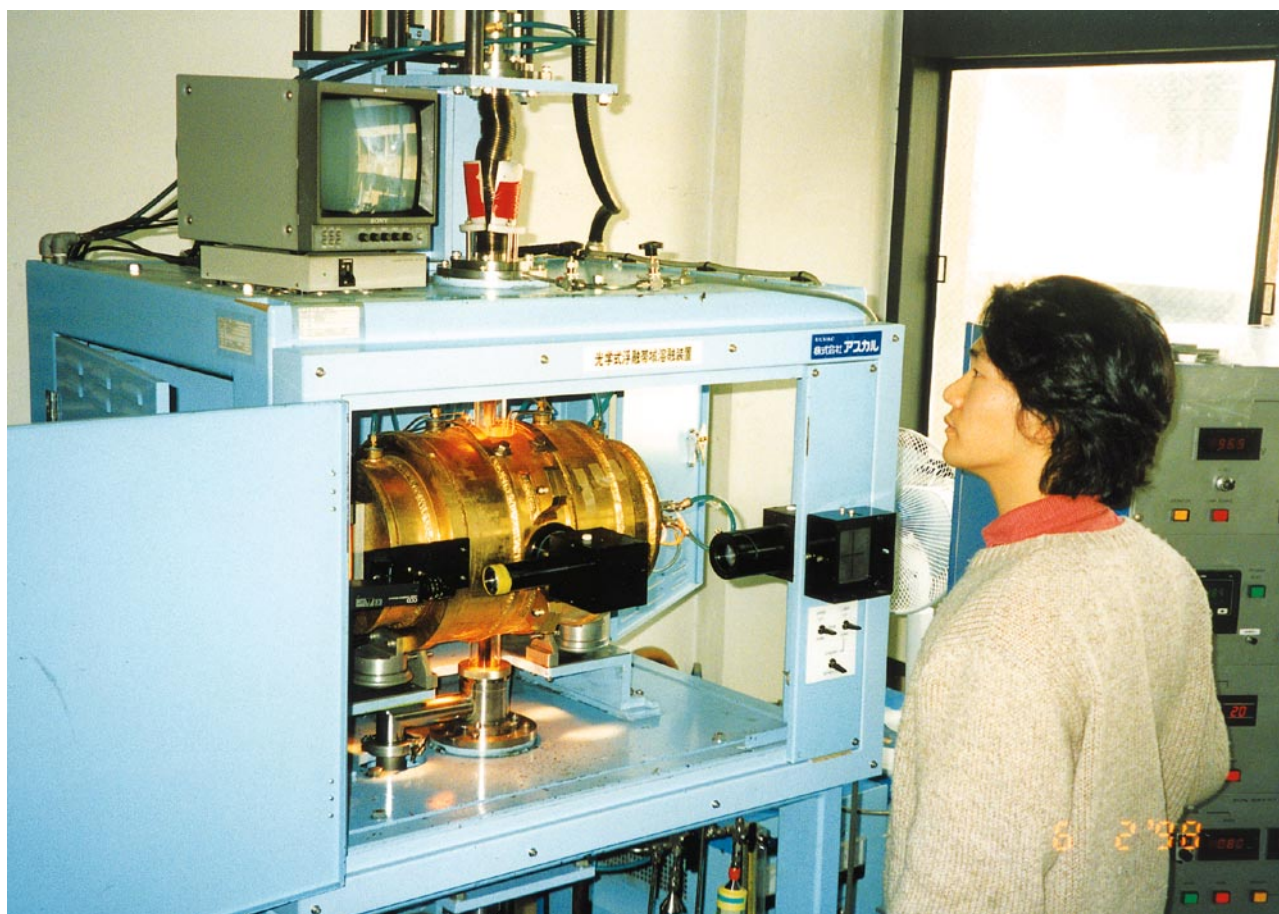


Advanced High-Temperature Materials
- Development of Practicable
High Temperature Intermetallics -
先進高温材料 - 耐熱金属間化合物の実用化 -

プロジェクトリーダー 山口 正 治

京都大学 大学院工学研究科 教授



1. 研究の目的

21世紀社会を健全で住み良いものにするために、私達は多くの問題を解決しなければなりません、中でもエネルギーと環境問題は最も重要です。私達の生活に不可欠な電気を生み出す火力発電所では、石油、石炭あるいは天然ガスを燃料として発電機のタービンを回しています。自動車やジェット機の燃料もガソリンですから、私達は日常生活の中で多量の化石燃料を使っていることになります。化石燃料の採掘には少なからず自然破壊が伴い、さらに化石燃料が使われると炭酸ガスが発生し、地球温暖化など環境問題の原因となります。もし、一定の電気エネルギーを生み出すために必要な化石燃料の量や自動車やジェット機の燃料消費量を大幅に減らすことができれば、化石燃料の使用量が減り、その採掘による自然破壊とその燃焼によって生ずる炭酸ガス排出量を同時に少なくすることができます。その上、限りある化石燃料を、人類はより長く使い続けることができることになるのです。

では、どうすればそれが可能になるのでしょうか。最もわかり易く効果的な方法は、発電用タービンやエンジンにたくさんある回転部分、たとえばタービン翼を、できるだけ軽い、しかもできるだけ高温で使用できる(冷却による熱エネルギーのロスが小さくなる)材料で作り、発電機やエンジンの効率を大幅に上げることです。私達は、チタン、アルミニウム、シリコンを多量に含む軽量の金属間化合物を有効に利用すれば、この目的を達成するために必要な新しい軽量高温材料を開発できると考えています。このプロジェクトでは、チタンとアルミニウム、耐火金属とシリコンの化合物に注目し、その特異な性質とその高温材料への応用を研究しています。

2. 研究の内容

(1) TiAl基軽量高温材料の性質

軽元素であるチタン(Ti)とアルミニウム(Al)が結合してできる金属間化合物は、チタンより軽く(比重:3.8)、チタン合金より優れた耐酸化性と高温強度を持っています。このように、TiAlは軽量高温材料としてうってつけの性質をもっているのですが、残念ながら、TiAlだけでは室温付近で脆いため、TiAlよりチタンの多い金属間化合物 Ti_3Al を10vol%程度含むTiAlベースの2相材料(TiAl基合金と呼ぶことにします)が注目されています。しかし、このTiAl基合金を普通の金属・合金のように溶解し、鋳造すると、右上図(上)のように、TiAlと Ti_3Al が層状に重なった組織(ラメラ組織と呼びます)を持った結晶粒が無秩序に成長するため、外部からの力に対してラメラ組織の界面が垂直になっている結晶粒でクラックが発生し易く、脆さが十分に改善されません。このプロジェクトでは、この金属組織上の問題を解決するため、TiAl基合金の一方向凝固プロセスを開発しています。

(2) TiAl基合金の一方向凝固プロセス

外部からの力に対してラメラ界面が垂直になる結晶粒をなくするには、右上図(下)のような組織が発達するよう凝固する必要があります。インゴットの下部で凝固が始まり、徐々に凝固がインゴットの上方に進行するようインゴットの温度を制御すれば凝固は一方向に進展します(一方向凝固)。そこで、凝固起点の組織が右上図(下)のようになるようあらかじめ工夫しておけば、インゴット全体が右上図(下)のような組織になります。この工夫はなかなか難しいのですが、私達は特殊な種結晶を用いる方法とボロンを少量添加してチタンボライドをうまく凝固核として用いる方法により、ほぼ凝固起点の組織制御に成功し、現在この方法を工業的に用いるための開発を進めています。

(3) 一方向凝固TiAl基合金のクリープ強度

右上図(下)のような組織を持ったTiAl基合金は室温延性、高温強度、破壊靱性に優れていることは明らかになりましたが、クリープ強度も期待通り高くなければ新しい軽量高温材料として実用できません。クリープ(creep)とは、小さな応力でも高温で長時間作用し続けると、材料があたかも這うようにじわじわ変形する現象です。このような現象が起こると材料を長時間高温で使用できないので、高温材料には耐クリープ性がことのほか重要です。このプロジェクトでは、世界に先駆けて一方向凝固TiAl基合金から工業的クリープ試験に用いられるサイズの試験片を切り出し、クリープ試験を続けています。極めて有望な結果が得られつつありますから、このプロジェクトで開発した一方向凝固TiAl基合金が、近い将来、右下図のようなジェットエンジンの軽量高性能タービンブレードやベーンとして、750℃以下で用いられているニッケル基スーパーアロイのそれを代替していくだろうと期待されます。

(4) モリブデンとシリコンの化合物

現在の発電タービンやジェットエンジンの最も高温になる部分には、現行の高温材料中、最高のクリープ強度を誇るスーパーアロイが用いられています。しかし、スーパーアロイの融点はほぼ1350℃であるため、高温部分に用いられているスーパーアロイのブレードやベーンは積極的に冷却されています。もし、スーパーアロイの融点を越える1500℃で使用できる超高温材料が開発されれば、発電タービンやエンジンの効率は飛躍的に向上するでしょう。このような可能性を持った材料としてモリブデン(融点2620℃)のような耐火金属とシリコンの化合物があります。このプロジェクトでは、このような化合物の単結晶を作り、その基本的な性質を解き明かしながら1500℃級の超高温材料の開発を目指しています。

3. 研究の体制

期 間：1996年10月～2001年3月

構 成：プロジェクトリーダー1名、コアメンバー3名、研究協力者10名(内日本学術振興会研究員3名)で構成されています。この他、プロジェクトリーダーとコアメンバーの研究室に所属する多数の大学院生がこの研究に参加しています。

実施場所：このプロジェクトの主研究拠点は京都大学ですが、東京工業大学松尾研究室、東北大学丸山研究室が協力して研究を進めています。

