

金型鋼の品質向上及び寿命向上に関する研究 (第2報)

—硬質皮膜処理による絞り金型の寿命向上について—

古谷 国夫・日原 政彦・斎藤 修

Study on the Quality and Life Up of Die Steel (Part 2)

—Study on the Life Up for Drawing Die by Hard Coating—

Kunio FURUYA, Masahiko HIHARA and Osamu SAITO

要 約

ステンレス製品を量産する絞り金型の寿命向上対策として金型表面にPVD法、CVD法、熔融塩浸漬法及びイオン窒化法により硬質被膜処理を施し、従来から使用されている無被覆金型と比較しながら耐焼付き性を評価した。その結果、無被覆ダイスによる加工では、早期に焼付きを生じたが、CVD法によるTiC被膜及び熔融塩浸漬法 (TD処理) によるVC被膜ダイスでは加工品及びダイスR部の表面損傷程度が小さく、耐焼付き性は良好であった。次に耐焼付き性良好なのが、イオン窒化法による窒化層ダイスであった。

1. はじめに

化学工業用品、医療器具、機械部品及び家庭用品等のステンレス製品を量産する絞り金型にはステンレス材料が難加工材であるため、成形加工数の増大に伴い、カジリあるいは焼付きと言われる表面損傷が比較的早期に発生し、外観を重視するこれらの製品においては品質の低下のみならず金型補修による生産性の低下あるいは経費、コストの上昇を招き、プレス関連業界では金型の寿命向上対策が問題になっている。近年、PVD (Physical Vapor Deposition) あるいはCVD (Chemical Vapor Deposition) により形成された硬質被膜の工業製品への応用が注目され、各方面に使用されつつあり、冷間金型等にも適用されるようになってきた。

そこで、本研究は、絞り金型の寿命向上対策として、金型表面にCVD法、PVD法、熔融塩浸漬法 (TD処理) 及びイオン窒化法により数種の硬質被膜処理を施し、ステンレス鋼板の深絞り加工を行い、硬質被膜の耐焼付き性を評価し、絞り金型への適用について検討した。

2. 実験方法

2-1 深絞り用ダイス及びポンチ

実験供した深絞り用ダイス及びポンチは、市販のSKD11材を、図1に示す寸法形状に機械加工し、研磨後真空熱処理炉で焼入・焼戻しを行い、金型母材とした。

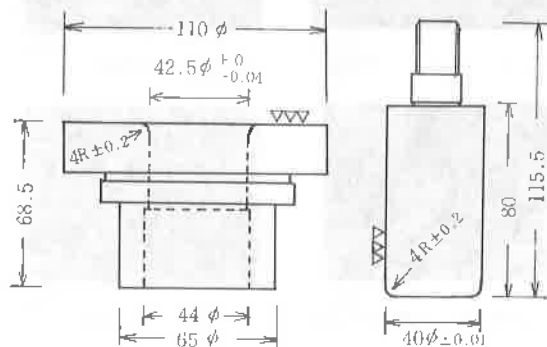


図1 ダイス及びポンチ寸法形状

ダイスは前記の焼入・焼戻し母材にPVD法、CVD法、熔融塩浸漬法及びイオン窒化法により硬質被膜処理を施した。CVD法 (TiN被膜及びTiC被膜)、熔融塩浸漬法によるVC被膜及び比較のための焼入・焼戻し母材については前報¹⁾で報告したので省略する。PVD法ではTiN被膜及びTiC被膜を、また、イオン窒化法では拡散層のみの窒化層をそれぞれ施した。ダイスの処理条件及びプロセスを図2に示す。

ポンチは前報に報告したと同様、溶融塩浸漬法(TD処理)によりVC被膜を施した。また、前回と同様に被膜の組成、厚さ、硬さ及び表面粗さを調べるため測定用のテストピースを上記と同一条件で処理した。

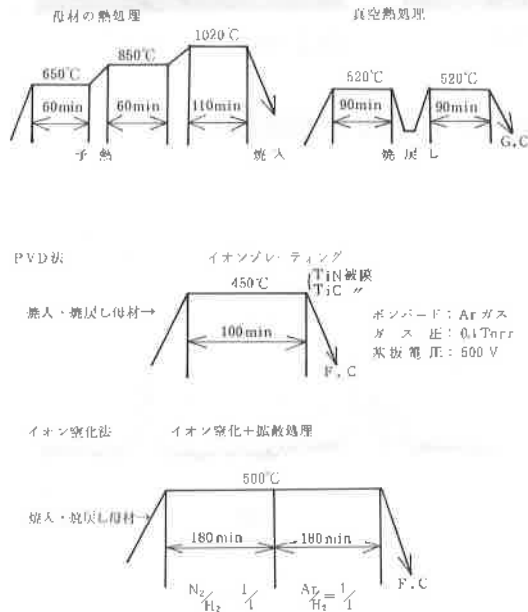


図2 ダイスの熱処理条件及びプロセス

2-2 耐焼付性の評価試験

耐焼付性の試験は前報に報告したと同様、東京衝機製造所製の深絞り試験機を用いて、上記の各種処理ダイスとTD処理ポンチの組合せで、板厚1mm、ステンレス板(SUS304)の円筒深絞り加工を行い、加工品の表面損傷について触針式表面粗さ計で測定し、表面粗さと成形加工数の関係を求めた。また、それと同時に金型及び加工品の表面損傷状態について顕微鏡あるいは目視による観察を行い、金型の耐焼付性について評価した。

深絞り条件は金型の耐焼付性を評価するためかなり厳しい条件とした。すなわちblank直径は最大blank直径である70.5mmφとした。

シワ押え力は、次の実験式により最低シワ押え力を求めると

$$H = \frac{\sigma_n + \sigma_s}{180} D_o \left\{ \frac{D_o - d_d - 2rd}{t} \cdot 8 \right\} \text{ (kg)}$$

- σ_n : 材料の引張強さ (kg/mm²) SUS304 (45kg/mm²)
- σ_s : 材料の降伏点応力 (kg/mm²) SUS304 (37kg/mm²)
- D_o : blank直径 70.5mm φ
- d_d : ダイス穴直径 42.5mm φ

rd: ダイス肩半径 4mm R
 t: 板厚 1mm
 H=385kg

である。一般的にシワ押え力は板厚の不同等を考慮して最低シワ押え力の30~50%増しの値で行われているが、本実験ではダイスの摩擦抵抗の増加を考慮して最低シワ押え力のほぼ200%に相当する800kgを採用した。また、試験は無潤滑の状態で行った。

表1 硬質被膜処理及び焼入・焼戻し処理した試料の表面特性

被膜の種類	表面特性	被膜の厚さ (μm)	表面硬さ Hv(50g)	表面粗さ Rz(μm)
PVD法	TiN	1.9	1264	0.7
	TiC	1~1.7 (被膜不均)	1331	3.5
イオン窒化法	ε-Fe ₃ -N γ'-Fe ₄ N (窒化層)	100 (窒化層)	940	1.5
CVD法	TiN	9.5	1403	0.8
	TiC	9.3	2675	2.0
溶融塩浸漬法 (TD処理)	VC	9.5	2289	0.5
焼入・焼戻し母材	-	-	700	0.8

3. 実験と考察

3-1 試料の表面特性

各硬質被膜処理を施した試料及び比較のための焼入、焼戻し母材試料の表面特性を表1に示す。写真1にはPVD法によりイオンプレーティングを施したTiN被膜試料及びTiC被膜試料ならびにイオン窒化法により窒化層を施した試料断面の走査電子顕微鏡写真を示す。TiN被膜及びTiC被膜の厚さはそれぞれ0.9μm及び1~1.7μm程度であり、TiC被膜は写真1(b)に示すように不均一であった。窒化層は写真2の光学顕微鏡写真に示すように拡散層(表面の黒く腐食された部分)だけで構成され、この厚みは硬さ分布測定及び顕微鏡組織観察の結果、約0.1mm程度であった。

PVD法によりイオンプレーティングを施したTiN被膜及びTiC被膜の表面硬さはそれぞれ、Hv1264及びHv1331であり、前報のCVD法によるTiN被膜及びTiC被膜に比べいずれも低い値を示した。また、本来、CVD法及びPVD法などの処

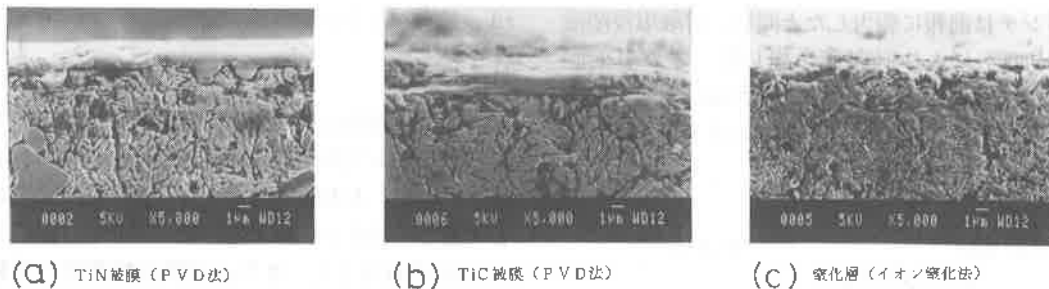


写真1 硬質被膜処理した試料断面における走査電子顕微鏡写真

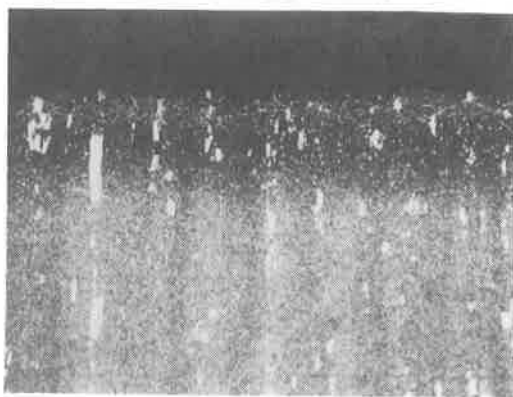


写真2 窒化層の顕微鏡組織写真

理方法によらずTiC被膜の硬さはTiN被膜に比べかなり高い値を示すと思われるが、被膜が薄くしかも不均一であることが影響しているのか、硬さにバラツキを生じ、平均的な値としてはTiN被膜の硬さと大差なかった。窒化層の表面硬さはHV940で焼入・焼戻し母材の硬さHV700より高く、PVD法のTiN被膜の硬さHV1264より低い値であった。

3-2 試料のX線回折図形

PVD法及びイオン窒化法により硬質被膜を形成させた試料ならびに焼入・焼戻し母材試料のX線回折図形を図3に示す。

(a)の焼入・焼戻し母材の試料では α -Fe、 γ -Fe及び M_7C_3 の回折線が明瞭に認められた。(b)のTiN被膜試料ではTiNの回折線以外に母材からの α -Fe、 γ -Fe、 M_7C_3 回折線が認められた。(c)のTiC被膜試料では被膜が薄く、不均一であるためか、TiCの回折線は僅かに認められる程度で、母材からの α -Feの強い回折線及び γ -Feの回折線が認め

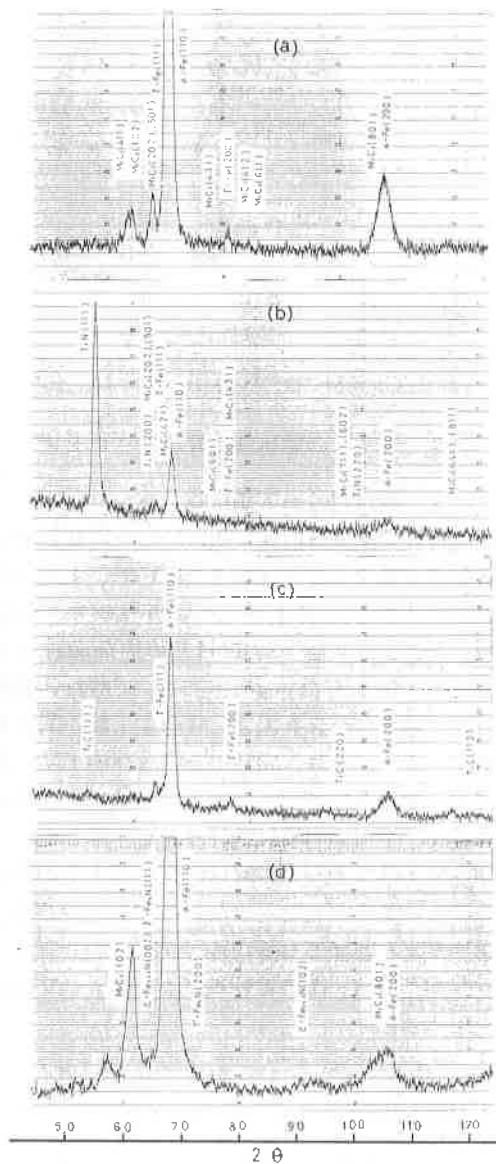


図3 各試料のX線回折図形

られた。(d)の窒化層試料では ϵ - $\text{Fe}_{16}\text{N}_{10}$ 窒化物及び γ' - Fe_4N 窒化物の回折線は認められるが、その強度は小さい。これはイオン窒化後の拡散処理により、化合物層が存在しない低窒素濃度の窒化層⁹⁾の形成によるものと思われる。

次にCVD法によるTiN及びTiC被膜試料ならびに溶融塩浸漬法によるVC被膜試料のX線回折図形は前報で報告したので省略するが、各試料にそれぞれ認められるTiN、TiC及びVCの各回折線は被膜が厚いこともありPVD法のそれに比べ、いずれも明瞭に認められた。

3-3 耐焼付き性の評価試験

PVD法及びイオン窒化法により硬質被膜を施

した各種ダイスと溶融塩浸漬法(TD処理)により硬質被膜を施したポンチの組合せで、直径70.5mm ϕ 、板厚1mmのSUS304材のプランクを深絞り加工し、加工品における表面粗さと成形加工数の関係を示したのが図4である。なお、加工品の表面粗さがRtで10 μm 以上を製品品質上、金型の補修が必要な限度と判断し、耐焼付き性評価の目安とした。また、図中には比較のため前報で報告したCVD法(TiC及びTiN処理)、溶融塩浸漬法(TD処理)及び焼入・焼戻し母材の結果も示した。

無被覆の焼入・焼戻しダイスでは加工数31回目付近で加工品の表面粗さは急増し最高21 μm に達し、その後急減した。写真3に示すようなむしれ

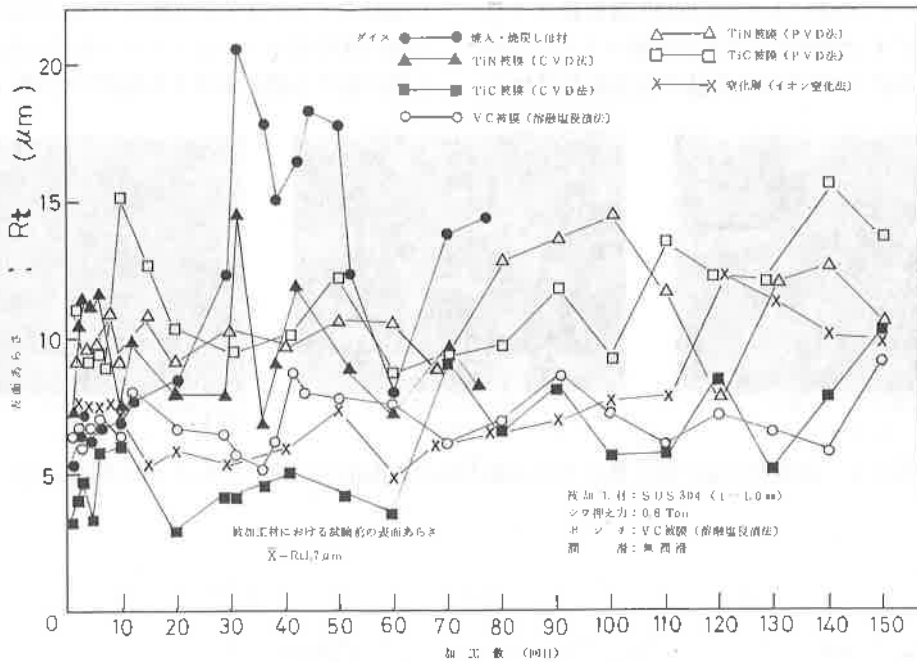


図4 加工品の表面粗さと成形加工数の関係

面⁹⁾とクラックが全面に観察された。また、ダイスR部には大きな凝着物と擦り傷が観察され、加工品及びダイスR部の表面損傷度合は最も大きく、早期に焼付きを生じた。PVD法によるTiC被膜ダイスでは加工数が10回目の初期段階で金型補修の必要限度を超える15 μm を示し、早期に表面粗さの急増が見られたが、それ以上の加工数では8~14 μm の範囲の表面粗さで推移した。同じく、PVD法によるTiN被膜ダイスでは加工数が80回目までの表面粗さは9~11 μm と金型補修の必要な

限度付近にあるが、これ以上の加工数になると14.5 μm まで急増する。しかし、TiC被膜ダイスに比べると加工品の表面損傷の進展度合は遅い。

次に、イオン窒化法による窒化層ダイスでは加工数110回目迄の表面粗さは5~8 μm の範囲であり、120回目で金型補修の必要限度を超える12 μm に達する。しかし、表面硬さがHv940と低いにもかかわらず、拡散層のみの窒化層ダイスが今回の実験の中では最も小さい表面損傷度合を示した。

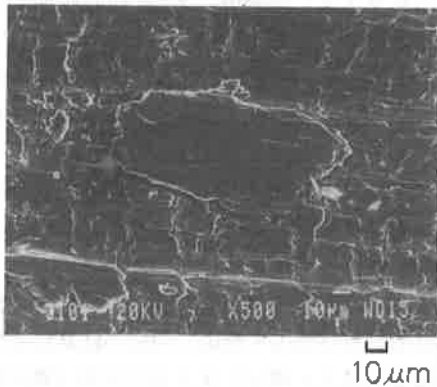


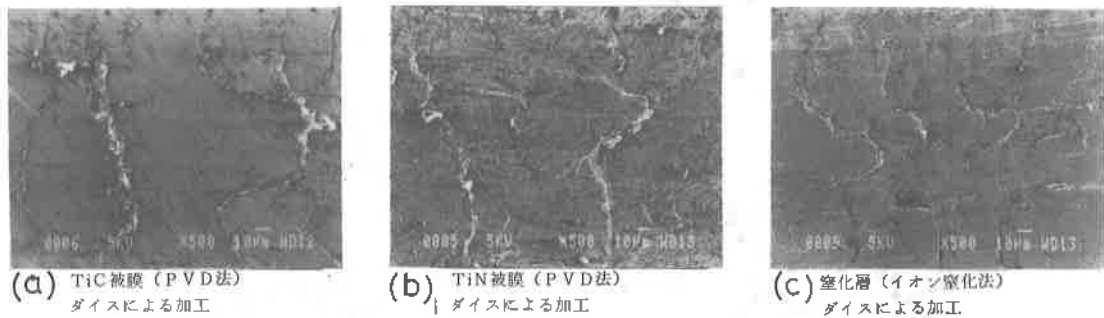
写真3 焼入・焼戻し母材における加工数31回目の加工品表面の走査電子顕微鏡写真

写真4にPVD法によるTiC及びTiN被膜ダイスならびにイオン窒化法による窒化層ダイスの最終加工数150回目における加工品の表面損傷状態を

示す。

一方、CVD法によるTiC被膜ダイス及び熔融塩浸漬法によるVC被膜ダイスでは表面粗さが初期段階から最終加工数の150回目まで3~10 μmの範囲で金型補修の不必要な限度内にあった。

しかし、CVD法によるTiN被膜ダイスでは初期段階における表面粗さが金型補修の必要限度を超える15 μmを示した。これはPVD法によるTiC被膜ダイスの初期における表面粗さと同程度であった。図5は加工品における無被覆の焼入・焼戻し母材ダイスによる加工数31回目の表面粗さならびにPVD法によるTiN、TiC被膜ダイス及びイオン窒化法による窒化層ダイスによる最終加工数(150回目)の表面粗さを示した。焼入・焼戻し母材ダイスによる表面粗さは図5(a)に示すような焼付き特有のプロファイルが見られた。最終加工数における窒化層ダイス及びTiN被膜(PVD法)

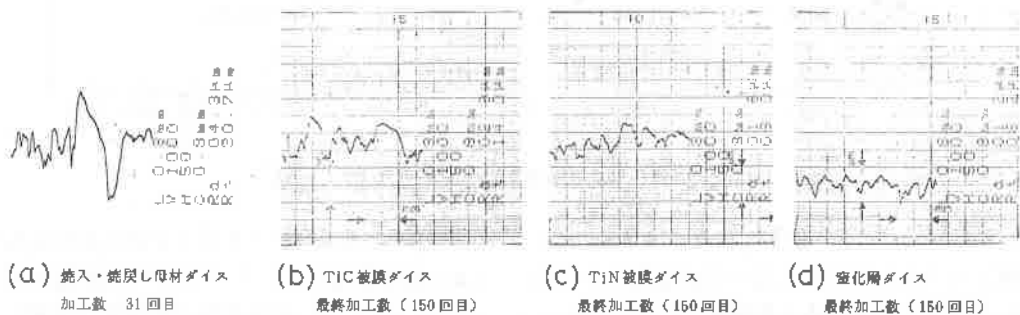


(a) TiC被膜 (PVD法)
ダイスによる加工

(b) TiN被膜 (PVD法)
ダイスによる加工

(c) 窒化層 (イオン窒化法)
ダイスによる加工

写真4 各処理の最終加工数における加工品の表面損傷状態 (走査電子顕微鏡写真)



(a) 焼入・焼戻し母材ダイス
加工数 31回目

(b) TiC被膜ダイス
最終加工数 (150回目)

(c) TiN被膜ダイス
最終加工数 (150回目)

(d) 窒化層ダイス
最終加工数 (150回目)

図5 各処理ダイスの加工品における表面粗さ

ダイスによる表面粗さはTiC被膜ダイス (PVD法) に比べ表面粗さは小さかった。

図4の焼入・焼戻しダイスの加工品に顕著に見られる表面粗さの急増・急減は前報で報告したように、被加工材の一部がダイスR部に凝着し、こ

の凝着物の成長→凝着物による被加工材の掘り越し→凝着物の脱落の過程が深絞り加工中に起り表面粗さの急増・急減を生じたものと考えられる。

したがって、上記の硬質被膜を施したダイスはいずれも非金属的な硬い被膜が存在するので、凝

着が生じにくく⁹⁾、また、例え生じたとしても大きく成長するまでに至らず、削り取られるか、脱落してしまうため無被覆の焼入・焼戻しダイスに見られる表面粗さの急増・急減のような大きな変化はないものと思われる。ただしPVD法によるTiC被膜ダイスでは初期の段階で表面粗さの急増が見られたが、これは被膜が薄く、不均一である等、被膜の健全性に問題がある上、CVD法に比べ被膜の密着強度が弱いことなどから初期の段階で被膜が剥離し、この硬い剥離被膜粉による被加工材の損傷が影響し、急増したものと考えられるが、更に詳細な検討が必要である。

4. おわりに

絞り金型の寿命向上対策として、金型表面にPVD法、CVD法、溶融塩浸漬法及びイオン窒化法により硬質被膜処理を施し、従来から使用されている無被覆金型と比較しながら耐焼付性の評価試験を行い下記の点が明らかになった。

- 1) 無被覆の焼入・焼戻しダイスでは硬質被膜処理ダイスに比較して早期に焼付きを生じ、加工品の表面粗さは最高の $21\mu\text{m}$ にも達した。また、ダイスR部には大きな凝着物と擦り傷が観察され、加工品及びダイスR部の表面損傷程度は最も大きかった。
- 2) 硬質被膜処理ダイスの中では、CVD法によるTiC被膜ダイス及び溶融塩浸漬法によるVC

被膜ダイスが加工品及びダイスR部表面損傷程度は小さく、耐焼付き性が良好であった。

次に耐焼付き性が良好のがイオン窒化法による窒化層ダイスで、加工数110回日迄の加工品の表面粗さは $5\sim 8\mu\text{m}$ 程度と小さく、表面硬さが低い割に表面損傷の進展度合が小さかった。

一方、PVD法によるTiN被膜及びTiC被膜ダイスでは、被膜の厚さ、均一性あるいは密着性がCVD法によるTiN及びTiC被膜に比べ劣り、加工品及びダイスR部の表面損傷も大きかった。特に、TiC被膜(PVD法)ダイスでは10回目の初期の段階で表面粗さが $15\mu\text{m}$ まで急増し早期に焼付きを生じた。

文 献

- 1) 古谷国夫、石原道雄：山梨県機械金属工業指導所年報，15，47（1985）
- 2) 伊藤秀章：金属表面技術，金属表面技術協会，35，595（1984）
- 3) 古谷国夫：山梨機械金属工業指導所年報，12，36（1982）
- 4) 河合 望 他：塑性と加工、日本塑性加工学会，24，265，143（1983）
- 5) 山本雄二 他：塑性と加工 日本塑性加工学会，24，265，109（1983）
- 6) 菊池則文：金属表面技術 金属表面技術協会，31，(2)，4（1980）