レーザ複合処理による無電解ニッケルめっき皮膜の改質

阿部 芳彦*, 片山 直樹*

*北海道立工業試験場 (〒060-0819 北海道札幌市北区北19条西11丁目)

Improvement of Electroless Nickel Film with Laser Irradiation

Yoshihiko ABE* and Naoki KATAYAMA*

*Hokkaido Industrial Research Institute (N 19 W 11, Kita-ku, Sapporo-shi, Hokkaido 060-0819)

Key Words : Electroless Nickel Plating, Laser Irradiation, Hardness Change

1. はじめに

無電解ニッケル-リン(以下 Ni-P と略す)めっきは、近年最も活発に研究開発が進められているめっき皮膜の一つで、硬さや耐摩耗性などの機能、耐食性、防汚や焼付け防止などの機能、非磁性、離型性、半田付け性などの機能を活かし、種々の産業分野で幅広く使用されている。特に、高 P 型のめっき皮膜はほぼ工具鋼に匹敵する硬さを有し、めっき液の安定性がよくコスト的にも優れているため、耐食耐摩耗性皮膜として注目されている。

これまでの無電解 Ni-P めっき皮膜の技術開発は、二元・三元系の合金めっきや各種微粉末を用いた複合めっきなどの特定分野で優れた性質を発揮する、いわゆる機能性皮膜に向けられていた。一方、無電解 Ni-P めっき皮膜そのものも前述の機能を内在する特異な素材であり、熱処理¹⁾にともなう物性の大幅な変動を示すことなどから、耐摩耗性材料の基材としての可能性が認められた。

そこで筆者らは耐摩耗性皮膜の開発に当たり、(1)無電解 Ni-P めっき皮膜の厚膜化²⁾、(2)熱処理³⁾、(3)複合めっき、(4)各種複合処理³⁾による皮膜の高機能化に取組み、複合処理によって無電解 Ni-P めっき皮膜内に人為的な硬さ変動を導入できることを見出した。複合処理として、(a)高周波イオンプレーティングによる複層化(窒化チタン薄膜)、(b)炭酸ガスおよび(c)YAG レーザ光による照射処理の検討を行った。ここで短時間で効率よくしかも局所的な処理が可能で、実用性が高いと思われるレーザ光照射処理について紹介する。

複合処理によってめっき皮膜内に導入された硬さや物性値などは、超微小皮膜硬さ試験機⁴⁾を用いて測定した。この種の装置に関する詳細な解説⁵⁾が最近発表されたので必要に応じて参照されたい。本報告(四角錐圧子を使用)では塑性硬さ値をピッカース硬さ値に換算した数値とヤング率値を用いて検討した。

2. 炭酸ガスレーザ光照射処理

無電解 Ni-P めっき皮膜表面への炭酸ガスレーザ光照射は、固定位置でミラーを 50 Hz でスキャンさせ、ビーム移動速度 400 mm/s で行った。照射条件は連続照射出力:100~750 W, 照射時間:0.5~2.0 sec, デフォーカス値:±0, +30, +40 mm であった。皮膜表面でのレーザ光の反射率は高い(90% 前後)が、

その一部が熱エネルギーとして吸収され照射位置を中心にめっき皮膜を加熱する。その加熱温度はレーザ出力に応じて変化し、めっき皮膜内に硬さ分布を生じる。

無電解 Ni-P めっき皮膜の硬さ変動に及ぼすレーザ光照射出力の影響を図 1 に示す。図ではレーザ光照射の影響を出力×時間の積(入熱条件)として整理し、表面下 50 μm から 50 μm 間隔で素地界面までの皮膜断面の換算塑性硬さを示す。同じ入熱条件(375 W×2.0 s と 750 W×1.0 s)では類似した硬さ分布を示し、傾向として照射時間が短いほど表面近傍が硬化し、長くなるにつれて皮膜内部に硬化領域が生成し、同時に表面近傍が軟化し始める。デフォーカス値においても同様の影響を認められる。

レーザ光照射位置直下で表面下 100 μm での硬さとヤング率の数値を表 1 に示す。めっき皮膜のヤング率は 155 GPa 前後、熱処理にともなうヤング率の変化は、~723 K まで増加し 523~923 K の範囲で 200 GPa 以上となり、923 K まで減少し 1073 K では 190 GPa となる。これらの数値と皮膜内の硬さ値の変化から、各照射位置(表面下 50 μm)の加熱温度は、入熱条件 375 W×2.0 s で 923 K 以上、750 W×1.0 s では若干低く 923 K 以下と推定される。

めっき皮膜内の硬さとヤング率の数値から、照射処理にともなう皮膜の熱的影響は次のように区分される。(1)は硬くてヤング

図1 めっき皮膜の硬さ変化に及ぼすレーザ光照射出力の影響(炭酸ガスレーザ)

表1 複合処理によるヤング率の変化

	as-plated 343K	熱処理温度		炭酸ガスレーザ				YAG レーザ	
		723K	1073K	375W, 2s	750W, 1s	375W, 0.5s	750W, 1s, +30mm	36W	101W
Calibrated Plastic Hardness	580	889	464	847	920	908	934	1011	888
ヤング率 (GPa)	156	226	190	191	206	161	170	199	209

率が高い場合で、ほぼ適正な加熱範囲にあり微細なクラックをと
もなう。(2)は硬いがヤング率が低い場合で、吸収熱量が少なく
加熱が表面層に限られ、硬化はごく局部的であるが加熱温度は
923 K 以上でクラックをともなう。(3)は中程度の硬さでヤング
率が高い場合で、吸収熱量が大きく溶融・凝固現象をともない、
素地界面に向かって凸型の大きなクラックが発生する。(4)は硬
さもヤング率も中位の場合で、(2)よりさらに吸収熱量が小さく
加熱温度は 573 K 前後で硬化は始まっているがクラックをとも
なわない。表 1 から入熱条件が同じ 375 W×2.0 s と 750 W×
1.0 s は(2)～(3)に、数値の差は総吸収熱量の違いによるもの
で前者の方が大きい。375 W×0.5 s は(4)に 750 W×1.0 s±30
mm は(1)～(2)に属していることがわかる。

3. YAG レーザ光照射処理

無電解 Ni-P めっき皮膜表面への YAG レーザ光照射は、パル
ス条件(パルス幅、パルス繰返し数)、移動速度およびデフォー
カス値を一定とし、主に平均照射出力の影響について検討した。
レーザ光照射は、デフォーカス値+8 mm、照射出力は
12～280 W の範囲で行った。皮膜表面でのレーザ光の反射率が
低い(70% 前後)ため、熱エネルギーとして吸収熱量が多く、数
値的には炭酸ガスレーザ光の数倍に及ぶ。無電解 Ni-P めっき皮
膜の硬さ変動に及ぼす影響は炭酸ガスレーザに類似し、照射出力
が大きくなるほど最大硬さの得られる位置が素地界面に向かって
移動し、表面近傍が軟化する傾向も同じであった。照射出力が低
～中範囲の 12～63 W では、前述の区分(1)～(2)に属し皮膜内部
での硬化は主に急熱急冷効果によるが、101～142 W の照射出力
では照射位置を中心に(3)に属する溶融・凝固による硬化を伴う
複雑な変動を示す。

次に、図 2 に照射位置を中心に皮膜表面からの深さ方向での硬
さ分布を、照射出力の最も大きい 142 W について示す。図より
一番素地界面に近い 600 μm 以外は、何れも照射位置を中心とす
る軟化領域とその周辺の硬化領域を示しており、しかも素地界面
に近づくほど硬化領域が広がっていることから伝熱形態が放射状
であることがわかる。また表面下 50 μm では掘り鉢状に軟化し、
100～400 μm では次第に軟化領域が拡大し 1,300 μm に達し、す
べてのめっき皮膜が照射位置で溶融・凝固し区分(3)に属する。
特に YAG レーザ光照射では(3)で溶融・凝固領域の下に大きな
空洞が存在する。これはレーザ光の移動にともなう溶融めっき層
の回転によって巻込まれたシールドガスの痕跡である。一方 600
μm では空洞形成にともなう断熱作用などにより、吸収熱量が減少
するため(1)に類似した状態となり、硬化領域の縮小と硬さの上
昇を引起す。表 1 に示したヤング率の数値から、36 W は(2)
に、101 W は(3)に属する。

炭酸ガスレーザと YAG レーザ光照射処理の特徴は、吸収熱量

図2 深さ方向の距離による硬さ分布の変化(YAG レーザ,142 W)

の差による若干の違いはあるが、照射出力の増大にともないめ
っき皮膜内の硬化領域が素地界面に向かって拡大し、同時に表面近
傍に軟化領域や溶融・凝固領域が出現するという極めて類似した
傾向を示す。

4. おわりに

無電解 Ni-P めっき皮膜の高機能化を目指し、レーザ光照射に
よる複合処理について検討した。
YAG レーザ光と炭酸ガスレーザ光では発振形態や波長の違い
により、無電解 Ni-P めっき皮膜に与える影響が異なり、YAG
レーザ光の方が硬さ変動に対する影響が強く、大きな傾斜機性能
を導入できること、またレーザ光を適宜組み合わせることにより、
吸収熱量の大幅な調整が可能であることがわかった。
現在、アルミニウム合金を用い無電解 Ni-P めっき厚膜と
YAG レーザ光照射処理を組合わせた射出成型用金型を試作し、
実製品の成型を行い耐久性試験を実施中である。

謝 辞

本研究を進めるに当たって、北海道大学大学院工学研究科分子
化学専攻界面制御工学講座高橋英明教授のご指導と、札幌エレクト
ロプレイティング工業(株)、フィッシャー・インストルメント(株)
のご協力をいただいたので、ここに深く感謝いたします。
(2000-10-3 受理)

文 献

1) 逢坂哲弥, 小岩一郎, 川口 純; 表面技術, 40, 807 (1989)
2) 阿部芳彦, 赤沼正信, 千葉国雄, 中尾英弘, 岩沢裕之, 川島 敏;
北海道立工業試験場報告, 291, 43 (1992)
3) 池永 勝; 表面技術, 46, 105 (1995)
4) 阿部芳彦, 片山直樹; 化学工業, 51, (3), 11 (2000)
5) 大村孝仁; 表面技術, 51, 255 (2000)