

## 研究論文

## バイポーラパルスを用いた高速度工具鋼のラジカル窒化

† 田中一平\*, 川戸太郎\*\*, 坂本幸弘\*\*\*, 原田泰典\*

## Radical Nitriding of High-Speed Steel by Bipolar Pulse

by

Ippei TANAKA\*, † Taro KAWATO\*, Yukihiro SAKAMOTO\*\* and Yasunori HARADA\*

(Received Mar. 3, 2023; Accepted Apr. 26, 2023)

## Abstract

In this study, the effect of bipolar pulse on radical nitriding of high-speed steel was investigated. The plasma was discharged by 400 voltages with alternating polarity, with a duty cycle of 10% and a repetition rate of 20 kHz. H<sub>2</sub>-NH<sub>3</sub> or H<sub>2</sub>-N<sub>2</sub> gas systems were used for reaction gas. The process pressure varied from 130 to 700 Pa. The surface roughness (Ra) of nitrided samples almost kept the roughness of the initial surface, which was 0.11 μm. On the H<sub>2</sub>-NH<sub>3</sub> at 130 Pa, the hardness value on BP was about HV1100 as well as that of DC. The sample by BP with H<sub>2</sub>-N<sub>2</sub> at 500 Pa demonstrated a hardness value of HV1200. This paper showed BP radical nitriding with H<sub>2</sub>-NH<sub>3</sub> can be as well as that of DC one. On BP radical nitriding with H<sub>2</sub>-N<sub>2</sub>, it was necessary to increase the pressure to obtain a high hard surface.

**Keywords:** Plasma, Nitriding, Bipolar pulse, Hardness

## 1. 緒言

プラズマ窒化は、プラズマを用いて処理材表面を窒化させ、それによって形成した膜や拡散層によって表面の硬度を向上させる窒化処理の1つである。プラズマ窒化にはイオン窒化<sup>1)</sup>、ラジカル窒化<sup>2),3)</sup>、アクティブスクリーンプラズマ窒化<sup>4)</sup>の代表的な三つの手法がある。イオン窒化<sup>1)</sup>ではN<sub>2</sub>を窒素源に用いるため環境負荷が小さいが、積極的にN<sub>2</sub><sup>+</sup>イオンを利用する手法であり、イオン衝撃により表面粗れおよび化合物層が発生する。加えて、基材に高電圧を印加するためにエッジ効果によって不均一な処理となる問題が

ある<sup>5)</sup>。アクティブスクリーンプラズマ窒化においても、N<sub>2</sub>を窒素源に使用するため環境負荷が小さいが、化合物層および膜形成による硬質膜密着性低下や条件次第ではエッジ効果が発生するデメリットが存在する<sup>4)</sup>。ラジカル窒化<sup>2),3)</sup>はNHラジカルを利用することで、表面粗度を維持したままの窒化が可能であるが、NH<sub>3</sub>の毒性など、環境負荷の懸念がある。

これらのプラズマ窒化においてアーク抑制及びプラズマ制御を目的として印加電圧のパルス化<sup>6)</sup>がなされ、基材のイオンによる表面粗度の悪化を抑制することも行なわれる。一方、パルス制御技術は近年の電源開発の進歩により、幅広い電圧波形パターンが可能となっている。その中で、バイポーラパルス (BP) は正と負のパルス電圧を印加し、アーキング回避、高い電子温度と電子密度の両立による解離促進が可能であり、パルス波形を制御することでプラズマ状態の制御が行われている<sup>6)-9)</sup>。

プラズマ窒化においてもBPの実用化された事例があり、低温処理や化合物層形成の抑制、表面粗度悪化などの基材ダメージの抑制が報告されている<sup>10),11)</sup>。加えて、正電圧印加

令和5年3月3日受付

\* 兵庫県立大学大学院工学研究科：兵庫県姫路市書写 2167  
TEL 079-267-4837 FAX 079-267-4837

tanaka@eng.u-hyogo.ac.jp

Graduate School of Engineering, University of Hyogo: 2167  
Shosha, Himeji, Hyogo 671-2280, Japan

\*\* 兵庫県立大学工学部：兵庫県姫路市書写 2167

School of Engineering, University of Hyogo: 2167 Shosha,  
Himeji, Hyogo 671-2280, Japan

\*\*\* 千葉工業大学工学部：千葉県習志野市津田沼 2-17-1

Faculty of Engineering, Chiba Institute of Technology: 2-17-1  
Tsudanuma, Narashino, Chiba 275-0016, Japan

†:連絡先/Corresponding author