 研 究

引張ハク離時の吸収仕事量による溶射皮膜の 密着度測定について†

美 馬 善 文*

On Measuring the Adhesiveness of Sprayed Metal Coatings with Reference to Absorbed Energy by Tensile Test Method.

Studies on the Bond Strength and the Adhesiveness of Sprayed Metal Coatings. (Part 2)

Yosifumi MIMA*

The adhesiveness of metallized coating was determined by a tensile test method with reference to its absorbed energy.

The specimen consisted essentially of a shaft which was provided with a hole clear through its axis. A stud is fitted in this hole, with one end flush with the flat surface of the shaft which was one side of the sections.

Preparation was applied all over the flat surface of the shaft and hence to the end of the stud.

After bonding and spraying the stud was pulled out of the shaft in a testing machine.

It was found that the adhesiveness of metallized coating is given by $W/\frac{\pi}{4}d^2$ kg·m/cm², where W is absorbed energy by the specimen and its jig in kg·m and was determined by a load-elongation curve obtained by the testing machine, and d is a diameter of the end of the stud in cm.

The practical measurement performed by this method with d of 2.0, 1.0 and 0.5 cm showed that the maximum value of the adhesiveness between a metallized coating of 13Cr stainless steel (about 1.5 mm thick) and the base metal of 0.2C mild steel prepared by spraying with molybdenum was about 0.8 kg·m/cm², and mean value 0.33 kg·m/cm² in any case of d .

1. 緒 言

溶射皮膜の素地に対する密着性を定量する場合、単に力 (Force) の単位で表わされる量を付着力 (Bond Strength) と称し、これ以外の量を密着度 (Adhesiveness) という。

従来密着度の測定法には、曲ゲ試験、落下球試験、打撃試験、および衝撃試験¹⁾ などがある。

曲ゲ試験は内容的には溶射皮膜のある一線に対する付着力の測定に相等するものであるが、直接にはこの部分のハク離に要する曲ゲ角度をもって密着度を測定するものである。著者がさきに報告した引抜き部引張ハク離試

験法による付着力の測定は、この曲ゲ試験と関連するものであった。

しかし、他の3種の試験法は内容的には溶射皮膜のある面積に対して、これをハク離するに要する仕事量 (エネルギー) に関係しているが、直接には落下、打撃、または衝撃の回数をもって密着度を測定するものである。

従来密着度を直接、ハク離に要する仕事量 (エネルギー) をもって測定する方法は見当たらなかったが、著者は今回引抜き部引張ハク離試験法により引張ハク離の際の荷重伸び曲線を求め、この曲線に囲まれる面積が試片に吸収された仕事量 (エネルギー) に相等することに着眼し、この方法を用いて溶射皮膜の素地に対する単位面積当たりの密着度を直接、仕事量 (エネルギー) kg·m/cm² 単位で測定することができたので、このことについての実験方法および結果などを報告する。

† 金属溶射皮膜の付着力および密着度に関する研究 (第2報)

* 大阪府立大学工業短期大学部 (寝屋川市秦)
Junior College of Eng., Osaka Prefectural Univ.

第3図 全試料の荷重・伸び曲線(×1/2)

3. 実験結果

第3図には引張試験機によって方眼紙上に記録された原図(以下単に原図という)より最大荷重(P_{max})の順に各試料の荷重伸び曲線を写しとり、この曲線の囲む面積を示した。

原図より面積を算定するに当たって、荷重伸び曲線がいずれもきわめて複雑な形状であり、これらを簡単な函数で表わすことは不可能であったため、方眼紙上に占める眼数を目測によって算定した。

原図のy軸の1mmは荷重20kgに相当しx軸の1mmは試料の伸び0.8mmに相当することを多数の予備実験結果より平均値として求めた。

したがって原図の1mm²は0.016 kg・mに相当する。

x軸の試料の実際の伸びの関係を求めるには、引張試験機の可動テーブルと本体との間にダイヤルゲージ($\frac{1}{100}$ mm)を用いて測定した。

また引張りに際して治具のツカミにおけるスベリに対する補正は、引張試験機の応力指示計に示される最大荷重(P_m)を記録しておき、この値と曲線の頂点が一致しているかどうかを検討して行なった。

第1表 付着力の相似した試料に対する密着度(プランメーター法)

引抜き部直径 d cm	付着力 $P_{max}/\pi d$ kg/mm	密着度 $W/\frac{\pi}{4}d^2$ kg・m/cm ²
2.0	7.09	0.7191
1.0	7.07	0.7242
0.5	6.60	0.7426

第2表 密着度 $W/\frac{\pi}{4}d^2$ (各群における最大値)

引抜き部直径 d cm	密着度 kg・m/cm ²	
	目測法	プランメーター法
2.0	0.8007	0.7191
1.0	0.8772	0.8160
0.5	0.7752	0.7834

以上のようにして荷重伸び曲線の囲む面積(mm²)に0.016kg・mを乗じた値をもって、試料(治具を含む)に吸収された仕事量(W)とした。

したがって密着度は $W/\frac{\pi}{4}d^2$ kg・m/cm² で表わされる。ここで d は引抜き部の直径を cm で表わしたものである。

4. 考察

4-1 $W/\frac{\pi}{4}d^2 = \text{Constant}$ について

溶射においては、一定の溶射方法を用いても、不可避的な原因により、同一性状の溶射皮膜は得られにくく、皮膜の密着性においてもバラツキは本質的に避けられない。

したがって各群(等径の引抜き部をもつ試料の集まりを一群という)における密着度($W/\frac{\pi}{4}d^2$)の値を比較し $W/\frac{\pi}{4}d^2 = \text{Constant}$ を証明するためには、各群の試料中よりできるだけ性状の相似したものを選んで検討しなければならない。

このような観点から、つぎの四つの場合について考察をすすめることにした。

(1) 各群における付着力($P_{max}/\pi d$ kg/mm)が相似しているものについて比較検討した。これらに対する密着度($W/\frac{\pi}{4}d^2$)を第1表に示した。各群とも約0.7kg・m/cm²となり、ほぼ一定した値を示した。

(2) 各群における密着度($W/\frac{\pi}{4}d^2$)の最大値を比較検討した。これらを第2表に示した。各群ともほぼ一定の値約0.8kg・m/cm²であった。

(3) 各群における最大荷重(P_{max})および荷重・伸び曲線の類似したものを第3図より3個あて選び、これらの密着度の平均値を求めて比較検討した。これらの試料

第3表 密着度 $W/\frac{\pi}{4}d^2$ (各群における上位3試料の平均値)

引抜き部直径 d cm	密着度 kg・m/cm ²	
	目測法	プランメーター法
2.0	0.5898	0.5984
1.0	0.6188	0.6358
0.5	0.6392	0.6582

第4表 密着度 $W/\frac{\pi}{4}d^2$ (各群全試料の平均値)

引抜き部直径 d cm	試料数	密着度 kg・m/cm ²	
		目測法	プランメーター法
2.0	9	0.3402	0.3248
1.0	10	0.3226	0.3264
0.5	8	0.3509	0.3656

は $d=2.0\text{ cm}-1, 2, 3$ 、 $d=1.0\text{ cm}-1, 2, 3$ および $d=0.5\text{ cm}-2, 3, 5$ であった。結果を第3表に示した。各群とも約 $0.6\text{ kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$ となり、ほぼ一定の値を示した。

(4) 全体的な傾向を知るため、各群における全試料の密着度の平均値を求めて比較検討した。この結果は第4表に示したように、各群とも約 $0.33\text{ kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$ の一定値を示した。

以上(1)~(4)の結果を総合すれば、 $W/\frac{\pi}{4}d^2=\text{Constant}$ であるということができる。

すなわち、 $W/\frac{\pi}{4}d^2$ の値をもって引抜き部の溶射全面の密着性を表わすことができること、および引抜き部の直径の異なる試験片を用いて測定した値を直接相互に比較することができることが明らかになった。

4-2 測定法について

4-2-1 面積の測定

溶射の本質的不均一性および引張試験の際の条件の差などに原因して、荷重伸び曲線はきわめて複雑で一定したものは得られなかった。そのため、与えられた溶射皮膜の密着度を算出する基礎となる曲線の囲む面積を測定するのに当たって、曲線を簡単な関数で表わし荷重 (p) および伸び (ϵ) から $\int_0^\epsilon p d\epsilon$ を用いて算出することはできず、すべて実面積を測定して密着度を算出しなければならなかった。

実面積を測定する方法として、原図の方眼紙の眼を目測する方法、プランメーターを用いる方法、および均質な方眼紙上に原図から曲線を写しとり、この曲線の囲む部分を切りとって化学天びんを用いて測定する重量法などがある。

これらの方法を用いて実測した結果について比較検討した。

原図が非常に小さいためプランメーターおよび重量法においては原図を拡大しなければならなかった。拡大率は面積において、 $d=2.0\text{ cm}$ 、 1.0 cm の場合には、100倍、 $d=0.5\text{ cm}$ の場合には 10,000 倍が適当であった。

拡大器によって拡大するとき、かなりの誤差があったが、熟練によって次第に誤差を少なくすることができた。拡大後の面積測定においてプランメーター法と重量法を比較すれば、後者の方が誤差が少なかった。既知の

第5表 ハク離開始までの吸収仕事量 ($W_1/\frac{\pi}{4}d^2$)

引抜き部直径 $d\text{ cm}$	$W_1/\frac{\pi}{4}d^2\text{ kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$		
	計算法($\frac{1}{2}P\epsilon$)	目 測 法	重 量 法
2.0	0.1705	0.1566	0.1568
1.0	0.2104	0.1583	0.1200
0.5	0.1856	0.1714	0.1248

一定標準面積について3回測定した結果、各測定値間の誤差は重量法においては $\pm 2\%$ 以内であったが、プランメーター法では $\pm 10\%$ の差があった。

原図を用いて、直接方眼の数を目測する方法は個人誤差を生ずることはまぬがれないが、眼数が少ないため、これらを数えることはきわめて容易であった。個人誤差は約10%程度であった。しかし拡大による誤差を含まないこと、および原図が保存されて、その後の再検討が容易であることから、原図の目測法は十分満足できるものであることがわかった。

第5表には全試料について、 P_{max} に達するまでに試料(治具を含む)に吸収された仕事量 (W_1)、すなわち引抜き部の周辺において皮膜がハク離開始するまでに引抜き部全溶射面が抵抗した仕事量について、重量法、目測法、および計算法 ($\int_0^\epsilon p d\epsilon = \frac{1}{2} p\epsilon$ として計算した) によって算出した $W_1/\frac{\pi}{4}d^2$ の平均値を示した。計算法ではかなりの誤差を生じたのは、曲線が不規則であったことに原因している。

また第2~4表には溶射皮膜が引抜き部表面からハク離するまでの全仕事量 (W) について、目測法およびプランメーター法による $W/\frac{\pi}{4}d^2$ の値を示した。

4-2-2 引抜き部の直径の選定

$W/\frac{\pi}{4}d^2=\text{Constant}$ を証明することができたので、一般的な測定にあたって、引抜き部の直径はいかなる寸法のものを用いてもよいはずであるが、試験片の製作上 $d=0.5\text{ cm}$ のものはスキ間部の精密仕上ゲが非常に困難であるため一般的でない。また得られる原図が非常に小さいため、面積を算定する場合、原図を目測するにも、またこれを拡大写しとるにも、誤差が他のものに比較して大きくなりやすい。そのため引抜き部の直径は $1.0\sim 2.0\text{ cm}$ とするのが適当であると思われる。

4-2-3 治具について

密着度 ($W/\frac{\pi}{4}d^2$) を測定する場合、治具を含む試料全体の伸びが関係するため、治具の影響がかなりあるものと考えられる。したがって治具はつねに同一のものを使用しなければならない。本実験においても、すべての試料に対して同一の治具(第1図参照)を使用して測定した。また W は治具を含む試料全体が吸収した仕事量であるゆえ、このうちには溶射皮膜をハク離するための仕事量の外に治具に対する仕事量も含まれている。

したがって、密着度を比較する場合には当然同一の治具あるいは規定材質および寸法の治具を用いて測定した値について比較されなければならない。

5. 結 論

引抜き部引張ハク離試験法を用いて溶射皮膜のハク離

に要する仕事量にて表わされる密着度 (Adhesiveness) を測定した。

測定の方法は、直径を d とする引抜き部を引張りして溶射皮膜から引き離すときの荷重・伸び曲線に囲まれる面積を求め、これを仕事量 $W \text{ kg} \cdot \text{m}$ に換算し、 $W \text{ kg} \cdot \text{m}$ を引抜き部の溶射面積 $\frac{\pi}{4} d^2$ で除した値、すなわち、 $W / \frac{\pi}{4} d^2 \text{ kg} \cdot \text{m} / \text{cm}^2$ を溶射皮膜の密着度とした。

引抜き部の直径 d を 2.0, 1.0, および 0.5cm とした試験片を用い、モリブデンをボンディング・コートとした13クロムステンレン鋼の溶射皮膜について、同一の治具を用いて実測した結果、いずれの場合にも最大値は約

0.8 $\text{kg} \cdot \text{m} / \text{cm}^2$ 、平均値 0.33 $\text{kg} \cdot \text{m} / \text{cm}^2$ となった。

この実験によって $W / \frac{\pi}{4} d^2 = \text{Constant}$ なることが証明でき、溶射皮膜の密着度を $W / \frac{\pi}{4} d^2$ としてよいことが明らかになった。

終りに本研究の遂行にあたり、本学部松村孝、堤靖和の両君の協力を感謝する。

(本研究の一部を昭和34年11月7日、本協会・日本化学会共催の神戸講演会にて発表) (1960-2-13受理)

文 献

- (1) Donald E. Hacker, Welding J., **37**, March, 231 (1958)

Micro-corrosion-o-scope について

後 藤 健 一*

Micro-corrosion-o-scope

Kenichi GOTO*

Micro-corrosion-o-scope is constructed for the purpose of observing the process of corrosion which occurs on the metal surface microscopically. This method is applied for such cases a water drop-metal surface system, gelatine drop-metal surface system, gelatine layer-metal surface system, etc. Treating the specimens electrographically, the corrosion proceeds rapidly. The initial anode position of mild steel surface prepared by dry polishing or that of crystal surface can be observed using potassium ferricyanide as an anodic indicator. The difference of adsorbing ability of crystals of mild steel surface is photographed too.

1. ま え が き

Micro-corrosion-o-scope とは、金属表面上の発サビ (アノード) の位置やその変化の状況は顕微鏡視野中において陽極指示薬による着色状況下で観測しようとする目的で作ったものである。このために陽極指示薬入りのゼラチン滴を目的とする金属面上に滴下し、これによって形成される酸素濃淡電池系で陽極となる個所を顕微鏡的に観察し、写真をとるという操作を行なうのであって金属に対する発色指示薬には Yagoda の文献に記載されているものを利用すればよい。鉄系にはフェリシアニ化カリウムを使用する。

これを軟鋼面—サビ止油膜—ゼラチン滴系に応用する場合、粘度の高い油剤や強いサビ止添加剤をふくむ油膜では陽極の出現に時間を費すので、このような場合には一種のエレクトログラフイー (Electrography) になるが、第1図のように油膜を塗布した軟鋼板を陽極とし、ゼラチン滴に適当な陰極 (白金線や孔付金属板など) を

接触させてこの間に適当な直流を通じる。このようにすれば陽極ハンの出現を促進でき、数秒ないし数分間で陽極ハン出現の経過を観察できる。これが通電による強制発サビ法である。

以上のような方法によって観察した二三の興味ある写真を示し解説を試みたい。

2. 実 験 方 法

実験装置およびその略図は第1図および写真1~2に示すとおりである。

第1図 Micro-corrosion-o-scope 略図

* 日本大学理工学部 (東京都千代田区神田駿河台)
Nihon Univ., Fac. of Science & Technology