クロム拡散被覆層の形成におよぼす素材成分の影響について

上 田 重 朋*・光 田 章 一**

Effects of Substrate Compositions on Formation of Cr Diffusion Coated Layer

Shigetomo UEDA and Shoichi MITSUDA

The authors studied the effects of substrate compositions on the formation of Cr diffusion coated layer by pack process. The substrates used were Ni, 18 Cr/10 Ni/Ti steel, 18 Cr/0.06 C steel, 18 Cr/0.09 C steel, and 0.15 C steel. The results obtained were as follows : (1) In H₂ atmosphere, Ni as a substrate component catalytically promoted Cr deposition and gave larger quantity of diffusion coating and higher Cr concentration of surface as compared with Fe as a substrate component. (2) About 18% Cr as a substrate component increased the quantity of diffusion coating and prevented the rise in chromium concentration of surface at high temperatures, because it gave more increase in diffusion coefficient as compared with 0.15 C steel. However, on the contrary, it decreased the quantity of diffusion coating at low temperatures, at which the diffusion coefficient was small. (3) C as substrate component increased Cr concentration of surface and decreased the quantity of diffusion coating, because it decreased the diffusion coefficient. (4) The variation in the quantity of diffusion according to the substrate composition was reasonably explained by assuming that Cr deposition rate mainly depends upon the difference between equilibrium Cr concentration of surface and Cr surface concentration.

1. 緒 言

著者らは、塩化水素ガスを利用した粉末パック法によるステンレス鋼のクロム拡散被覆について基礎的な研究を行なっている。すなわち、前報¹⁾では素材表面へのクロム析出について塩化クロムが液相である場合を考慮して平衡論的に検討を行ない、水素ガス中においては置換、還元、分解反応のうちで還元反応が支配的であることを明らかにした。

さらに、析出した Cr と素材成分との相互拡散による拡散被覆層の形成について検討を行ない、形成の主要因はクロム析出速度、拡散係数、および処理時間、の3つであることを明らかにした²⁾。

素材表面へのクロム析出速度に影響をおよぼす因子はいろいろある。処理ふん囲気、処理温度、処理時間および拡散剤などはその代表的な例である。これらの諸因子による影響のいくつかについてはすでに報告したが³⁾、素材成分については報告していない。従来、素材成分の

影響についてはいくつかの報告が見られるが^{3),4)}、拡散被覆層の形成因子と関係づけた報告は見当たらない。そこで本報では、素材成分が拡散被覆層の形成におよぼす影響について検討する。

2. 実験方法

2-1 供 試 材

供試材としては、Ni, 18 Cr/10 Ni/Ti 鋼, 18 Cr/0.06 C 鋼, 18 Cr/0.09 C 鋼, および 0.15 C 鋼の5種類を用いた。化学成分は表1に示すとおりである。試片はおもに 15mm×7mm×4mm であり、表面を耐水研磨紙により #400 まで仕上げ、脱脂、酸洗イの前処理を施したのち、クロム拡散被覆を行なった。

処理の終わった試片は十分に水洗乾燥後、ヒョウ量し、クロム拡散被覆量と平均クロム析出速度を(1)、(2)式により求めた。

$$\text{拡散被覆量 (mg/cm}^2\text{)} = \frac{\text{処理後重量} - \text{処理前重量}}{\text{試片表面積}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{平均クロム析出速度 (cm/s)} = \text{拡散被覆量} / (\text{処理時間} \times \rho_{\text{Cr}}) \quad \dots\dots\dots (2)$$

ρ_{Cr} : クロムの密度 (7.14g/cm³)

* 早稲田大学理工学部(東京都新宿区西大久保4-170) Fac. of Science and Engineering, Waseda Univ.

** 早稲田大学鋳物研究所(東京都新宿区戸塚町1-500) Castings Research Laboratory, Waseda Univ.

図1 処理時間が拡散被覆層厚さにおよぼす影響

2-2 その他

処理試片の表面は、走査型電子顕微鏡により観察した。さらに、拡散被覆層に直角な方向についてX線マイクロアナライザーによる線分析を行なった。

3. 実験結果

3-1 拡散被覆層厚さ

表1 供試材の化学組成

化学成分 素 材 名	Cr	Ni	C	Si	Mn	P	S	Ti
Ni	—	99.8	—	—	—	—	—	—
18Cr/10Ni/Ti鋼	17.44	9.83	0.04	0.72	1.76	0.024	0.004	0.46
18Cr/0.06C鋼	17.13	—	0.06	0.50	0.40	0.018	0.017	—
18Cr/0.09C鋼	16.98	—	0.09	0.42	0.52	0.014	0.017	—
0.15C鋼	—	—	0.15	0.20	0.47	0.012	0.018	—

(単位: wt%)

表2 処理条件が表面クロム濃度におよぼす影響 (水素ガス中処理)

処理条件 素 材	900°C 3 h	950°C 3 h	1000°C 3 h	1050°C 3 h	1050°C 7 h
Ni	98	97	95	94	93
18Cr/10Ni/Ti鋼	91	83	73	61	63
18Cr/0.06C鋼	75	74	71	61	66
18Cr/0.09C鋼	75	75	72	63	71
0.15C鋼	77	77	73	66	72

(単位: %)

図2 処理時間が拡散被覆量におよぼす影響

図1に顕微鏡組織から識別した18Cr/10Ni/Ti鋼の拡散被覆層厚さと、XMAを用いて測定したNi, 18Cr/0.06C鋼, 18Cr/0.09C鋼, および0.15C鋼の厚さを示す。いずれの素材についても、厚さは放物線的傾向で増大する傾向を示す。

なお、処理温度の上昇にともない、各素材の拡散被覆層厚さは指数函数的に増大する。

3-2 表面クロム濃度

表2に処理時間と処理温度が表面クロム濃度におよぼす影響を示す。既報²⁾と同じように、各素材の表面クロム濃度は処理温度の上昇にともない低下する傾向にある。とくに低温側ではNi系素材(Ni, 18Cr/10Ni/Ti鋼)の表面クロム濃度はFe系素材に比較して高くなっている。また、処理時間が長くなると、18Cr/10Ni/Ti鋼, 18Cr鋼(18Cr/0.06C鋼, 18Cr/0.09C鋼)の表面クロム濃度は既報²⁾と同様の傾向を示すが、Niでは逆に減少する。

3-3 拡散被覆量

3-3-1 処理時間の影響

図2に1050°Cの水素ガス中で処理したときの、処理時間が拡散被覆量におよぼす影響を示す。今回の条件下では各素材の拡散被覆量は処理時間の増大にともない放物線的増加の傾向を示すが、その拡散被覆量は素材の材質によって

図3 処理時間が平均クロム析出速度におよぼす影響

差異を生ずる。すなわち、拡散被覆量は 18Cr/10Ni/Ti 鋼を除外して Ni, 18Cr/0.06C 鋼, 18Cr/0.09C 鋼, 0.15C 鋼の順序で減少する傾向にある。18Cr/10Ni/Ti 鋼の拡散被覆量は 5 h 付近までは 18Cr/0.09C 鋼のそれより少ないが、7 h を超えると逆に多くなる。さらに処理時間が長くなるにつれて、18Cr/10Ni/Ti 鋼の拡散被覆量は 18Cr/0.06C 鋼のそれに近づく傾向を示している。

なお、図2の結果と(2)式にしたがって求めた平均クロム析出速度を図3に示す。各素材の平均クロム析出速度は処理時間の経過とともに減少の傾向を示すが、その減少の割合も素材の材質によって異なる。Ni 系素材では平均クロム析出速度の減少割合が比較的に少ない傾向にある。

3-3-2 処理温度の影響

図4に、3 h、水素ガス中処理の場合の処理温度が拡散被覆量におよぼす影響を示す。各素材の拡散被覆量は処理温度の上昇とともにほぼ指数函数的に増加する傾向を示すが、その増加の割合は素材の材質によって異なってくる。とくに 18Cr/10Ni/Ti 鋼では 1050°C で一時的に拡散被覆量は飽和する傾向を示す。

1000°C 以下の温度では Ni 系素材の拡散被覆量は Fe 系素材のそれよりも多くなっている。さらに、18Cr/0.06C 鋼と 18Cr/0.09C 鋼の拡散被覆量は 950°C と 1000°C の間で逆転しており、低温側では 18Cr/0.06C 鋼の拡散被覆量のほうが少ないが、高温側では多い傾向にある。0.15C 鋼の拡散被覆量は 950°C 以上では他の素材に比較して少ないが、900°C 付近では 18Cr/0.09C 鋼の値より多くなる傾向にある。

3-3-3 処理ふん囲気の影響

表3は、1050°C×3 h 処理のときの、処理ふん囲気は、拡散被覆量におよぼす影響を示す。今回の条件下では、

図4 処理温度が拡散被覆量におよぼす影響

水素ガス中で処理した各素材の拡散被覆量はアルゴンガス中で処理したときに比較して大となる傾向にある。とくに、水素ガス中で処理するとき Ni 系素材の拡散被覆量の増加の割合が大きく、素材の Ni 含有量とは無関係にアルゴンガス中処理のときの約 2.1 倍になっている。それに対して、Fe 系素材の増加割合は比較的に少ない。これらの結果は原田らの実験結果⁶⁾の傾向とよく一致する。

3-4 クロム濃度傾斜

図5は、1050°C×3 h、水素ガス中処理のときの拡散被覆層のクロム濃度曲線例を示す。曲線の形状は素材の材質によって特有のものになる。

3-5 顕微鏡組織

写真1に、1050°C×3 h、水素ガス中処理のときの、拡散被覆層の顕微鏡組織を示す。18Cr/10Ni/Ti 鋼では適当な腐食液を用いることにより、はっきりとした耐食限を得ることができるが、他の素材では図5に示されるようにクロム濃度傾斜が連続的に変化するためはっきりとした耐食限を得にくい。18Cr 鋼では柱状晶が発達している。

表3 処理ふん囲気は拡散被覆量におよぼす影響 (1050°C×3 h 処理)

素 材	処理ふん囲気	
	水 素 ガ ス	アルゴンガス
Ni	22.5	10.0
18Cr/10Ni/Ti 鋼	7.06	2.86
18Cr/0.06C 鋼	10.2	8.23
18Cr/0.09C 鋼	8.74	7.74
0.15C 鋼	5.44	4.91

(単位: mg/cm²)

図5 拡散被覆層のクロム濃度曲線例

3-6 処理試片表面

写真2に、走査型電子顕微鏡を用いて観察した処理試片の表面状況を示す。写真から明らかなように、Ni系素材を用いたときの処理試片の表面にはかなりのおうとつが観察されるのに対し、Fe系素材では非常になめらかな表面が得られる。

4. 考 察

実際に拡散被覆処理を施す場合、クロム拡散被覆層の形成を支配する主因子である処理時間、拡散係数および

クロム析出速度のうちでクロム析出速度の管理が一番問題となる。なぜなら、処理時間は任意に独立して変化させることができ、また拡散係数は処理すべき素材が決定されれば処理温度だけに依存していると考えられるのに対し、素材へのクロムの析出が下式の置換、還元および分解反応によって表わされるならば、クロム析出速度はこれらの反応速度に依存するので、環境因子の微妙な変化にともなって変化し、管理が困難であるからである。

その環境因子としては、水素ガス、塩化クロムガス、塩化水素、塩素ガスおよび素材成分 Meなどが考えられる。すなわち、実際の処理においては、拡散剤の組成、処理ふん囲気、素材成分、ガス流量、塩化水素ガス添加量、処理温度、処理時間および炉の形状などによってクロム析出速度は変化する。

とくに注目すべきことは、本報で採用した粉末法などのように、素材表面へのクロム析出を主として化学反応

に依存している場合には、電気メッキなどとは異なり、たとえ環境因子が一定に保たれていても、処理によりクロムが素材表面に析出してくれば表面クロム濃度は上昇するので、クロム析出速度は処理時間の増大にともない減少する傾向を示す。したがって、粉末法などによる拡散被覆処理においては、処理時間全体を通してクロム析出速度を一定に保つことは困難である。

素材成分が異なれば、拡散被覆層形成の3要因のうちクロム析出速度と拡散係数が影響を受ける。ところで著者らは、拡散被覆層の性状はおもに①拡散被覆層厚さ、②表面クロム濃度、③拡散被覆量によって代表できていると考えている。そこでこれらに素材成分(おもに Ni, C, Cr)がおよぼす影響について考察する。

4-1 拡散被覆層厚さ

拡散被覆層は拡散層と被覆層とから成っている。拡散層の厚さはクロムと素材との拡散係数ならびに処理時間に依存する。被覆量の厚さはクロム析出速度と処理時間に依存する。フィックの法則から、拡散層厚さと処理時間との間には一般に放物線的な関係がある。また、図2に示されるように、拡散被覆量(被覆層厚さ

写真1 クロム拡散被覆層の顕微鏡組織
(1050°C×3h, 水素ガス中処理)

に比例していると考えられる)と処理時間との間にも放物線的な関係がある。したがって、拡散被覆層厚さと処理時間との間にも放物線的な関係が予想される。実際に、図1に示されるように拡散被覆層厚さは放物線的な傾向で増加する。

素材成分が異なれば、クロムの拡散係数が変化する。また、図3に示されるように、クロム析出速度も変化する。したがって素材成分によって拡散被覆層厚さも異なってくる。

図5に例示したように、素材成分が異なると拡散被覆層のクロム濃度曲線も大きく変化する。このおもな原因は、拡散係数がクロム濃度に依存して変化するためと思われる、その依存性も素材の材質によって大きく異なる。18Cr/10Ni/Ti鋼では図5のように α 相と γ 相との拡散係数の違いにより折点を生じるので、写真1のように顕微鏡的に拡散被覆層厚さを知ることができる。

4-2 表面クロム濃度

表2から明らかなように、Ni系素材の表面クロム濃度はFe系素材に比較して高い傾向にある。(3), (4), (5)式の化学反応は試片表面で起こっている。したがって試

片の表面クロム濃度は、化学反応によるクロム析出を支配する重要な因子である。ここで、任意の一定条件で処理した試片の表面クロム濃度が完全に飽和したときの値を平衡表面クロム濃度と呼ぶことにする。つぎに、図2のNiと18Cr鋼の曲線の接線の傾きを比較することにより、Niの析出速度は18Cr鋼のそれよりも大きいことがわかる。すなわち、Niの表面クロム濃度は18Cr鋼のそれよりも高いにもかかわらずクロム析出速度が大きいことから、Niは素材の平衡表面クロム濃度を上昇させる触媒的效果を持つものと解釈される。

18Cr鋼と0.15C鋼について表面クロム濃度を比較することにより、素材成分としてのクロムの影響を考察できる。Fe-Cr系の拡散係数はクロム濃度に大きく依存しており⁵⁾、1050°Cでは20%Cr付近で最大となる。したがって、18Cr鋼の表面クロム濃度が0.15C鋼よりも低いのは拡散係数が大きいためである。さらに素材中のクロム量が増加すれば、拡散係数は減少し、また平衡表面クロム濃度との差も少なくなるので、表面クロム濃度は上昇しクロム析出量も少なくなるはずである。

同じ18Cr鋼でもC量によって表面クロム濃度は異なってくる。すなわち、C量の高い18Cr/0.09C鋼の表面クロム濃度は18Cr/0.06C鋼に比較して高い傾向になる。クロムの拡散係数は、C量が高くなるとクロム炭化物の生成などが原因となって、減少するので、18Cr/0.09C鋼の表面クロム濃度が高くなったものと思われる。

1050°Cを例にとった表2の結果によれば、処理試片の表面クロム濃度はNiを除いて、処理時間が3hから7hと長くなると、上昇の傾向を示した。これらの結果は既報²⁾で18Cr/10Ni/Ti鋼について行なったものと一致するが、18Cr鋼と0.15C鋼の表面クロム濃度の上昇は18Cr/10Ni/Ti鋼のそれとは内容が異なると思われる。すなわち、これらのFe系素材の表面クロム濃度が上昇したのは、クロム炭化物の生成量が増加してクロムの素材内部への拡散速度が低下したためと考えられる。

18Cr/0.06C鋼、18Cr/0.09C鋼および0.15C鋼の3素材について1050°C×3h処理での表面クロム濃度を比較すると、0.15C鋼、18Cr/0.09C鋼、18Cr/0.06C鋼の順序で低下する。図2の結果からわかるように、同条件での3素材のクロム析出速度は18Cr/0.06C鋼、18Cr/

写真2 クロム拡散被覆材の表面状況
(1050°C×3h, 水素ガス中処理)

- a) Ni
- b) 18Cr/10Ni/Ti鋼
- c) 18Cr/0.06C鋼
- d) 18Cr/0.09C鋼
- e) 0.15C鋼

0.09C鋼, 0.15C鋼の順序で小さくなる。処理開始時点では, 0.15C鋼の表面クロム濃度は18Cr鋼のそれより低いから, クロム析出速度も大きいものと考えられる。しかし0.15C鋼中のクロム拡散係数は前述のように18Cr鋼よりも小さいため, 表面クロム濃度は短時間のうちに18Cr鋼のそれより高くなる。しかも時間の経過とともに炭化物量も多くなるので, クロムの拡散係数はさらに小さくなっていく。したがって表面クロム濃度が上昇し, クロム析出速度すなわち拡散被覆量は小さくなるものと解釈される。これらの考察は, 拡散係数の影響が少ない900°Cにおいては, 0.15C鋼の表面クロム濃度は18Cr鋼のそれよりも高い傾向にあり, 0.15C鋼の拡散被覆量は, 1050°Cの結果とは逆に, 18Cr鋼のそれよりも多い傾向にあることから理解できる。

4-3 拡散被覆量

4-3-1 Niの影響

図2, 4に示されるように, 拡散被覆量は素材中のNiによって影響を受ける。すなわち, 水素ガス中で処理するとき, Ni系素材の拡散被覆量はFe系素材に比較して多くなる傾向を示す。とくに拡散係数が小さい低温側ではその傾向が顕著である。表2に示されるように, 低温側で処理したNi系素材の表面クロム濃度は18Cr鋼に比較して高い傾向にあるにもかかわらず拡散被覆量が多いのは, 前述のように, Ni系素材の平衡表面クロム濃度が高いためと想像される。

また, 低温側で処理したときの拡散被覆量はNi, 18Cr/10Ni/Ti鋼, 0.15C鋼の順序で減少していることから, 素材中のNi含有量に比例して拡散被覆量も増大するものと思われる。これらの結果は原田らの報告⁹⁾とも一致する。したがって, 本報で用いた粉末バック法によるクロム拡散被覆においては, Ni含有量の多い素材を用いることにより拡散被覆量を増大させることができる。

図2の結果によれば, 18Cr/10Ni/Ti鋼の拡散被覆量は処理時間が短い間は18Cr鋼よりも少ないが, 処理時間が長くなると18Cr鋼のそれに近づく傾向を示す。この結果について, 著者らはつぎのように解釈している。すなわち, 処理の初期段階においては18Cr鋼の拡散係数は18Cr/10Ni/Ti鋼よりも大きいので, 表面クロム濃度の上昇割合は少なく, 平衡表面クロム濃度は18Cr/10Ni/Ti鋼より低くても, クロム析出速度は大きく保たれており, したがって18Cr鋼の拡散被覆量は18Cr/10Ni/Ti鋼よりも多くなっていると考えられる。しかし, 処理時間が経過するにつれて, 18Cr鋼の拡散被覆層に形成されるクロム炭化物量が增加するために, クロムの拡散係数も小さくなっていき, それにともない試片の表面クロム濃度が上昇するので, クロム析出速度もし

だいに小さくなる。それに対して, 18Cr/10Ni/Ti鋼ではクロム炭化物の生成が少ないので, 拡散係数の変化も小さく, 表面クロム濃度の上昇割合も少ない。したがって18Cr/10Ni/Ti鋼のクロム析出速度の減少は18Cr鋼に比較して少なく, 処理時間が長くなるにしたがい, 18Cr/10Ni/Ti鋼の拡散被覆量は18Cr鋼のそれに近づく傾向を示していると思われる。これらの解釈については, 図2に示される18Cr/10Ni/Ti鋼の曲線の接線の傾きが18Cr鋼のそれらよりも大きい傾向にあることから理解される。

図4の結果によると, 低温側では18Cr/10Ni/Ti鋼の拡散被覆量は18Cr鋼よりも多いが, 高温側では少ない傾向にある。しかし, 前述の1050°Cの例にも見られるように, 高温側でも長時間処理を行えば, 18Cr/10Ni/Ti鋼の拡散被覆量は18Cr鋼のそれに近づいていくものと推察される。

表3の結果によると, 水素ガス中処理のときのNi系素材の拡散被覆量はアルゴンガスのときの約2倍となる。Fe系素材も同様に多い傾向にあるが, Ni系素材のときに比較して増加の割合が少ない。アルゴンガスふん囲気でも還元反応によるクロム析出が起きていることから, 素材成分としてのNiが素材表面へのクロム析出を促進する触媒的效果を発揮するのは, 水素ガスふん囲気のように水素ガス分圧が高い場合と想像される。写真2に示されるように, Ni系素材の処理表面はFe系のそれとは趣が異なっており, Ni含有による影響が認められる。

4-3-2 Crの影響

図2に示されるように, 18Cr鋼の拡散被覆量は0.15C鋼のそれよりも多い。18Cr鋼の拡散係数が0.15C鋼よりも大きい¹⁰⁾ために, 表面クロム濃度の上昇割合が少なく, クロム析出速度が大きく保たれているためと考えられる。

したがって, 素材成分としてCrが含有されたとき, 約20%Crまでは拡散係数が増大するので, 拡散被覆量はCrを含有しない素材に比較して増加することもある。しかし, それ以上にCr含有量が増せば, 逆に拡散係数は低下し¹¹⁾, 同時に平衡表面クロム濃度との差も少なくなるので, 拡散被覆量はしだいに減少するものと思われる。

図4に示されるように, 低温(900°C)では0.15C鋼の拡散被覆量は18Cr鋼よりも多い。低温では拡散係数が小さいので化学反応の影響が大きく表われているためである。したがって, 拡散係数が等しいときには素材中のCr量が少ないほどクロム析出速度は大きいと考えてよい。

4-3-3 Cの影響

18 Cr/0.06 C鋼の拡散被覆量は、図2に示されるように、18 Cr/0.09 C鋼よりも多い。処理時間が長くなるにつれて、その拡散被覆量の差は増大する傾向にある。この原因は、C含有量の多い18 Cr/0.09 C鋼では炭化物生成量も多く、処理時間が長くなるとその量も増加し、クロムの拡散係数が小さくなるので、表面クロム濃度が18 Cr/0.06 C鋼に比較して高くなり、クロム析出速度が低下するためと考えられる。したがって、素材中のCはクロムの拡散係数を減少させるので拡散被覆量を減少させる。

5. ま と め

著者らは、素材としてNi, 18Cr/10 Ni/Ti 鋼, 18Cr/0.06 C鋼, 18 Cr/0.09 C鋼および0.15 C鋼を使用して、素材成分が粉末バック法によるクロム拡散被覆量の形成におよぼす影響について検討を行なった。結果を要約するとつぎのようである。

(1) 水素ガス中では素材成分としてのNiは、クロムの析出を促進する触媒的な効果を持ち、Fe系素材に比較して拡散被覆量と表面クロム濃度を増大させる。

(2) 素材成分としての約18% Crの含有は、0.15 C鋼

に比較して拡散係数を増大させるので、高温では表面クロム濃度の上昇をおさえ拡散被覆量を増大させる。しかし拡散係数の小さい低温では逆に拡散被覆量を減少させる。

(3) 素材成分としてのCは、拡散係数を低下させるので、表面クロム濃度を上昇させ、拡散被覆量も減少する。

(4) 素材成分の違いによる拡散被覆量の変化は、クロム析出速度がおもに平衡表面クロム濃度（前出）と表面クロム濃度との差に依存していると考えることにより、合理的に説明される。（1973—7—16 受理）

文 献

- 1) 上田重朋, 光田章一, 本誌, **24**, 574 (1973)
- 2) 光田章一, 上田重朋, 日本金属学会誌, **36**, 1009 (1972)
- 3) 原田良夫, 根来正明, 大前寛, 本誌, **23**, 32(1972)
- 4) 帆足純, 吉本三則, 勝田実, 吉田宏, 鉄と鋼, **56**, 1880 (1970)
- 5) 邦武立郎, 日本金属学会誌, **25**, 698 (1961)
- 6) 原田良夫, 根来正明, 大前寛, 本誌, **22**, 12(1971)

一 次 号 予 告

<巻 頭 言>

難局と対決する塗料工業……………神 津 治 雄(関西ペイント)

<研 究>

銅の大気暴露生成物の解析……………鈴 木 正 文(古 河 電 工)
他 1 名

グルコン酸塩浴からのスズ-亜鉛合金メッキ(+スズ-亜鉛合金メッキに関する研究 第1報)……………土 肥 信 康(兵 工 試)
他 1 名

アルミニウム拡散被覆ステンレス鋼の高温酸化……………上 田 重 朋(早 大)
他 2 名

各種水溶液における鉄の電解加工(高電流密度における金属溶解に関する研究 第1報)……………神 田 基(東 工 大)

高電流密度における鉄のアノード分極特性(高電流密度における金属溶解に関する研究 第2報)……………神 田 基(東 工 大)

ペーマイト皮膜の組成と構造におよぼす添加剤と加工水蒸気処理の影響……………阿 部 隆(昭 和 ア ル ミ)

<技 術 解 説>

フォトリソグラフィ技術の動向……………鈴 木 暁 二(富 士 写 真)
フ ィ ル ム