

放電現象による鋼の表面硬化法の開発

大同大学 ○牧田直大, 大同大学 ◎吉田昌史, 静岡理科大学 山崎誠志

微小部品の新たな表面処理法の開発を目的として、本研究では窒素を含む溶液中で放電処理を行い、硬質皮膜の生成について検討した。陽極に炭素棒、陰極に機械用構造炭素鋼 S50C および SKD61 を用いて液体窒素中で 180 分間放電を行い、鋼表面への窒素の浸入を試みた。また、改質層の生成に及ぼす放電条件の影響について検討した。

1. 研究背景

エレクトロニクス分野において各種機器の超小型化・高集積化により、精密な微細形状を付与した加工品・成形品が要求され、超精密微細加工技術が進歩してきた。さらに、マイクロマシンなどの微小機構に必要な微小部品の製作においても、この加工技術は不可欠となっている。マイクロ放電加工機を利用して、 $\Phi 1.0$ の微小歯車およびブラックを製作したという報告もあり²⁾、超精密微細加工技術は格段に進歩していると思われる。最近では微細精密加工技術の医療分野への応用も期待されている。これは、医療用器具で使われる要素部品は、小型で要求される形状精度が高いためである³⁾。より精密微細な製品の要求にともない、加工技術も格段に進歩してきたが、微細精密加工品についての表面硬化技術については、これまであまり検討されてきていない。例えば、微小歯車などでは、歯面における耐摩耗性や耐疲労強度が問題になり、耐久性を向上させる表面硬化技術を開発する必要があると思われる。表面硬化技術としては、浸炭や窒化などの表面熱処理、CVD や PVD などのコーティング法などの適用が考えられるが、長時間・高温処理であるため、熱によるひずみの問題がある。このため、形状精度を維持しつつ微小部品の表面硬化を可能とする技術開発が急務と考えられる。

2. 研究目的

本研究では、微小部品の新たな表面窒化処理法を開発するため、窒素を含む溶液中に被処理材を浸漬させ、放電を発生させることで、被処理材表面への窒素拡散方法の確立を目指すこととした。今回は、その最初の試みとして、機械構造用炭素鋼 (S50C) および工具鋼 (SKD61) に対して液体窒素中放電を行い、被処理材への窒素拡散の可能性を確認するとともに、改質層の生成に及ぼす放電条件の影響について検討した。

3. 実験方法

本研究で使用した表面改質装置を図 1 に示している。この装置は電極、直流安定化電源、ファンクションジェネレーター、加工槽で構成されている。電極には、陽極に $\phi 5\text{mm}$ の炭素棒、陰極に $20\text{mm} \times 10\text{mm} \times 5\text{mm}$ の SKD61 と $20\text{mm} \times 10\text{mm} \times 3\text{mm}$ の S50C をそれぞれ用いた。電極間に $50\text{V} \sim 350\text{V}$ の電圧を印加し、炭素と供試体の間で放電を発生させた。図 1 に示すように、ファン

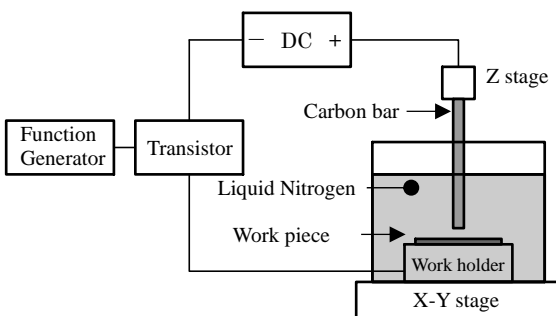


Fig. 1 実験装置

クションジェネレーターでトランジスタを駆動させ、放電をパルス化した。パルス条件は周波数 1kHz 、デューティ比 0.5 とし、液体窒素中で $20\text{min} \sim 180\text{min}$ の間放電を維持させた。

4. 実験結果および考察

4. 1 S50C の放電処理後の表面分析結果

Fig. 2 は S50C に対して無負荷電圧 350V 、約 20 分間させた後の表面状態 (左図) と窒素の元素分布結果 (右図) を示している。Fig. 2 の左図を見ると、放電後は放電前の表面状態よりも凹凸が確認でき、火花放電により熱的な影響を受けたものと考えられる。右図の窒素分布結果から、放電を行った箇所に窒素が分布していることが確認された。次に、グロー放電発光分析 (GD-OES) を用いて、窒素の浸入深さを調査した。Fig. 3 は放電処理前後の深さ方向の窒素の分布を示しており、放電処理により窒素が浸入していることがわかる。また、窒素は表層から深さ方向にかけて徐々に低下しており、傾斜組成であることから拡散により浸入したと考えられる。

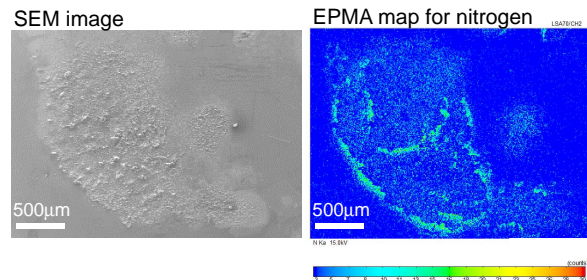


Fig. 2 放電処理後の供試体表面と窒素分布

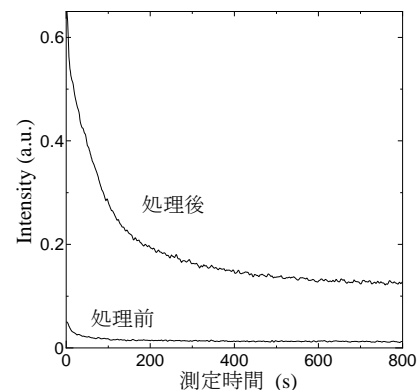


Fig. 3 放電処理後の被処理材断面の窒素分布

4. 2 工具鋼の結果

4. 2. 1 断面組織観察と窒素分布

工具鋼である SKD61 に対して無負荷電圧 200V として液体窒素中で放電処理を 2 時間行った。Fig. 4 は放電後の断面組織結果である。表層には母材とは異なった層が観察され、放電により材料が除去された痕跡などは見られなかった。この層に対して

EPMA を用いて窒素分布を確認した結果、Fig. 5 に示すように表層から数 μm で窒素濃度が高いことが分かり、SKD61 においても液体窒素中での放電により、被処理材の形状を維持したまま窒素を侵入させることが分かった。改質層が生成されるメカニズムについて検討する。一般に放電加工では加工後に、母材とは異なる層が生成されることが広く知られている。この層は、母材が溶融し再凝固したものであり、再凝固後は引張残留応力が働いていると考えられている。Fig. 4 に示すように改質層にクラックが確認できたことから、改質層は放電により溶融し再凝固したものと考えられる。さらに、窒化反応は溶融し再凝固するわずかな時間で起こったものと考えられる。

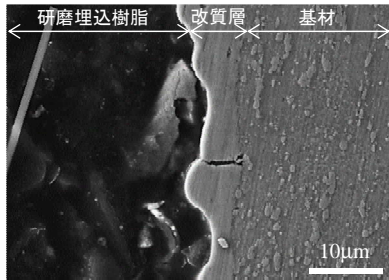


Fig. 4 放電処理後の被処理材断面

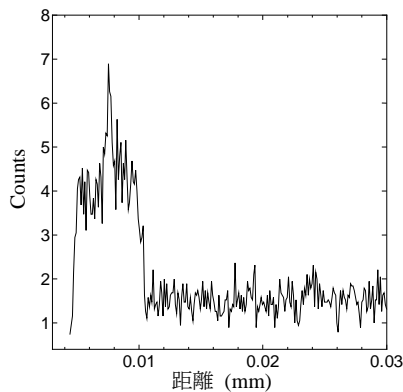


Fig.5 SKD61 の放電処理後の窒素元素分布

4. 2. 2 X線回折結果

X線回折を用いて改質層の構成相を調べた。この結果、母材の α -Fe とともに $\text{FeN}_{0.076}$ のピークが検出された。ガス窒化法やイオン窒化法で生成される窒化層は ϵ 相 (Fe_{23}N) や γ 相 (Fe_4N) で構成されている³⁾。液体窒素中放電で生成される相は、これまで報告されている ϵ 相や γ 相とは異なる相が生成されることが分かった。

4. 2. 3 硬さ試験

電圧 300 V、処理時間 2 h で放電した後の硬さ試験結果を Fig. 6 に示している。硬化層深さは約数 μm であり、最表層の硬さは約 800 HV であった。0.05 mm 以上の深さでは、硬さが約 400 HV と一定値であり、これは被処理材の硬さである。処理前の被処理材の硬さは 490 HV であったことから、放電による熱の影響により軟化したものと考えられる。

4. 2. 4 改質層厚さと放電時間の関係

Fig. 7 は改質層厚さと放電時間との関係を示している。改質層は 90min まで生成されず、それ以降で放電時間の増加とともに直線的に増加した。改質層厚さと放電時間との関係から、改質層の生成には潜伏期間が存在することが明らかとなった。

5. 結論

放電現象による鋼の表面硬化法を確立することを目的とし、液体窒素中で放電を行い、鋼の表面に硬質層の生成を試みた。この結果、以下の結論を得た。

- 1) 液体窒素中放電により、窒素拡散層および窒素化合物層を生成させられる。さらに、被処理材の形状を維持したまま窒素を侵入させられることが分かった。
- 2) 生成された改質層は $\text{FeN}_{0.076}$ であることが明らかとなった。
- 3) 改質層は放電により溶融し再凝固したものと思われる。窒化反応は、溶融から再凝固の極短時間で起こったものと考えられるが、窒化メカニズムの詳細は今後検討する必要がある。
- 4) 母材の硬さ 400HV に対して、改質層の最高硬さは 800HV であった。このことから、本処理法は新たな表面硬化法として期待できるものと考えられる。
- 5) 改質層厚さと放電時間の関係について検討した結果、放電時間の増加にともない改質層厚さが増加することが分かった。また、改質層生成には潜伏期間が存在することが明らかになった。

なお、本稿の内容のうち、登壇者は、4.2 以降の実験の実施および実験結果の解析の部分を担当した。

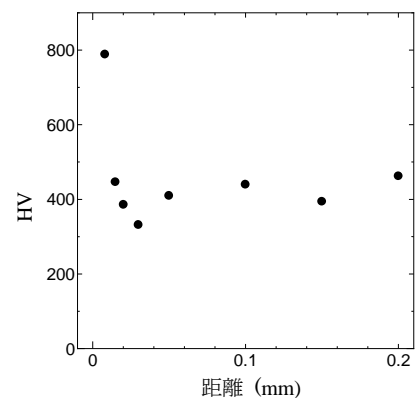


Fig.6 放電処理後の被処理材の硬さ分布

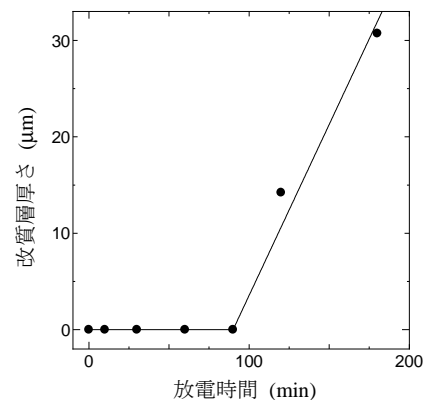


Fig.7 改質層厚さと放電時間の関係

参考文献

- 1) 竹内芳美, 西江真, 沢田潔, 佐田登志夫, 超精密フライス加工機による微小部品加工の試み, 精密工学会誌, Vol.62, No.8, 1996, pp. 1132-1135.
- 2) 土田浩, 原外満, マイクロ放電加工機の開発とその微細加工の事例, 2007 年度精密工学会秋期大会学術講演会講演論文集, 2007, pp. 93-94.
- 3) 江面篤志, 良峰皓, 片平和俊, 小茂鳥潤, 硝酸アルミニウム溶液を用いたレーザー誘起湿式改質法による SUS316L 鋼の表面改質, 精密工学会誌, Vol. 83, No. 1, 2017, 72-77.
- 4) 高瀬孝夫, 鋼の表面硬化法としての窒化, 鉄と鋼, Vol.66, No.9, 1980, 147-158.

謝辞

本研究は、公益財団法人天田財団の一般研究開発助成 (AF-2015015) により実施したものであり、ここに謝意を表す。