

電子ビーム物理蒸着プロセスによる 酸化物セラミックスコーティング技術

エネルギー機器に高機能部材を 提供するコーティング技術

電子ビーム物理蒸着は、蒸発粒子がナノオーダーであり結晶構造制御が可能であること、また広範な膜厚制御が可能であることなどから、エネルギー機器部材へのセラミックスコーティング技術として注目されています。耐摩耗性、耐熱性、耐食性向上などエネルギー機器の高機能化に向け、プロセス技術の開発により、皮膜の厚膜化や均一化、密着性向上及び複雑形状への対応が可能となってきました。

コーティング技術の概要

コーティングは材料の表面改質技術の一方法で、部材表面に特性の異なる皮膜を付与し、部材全体として高機能化を実現するものです。エネルギー機器部材では、例えば、耐摩耗性などの機械的性質が要求される水車や蒸気タービン部材に対して、炭化物系のセラミックスコーティングを適用するなど、近年、セラミックスコーティングを施した高機能部材が多く使われてきています。エネルギー機器部材のセラミックスコーティングに要求される機能には、上に述べた耐摩耗性に加えて、耐熱性など熱的特性の改善、耐食性など化学的特性の改善、絶縁性など電気的特性の改善が期待されてい

ます。

一般に、コーティングのプロセスは、めっきを代表とするウェットプロセスと、蒸着を代表とするドライプロセスに大別されます。セラミックスのコーティングではドライプロセスが用いられていますが、このプロセスは汎用性が高く、多層化など複雑な膜構造形成が容易なことから、各種表面機能を複合化するのに適した方法です。

各種のドライプロセスを、部材表面に飛来する粒子の加速エネルギーと皮膜の膜厚についてまとめたものを図1に示します。図1において、白枠のプロセスは主に半導体分野に適用され、膜厚も1 μm以下となっています。これに対し、エネルギー機器へのセラミックスコーティ

ングは、従来、溶射、真空蒸着、プラズマ化学蒸着、イオンプレーティングなどのプロセスが適用されています。溶射は数mm程度の膜厚までコーティングできますが、真空蒸着やプラズマ化学蒸着、イオンプレーティングは溶射と比較して薄く、一般に厚膜化は困難であることが課題となっています。

電子ビーム物理蒸着(EB-PVD: Electron-Beam Physical Vapor Deposition)は真空蒸着の一方法ですが、皮膜の結晶制御性に優れており、図1に示すように、従来の真空蒸着などに比べて1けた以上厚い膜厚を得ることができます。

電子ビーム物理蒸着プロセス

EB-PVDプロセスは、真空中でセ

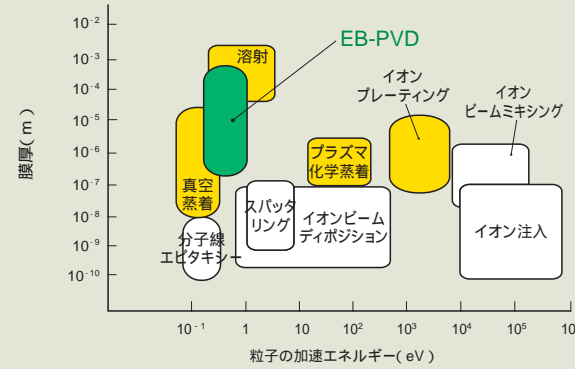


図1. 粒子の加速エネルギーと膜厚から見たドライプロセスの位置づけ - 部材表面に飛来する粒子の加速エネルギーと膜厚の関係を示した図で、エネルギー機器部材には色づけしたプロセス(黄, 緑)が使われています。

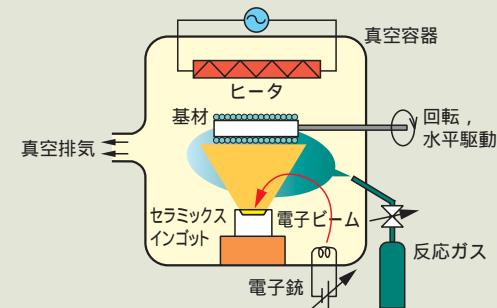


図2. EB-PVDの原理図 - 真空中でセラミックスインゴットに電子ビームを照射し、インゴット表面を熔融蒸発させ、高温に加熱された基材表面にコーティングします。

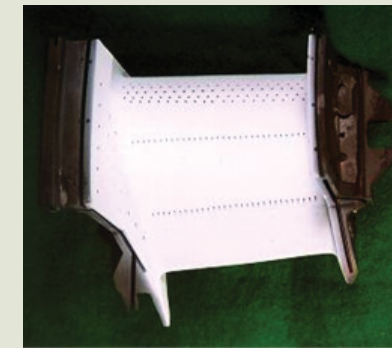


図3. ガスタービン静翼へのコーティング - 三次元形状をしたタービン翼に、厚膜のセラミックスを均一にコーティングしています。

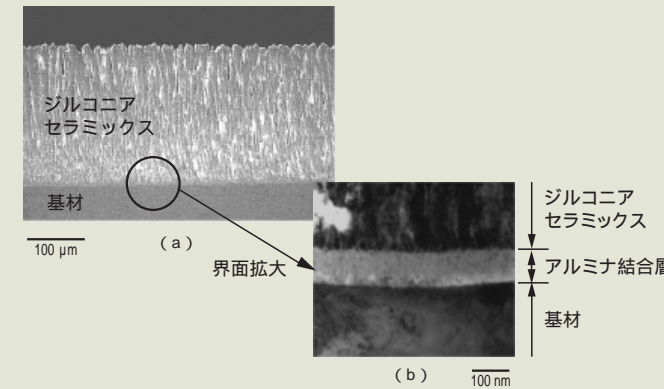


図4. 厚膜のジルコニアセラミックス組織(a)と界面組織(b) - 基材は、100 nmのアルミナを介して250 μm厚のジルコニアセラミックスで強固に被覆されています(透過電子顕微鏡像)。

コーティングでは、アルミナ(Al_2O_3)結合層を介して基材とセラミックスの強固な密着性を実現しています。厚膜のジルコニアセラミックス組織と界面を拡大した透過電子顕微鏡像を図4に示します。

この厚膜組織は、ナノオーダーの気孔やギャップを持つ柱状晶組織からなっており、熱サイクル特性に優れた熱応力緩和構造となっています。

将来への展望

今世紀に入り、ナノテクノロジーの技術開発が世界各国で行われていますが、コーティング分野ではEB-PVDプロセスが注目されつつあります。東芝では、約10年前からEB-PVD技術の優れた特長に注目し、装置開発、プロセス技術開発に取り組んできました。今後、ますます厳しい環境下での使用が想定されるエネルギー機器に向け、より耐熱性に優れた酸化物セラミックスのコーティング技術開発を進めていきます。

松本 一秀

電力・産業システム技術開発センター
金属・セラミックス材料開発部 参与

伊藤 義康

電力・産業システム技術開発センター
金属・セラミックス材料開発部 主幹

に厚いセラミックス皮膜形成まで可能となります。酸化物セラミックスの場合は反応ガスとして酸素を用いますが、これは電子ビーム照射によりインゴットの酸素が解離して皮膜中の酸素が不足することを補う目的で導入するものです。

EB-PVDは成膜時に基材を回転、水平駆動させることにより、三次元の複雑形状をした部材表面に均一な厚膜を形成することができます。

ガスタービン静翼にコーティングした事例を図3に示します。高温燃焼ガス雰囲気中で熱サイクル負荷を受けるようなガスタービン翼に適用するためには、長時間の運転でも皮膜がはく離しないことが求められます。このため、熱遮蔽(しゃへい)を目的としたジルコニア(ZrO_2)

ラミックインゴットに電子ビームを照射し、インゴット表面を熔融蒸発させ、高温に加熱された基材表面にコーティングする方法で(図2)。電子ビームは高い蒸発表面温度を発生させることが可能なエネルギー源であり、高出力の電子ビームを用いれば高融点材料の蒸着も高速で行うことができます。前に述べた従来プロセスであるイオンプレーティングでは、イオン化された蒸発粒子どうしを基材表面で反応させ、窒化チタン(TiN)などのセラミックスを形成させるため、数μm程度の薄い皮膜しか成膜することができません。これに対しEB-PVDでは、形成する皮膜と同組成のインゴットを製作し、このインゴットを直接蒸発させるため、数100 μmと非常