The Japan Society of Mechanical Engineers

137 超音速プラズマジェット照射により窒化処理を施した鉄鋼材料の寸法変化

Size Variation of Steels Nitrided by Supersonic Plasma Jet Irradiation

○ 正 安藤康高（足利工大），正 戸部省吾（足利工大），田原弘一（大阪大学）

Yasutaka ANDO, Shogo TOBE and Hirokazu TAHARA*

Department of Mechanical Engineering, Ashikaga Institute of Technology,
268-1 Omae-cho, Ashikaga-shi, Tochigi, 326-8558 Japan
Graduate School of Engineering Science, Osaka University,
1-3 Machikaneyama-cho, Toyonaka-shi, Osaka, 560-8531 Japan

Supersonic plasma jet is thermally non-equilibrium plasma created by adiabatic expansion of thermal plasma. Since this plasma is a low temperature plasma with high radical density, the surface modification process using this plasma is hoped to be a high rate process conducted at a low temperature. In this study, in order to develop low temperature nitriding process with high modification rate, nitriding of steel using supersonic plasma jet was carried out at 50Pa in chamber pressure. Consequently, 50μm thick modified layer was created by only 5 minute operation at 600℃. Besides, order of size variation due to the nitriding was almost tha same as that in the case of conventional nitrisding processes.

Key Words : Surface modification, Supersonic plasma jet, Nitriding, Thermal plasma, Low temperature plasma

1. 緒　　論

窒化処理は、自動車部品や金型から構造用部材に至るまで、あらゆる分野で使用されている鉄鋼材料の耐環境性を向上させる表面改質技術として、古くから実用化されている。近年では、従来の用途の他、蒸着膜をコーティングする基材の表面硬化プロセスとしても用いられるようになり、その応用範囲は更なる広がりを見せている。しかしながら、現在主流を占めているイオン窒化法[1]は、処理時間には数時間を要するうえ、処理後の試料表面に脆化層が形成され易く蒸着膜用基材の表面硬化プロセスに適さないなどの問題を抱えている。表面に脆化層を形成しない窒化処理法としては、低エネルギーで化学的活性なラジカルのみを基材に照射するラジカル窒化[2]があるが、現在のプラズマ技術では高密度なラジカル生成は難しく、イオン窒化よりも処理時間が長くなるという問題がある。そこで本研究では、上記プロセスの弱点を克服するため、高密度にラジカルを有する反応源としてDCアークジェットを低圧環境下で超音速断熱膨張させた温度非平衡プラズマジェット（以下、超音速プラズマジェット）の使用を考え、このプラズマジェットを用いた低温迅速窒化処理法を開発した。また、本プロセスにより窒化処理を施した鉄鋼材料の組織観察、硬さ測定、寸法変化を調べ、実用性を図る上での知見を得た。

2. 実 験 方 法

窒化処理装置は、図1に示す減圧プラズマ溶射装置に準じた構造のものを用いた。作動ガスにはH_2/N_2混合ガス（混合比 1/3、流量 12.8 SLM）、基材にはSACM645鋼板を使用し、チャンバー（反応室）内圧力 50Paで5分間窒化処理（基材へのプラズマ照射）を行った。窒化処理温度は、窒化距離（プラズマトーチ先端ー基材表面間距離）を変化させることにより制御した。なお超音速プラズマジェットは、チャンバー内に放出される際に不足膨張ならば、衝撃波が発生し

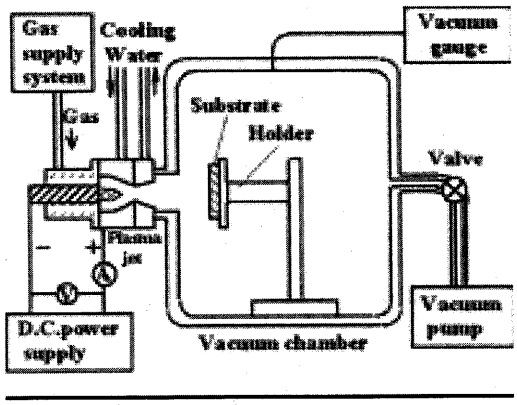
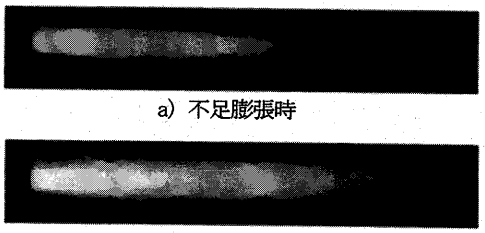


図1 超音速プラズマジェット窒化装置の模式図

NII-Electronic Library Service

The Japan Society of Mechanical Engineers



a) 不足膨張時

b) 適正膨張時

図２　超音速プラズマジェットの概観
（チャンバー内圧力：800Pa）

（図２a）ラジカルの輸送に支障をきたすので、適正膨張（図２b）する様プラズマトーチ先端にラバルノズルを取り付けている。

なお、試料の窒化処理による寸法変化は、窒化処理前後にマイクロメータで測定した試料寸法を比較して調べた。

3. 実 験 結 果

3.1 超音速プラズマジェットによる窒化処理

窒化処理温度 1273K で窒化処理を行った SACM645 鋼の光学顕微鏡による断面観察結果を図３、同じ試料のビッカース硬さの深さ方向分布を図４に示す。わずか 5 分間の窒化処理で厚さ 50μm の表面改質層が形成されており、またこの表面改質層は著しい硬化が起こっていることがわかった。表面改質層成長速度は、窒化処理温度の低下に伴い低下するが、窒化処理温度 873K の場合でも厚さ 10μm、表面硬さ 1000Hv の表面改質層が形成され、本プロセスの低温迅速窒化処理法としての実用性を示唆する結果が得られた。また、窒化処理を施した試料の表面に脆化層が形成されていないことから、本窒化処理がラジカル反応を主体として行われているものと考えられる。この考えは、発光分光法による本プラズマジェットの診断結果[3]にて、

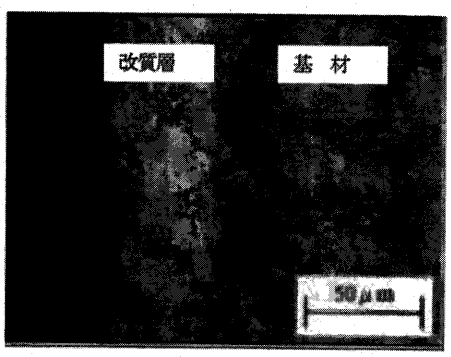
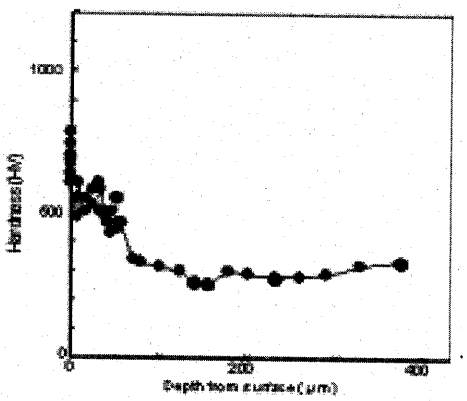


図３　窒化装置を施した試料の断面の光学顕微鏡写真

NH ラジカルが基材まで輸送されていることが確認できていることからも裏付けることができる。

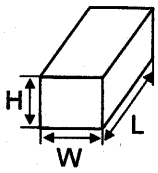


3.2 窒化処理による基材の寸法変化

窒化処理に伴う基材寸法の変化については、窒化処理前後の試料の寸法は表１のとおり有意差は認められず、本プロセスを用いた窒化処理による試料の変形量は、従来の窒化法と同様、実用を阻むものではないことがわかった。

表１　窒化処理前後の試料寸法

	W	L	H
処理前	15.26	21.72	3.04
処理後	15.26	21.72	3.04



4. 結　　論

超音速プラズマジェットを用いて窒化処理を行うことにより、処理時間 5 分、処理温度 873K で窒化鋼基材表面に厚さ 10μm の表面改質層が形成可能であることがわかった。また、窒化処理による基材の寸法変化も、マイクロメータのオーダーでは有意差がなく、本プロセスの迅速窒化処理法としての実用化の可能性を示唆する知見が得られた。

参考文献

1) 山中久彦, イオン窒化法, 日刊工業新聞社, 東京 (1976).

2) 石井芳朗, 玉本圭司, 鋳鍛造と熱処理, Vol.559 (1994) 11.

3) H. Tahara, Y. Ando, T. Yoshikawa, IEEE Trans. on Plasma Sci., Vol.31, No.2 (2003) 281.

NII-Electronic Library Service