加とともに単調に増加を示し、クリープ特性の劣化が認められた。したがって、これら相反する特性の最適化には約17%の等軸 粒が必要であることがわかる。この値は、IMI834で推奨される7.5～15%に比べ若干高い値である²⁾。以上の結果を基に、最適固溶化熱処理温度を $T = -25$ と決定した。

3. 2 実規模ディスクの評価

直径210mmの鍛造素材ピレットのマクロ組織をFig.4に示す。表面から中心部まで、部分的な粗大結晶粒およ

び高比重介在物などは認められず、良好なマクロ組織を示している。Fig.5は鍛造ままのディスク断面のマクロ

Fig. 5. Macrostructure of an as-forged disk.

組織である。表面および内部には、鍛造によるクラックは認められず、正常な塑性流動を呈している。Fig.6に熱処理後のディスク断面のマクロおよびミクロ組織を示す。これによると、各部位のマクロ組織およびミクロ組

Fig. 6. Macrostructure and microstructure

織には差がなく均質であることがわかる。また、これらミクロ組織の等軸 粒量および変態 粒の大きさは、それぞれ18%および $30 \mu m$ 以下であった。

Fig.7に450 のLCF試験の結果を示す。DAT54のパンケーキ試験片およびIMI834の棒材試験片の結果⁶⁾に比べると、全ひずみ1%以上の高ひずみ域では3種の寿命はほぼ同一であった。しかし、全ひずみ1%以下における疲労寿命は、より多くの等軸 粒を有するディスクの方が長く、優れているのがわかる。Fig.8に540 のLCF試験の結果を示す。これによると、ディスクの疲労寿命は、変態 組織のIMI829に比べ長く、全ひずみ1%以下にお

Fig. 7. LCF life of the disk at 450 .

Fig. 8. LCF life of the disk at 540 .

ける疲労寿命は、等軸 粒を含むTi-6242Sに比べ優れているのがわかる⁷⁾。

ディスクのクリープ強度をFig.9に示す。540℃ではTi-

Fig.9.Creep strength of the disk.

6242Sに比べると、ディスクのクリープ強度は約100MPa 高く、クリープ特性に優れた 変態組織を有するIMI829 と同等であることがわかる。一方540℃以上では、ディスクより等軸 粒が少ないDAT54パンケーキやIMI834およびIMI829に比べると強度の低下が認められる。

4 . 結 論

新しく開発したNear- 耐熱Ti合金DAT54について、コンプレッサーディスクとしての組織の最適化を検討し、実規模ディスクの試作を行いその特性を評価した結果、以下の結論を得た。

- 1) 等軸 粒を約17%含む 変態組織が、LCFおよびクリープ特性の両方のバランスに優れることが明らかとなった。そこで、本組織を得る固溶化熱処理温度をT₂₅と決定した。
- 2) PPC-VA-VAの溶解プロセス、GFM - 据込 - 型打鍛造の鍛造プロセスによって実規模ディスクの試作を行った結果、DAT54は良好な鍛造性を示し健全なディスクを作製すること可能であった。
- 3) 実規模ディスクの評価の結果、ディスクの機械的性質は従来材に比べ優れた特性を示し、540℃までの適用が可能なことが明らかとなった。

5 . 謝 辞

本研究は、石川島播磨重工業(株)との共同研究によって行われたものであり、発表にあたり石川島播磨重工業(株)航空宇宙事業本部技術開発事業部材料技術部 課長 服部博氏、同部主任 錦織貞郎氏をはじめ関係諸氏に深く感謝致します。

(文 献)

- 1) D. F. Neal : Titanium Science and Technology, 4(1984), 2419
- 2) D. F. Neal : Sixth World Conference on Titanium, Eds.P.Lacombe,R.Tricot and G.Beranger,Cannes,(1988),253
- 3) J. S. Park, S. H. Reichman and R. G. Broadwell : Sixth World Conference on Titanium, Eds. P. Lacombe, R. Tricot and G. Beranger, Cannes, (1988), 1283
- 4) K. Yamada, T. Noda, T. Iikubo, T. Ikushima and H. Hattori : Proceeding of the 3rd Japan International SAMPE

Symposium, Eds. T. Kishi, N. Takeda and Y. Kagawa, Chiba, (1993),1926

5) T. Noda, M. Okabe, S. Isobe, S. Nishikiori and H. Hattori : 8th World Conference on Titanium, Birmingham, UK, (Oct.,1995), in print

6) T. Noda, M. Okabe, S. Isobe, S. Nishikiori and H. Hattori : Unpublished Research

7) T. Matsumoto : Proceeding of the 3rd Japan International SAMPE Symposium, Eds. T. Kishi, N. Takeda and Y. Kagawa, Chiba, (1993), 1920