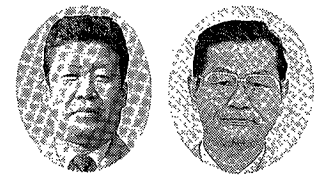


無電解Niめっきの压力容器への適用

Apply to the Pressure Vessels of Electroless Plating



(化)生産管理部 生産技術課
宮崎 公志
Koshi Miyazaki
栗林 宏明
Hiroaki Kuribayashi

This paper presents the fundamentals and characteristics of electroless plating, as well as its application to pressure vessels all of which will help to understand various technical problems associated with electroless nickel plating and its application to pressure vessels.

まえがき

めっきを利用して、素材に耐食性や耐摩耗性を付与する方法の一つに無電解Niめっきがある。無電解Niめっきの歴史は決して新しいものではなく、1944年に米国で見いだされた後、1960年には各地で工業化に入っている。このめっきは、Ni塩と次亜りん酸塩を主成分とする温浴中に被覆物を浸せきし、化学的な還元作用によって行われる。最近では、めっき液が大幅に改良され、コストダウンが進み非常に簡単な技術と設備でめっき作業が行えるようになった。

当社では、すでにその特性に着目し、1980年に高効率重合反応装置の内部ジャケット部に、冷却水に接する部分の防食とU値の経年低下を防ぐことを目的に施工しており、現在までに10基以上施工してきた。本稿ではこの施工実績をふまえ、無電解Niめっきの概要を紹介する。

1. 無電解めっきの基礎

1.1 無電解めっきとは¹⁾

金属塩溶液から金属イオンを被めっき体表面へ還元し金属被膜を作らせる技法に、電気めっき、置換めっき、および化学還元めっきの三つの方法がある。いずれも溶液中の金属イオンがイオン価に相当する電子を受け取って被めっき体表面に析出し、金属被膜として接着されることには変わりはないが、それぞれの場合で電子の供給源を異にしている。それらをモデル的に第1図に示す。第1図の(a)は電気めっきで、この場合は外部電源から運ばれる電子が陰極面上で金属イオンに転移し、いわゆる陰極反応によって陰極表面に金属被膜が形成される。そのとき対極として溶解性の陽極を用いるならば、析出によって減少する金属イオン

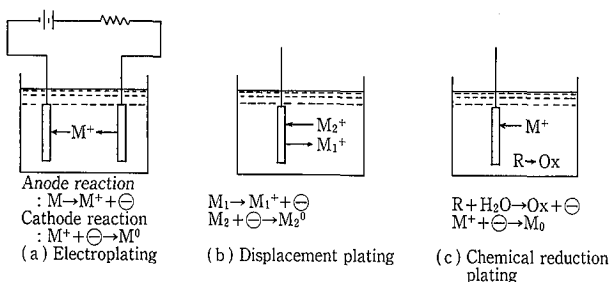
の補給は陽極金属の溶解によって自動的に行われ、電解中めっき液の組成はほとんど変わらない。もちろん、不溶解性陽極を用いる場合はめっき液組成の変化がある。金属の析出と溶解は流される電気量によって自由に調節できる。

第1図の(b)は異種金属のイオン化傾向の差異(溶液中における異種金属の電位差)を利用するもので、電気化学的に貴の金属(M₂)イオンを含む溶液の中に、電気化学的に卑な金属(M₁)素地を挿入するとき、その卑金属の溶解によって放出される電子が、溶液中の貴金属イオンへ転移し、卑金属表面上に貴金属の被膜が形成されるものである。硫酸酸性硫酸銅溶液中に挿入された鉄片上に銅めっきができるのはその好例である。このめっきは溶液中で金属イオンが置換されてできるので置換めっきと呼ばれているが、めっき操作が被めっき体を金属塩溶液中に浸せきするだけであるため、浸せきめっきとも呼ばれている。本法によるめっき膜は非常に薄くてピンホールが多く、素地との密着も悪いので実用上は少数の実施例があるにすぎない。

第1図の(c)は金属塩と可溶性還元剤(R)の共存する溶液に被めっき体を接触させるときに得られるめっきで、還元剤の酸化によって放たれる電子が金属イオンに転移し、金属被膜ができるものである。操作上は浸せきめっきと同様であるが、原理上は化学的還元に基づくものであるゆえ化学還元めっきと呼ばれるべきものであるが、電気力によらないという意味で一般に無電解めっきと呼ばれている。

1.2 無電解めっき反応と機構

無電解めっき浴は可溶性の金属塩と還元剤を主成分とし、錯化剤、浴安定化剤などを補助成分とするかなり複雑な混合溶液である。次亜りん酸一還元型のNiめっき浴の一例を第1表に示す。²⁾³⁾ これらの浴は、液中ではめっき反応が起こらないよう還元剤は酸化速度の遅い次亜りん酸塩を用いる。そこで温度を上げて(80~90℃)酸化速度の促進を計るが、それでもなお次に示すめっき反応は進まない。結局、素地表面のめっき反応に対する触媒性の助けをかりて漸くめっきの生成が起こるよう浴が作られている。そのため電流を用いることなく浴が安定でしかも浸せきした素地表面にだけスムーズにめっき反応が進行するのである。一度めっきが析出するとそのめっき自体のもつ触媒活性によって反応は継続され、時間と比例して膜厚が増大する(自己触媒作用)。この自己触媒の作用を持たない金属



第1図 メッキのモデル図
Fig. 1 Models of plating

第 1 表 無電解ニッケルめっき浴条件⁴⁾

Table 1 Conditions for electroless nickel plating bath

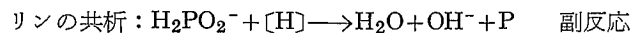
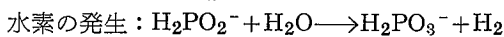
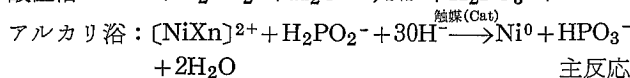
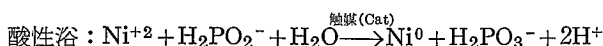
Components/conditions	Type of bath			
	Acidic bath ²⁾	Acidic bath ³⁾	Ammonium alkali bath	Caustic alkali bath
Sulfuric acid (Nickel chloride)	0.08 mol/ℓ	0.1 mol/ℓ	0.1 mol/ℓ	0.1 mol/ℓ
Sodium acetate	—	0.2	—	—
Lactic acid	—	—	—	—
Ploipionic acid	0.3	—	—	—
Sodium citrate	0.03	0.05	0.2	0.2
Sodium hypophosphite	—	0.15	0.2	0.2
Boric acid	—	—	—	0.5
Ammonium sulfate (Chloride)	—	—	0.5	—
Thiourea	—	3~5 ppm	—	—
pH	4.5~5.5	5.0~5.5	8~9(NH ₄ OH)	8~9(NaOH)
Temp. (°C)	90	90	90	90

第 2 表 無電解 Ni-P めっき膜の性質電気ニッケルめっきとの比較⁴⁾

Table 2 Physical properties of electroless Ni-P film in comparison with electro-nickel plating

	Electroless Ni-P	Electro Ni-P
Composition	Ni 89~91%, P9~11%	Ni 99.5%
Structure	Non-crystalline	Fine crystalline
Fusion point	890 °C	1 450 °C
Electrical resistance	60 μΩ/cm	Approx. 8.5 μΩ/cm
Thermal conductivity	0.010 5 cal/cm/sec/°C	—
Expansion coefficient	13×10 ⁻⁶ cm/cm/°C	—
Reflection factor	49~50 %	—
Specific gravity	7.9	7.7
Hardness	As plated at 500±50 Hv After heat treatment at 1 025±50 Hv	150~250 Hv normal bath 400~500 Hv gloss bath
Adhesion to iron	3 500~4 900 kg/cm ²	3 500~4 200 kg/cm ² 10~30 % normal bath, 5~15 % gloss bath
Elongation	3~6 %	—
Abrasion resistance	13.7	14.7
Stress	Compression	Tension
Porosity	Mil in thick of 0.005 mm	Disappears in thickness of 0.005 mm
Magnetic factor	4.0 %	37.5 %
Homogeneous deposition	±10 % max.	Unfixed
Fine homogeneous deposition	Good	Bad unless additive is added
Plating rate	Approx. 0.025 mm/h	0.025 mm/h at 2 A/dm ²

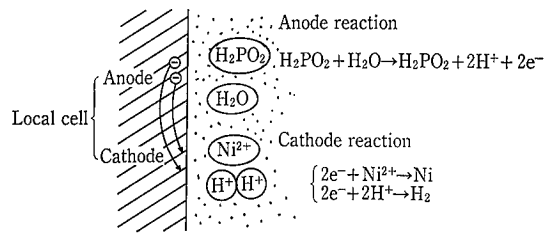
はめっきできないので、無電解めっき可能な金属は限定される。Ni, Co, Cu, Ag, Au などが現在実用されている主なものである。めっきの基礎反応は次のようである。



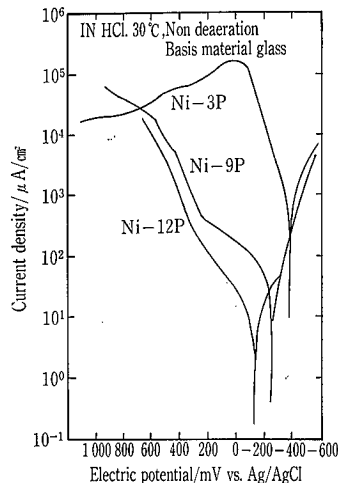
一方、上記の諸反応がどのような機構にそって進行するのか? についても数種の説が提案されているがまだ定説はない。最近、局部電池形成による電気化学的還元機構の説⁴⁾に基づくめっき反応の速度論的研究が相次いで発表されており⁵⁾、今やその主流になった感さえあるので、簡単にこの説による無電解めっき生成の考え方を述べる。めっき浴中に素地を浸すと、まず液中に溶存している Ni²⁺, H₂PO₂⁻, H⁺ などの反応種が素地表面に吸着し、それぞれの電位に応じて局部電池を形成する結果(第 2 図参照)その起電力が反応の駆動力となって上式に従いめっき反応が進行する。

2. 無電解 Ni めっきの特性

無電解 Ni めっきの皮膜は、Ni と P の合金で、第 2 表に示すような性質をもつ。めっき膜に入る P の量はめっき液



第 2 図 局部電池機構による無電解めっき反応の図解
Fig. 2 Illustration of electroless plating reaction by local cell mechanism



第 3 図 無電解 Ni-P 合金皮膜の IN, HCl 溶液 30 °C における分極曲線
Fig. 3 Polarization curve of Ni-P alloy in IN, HCl solution at 30 °C

の組成や、めっき条件によって変わるが、現在実用的に用いられているめっき浴からの皮膜は、ほとんどが 9~11 % P の合金である。

2. 1 耐食性

めっき膜に P が含まれるため皮膜自体が不活性で、電解質などに侵されにくいこともあるが、無電解めっき独特の素材を完全に覆う効果が耐食性向上に大きく寄与している。第 3 表に無電解 Ni めっき皮膜の耐食性を示す。化学的耐食性は純 Ni よりむしろすぐれ、非酸化性の酸に強く、有機酸、か性アルカリ、希硫酸のほかほとんどの有機溶剤に対してすぐれた耐食性を示す。しかし Ni そのものを侵す薬品や亜硫酸ガスなどには侵される。Ni-P 合金の皮膜は P の含有量(約 8 % 以上)が増加することによって非晶質構造となり第 3 図にその一例を示す。⁶⁾ 素地の影響を除くためにガラス板に無電解法にて Ni-P 合金皮膜を作成し、その皮膜の IN, HCl 溶液 30 °C における分極曲線を示す。Ni-P 合金の高耐食性は、溶液中に Ni が溶出し表面に P の濃縮層が生成するためと考えられている。⁷⁾

3. 2 硬度

無電解 Ni めっき膜の硬度は、熱処理を行う前の状態では Hv 550~600 で、光沢電気 Ni とさほど変わらないが、熱処理によって最大 Hv 1 100 程度まで上げることができる。皮膜の硬化は 230 °C 以上ではじまり、温度の上昇とともに硬度が増し、普通 400 °C 付近で最高値に達する(第 4 図)。この値は硬質 Cr めっき(Hv 800~900)を若干上まわるものである。熱処理時間は 400 °C の場合、10 分で最大硬度に達するとの報告もあるが、実際には 1 時間程度行う場合が多い。250 °C でも 12 時間以上かければ上記の値が得られるといわれる。⁸⁾ 加熱時の硬度は温度上昇とともに低

第3表 無電解ニッケル皮膜の耐食性

Table 3 Corrosion resistance of electroless nickel⁶⁾

Corrosive liquid	Temperature	Immersion	Aeration	Test Period, weeks	Penetration, mils per year
"Kanigen,"* as Deposited					
Acetylene bromide	R ^(a)	T ^(b)	No	3	No attack
Amyl alcohol	R	T	No	24	No attack
Benzole	R	T	No	24	No attack
Benzyl acetate	R	T	No	24	No attack
Carbon disulfide	R	T	No	21	No attack
Carbon disulfide and water	R	T	No	21	No attack
Cobalt linoleate	R	T	No	16	No attack
Glucose	R	T	No	16	No attack
Isoamylolyl orthophosphate, 75 percent	R	T	No	3	No attack
Methyl alcohol	R	T	No	24	No attack
Naphtha, odorless	R	T	No	3	No attack
Petroleum white oil	R	T	No	3	No attack
Photographic: Developer	R	T	No	4	No attack
'Hypo' solution	R	T	No	4	No attack
Refinery brine solution	R	T	No	23	No attack
Sodium: Carbonate, 10 percent	R	T	No	4	No attack
Hydroxide, 10 percent	R	T	No	4	No attack
Acetic acid, 5 percent	R	T	No	4	0.8
Acetic acid, 5 percent	R	T	Yes	4	6.0
Acetone	R	T	No	16	0.003
Acetylene bromide, 1 percent water	R	T	No	3	Slight weight gain
Allyl chloride	R	T	No	24	0.04
Aluminum sulfate, saturated	R	T	No	4	0.3
Ammoniated ammonium: Nitrate	R	T	No	16	0.3
Nitrate vapor	R	T	No	16	0.3
Ammonium:					
Chloride saturated, 30 percent NH ₃	R	T	No	16	0.2
Hydroxide, 30 percent NH ₃	R	T	No	4	2.3
Phosphate, 5 percent	R	T	No	4	0.7
Sulfate, saturated	R	T	No	20	0.05
Sulfate, 5 percent	R	T	Yes	8	1.2
Sulfite, saturated	R	T	No	20	0.02
Thiocyanate	R	T	No	20	0.2
Amyl acetate	R	T	No	24	0.002
Amyl chloride	R	T	No	24	0.01
Aniline hydrochloride, saturated	R	T	No	16	0.5
Beer	R	T	No	4	0.2
Benzyl alcohol	R	T	No	28	0.004
Benzyl chloride	R	T	No	16	1.
Black liquor skimmings	R	T	No	12	0.01
Boraxo, saturated	R	T	No	32	0.1
Boric acid	R	T	No	8	0.5
Calcium chloride: 48.5 percent	R	T	No	32	0.008
48.5 percent	R	T	Yes	32	0.04
Carbon tetrachloride	R	T	No	32	0.005
Cetyl alcohol, molten	160F	T	No	8	0.008
Citric acid, 5 percent	R	T	No	16	0.03
Citric acid, 5 percent	R	T	Yes	8	0.07
Cresylic acid	R	T	No	16	0.002
Detergent solution, 5 percent (Tide)	R	T	No	4	0.04
Dibutyl phthalate	R	T	No	8	0.006
Diphenyl, molten	160F	T	No	8	0.009
Ethyl alcohol	R	T	No	24	0.007
Fluorophosphoric acid	R	T	No	(12 days)	2.
Formaldehyde	R	T	No	16	0.2
Gasoline	R	T	No	4	0.02
HCl solution: pH 1.5	R	T	No	4	1.
pH 1.5	R	T	Yes	4	5.
pH 2.0	R	T	No	4	0.9
pH 2.0	R	T	Yes	12	3.
pH 2.5	R	T	No	4	0.3
pH 3.0	R	T	No	4	0.1
pH 3.5	R	T	No	4	0.07
pH 3.5	R	T	Yes	4	0.4
pH 4.0	R	T	No	4	0.05
pH 4.0	R	T	Yes	10	0.1
Insectisol	R	T	No	3	0.008
Lactic acid: 45 percent	R	T	No	16	0.1
45 percent	R	T	Yes	4	2.
80 percent	R	T	No	32	0.05
80 percent	R	T	Yes	8	0.7
Lemon juice: Canned	R	T	No	4	0.2
+0.1 percent sodium benzoate	R	T	Yes	(23 days)	0.9
Oleic acid	R	T	No	10	0.008
Orange juice, canned	R	T	No	4	0.01

Corrosive Liquid	Temperature	Immersion	Aeration	Test Period, weeks	Penetration, mils per year
Petroleum, sour crude	R	T	No	2	0.001
Rosin size: Concentrated	194 F (90C) reflux	T	No	3	0.01
50 percent	194 F (90C) reflux	T	No	3	0.06
Sodium: Cyanide, 5 percent	R	T	No	4	0.5
Hydroxide, 40 percent	R	T	Yes	20	Slight weight gain
Hydroxide, 72 percent	240 F (116C) reflux	T	No	16	0.07
Stearic acid	158 F (70C)	T	No	4	0.02
Sulfuric acid: 1 percent	R	T	No	4	1.
5 percent	R	T	No	1	1.
Tall oil, crude	R	T	No	12	0.03
Tall oil, refined	R	T	No	32	0.02
Tanning solution (Korean)	R	T	No	3	0.05
Thionyl chloride, anhydrous	R	T	No	3	0.03
Urea, 25 percent	R	T	Yes	16	0.05
Urea, saturated	R	T	Yes	16	0.05
Water, chlorine: 5 ppm Cl ₂	R	T	No	4	0.02
10 ppm Cl ₂	R	T	No	4	0.01
Water, deionized	R	T	Yes	12	0.02
Water, deionized	120 F (49C) reflux	T	No	12	0.01
Water, deionized	180 F (82C) reflux	T	No	12	Slight weight gain
Water, distilled	R	T	No	4	0.03
Heat Treated at 1380F (750C)					
Acetic acid: 5 percent	R	T	Yes	20	0.9
10 percent	R	T	No	16	0.2
10 percent	R	T	Yes	8	1.
50 percent	R	T	No	20	0.2
50 percent	R	T	Yes	8	2.
glacial	R	T	No	20	0.02
glacial	R	T	Yes	8	1.
Ammoniated ammonium:					
Nitrate	R	T	No	12	0.03
Nitrate vapor	R	T	No	16	0.3
Ammonium:					
Hydroxide, 30 percent NH ₃	R	T	No	29	0.06
Hydroxide, 30 percent NH ₃	R	P ^(c)	No	24	0.2
Nitrate, 63 percent	R	T	No	28	0.1
Nitrate, 63 percent	R	T	No	24	0.01
Sulfate, saturated	R	T	Yes	20	0.02
Sulfate, 5 percent	R	T	Yes	20	0.09
Beer	R	T	No	4	0.008
Calcium chloride: 48.5 percent	R	T	No	32	0.001
48.5 percent	R	T	Yes	20	0.01
Ethylene glycol	Standard corrosion test			3	0.03
Formaldehyde: 37 percent	R	T	No	28	0.007
37 percent	R	P ^(c)	No	24	0.012
HCl solution: pH 1.5	R	T	Yes	8	3.
pH 2.0	R	T	Yes	8	0.6
pH 2.5	R	T	Yes	12	0.6
pH 3.0	R	T	Yes	12	0.2
pH 3.5	R	T	Yes	32	0.09
pH 4.0	R	T	Yes	32	0.02
Lactic acid: 45 percent	R	T	No	32	0.009
45 percent	R	T	Yes	16	0.8
80 percent	R	T	No	32	0.006
80 percent	R	T	Yes	16	0.2
Phosphoric acid, 85 percent	R	T	No	28	0.008
Sodium: Hydrosulfide, 40 percent	R	T	Yes	24	Slight weight gain
Hydroxide, 72 percent	240 F (116C) reflux	T	No	24	0.4
Sulfuric acid: 1 percent	R	T	Yes	8	2.
5 percent	R	T	No	16	0.4
5 percent	R	T	Yes	4	2.
Urea, 25 percent	R	T	Yes	16	0.009
Urea, saturated	R	T	Yes	16	0.008
Wine, sherry	Refrigerated	T	No	32	0.004
Zinc ammonium chloride	230 F (110C) reflux	T	No	4	2.

*Trademark, General American Transportation Corporation

(a) R, room temperature, 65 to 85 F (149 to 185 C)

(b) T, total immersion.

(c) P, partial immersion.

下するが、400 °C 以下では硬質 Cr より、Ni-P が上まわり400 °C 以上では硬質 Cr の方が上まわる。⁹⁾

3.3 耐摩耗性

硬度の上昇とともに耐摩耗性も向上するが、これに関するデータはいろいろにわかれている。最大硬度に達する熱処理をしたものが、最小の摩耗値を示す例はもちろん多いが、硬度と耐摩耗性は必ずしも一致していない。600 °C 以上で熱処理したほうが皮膜のもろさが緩和され、素材が鋼の場合、拡散層が形成されて密着性と耐食性が向上し、高荷重や衝撃の加わる過酷条件で耐摩耗性が向上するといわれる。¹⁰⁾

3.4 その他の性質

無電解 Ni めっき膜の引張強さは 440 N/mm² といわれ、電気 Ni めっき膜より若干強い。熱処理によってこの値はかなり減少する。¹¹⁾ 無電解 Ni めっき膜の内部応力は、鋼の上で約 30 N/mm² ぐらいの、弱い引張応力といわれている。これは素材によって違い、熱膨張係数の高い真ちゅう、Al などの上では圧縮、熱膨張係数の高い Ti, Be などの上では引張りとなる。¹²⁾

3.5 耐食性皮膜としての利用

石油精製関係の部品や、海洋環境に耐えなければならぬ船舶部品などには、とくに向くといわれる。素材に耐食性を与えることを第一目的とする場合は、めっきの厚みを

十分に厚くする必要がある。Ni-P の皮膜は銅合金やステンレス鋼に対しては卑であるが、鉄素材に対しては貴となる。そのため鉄素地上の亜鉛めっきのように、めっき膜が犠牲層となって素地を保護する作用はないから、素地を Ni-P 膜で完全に覆う必要がある。それには十分なめっき膜厚と欠陥のない素地加工が必要である。耐食性を主体とする場合、めっきの膜厚は少なくとも 25 μm 以上、できれば 30 μm 以上ほしい。

4. 圧力容器への適用

4.1 めっき施工試験

第5図に無電解 Ni めっき実験フローおよび写真1にその外観を示す。20A短管およびモックアップ（写真2）を使用し、各種実験を実施した。

本実験で得られた結果としては

- (1) めっき液の組成並びに操作条件は、めっき液販売メーカー間で、微妙に異なるが、結果として、ほとんど差異は認められなかった。
- (2) 管内流速による影響では、面流速が 0.5 m/s 以下では、同一操作条件下で所定のめっき膜厚が得られた。

4.2 モックアップテスト

SS製モックアップ構造断面を第6図に示す。この構造の目的は、ガス溜り部、隙間部および溶接部を設け、それらの部位のめっき挙動を観察するためのものである。その

マイクロ組織観察位置を第7図に示す。

その結果、

- (1) 写真3に示すとおり、上層部エア溜り部には当然めっきはつかない。
- (2) 溶接部上および隙間部のめっき状況は、写真4およびその断面マイクロ観察の結果からいずれも良好である。（写真5）

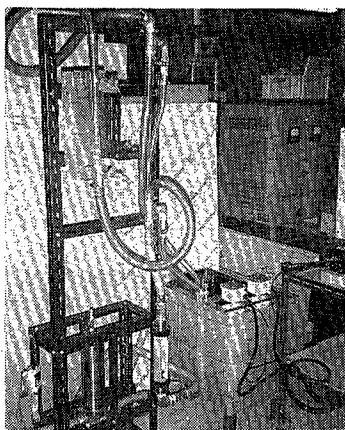


写真1
無電解 Ni めっき実験装置外観
Photo. 1
Outside view of electroless Ni-plating experimental equipment

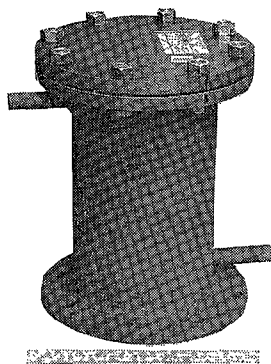
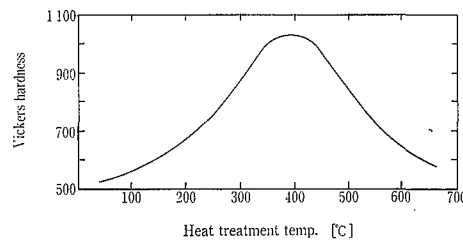
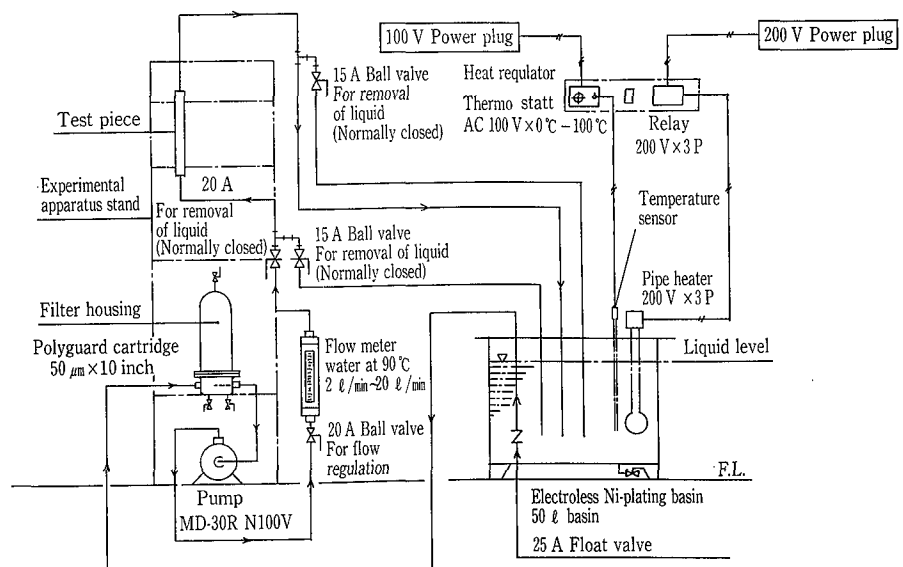


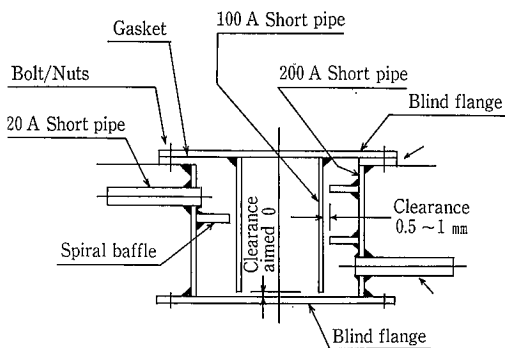
写真2 モックアップ外観
Photo. 2 Outside view of mock up



第4図 熱処理温度とめっき膜の硬度
(熱処理時間1時間、膜厚120 μm)
Fig. 4 Plating film hardness vs. heat treatment temperature
(Heat treatment time 1 hr. film 120 μm)



第5図 無電解 Ni めっき実験装置
Fig. 5 Experimental apparatus for electroless Ni-plating



第6図 モックアップ断面
Fig. 6 Sectional view of mock up

4. 3 実機への適用

プロセスおよび工事手順の概要を第4表に示す。
また実際の無電解 Ni めっき施工状況を写真6に示す。

4. 3. 1 判定基準

基本的には下記3とおりの方法にて総合判定する。

1) テストピース浸漬テスト

めっき液出入口間には Ni 濃度勾配があり、実測した結果を第8図に示す。

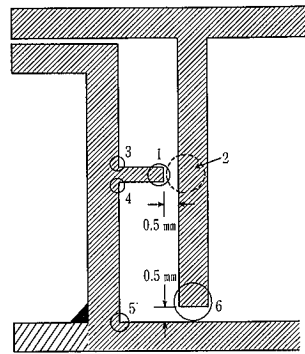
したがってめっき膜厚はめっき液戻り口にテストピースを吊り下げ、めっき前後の厚みをマイクロメータ(1μ単位)にて測定するか、化学天秤にて重量測定し、めっき厚みを時間換算する。

(例) めっき厚み30ミクロンの場合

2時間でテストピース測定し20ミクロンであれば、 $120分 \div 20 = 6分/1ミクロン$ となり、不足分10ミクロン×6分=60分の追加時間めっきする。

2) 定量分析テスト

めっき開始、終了間の Ni 消耗量を計算し、めっき被



第7図
マイクロ組織観察位置
Fig. 7
Microstructure observation

膜厚みを算出する。

表面積×比重×厚み=重量

$$\text{厚み (ミクロン)} = \frac{\text{重量(Gr)} \times 10\,000}{\text{表面積(cm}^2) \times \text{比重}}$$

3) 外観所見

各ノズル部よりライトなどにより、めっき表面状況を観察し、光沢、色調、ザラツキ、異物の有物など調査する。

4. 4 その他

めっき槽内の液管理は、自動液補給装置(上村工業製)を使用し、Ni、塩、還元剤、錯化剤、促進剤、安定剤、pH調整剤等の補給を自動管理できる。

5. 納入実績

当社が開発した高効率重合反応装置の構造¹³⁾を第9、10図に示す。

内部JKTの冷却水に接する部分に防食とU値の経年変化を防ぐ目的で、無電解 Ni めっきを施工している。

これらの納入実績を第5表に示す。

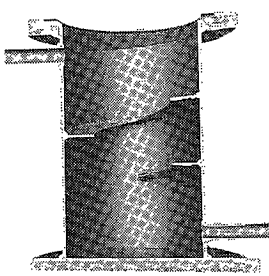
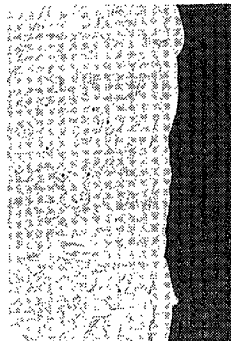


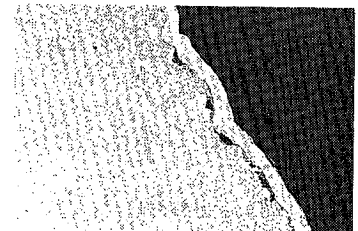
写真3 めっき後の断面状況
Photo. 3 Sections of mock up after plating



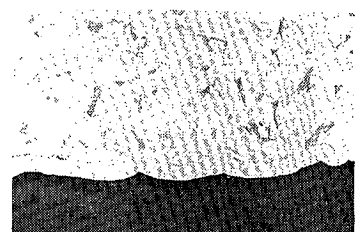
Photographing position 1



Photographing position 2



Photographing position 3



Photographing position 6

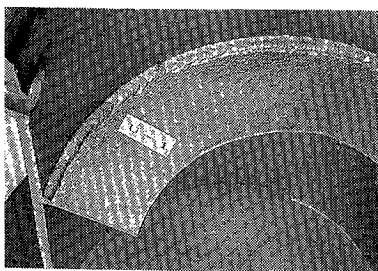
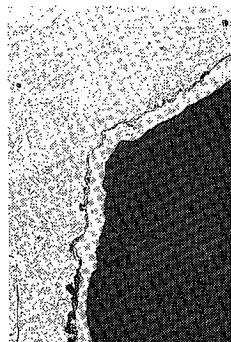


写真4 溶接部めっき状況
Photo. 4 Plating status at welds



Photographing position 4



Photographing position 5

写真5
断面マイクロ組織

Photo. 5
Microstructures of sections

第 4 表 プロセス及び工事手順
Table 4 Process and work procedures

Process	Work procedures and remarks
Surface preparation (Polymerizing vessel)	Apply shot blast equivalent to SPC 5, SSPC Standard. Afterward, grind nozzle welds for finish.
Preparation for plating	Install operation pedestal, pumps and tanks. Perform piping, insulating, electric and scaffolding work. Perform leak test by test run with water followed by additional tightening, if necessary. Suspension of plating liquid and adjustment of acid liquid.
Operation and heating of boiler	Heat polymerizes vessel and plating basin up to 80~90°C.
Washing with water	Carefully wash portions to be plated with water. If grease is found during washing operation, add deoiling process to remove grease.
Acid treatment	Perform acid treatment at temperatures a below 50°C at lower concentrations in a short time.
Washing with water	Continue washing with water until acid is completely removed, confirming with PH test paper that acid is not present.
Plating	Perform plating for 2~3 hours per batch by controlling temperatures at 80~95°C, PH at 4.5~4.8 and Ni concentration at 4.5~4.8g/l.
Washing	Continue washing with water until plating liquid is completely removed, confirming with color that liquid is not present.
Alkali treatment	Perform washing with low-concentration alkali.
Washing with water	
Drying	Dry with air (7 K air)
Inspection	Visually inspect internal surface through nozzle.
Washing with water of attached apparatuses after disassembly	Wash plating apparatuses with nitric acid.

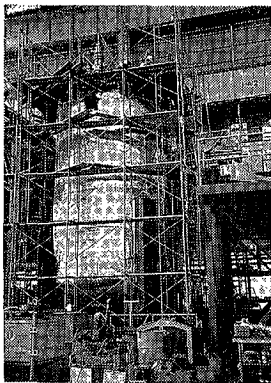


写真 6 無電解Niめっき施工状況
Photo. 6 Status of electroless Ni-plating process

む す び

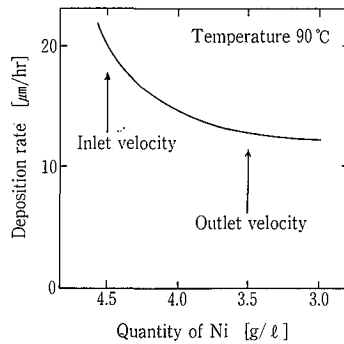
無電解 Ni めっきおよびこれによる圧力容器への適用に関する技術的諸問題について、当社で実施した実験結果をもとに、若干の文献を引用しながら解説した。この解説がユーザの方々にとって少しでもご参考になるならば幸甚に思う。

〔参考文献〕

- 1) 石橋知：無電解メッキ，(1968)，朝倉書店
- 2) 前出 1)
- 3) A. Brenner, C.H. de Minjer：Plating, 43, 1297 (1957)

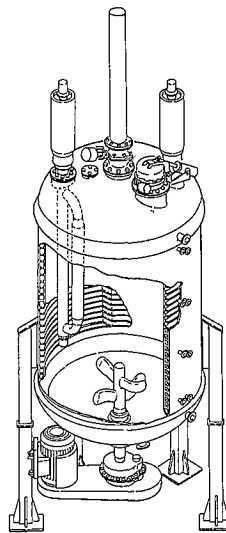
第 5 表 無電解 Ni メッキ納入実績
Table 5 Electroless Ni-plated installations

Capacity of reactor (M ³)	Number of units	Date of delivery
45	1	80—8
65	1	90—2
45	2	90—5
65	1	91—1
68	2	91—3
80	2	91—7
110	2	91—8
123	2	91—11



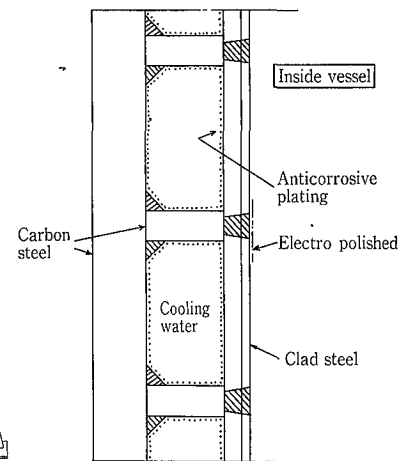
第 8 図
Ni 量と析出速度の関係
Fig. 8

Deposition rate vs. quantity of Ni



第 9 図
高効率重合反応装置

Fig. 9
High thermal flux polymerizer



第 10 図
内部ジャケット構造

Fig. 10
Internal jacket construction

- 4) 石橋知：金属表面技術，12, 447 (1961)
- 5) 大野涼：ibid, 29 600 (1978)，春山志郎，古沢郎，大野涼，ibid, 30, 289 (1979)
- 6) 小若正倫・阮永豊：金属，6, 8 (1990)
- 7) R.B. Diegel, et al.：J. Electrochem. Soc., 135, 1085 (1988)
- 8) W.G. Lee：Plating, 47, 289 (1960)
- 9) International Nickel Co., Inc., The Engineering Properties of Electroless Nickel Deposits (1971)
- 10) G. Gutzeit, E. T. Mapp：Corrosion Technology, 3, 331 (1960)
- 11) 前出 9)
- 12) K. Parker, H. Shah：Plating, 58, 230 (1971)
- 13) 井上一夫・太田克久・富沢藤利・榎木正・平井等：化学工学 55, 487 (1991)