金型及び機械部品への複合表面改質に関する研究

服部 悟*1

市村恒人*2

松本賢治*3

[要 旨]

熱間鍛造金型の耐久性を向上させるために、プラズマ窒化後にイオンプレーティング法によりCrN硬 質膜を製膜する複合処理について耐ヒートチェック性を中心に検討した。複合処理するとヒートチェッ クは発生し易くなったが、CrN膜の密着性、耐摩耗性の向上により実機試験において金型寿命の延長が 確認された。

1 緒 言

京都府北部丹後地域では、自動車部品、ミシン 部品等を鍛造法により成形している中小企業が集 積している。鍛造部品には低コスト化と金型にと って過酷な形状の要求が強く、表面改質などによ る金型の高性能化が望まれている。

これまでに、熱間鍛造金型表面において熱サイ クルの結果生じる熱疲労現象であるヒートチェッ クに対しては、化合物層がなく100µm前後の比 較的浅い窒化層の有効性を確認した。しかし熱間 鍛造金型における他の寿命因子である摩耗、へた り等には浅い窒化処理層では十分とはいえない。 そこで本研究ではプラズマ窒化後に耐摩耗性を強 化するためCrN硬質皮膜をイオンプレーティング 処理する複合処理について、ヒートチェック性を 中心に検討した。

2 実験方法

本実験には、熱間鍛造金型を想定し熱間金型用 合金工具鋼であるSKD61を焼入 - 焼戻しにより硬 さをHRC50に調質したものを用意した。次に試験 片として 20mm×20mmに加工し、ヒートチェッ ク試験面(端面)はエメリー紙により 2000まで 研磨した後バフ研磨により鏡面仕上げとした。

プラズマ窒化処理は表1に示した条件で行い、 その後イオンプレーティング処理を表2の条件で 行いCrN皮膜を製膜した。

表1 プラズマ窒化処理条件

加	熱	温	度	823 K
処	理	時	間	5 h
	PI	N ₂		0.4 torr
	Pl	H ₂		3.6 torr
電	圧	, 電	流	210 V , 0.2 A

表2 イオンプレーティング処理条件

加速電圧	150V		
プ ラ ズ マ 電 流	201A		
コーティング温度	653K(炉内雰囲気温度)		
コーティング時間	75min		
イオンプレーティング装置	SS-2-8 不二越製		

地域	産業集積活性	化関連機関支援強化事業
*1	技術支援課	技師

2 我们又按袜 工工师九!

*3 研究開発課 主任研究員

ヒートチェック試験は高周波加熱 - 噴射水冷却 方式で行った。周波数400kHz、最大出力4kWの 誘導加熱用電源装置に計数カウンターを取り付 け、コイル中央に噴射口のある端面焼用のコイル を使用し、加熱 冷却を繰り返すヒートチェック 試験機とした。試験前に、試験片表面中央部に熱 電対をスポット溶接し、最高温度が873Kになる ように出力を調整した後、図1に示す熱サイクル パターンで100サイクルおよび1000サイクルの試 験を行った。

試験片は適宜切断し、組織観察、クラック形態 観察、硬さ分布測定、窒素の断面濃度分布測定、 表面残留応力測定を行った。測定位置は原則とし て、試験片端面中央部で行った。

硬さ分布測定は、マイクロビッカース硬さ計を 用い試験荷重100gfで行った。

窒素濃度分布は、電子線マイクロアナライザ (SHIMADZU EPMA-8705)を使用し、断面の 線分析により測定した。



表面残留応力測定はX線回折により Feの

(211)回折線を用いsin²法で行った。CrN被覆
試験片についても下地の金型鋼の回折線から測定
値を求めた。測定条件を表3に示す。

3 実験結果・考察

写真1に、プラズマ窒化処理およびプラズマ窒化 処理後イオンプレーティングによりCrNを製膜し た試験片の断面組織を示し、図2にEPMAによ る窒素の線分析結果を示す。プラズマ窒化条件は、 これまでの実験結果から耐ヒートチェック性に効 果のある硬化層深さとして125µmを目標に、ま た表面に化合物層が生成しない条件を選んだ。

組織写真及び線分析の結果よりプラズマ窒化の 硬化層深さ(拡散層)は145~150µmであった。 プラズマ窒化後にCrNイオンプレーティングの複 合処理を行ったサンプルでは、拡散層深さは160 ~170µmで、10~15µmほど増していた。イオ ンプレーティング処理温度は、炉内雰囲気を 653Kにヒーター加熱しているが、イオン衝撃の ある表面層温度はそれ以上に上がっていると思わ れ、そのため窒素が内部に熱拡散し深さが増して いる。図3に示す硬さ分布の測定結果から、イオ ンプレーティング複合処理では拡散層の硬さが 120HVほど低下し、また硬化層が増加している のが確認できる。窒素の内部への拡散によるもの と、また母材硬さが約50HV低下していることを 考えるとイオンプレーティング処理で若干焼鈍さ れているようである。

表3	X線残留	応力測	定条件
----	------	-----	-----

ターゲット	Cr	測定方法	Sin ² 法
回折面	Fe(211)	角	0,15,30,45
0	78.2 deg	ヤング率	210 GPa
 管 電 圧	30 k V	ポアソン比	0.28
フィラメント電流	10 m A	応力定数	- 297 MPa/deg





図3 ヒートチェック試験後の表面硬さ分布



今回イオンプレーティングにより製膜したCrN の膜厚は組織写真から5µm、硬さはマイクロビ ッカース硬さ計(試験荷重10gf)で測定したとこ ろHV1740であった。

次にプラズマ窒化処理のみ、CrNイオンプレー ティングのみ、プラズマ窒化後CrNイオンプレー ティング複合処理をした3種類の試験片のヒート チェック試験後の断面硬さ分布を図3に、表面残 留応力測定結果を表4に示す。プラズマ窒化処理 のものでは、1000サイクル後に拡散層での硬さの 低下がみられるが、ヒートチェック試験の加熱に よる焼鈍や、窒化物の析出などによるものと思わ れる。プラズマ窒化後にイオンプレーティングし たものでは、硬さの低下はわずかであった。

表面残留応力測定結果をみると、プラズマ窒化 処理では、1000サイクル試験後も応力は変らず 300MPaの圧縮応力であった。窒化処理を行わず CrNイオンプレーティング処理のみのサンプルで は、CrN膜応力により母材に220MPaの圧縮応力 が残留しているが、ヒートサイクル試験前後で応 力はあまり変化しなかった。プラズマ窒化後CrN イオンプレーティング処理を行ったものでは、複 合処理後の母材の残留応力が320MPaの引張とな った。CrN皮膜の応力やイオンプレーティング処 理時の昇温により窒化層での化合物の析出などの 組織変化にともなう収縮により引張残留応力が発 生しているものと思われるが、1000サイクル後に は反対に170MPaの圧縮応力になっている。クラ ックの生成により引張応力が開放されたためと思 われる。

ヒートチェック試験後の表面クラック形状を写 真2に、断面写真を写真3,4に示し、ヒートチ ェックの発生状況を表5、図4にまとめた。プラ ズマ窒化処理の1000サイクル後では、断続的な開 口の狭い平均クラック長さが3.6µmの短いクラ ックが見られた。CrNイオンプレーティング処理 のみでは、SKD61の熱膨張率は11.6(10^{-6} K⁻¹) CrNは2.3(10⁻⁶K⁻¹)で大きく差があることから、 試験初期にCrN皮膜に亀裂が発生すると思われ、 100サイクル後ではまだクラックはCrN膜内に留 まっていたが、1000サイクル後には膜を通過した クラックが母材に進行し、幅の広い亀裂を生じた。 クラックの発生本数は一番多く、平均クラック長 さは、16.1µmであった。次にプラズマ窒化後 CrNイオンプレーティング複合処理したもので は、100サイクルで表面には直線的なクラックが 生じ、深さ方向にも既に最大で150μmに達して いる。表面残留応力が引張応力であることが大い に影響しているようである。1000サイクルになる と、表面にはさらにクラック本数が増え多角形亀 裂を形成している。深さ方向へは最大で170μm で、100サイクル時と比べ長さはあまり増してい ないが幅を増している。写真4の組織写真を見る と、クラック深さと窒化層深さはほぼ一致してい るのがわかり、靭性値の低い窒化層では、一旦発 生したクラックの進展は速いことが分かる。しか

	試験前	100サイクル後	1000サイクル後
プラズマ窒化	- 293	-	- 303
CrNイオンプーティング	- 212	- 223	- 216
プラズマ窒化後CrN イオンプレーティング	+ 318	+ 311	- 172

表4 ヒートチェック試験後の表面残留応力(MPa)





写真4 ヒートチェック試験後組織写真 プラズマ窒化+CrNイオンプレーティング $50 \,\mu$ m $50 \,\mu$ m

	プラズマ窒化 1000サイクル	CrNイオンプー ティング 100 サイクル	CrNイオンプー ティング 1000 サイクル	プラズマ窒化後 CrNイオンプレー ティング 100 サイクル	プラズマ窒化後 CrNイオンプレー ティング 1000 サイクル
クラック本数(本/cm)	18	CrN皮膜内に	39	14	18
最大クラック長さ(µm)	6	1~3µmのクラ	75	155	172.5
平均クラック長さ(µm)	3.6	ック多数	16.1	112	150





ヒートチェック深さとクラック本数 図4

し、プラズマ窒化処理のみの試験片においては、 母材に圧縮応力が残留しているためクラックの進 行は複合処理材の窒化層の亀裂進展速度ほど速く ないことから、熱膨張率の異なる表面皮膜との相 乗的な影響によるものと考えられる。

以上のことから、プラズマ窒化後にCrNイオン プレーティングを行う複合処理は、ヒートチェッ クという点だけからみると引張残留応力のためク ラックを誘発し、その進展を促進させることが分 かった。しかし、実際の熱間鍛造金型における寿 命因子はヒートチェック以外に、へたり、摩耗凝 着などの問題がある。実際、今回のプラズマ窒 化-CrNイオンプレーティング複合処理を熱間鍛 造金型に施し、実機試験を行った結果ではCrN皮 膜の剥離が抑えられ、耐摩耗性の向上により効果 が期待できることが、本事業の共同研究において 確認されている。

(まとめ)

- プラズマ窒化後CrNイオンプレーティング複 合処理を行うと、ヒートサイクルの初期にクラ ックが発生し、硬化層底まで速やかに進行す る。
- 2) これは、複合処理後に表面に引張応力が、残 留していることの影響が大きい。
- 3) しかし、その後の実機試験では、今回の複合 処理をした金型ではヒートクラックは発生する もののCrNの耐摩耗性、密着性の向上などによ りショット数は伸びており効果が確認された。