

2009年(平成21年)3月13日

世界最高の耐熱特性を持つ航空機エンジン用鍛造合金素材の製造技術開発に成功

三菱マテリアル株式会社
独立行政法人物質・材料研究機構

三菱マテリアル株式会社(社長:井手明彦 以下、三菱マテリアル)と独立行政法人物質・材料研究機構(理事長:岸輝雄 以下、NIMS)は、世界最高の耐熱特性を持つ鍛造合金素材の製造技術を開発するとともに、国内に設備を有する溶解・鍛造プロセスを用いて航空機エンジン用タービンディスク素材を製作することに成功しました。

今回の研究開発は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(以下、NEDO)の委託を受け2007年に開始されました。NIMS・超耐熱材料センターで開発されたニッケル・コバルト基耐熱合金(TMW合金)の製品実用化を目的として、三菱マテリアル・桶川製作所においてトン級のインゴットから鍛造工程を経て熱処理にいたる製造技術開発を行いました。

通常、航空機エンジンのタービンディスクやコンプレッサーブレードなどの高温高強度部材には、耐熱性に優れたニッケル基鍛造超合金が採用されていますが、材料の耐用温度をさらに高めるためには様々な合金元素を添加する必要がある一方、成分のばらつきや製造工程中の割れが発生しやすくなるという問題があります。こうした問題を克服するため、インゴット溶解条件の選定により、結晶粒径10ミクロンの均質な微細組織を持つ実用化可能サイズ(φ440mm)の試作タービンディスク素材の作製に成功しました。また、このタービンディスク素材の高温特性をクリープ試験(注1)で評価した結果、現在実用化されている高強度鍛造超耐熱合金(アロイ720Li)より50℃以上高い、鍛造可能なものとしては世界最高の耐用温度を有することが確認されました。

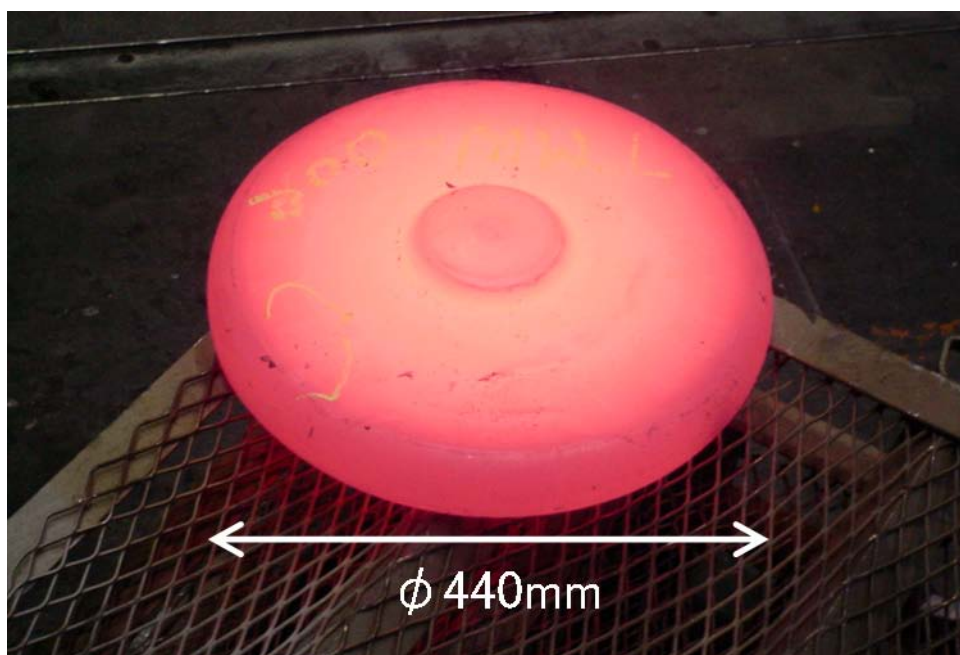
航空機エンジンのなかでもタービンディスクは、特に高温・高圧の環境下で回転する大型部品であるため、非常に高い信頼性が要求され、これまで国内外の航空機用エンジンすべてにおいて、欧米で開発された合金製ディスクが使われてきました。一方、近年は、航空機運航時の燃料消費抑制の観点から、従来よりも高温で稼働可能な航空機エンジンが求められ、材料の耐用温度を高めることが必要とされています。今回、耐熱合金素材の製造技術開発及び実用化可能なサイズのTMW合金タービンディスク素材製作を実証したことにより、今後はNIMS開発合金を使用した国産タービンディスクの航空機エンジンや産業用ガスタービン市場への参入が期待できます。

<本件に関する報道機関からの問合せ先>

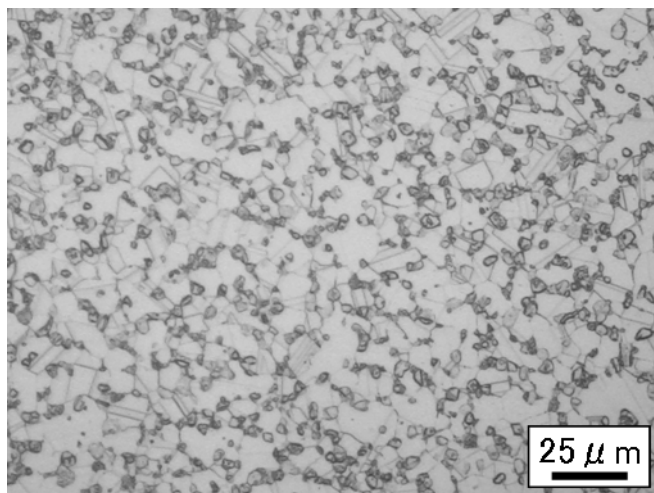
三菱マテリアル株式会社 広報・IR室 TEL.03-5252-5206
独立行政法人 物質・材料研究機構 広報室 TEL.029-859-2026

(参考)

プレス鍛造した TMW 合金製のタービンディスク素材



素材内部のマイクロ組織



【用語集】

1) タービンディスク :

タービンブレード（動翼）を外周部に固定する円盤状の部品。

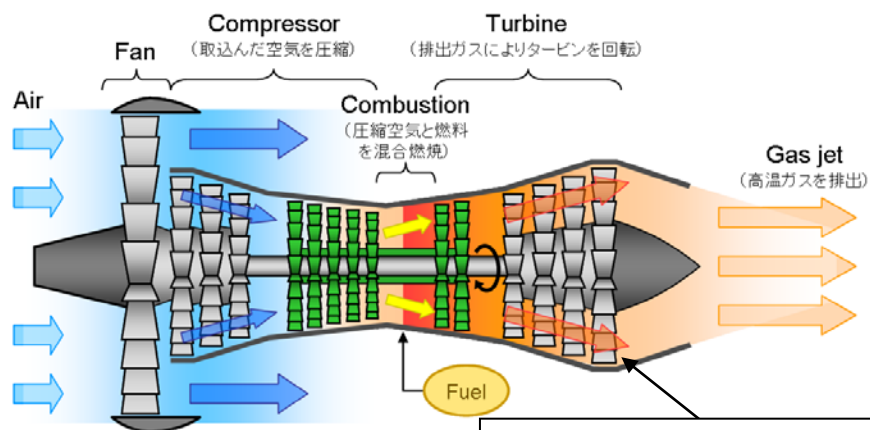


図 タービンディスク

(NEDO, 『高温タービンディスク製造技術に関する先導調査報告書』,2006,p.56)

あるいは、(JRCM,JRCM NEWS No.245, 2007,p.3)

航空機エンジンでは内部で発生した高温・高圧の燃焼ガスを受けたブレードはディスクとともに高速で回転し、その駆動力を伝達して前方のファン（風車）を回転させる。これにより新たな推進力が生まれる。



タービンディスクはタービン翼とともに高速回転します。
タービンは多段構造です。

図 ターボファンジェットエンジンの構造 (三菱マテリアル作成)

2) 超合金：

超耐熱合金、Superalloy とも呼ばれる、耐熱特性に特に優れた合金の総称であり、鉄基、ニッケル基、コバルト基がある。ジェットエンジンでは、最も高温環境となり耐熱特性が要求される燃焼器およびタービン部分に高温強度が高いニッケル基超合金が広く用いられている。

3) インゴット (鋳塊)：

溶解した金属を円筒形の鋳型の中で固め (凝固させ) た主に円柱形の塊。



図 インゴットの例 (三菱マテリア作成/写真は 1.6ton の VAR インゴット)

4) 鍛造：

金属を塑性変形させて所要の形状と性状を与える作業。ニッケル基超合金製タービンディスクの鍛造は、対象合金に適した温度域に加熱して、熱間で実施する。

5) クリープ試験：

材料の高温における機械的性質を調べる試験方法のひとつ。一定の温度と応力 (または荷重) を加え続けた時に、材料に生じる変位 (ひずみ) を測定または、ある変位 (ひずみ) に至るまでの時間を測定し、材料の高温における強度特性を評価する。

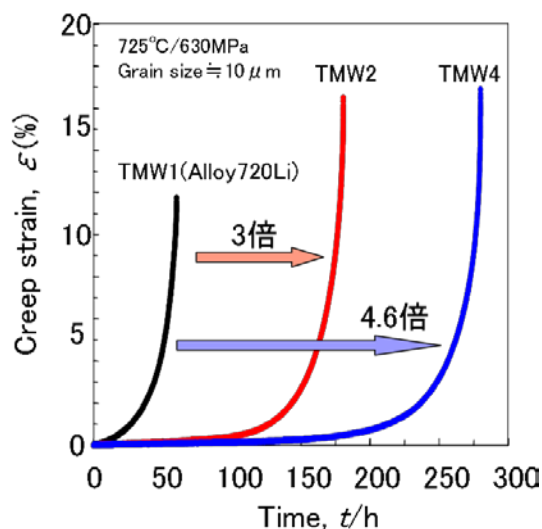


図 クリープ試験での時間・クリープひずみ曲線

(福田,谷,崔,原田,日本ガスタービン学会秋季大会,2007.9.)あるいは、(Y.Gu, H.Harada, C.Cui, D.Ping, A.Sato and J.Fujioka, Scripta Materialia, v55, 2006, pp.815-818)

6) 合金添加元素：

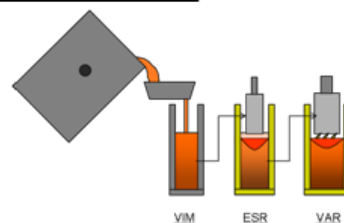
ニッケル基超耐熱合金は、ニッケルに様々な合金元素を添加して特性の向上を図っている。クロム、コバルト、モリブデン、タングステン、アルミニウム、チタン、ニオブなどが一般的な添加元素である。アルミニウムやチタン、ニオブなどを添加すると、熱処理との組み合わせにより強度が著しく増大する（時効析出強化）が、溶解工程でインゴットを作る際に成分のバラつきを生じやすく（成分偏析）、その制御が難しくなる。また、強度特性が高くなることは、素材の鍛造（塑性加工）をより難しくする。

7) トリプルメルト：

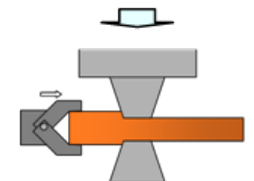
三重溶解プロセス。真空誘導加熱溶解（VIM）により鑄造した後、さらに2種類の溶解（エレクトロスラグ再溶解/ESR、真空アーク再溶解/VAR）を繰り返し、介在物が極めて少ない高纯净度のインゴットを作製する方法。

タービンディスクやシャフトなど航空機エンジンの中でも特に重要な部品の製造工程では、部材の信頼性を確保するためにしばしばこの溶解方法が用いられる。

Melting(Triple-melt)



Cogging



Forging

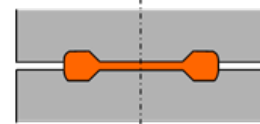


図 トリプルメルトを含む一連のディスク製造プロセス（三菱マテリアル作成）

三菱マテリアル株式会社

1. 三菱マテリアル株式会社は、創業以来、長年にわたり総合的素材メーカーとして、業界の発展に力をつくしてきました。桶川製作所(埼玉県)では、1944年に高性能特殊合金の製造を開始、1961年には、Ni基合金およびCo基合金の本格的な製造を国内他社に先駆けて開始しました。
2. 研究部門では、地球環境を美しく保つため化石燃料の利用効率の改善を目的として、継続的に耐熱合金の特性向上についての開発研究を実施しています。高性能エンジンに資する耐熱特性に優れた素材の開発は、顧客や国家の開発プロジェクトとしても重要な位置づけにあり、共同研究やプロジェクト参画により、多くの成果を上げてきました。
3. 三菱マテリアル株式会社のNi基合金タービンディスクの研究開発は、1990年代に開発された鍛造加工のシミュレーション技術により生産技術の進化をとげ、プレス加工によって結晶組織を高度に制御した航空機用ディスク製造技術を獲得しました。我が国における最大の航空機用タービンディスク素材製造メーカーです。
4. 高性能特殊合金を製造する桶川製作所では、高度な品質要求に応えるため、品質保証システムの客観性を重視した体制を指向してきました。国際規格、航空機品質マネジメント規格等の認証を保有し、高性能合金素材の高度な品質保証体制をとっています。

独立行政法人物質・材料研究機構

1. 独立行政法人物質・材料研究機構(NIMS)は、物質・材料の研究に特化した研究機関として、2001年4月に旧科学技術庁の金属材料技術研究所と無機材質研究所が合併し、発足いたしました。その後、5年間の第1期中期計画を終了し、2006年4月からは第2期中期計画に入っています。
2. 第1期では、金属、セラミックスに加えて、有機材料、生体材料についても新たな取り組みを行ってきました。第2期では、ナノテクノロジーを用いた物質・材料研究に重点を置くとともに、安全・安心な社会基盤の構築および環境・エネルギー問題に対応した材料研究を推進しています。
3. NIMS超耐熱材料センターは、金属材料技術研究所当時より、長年Ni基超合金の研究を行ってきました。特に、工業技術院ムーンライト計画「高効率ガスタービンの研究開発」(1979-1987年度)、同次世代産業基盤技術「高性能結晶制御合金」(1982-88年度)などの大型プロジェクトにおいては各種Ni基超合金の設計開発を担当、その一つとしてタービンディスク用合金の開発も行った実績があります。
4. 独立行政法人先導プログラムの一環として開始した新世紀耐熱材料プロジェクト(第1期:1999-2005年度、第2期:2006-10年度)では、民間企業と協力して、CO₂削減効果の大きい天然ガス複合発電ガスタービンやコージェネレーションなどに用いるタービン翼用Ni基単結晶超合金とそのコーティング、さらにタービンディスク用Ni-Co基鍛造超合金を開発しました。2006年にはロールス・ロイス航空宇宙材料センターを設置、同社と協力してボーイング787用大型ジェットエンジンなどのタービン翼に用いる次世代Ni基単結晶超合金の研究開発を行っています。