

金型への複合表面改質の適用に関する研究 ()

服 部 悟^{*1}
市 村 恒 人^{*2}
松 本 賢 治^{*3}

【要 旨】

熱間鍛造金型の寿命を向上させるため、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に、さらにショットピーニング処理を組み合わせ表面圧縮残留応力の増加によるヒートチェックの抑制と、母材 - CrN皮膜界面の密着性向上について検討した。

1. はじめに

京都府北部丹後地域で行われている熱間鍛造に用いられている金型の長寿命化を図るため、その寿命要因である金型表面のヒートチェックおよび摩耗損傷対策を目的として、昨年度までにプラズマ窒化とイオンプレーティングによるCrN膜との複合処理を検討してきた。その結果、現場実験では本複合処理による金型表面の耐摩耗性の向上などにより、部品加工個数の増加、加工部品の形状安定化など効果がみられた。しかし、その増加率は複合処理の処理コスト等から考えるとまだ十分ではなかった。鍛造打ち終り金型の表面を観察すると、熱的に過酷な下型の、鍛造加工時に被加工物の塑性流動が激しい部分で網目状のヒートクラックおよびそれを起因としたCrN膜の剥離が見られ、その部分での金型摩耗、亀裂が成型部品の肉厚増および肌荒れを起こしている。そこで本研究ではこれまでのプラズマ窒化処理とCrNイオン

プレーティング複合処理にショットピーニングを加え、金型表面においてさらに機械的な圧縮応力を付加し、ヒートチェックを抑制しつつ、ショットピーニングによる表面活性化効果によりCrNイオンプレーティング膜の密着性の向上を試みた。

2. 実験方法

実験用試験片には、熱間鍛造金型に使用される標準的な熱間金型用合金工具鋼としてSKD61を20mm×20mmに加工し、焼入・焼戻しにより硬さをHRC50に調質したものを用意した。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、耐ヒートチェック性に効果のある硬化層深さ100μmを目標に、かつ表面に化合物層を生じないこととして表1の条件で行った。イオンプレーティング処理は、協業組合丹

表1 プラズマ窒化処理条件

加熱温度	823 K
処理時間	5 h
PN ₂	0.4 torr
PH ₂	3.6 torr
電圧、電流	200V, 0.2A

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 技術支援課 主任研究員

*3 研究開発課 主任研究員

(現 織物・機械金属振興センター)

表2 イオンプレーティング処理条件

加速電圧	48.2 V
加速電流	110 A
コーティング温度	653 K (炉内雰囲気温度)
コーティング時間	75 min
イオンプレーティング装置	SS-2-8 不二越製

表3 ショットピーニング処理条件

インテンシティー	0.0082 A ₂
カバレッジ	100 %
ショットサイズ・ショット材料	S-230・ハード鋳鋼

後熱処理センターに設置されている垂直ビーム方式の装置により表2の条件で、またショットピーニングは表3の条件で行い試験片を作製した。

次に、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の誘導加熱用電源とコイル中央に噴射口のある端面焼用のコイルを使用し、試験前に試験面に熱電対をスポット溶接し、加熱時間10秒で最高到達温度が873Kになるように出力を調整した後、加熱10秒 - 冷却5秒を1サイクルとして試験を行った。試験開始後、10、100、500、1000サイクル毎に試験片を取り出し、亀裂の発生状況および残留応力の変化を調べた。残留応力の測定はX線回折法により Feの(211)回折線を用いsin²法で行った。CrN処理した試験片についても下地の母材(SKD61)の回折線から測定値を求めた。

密着性の評価は、ロックウェル硬さ試験機を用いた圧痕試験で行った。荷重を60、100、150kgとしたときの圧痕とその周辺部の皮膜の亀裂状態を顕微鏡観察した。いずれの試験・測定も原則として、試験片端面中央部で行った。

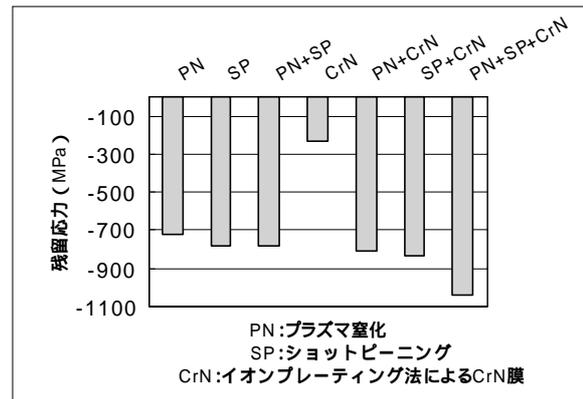


図1 各処理による表面残留応力

3. 実験結果・考察

3.1 各処理後の表面残留応力

図1に、それぞれの処理による表面残留応力測定結果を示す。

プラズマ窒化処理およびショットピーニング処理単独で、圧縮応力の付与機構は異なるが、それぞれ700MPaを超える圧縮応力が発生している。次にこれを組み合わせ、プラズマ窒化処理後にショットピーニング処理を行ったところ、プラズマ窒化処理単独より少し圧縮応力は増加したが、ショットピーニング単独処理とほぼ同じまでにしかなかった。ショットピーニングは、被加工材表面に硬質粒子を衝突させ、表面を塑性変形させることで加工硬化し圧縮応力を与えるが、その加工深さは数10μm程度と浅いことと、ある一定応力(たとえば材料の降伏応力のような)以上になると表面加工層の塑性変形で応力が緩和されることが考えられ、期待した複合による大きな圧縮応力の増加は得られなかった。

次に、各処理後にCrNイオンプレーティング処理を行ったものでは、圧縮応力の増加がみられ、プラズマ窒化処理後ショットピーニング処理をし、その後CrNイオンプレーティング処理を行ったものは、1000MPaを超える圧縮応力となった。

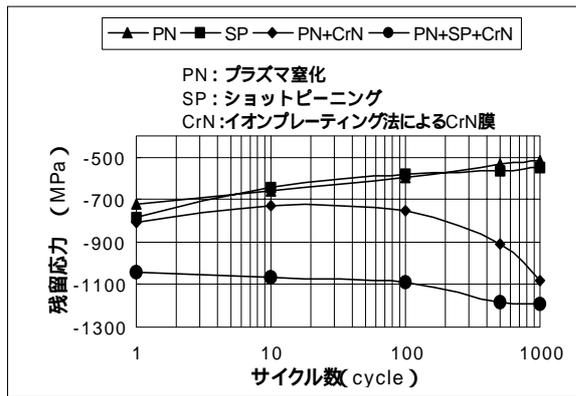


図2 ヒートチェック試験過程における残留応力の変化

3.2 ヒートチェック試験過程における応力変化と亀裂発生状況

図2に、プラズマ窒化処理のみ、ショットピーニング処理のみ、プラズマ窒化後にCrNイオンプレーティング処理したもの、プラズマ窒化後にショットピーニングをし、その上にCrNイオンプレーティング処理したものの4種類のサンプルについて、ヒートチェック試験を行い、10、100、500、1000サイクル終了毎に残留応力を測定した結果を示す。

プラズマ窒化とショットピーニングをそれぞれ単独で行ったものは、同じように徐々に圧縮応力が低下した。窒化層での残留応力変化は、窒素化合物の形成状態および窒素原子の拡散によるものであり¹⁾、ショットピーニング加工層での残留応力の変化は母材構成原子の拡散を伴う転位の移動であると考えられ、機構は異なるが、ともに応力を緩和する方向に進んでおり、10000サイクル以降まで徐々に応力を減じていくというデータ¹⁾²⁾より、1000サイクルでは応力緩和の途中でありこの後も応力低下を続けるものと思われる。

一方、プラズマ窒化後にCrNイオンプレーティング処理をしたものは、10サイクル、100サイクル後は一旦、残留応力は低下するが、その後は圧縮応力が増加した。プラズマ処理後にショットピ

ーニングをしCrNイオンプレーティング処理をしたものではサイクル数の増加にしたがって、圧縮応力が増加した。今回、応力測定は、X線回折法でFeの(211)回折線より求めたことから、表面にCrN膜が成膜されると回折ピークが不鮮明になったことや、窒素化合物の回折線がFe(211)回折線近くに存在するなどから再検討を要するが、この圧縮応力は、プラズマ窒化による窒素拡散層でのヒートチェック試験での加熱による膨張を伴う組織変化が、CrN膜に拘束されることで圧縮応力が増加していると考えられる。

次に、写真1にヒートチェック試験1000サイクル後の試験片表面の亀裂状況を示す。プラズマ窒化処理のみでは細かい直線状の亀裂が見られた。表面に少しの化合物層が生成していたために直線状の亀裂になっているが、通常微細な亀裂は熱応力を分散させるのでクラックの開口は狭く深さも浅い。

ショットピーニング処理のみでは、表面硬化処

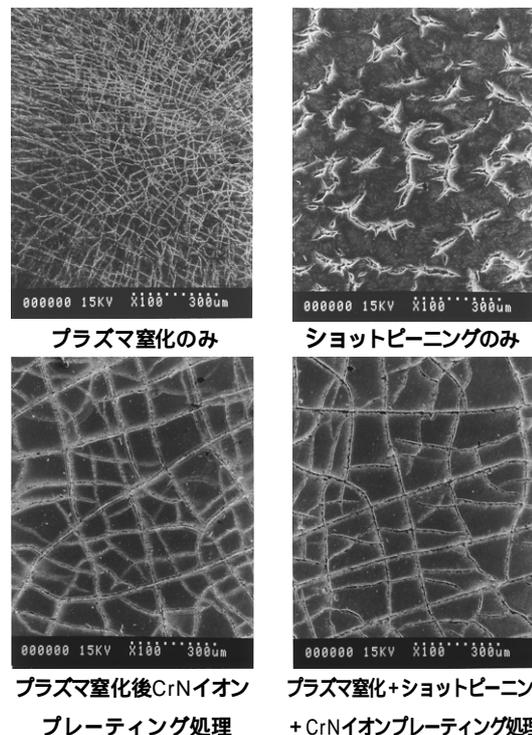


写真1 ヒートチェック試験1000サイクル後の表面亀裂状況



ショットピーニングなし



ショットピーニングあり

写真2 10サイクル後の表面クラック形態

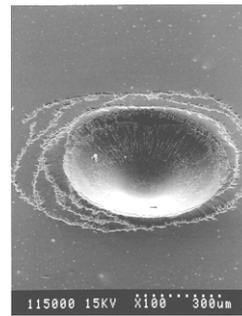
理をしない調質材の場合に見られるような開口の広い亀裂であった。

プラズマ窒化後にCrNイオンプレーティング処理したものと、プラズマ処理後にショットピーニングをしCrNイオンプレーティング処理をしたものはともに直線的な開口の広い亀裂が生じた。また、写真2に示すように、10サイクルですでに亀裂が生じており、試験前の残留応力で約200MPaの差があったものの、ヒートチェックを抑制するには至らなかった。

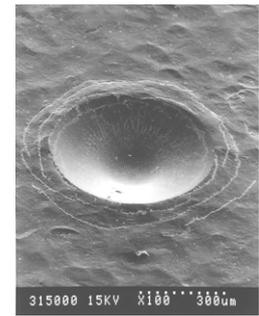
ショットピーニング処理により圧縮残留応力をさらに増加させることで表面に生じる熱応力を相殺し、熱膨張率の異なるCrN皮膜の亀裂と、ヒートチェックの抑制を試みたが、本実験での高周波加熱(600) - 噴射水冷却というヒートチェック試験は、温度勾配が大きく過酷な条件ということもあり、今回処理での表面圧縮残留応力の増加分だけでは亀裂抑制は不十分であったと考えられ、本実験ではショットピーニングの有効性を確認できなかった。ヒートチェック試験条件もあわせて今後の検討課題としたい。

3.3 圧痕試験による密着性の評価

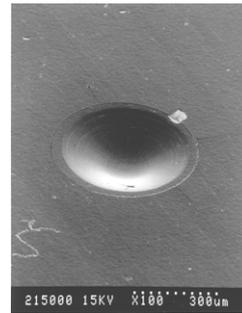
皮膜の密着性を評価する、簡便な現場的手法として行われている、ロックウェル硬さ計を用いた圧痕試験により今回の複合処理でのCrN膜の密着性を調べた。イオンプレーティング前の処理として、調質のみ、ショットピーニング、プラズマ窒化、



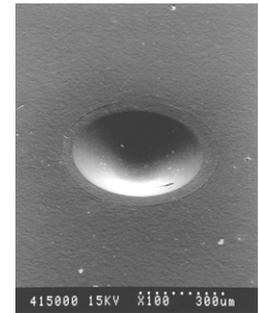
調質材にCrNのみ



SP後CrN



PN後CrN



PN+SP後CrN

写真3 試験過重150kg時の圧痕状況

プラズマ窒化後ショットピーニング4種類の試験片を用意し、ロックウェル試験機用のダイヤモンド圧子を用いて、荷重を60、100、150kgとしたときの圧痕および周辺部の亀裂の状況を調べた。

写真3に試験荷重150kgの時の圧痕状況を示す。

亀裂の形状から、圧痕内の半径方向に直線的な亀裂と周辺部に波打ったような亀裂が見られる、調質材とショットピーニング後にイオンプレーティング処理したもの、圧痕内に同心円状の亀裂と、その周辺にリング状の亀裂が見られるプラズマ窒化後、プラズマ窒化後ショットピーニングをしいオンプレーティング処理したものの2種類に分けられた。これは圧痕形成時のCrN膜下での材料の流れ方の違いによるもので、CrN膜下の硬化層の薄いもしくは硬化層のない前者では圧痕の形成に伴い膜下直下で塑性変形が生じるのに対して、圧痕の大きさに対して比較的厚い窒化層を持つ後者では、硬化層下での塑性変形が大きく、CrN膜直

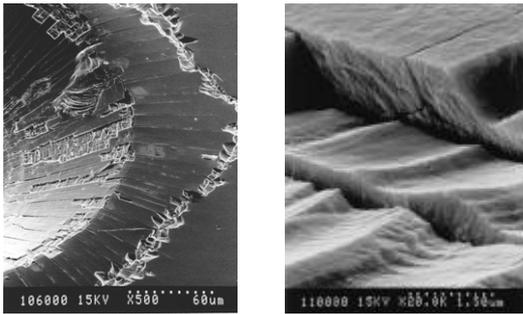


写真4 CrN処理のみ材の圧痕淵周辺部拡大

下での塑性変形が少ないためである。

前者では、写真4に示すように圧痕淵部および周辺部で皮膜の損傷がみられ、電子顕微鏡観察の結果、亀裂はCrN膜と母材界面ではなくCrN膜平面内に生じていた。これはチッピングと呼ばれるもので、CrN膜自体の靱性などの機械的性質によるものである。このことからイオンプレーティングによるCrN皮膜と母材界面の密着性は良好であっても、CrN皮膜に平面方向の圧縮応力が作用すればチッピングで膜が損傷を受けやすいことから、CrN膜の下地を強化し、CrN膜に作用する応力を緩和することができる窒化処理やショットピーニング処理は有効な手段であるといえる。

4.まとめ

- 1) ショットピーニング処理は、表面において約800MPaの圧縮残留応力を発生させるが、プラズマ窒化後に行った場合は、元々窒化処理層自体が高い応力状態にあることから、圧縮応力の増加は微増であった。
- 2) ショットピーニング処理とプラズマ窒化やイオンプレーティング処理との複合によるヒートチェック性に対する効果を検討した結果、ショットピーニングによる圧縮応力の改善は見られたが、今回の試験条件では十分な効果を確認するまでにはいかなかった。

参考文献

- 1) 型のヒートチェック研究部会 共同研究成果 発表講演会概要集, (社)日本熱処理協会, (1995. 3. 10)
- 2) 技術協会: 熱間用金型の寿命対策, 日刊工業新聞社, (2001)