

工具鋼への複合表面処理効果についての研究（第1報）

細野 幸太、大川 香織、小寺 将也

Compound surface treatment effect of alloy tool steel (I)

Kota Hosono, Kaori Okawa and Masaya Kodera

転造ダイスとして用いられている高硬度工具鋼の耐疲労特性並びに耐久性を向上させるための表面処理効果としてショットピーニング処理及び窒素をキャリアーとする2種類の表面処理を試みた。ショットピーニング処理による高硬度工具鋼表面の残留応力、イオン窒化処理及び窒素拡散処理による表面からの窒素拡散状態及び組織・硬さについて検討した。

1. はじめに

近年の自動車産業分野において各種部材等の軽量化が進められ、ネジやボルト類においてもダウンサイズ化と低コスト化が求められている。ダウンサイズ化に伴い、品質精度の観点から熱処理済みの高硬度ネジ素材及び高硬度転造ネジダイス（ダイスと記す）が不可欠となっている。しかし、高硬度ネジによりダイスの耐久性が低下し、ダイスの取り換え、生産ライン停止等が問題となっている。そこで現在の対応策としては、ダイス表面にイオン窒化等の表面処理¹⁾を施して、表面硬度を高くしている。しかし、イオン窒化は、処理面がスパッタリング作用によりマイクロクラックなどの亀裂の起点が発生しやすく、表面層に脆い化合物層が生成される等の問題があり、さらなる耐久性の向上が求められている。本研究では、疲労強度向上が期待できる高硬度工具鋼へのショットピーニング処理^{2,3)}並びにさらなる耐久性向上が期待できる2種類の表面処理効果(イオン窒化処理(INと記す)並びに窒素拡散処理^{4,5)}(DNと記す))について検討した。

2. 実験

2.1 ショットピーニング処理

鏡面研磨した20mm(縦)×20mm(横)×4mm(厚み)の工具鋼について平均粒径 ϕ 0.3mm並びに ϕ 0.6mmのスチール材によるエア式ショットピーニングを行った。ショットピーニング後の最大高さ粗さ(Rz)をレーザー顕微鏡(VK9700/9710:キーエンス(株)製)で測定し、残留応力は、X線回折装置(SmartLab:(株)リガク製)を用いて測定した。X線源はCrであり、管電圧40kV、管電流30mAとした。

2.2 表面処理(イオン窒化及び窒素拡散処理)

鏡面研磨した上記の形状の工具鋼について、2種類の表面処理(IN並びにDN)を施した。INは化合物層の形成を抑制する方法で行った。DNは被表面処理物を装置内に導入したのち真空排気を行い(10^{-3} Pa程度)、放電領域に不活性ガス(アルゴン)を導入し、アルゴンプラズマを生成する。その後アルゴンプラズマから電子ビームを引き出し、窒素ガスを励起させることで高濃度の窒素原子を生成させ、被表面処理物の表面から窒素原子を拡散させる方法を利用した。樹脂包埋した断面についてマイクロ組織の観察、硬さ分布、窒素分布状態、ならびにX線回折装置による表面層の構造分析を行った。マイクロ組織の観察は、鏡面研磨後、5%ナイトールで腐食し光学顕微鏡で行った。硬さ分布については、深さ10 μ mから200 μ mまでをマイクロビッカース硬度計(HM-124: Akashi 製)を用いて荷重0.49Nで測定した。窒素分布は、電子線マイクロアナライザ(EPMA: JXA-8530F: 日本電子(株)製)を用い、90 μ mまでの窒素分布状態をライン分析した。表面層の構造分析は、X線源をCu、管電圧40kV、管電流30mAとし、残留応力を測定したX線回折装置を用いた。

ラズマを生成する。その後アルゴンプラズマから電子ビームを引き出し、窒素ガスを励起させることで高濃度の窒素原子を生成させ、被表面処理物の表面から窒素原子を拡散させる方法を利用した。樹脂包埋した断面についてマイクロ組織の観察、硬さ分布、窒素分布状態、ならびにX線回折装置による表面層の構造分析を行った。マイクロ組織の観察は、鏡面研磨後、5%ナイトールで腐食し光学顕微鏡で行った。硬さ分布については、深さ10 μ mから200 μ mまでをマイクロビッカース硬度計(HM-124: Akashi 製)を用いて荷重0.49Nで測定した。窒素分布は、電子線マイクロアナライザ(EPMA: JXA-8530F: 日本電子(株)製)を用い、90 μ mまでの窒素分布状態をライン分析した。表面層の構造分析は、X線源をCu、管電圧40kV、管電流30mAとし、残留応力を測定したX線回折装置を用いた。

3. 結果及び考察

3.1 ショットピーニング処理

図1にそれぞれ(a)未処理材、(b)粒径 ϕ 0.3mmショットピーニング後、(c) ϕ 0.6mmショットピーニング後の試験片を示す。同試験片(b)、(c)について最大高さ粗さを測定すると、(b)6.6 μ m、(c)8.3 μ mとなりショット粒径を大きくすると最大高さ粗さは大きくなることがわかった。また、同試験片(a)、(b)並びに(c)について残留応力を測定した結果を図2に示す。未処理材は-299MPaの残留圧縮応力が生じており、ショットピーニング処理後には(b)-916MPa、(c)-961MPaの残留圧縮応力となり、ショットピーニングにより高硬度工具鋼の表層部の圧縮

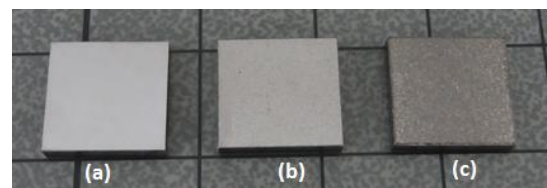


図1 ショットピーニング前後の外観図
(a)未処理、(b) ϕ 0.3mm、(c) ϕ 0.6mm

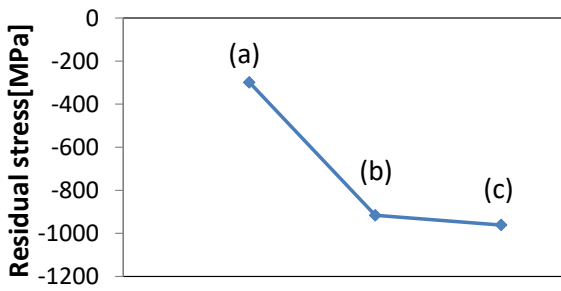


図2 ショットピーニング前後の残留応力
(a)未処理、(b) φ0.3mm、(c) φ0.6mm

応力が增大することが分かった。

3. 2 表面処理 (イオン窒化及び窒素拡散処理)

図3に(a)IN及び(b)DN後の組織観察結果を示す。表面から50μm程度まで素地のマルテンサイト組織とは異なる組織が2種類の表面処理において確認できた。これらの異なる組織は、白層⁶⁾と呼ばれる化合物層の組織とは異なることから窒素拡散層であると考えられる。また、(a)INには、数ミクロン幅の白いカモメマークと呼ばれる組織を多数確認し、(b)DNにおいては(a)INのようにはっきりとしたカモメマークを確認できなかった。このカモメマークは、アルミニウムダイカスト金型として用いられるダイス鋼への窒化処理で確認され、耐ヒー

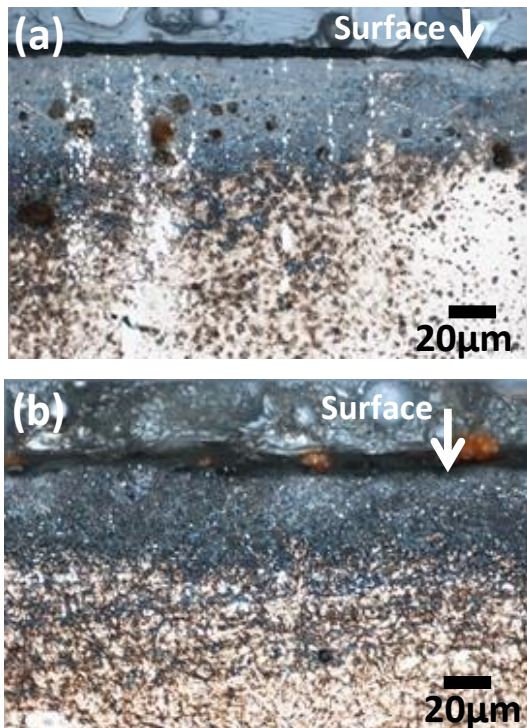


図3 光学顕微鏡による組織観察
(a)IN、(b)DN

トチェック性を低下させるとの報告があり⁸⁾、ダイスとして使用するときの影響が懸念される。

図4に表面からの硬さ分布の結果を示す。表面の硬さは、(a)IN、(b)DNどちらも1120程度と高く、内部で減少し、ほぼ一定の硬さとなる。ただし、(a)INでは、表面から100μm程度で一定の硬さとなり、(b)DNでは、140μm程度で一定の硬さとなっていることから内部の硬化範囲が(b)DNのほうが拡大していることが分かった。

図5に(a)IN及び(b)DN後の窒素に対する線分析結果を示す。どちらも表面から50μm程度まで窒素が存在していることが確認できた。しかし、(a)INでは、表面から数μm程度のところで窒素のカウントが大きく減少し、(b)DNでは徐々に低下することが分かった。そこでX線回折装置による表面層の構造解析を行った(図6)。本測定により表面から数μm程度の結晶構造がわかる。(a)INでは窒素化合物(Fe₃N)の存在を示す回折ピークがあり、(b)DNでは窒素化合物に対応する回折ピークは存在しなかった。したがって、(a)INの窒素の線分析における表面側での窒素カウントの上昇は化合物層の影響であると推定される。

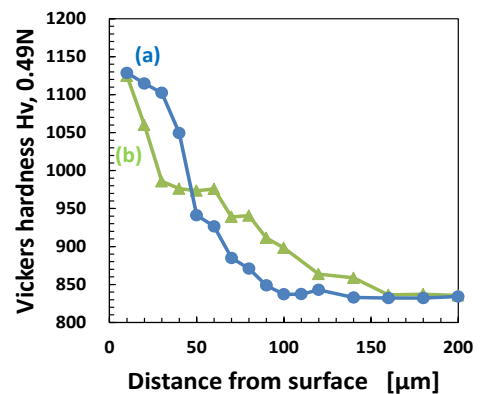


図4 硬さ分布 ((a)IN、(b)DN)

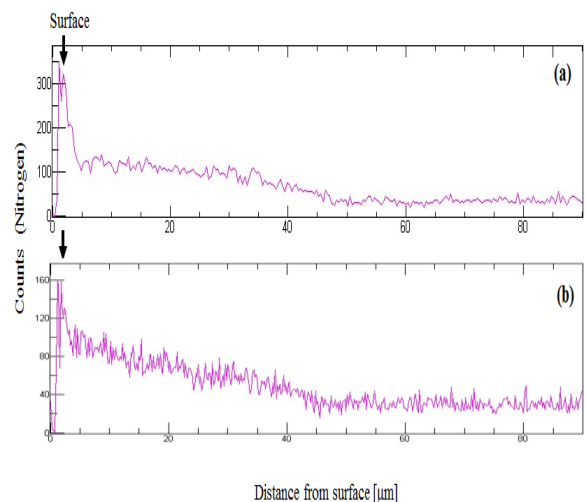


図5 EPMAによる線分析 ((a)IN、(b)DN)

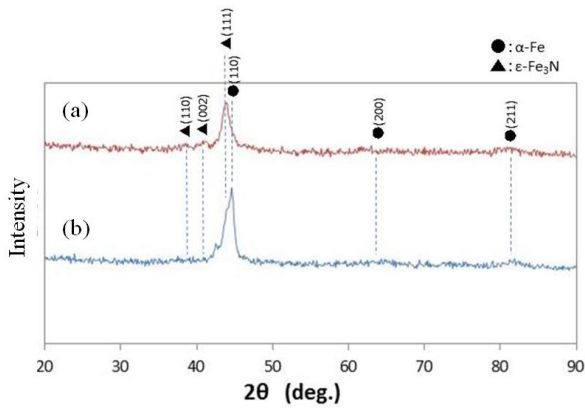


図6 X線回折装置による構造分析
(a)IN、(b)DN

また、実際に使用しているダイスへのIN並びにDNを行い、ネジ転造数を評価したところDNのほうがINよりも約1.5倍ネジ転造数が向上することが分かった。DNにカモメマーク並びにFe₃Nが存在せず、内部硬化範囲がINよりも広いことが耐久性を向上させたと考えている。

4. まとめ

- 1) 高硬度工具鋼へのショットピーニング処理により、表面の残留圧縮応力が3倍以上向上した。
- 2) 高硬度工具鋼へのINでは、表面層に化合物(Fe₃N)を含んだ50μm程度の窒素拡散層を形成し、表面硬度が上昇した。

3) 高硬度工具鋼へのDNでは、表面層に化合物(Fe₃N)を含まない50μm程度の窒素拡散層を形成し、表面硬度が上昇し、内部硬化範囲がINより広いことが分かった。

4) 耐久性(ネジ転造数)を評価したところDNのほうがINより約1.5倍向上することが分かった。

本研究により、各種表面処理が高硬度工具鋼の耐疲労特性に影響する残留圧縮応力向上や耐久性を向上できる技術であることが分かった。今後、さらなる耐疲労特性や耐久性の向上を期待できる複合表面処理(ショットピーニング処置+イオン窒素処理、ショットピーニング処置+窒素拡散処理等)の効果について検討していく。

【謝 辞】

本研究を遂行するにあたり、株式会社岡本にご協力頂きました。深く感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 横井ら, Sanyo Technical Report, 15(1), pp53-61, 2008
- 2) 原田ら, 砥粒加工学会誌, 51(3), pp161-166, 2008
- 3) 澤田, 熱処理, 54(1), pp22-27, 2014
- 4) 細野ら, 岐阜県工業技術研究所研究報告第4号, pp15-18, 2016
- 5) 細野ら, 岐阜県工業技術研究所研究報告2号, pp15-18, 2014
- 6) 八代, 素形材, 52(6), pp14-19, 2011
- 7) 北川, 特殊鋼, 63(6), 30-33, 2014
- 8) 高桑ら, 電気製鋼第81巻1号, pp79-80, 2010