

## 溶射皮膜の硬さ試験

キーワード：溶射皮膜、銅、気孔、酸化、加熱処理、マイクロビッカース硬さ、試験力

**概要**

硬さは「押し込み荷重に対する材料の抵抗の大きさ」として定義づけられています。例えば、製造者にとっては傷の付きにくさや耐磨耗性を、設計者にとっては変形応力を、工作者にとっては切削や加工の難易度を示す指標として用いられます。一般に、硬さは試料を壊さずに小さな傷で機械的性質を試験できるという利点を持っていますが、逆に部分的な性質だけを見ていて、必ずしも全体の性質と一致しない場合があることも注意しなければなりません。ここでは、溶射皮膜のビッカース硬さ試験を例にとり、硬さ試験法の応用と注意点を説明します。

**溶射皮膜**

溶射は、線または粉末の材料を熱源により溶融させて、ガスで霧吹きのように噴霧させて基盤に吹き付けることで皮膜をつくる技術です。噴霧された材料は、おおよそ20φ100μmくらいの液滴となり、基板に衝突することで扁平に変形して急冷凝固します。この粒子が積み重なることで皮膜が捲成されますが、金属を大気中で溶射すると液滴が酸化されるため、積層した粒子の境界には酸化物が存在します。また、液滴が空気を巻き込んでできる気孔と呼ばれる小さな空洞もあります。一般に構造材として使われている材料に比べて、酸化物や気孔などミクロな組織が異なる溶射皮膜は、硬さという概念よりも、圧子押し込みによる強度試験といった概念で評価すべきと考えられます。

**硬さ試験**

一般に硬さは、所定捲状の圧子を荷重（試験力）をかけて押し込み、その傷（圧痕）の大きさで評価します。本来、ビッカース硬さ試験は、他の硬さ試験に比べて試験力の影響が少ないの

が特徴で、目的に応じて試験力を設定しますので、試験力(N単位)も添えた硬さ記号を用います。例えば、0.25Nの試験力でビッカース硬さ試験を行う場合HV0.025、試験力9.8NではHV1と表します。ビッカース硬さ試験において、小さな試験力(9.8N以下)で試験する場合、マイクロビッカース硬さ試験と呼びますが、小さな圧痕ほど読み取り誤差が大きくなりますし、試料調整（研磨）の影響が出てしまいますので注意が必要です。しかし、マイクロビッカース硬さ試験の特徴は顕微鏡で見なければならぬような小さな場所の機械的性質を試験できることです。例えば、酸化物や気孔を避けて、溶射皮膜の積層した粒子1個に小さな圧痕をつけて機械的性質を試験することができ、溶射した材料がどのような変化を受けたかを調べるためのデータとなります。逆に、大きな圧痕をつけて試験する場合、溶射粒子の硬さだけでなく、溶射粒子の大きさ、溶射粒子同士の結合力の強さ、酸化物の量と大きさ、気孔の量と大きさなど、圧痕周辺の様々なミクロ組織の影響を受けたデータになります。すなわち、均質な材料では試験力による影響の少ないのがビッカース硬さ試験の特徴ですので、試験力により試験値が変われば、ミクロな組織の変化が機械的性質におよぼす影響を調べることができます。ただし、これらは金属組織や他の試験の結果と合わせて検討するべきです。

図1は、純銅をアーク溶射した皮膜断面の(a)HV0.025と(b)HV1の試験後の圧痕周囲の組織です。(a)は溶射粒子が扁平に変形した一層を試験しているのに対して、(b)は数層にまたがって試験しています。(b)を詳細に観察すると層の境界に割れが見られ、層間の結合力が弱かったことがわかります。

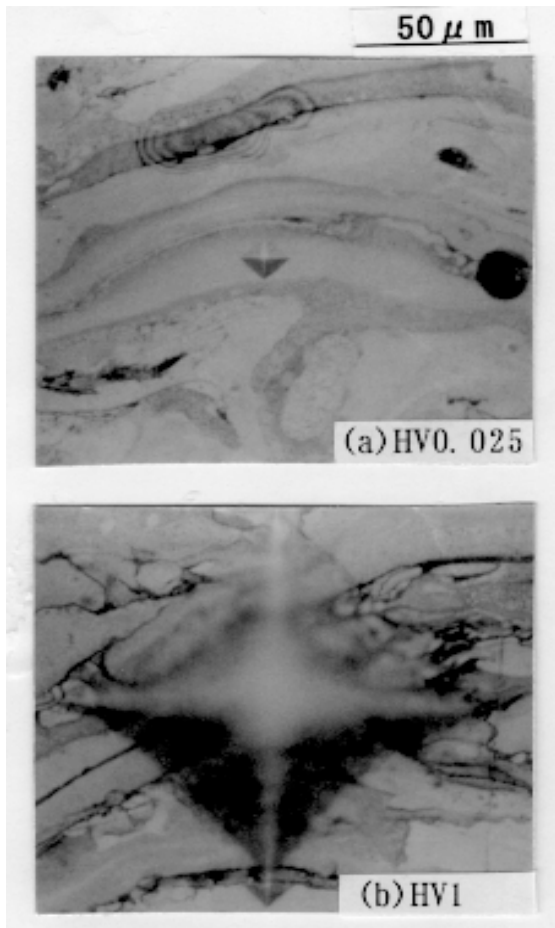


図1 ビッカース硬さ試験の圧痕

図2は、銅のアーカ溶射皮膜をアルゴン+5%水素ガスの還元雰囲気種々な温度に2時間加熱した後に、皮膜断面を切り出して鏡面研磨した試料のHV0.025とHV1のビッカース硬さ試験を行った結果です。任意の5箇所の試験値の平均値を表示しています。光学顕微鏡により断面組織を観察すると、皮膜の表層部では加熱温度が高いほど還元が進み、銅の酸化物が減少して結晶粒が粗大化している様子が観察されましたが、内部では酸化物の減少はあまり顕著には見られませんでした。20の値は加熱処理をしていない試料の硬さですが、HV0.025の試験値は約210にもなっています。十分になました純銅の硬さで30程度ですので、測定誤差を考慮しても大幅に硬くなっています。これが加熱温度の上昇とともに柔らかくなっていますが、表層部の方が内部よりもさらに柔らかくなっていま

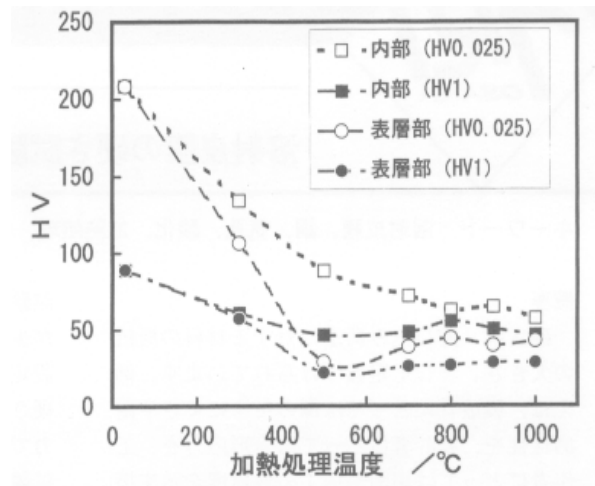


図2 銅溶射皮膜の加熱処理による硬さ変化

す。内部の硬さ低下は加熱の影響によるものですが、表層部ではさらに雰囲気による還元の影響が加わっていますので、両者の差が酸素の影響ということになります。一方HV1では、HV0.025と同様に低くなっていますが、500を越えると僅かに上昇も見られます。表層部の組織を詳しく調べると、酸化物は減少するだけでなく形状も変化して、微細な酸化物粒子になって分布しているとともに、境界の酸化物が無くなった溶射粒子どうしが結合した後に再結晶したと思われる組織になっていました。すなわち、図1(b)で見られたような割れがなくなったため、強度が上昇したと考えることができます。また、内部も表層部も、HV0.025が加熱温度の上昇にともない減少しているのに比較して、HV1があまり変化していないのは、HV1が個々の粒子の硬さよりも、粒子間の結合力や気孔などの影響を大きく受けることを意味していると考えられます。

以上の溶射皮膜の加熱処理にともなう硬さ試験結果の変化のように、試験力などの測定条件を変化させ、光学顕微鏡組織など、他のデータと照らし合わせて検討することで、種々なミクロな組織の変化が機械的性質におよぼす影響を調べることができます。