

ノート

プラズマを用いた表面改質における鉄鋼試料の温度上昇

三尾 淳* 森河 和雄* 川口 雅弘* 青木 才子*

Estimation of Steel Surface Temperature during Plasma Surface Modification

Atsushi Mitsuo*, Kazuo Morikawa*, Masahiro Kawaguchi*, Saiko Aoki*

キーワード: プラズマ, 表面改質, 鉄鋼, 温度測定, 焼戻し軟化曲線

Keywords: Plasma, Surface modification, Steel, Temperature measurement, Tempering curve

1. はじめに

機械部品においてはその用途に応じて、靱性を維持しながら表面は耐摩耗性を必要とする場合、材料の特性のみでは疲労強度や潤滑性が不十分な場合がある。また、工具においては通常の熱処理では満足できる硬さが得られず、摩耗等により寿命が短くなることがある。これらを解決するために近年では、鉄鋼材料の耐摩耗性など機械的特性向上の観点から種々の表面改質が施されることが多い。表面改質には種々の方法があるが、今後産業的に適用分野の拡大が期待されるものの一つにプラズマを用いた方法がある。この代表的な例は、PVD(Physical Vapour Deposition)やプラズマCVD(Cheical Vapor Depositon)などのドライコーティング、プラズマ窒化やプラズマ浸炭などの表面熱処理である。

鉄鋼材料をこうした方法で表面改質する場合、処理温度は材料特性に大きく影響するが、プラズマ発生やバイアス電圧印加など装置上の制約から熱電対等による試料温度の直接測定が困難なことがある。本稿では、鉄鋼材料の性質を利用して、プラズマを用いた表面改質における試料温度上昇を推定した事例として、プラズマトーチを用いた浸炭の場合⁽¹⁾とプラズマイオン注入装置を用いた炭素イオン注入の場合⁽²⁾を紹介する。

2. プラズマトーチを用いた浸炭

2.1 実験方法 図1に、プラズマトーチ表面改質装置の模式図を示す。27.12MHzの高周波を印加したプラズマトーチにアルゴンガスとメタンガスの混合ガスを流すことにより、大気中でプラズマ炎を発生させた。プラズマ用ガスの混合比はアルゴン:メタン=10:1とし、総流量は毎秒11,000mm³である。このプラズマ炎の下に、プラズマトーチの先端から距離dを隔てて試料を置いて浸炭処理を行った。距離dは10もしくは20mmとした。試料には厚さ4mmの冷間圧延鋼板(JIS-SPCC)を用いた。

試料温度は、金属組織試験により浸炭深さXを求め、次式のFickの法則より拡散係数kを計算し、Harrisの実験結

果⁽³⁾を参照して推定した。

$$X = k\sqrt{t} \dots\dots\dots(1)$$

ここで、tは処理時間である。

2.2 実験結果 図2はd=10及び20mmで1,200秒間処理した後空冷した試料の断面金属組織を示したものである。各組織の下部の明るい部分はSPCCのフェライト組織である。(a)では試料表面から内部に向かって約300μmの濃く着色された部分が認められる。これは浸炭によって炭素濃

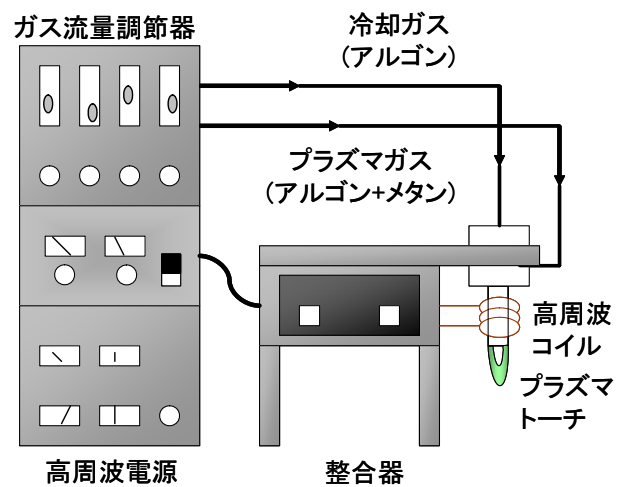
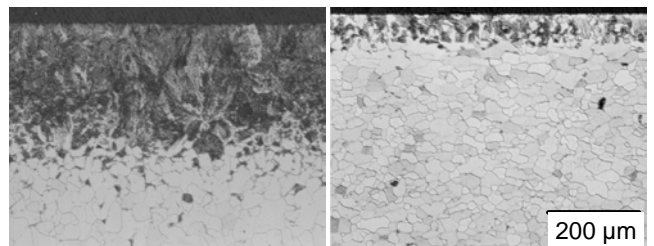


図1. プラズマトーチ表面改質装置



(a) d = 10 mm (b) d = 20 mm

図2. 1,200秒処理後の断面金属組織

*先端加工グループ

度が高くなり、冷却後に生じたパーライト組織である。一方、(b)では表面の浸炭層はおよそ 80 μm と薄く、また、組織はフェライトとパーライトとの混合になっている。

図 3 は、 $d=10\text{mm}$ の場合に、Harris の実験結果 (黒丸) から得られる回帰線に種々の処理時間における浸炭深さを求めてプロット (白丸) したものである。この図から、各拡散係数に対応する試料温度は 1,200~1,240K であることがわかった。

3. プラズマイオン注入装置を用いた炭素イオン注入

3.1 実験方法 プラズマイオン注入装置の模式図を図 4 に示す。この装置では、電極を兼ねた試料ホルダにプラズマ発生用の高周波とイオン注入用のバイアス電圧の両者を交互にパルス状に印加している。プラズマは圧力が 1 Pa となるよう真空チャンバ内にメタン (CH_4) ガスを導入し、周波数 13.56MHz、出力 500W の高周波を用いて発生させた。イオン注入のための加速電圧として -20kV を印加した。高周波及びバイアス電圧のパルス幅はそれぞれ 20s 及び 10s とし、繰返し周波数は 1kHz とした。

試料には炭素工具鋼 (JIS-SK105) を用いた。試料はあらかじめ焼入れ後 373K で焼戻しした。さらに、673K までの間で焼戻しを行い、その硬さを測定して焼戻し軟化曲線を作成した。

プラズマイオン注入処理は 0.25 から 3 時間まで行い、試料裏面の硬さを測定して上記の曲線から温度を推定した。

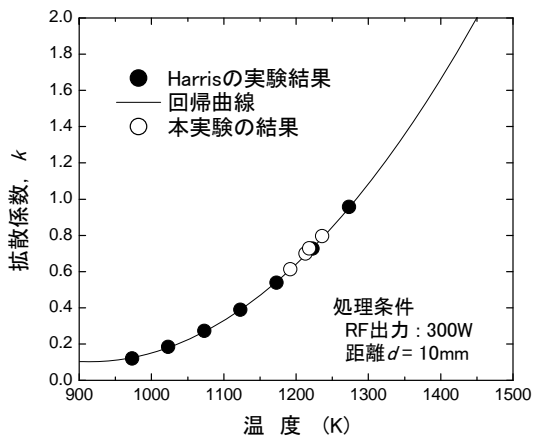


図 3. 試料温度と拡散係数との関係

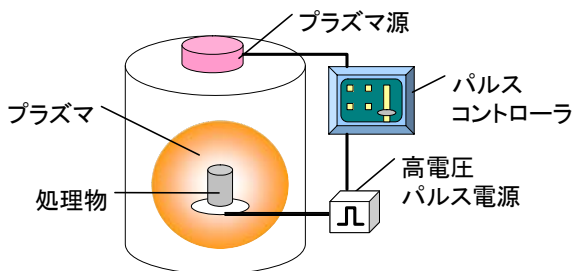


図 4. プラズマイオン注入の模式図

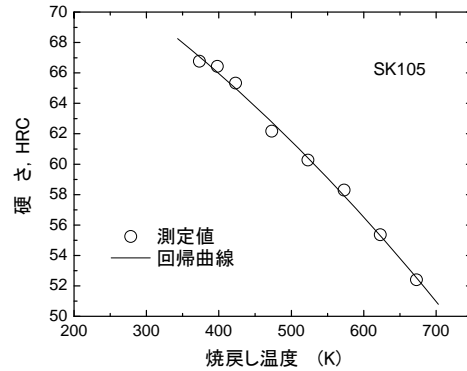


図 5. プラズマイオン注入の模式図

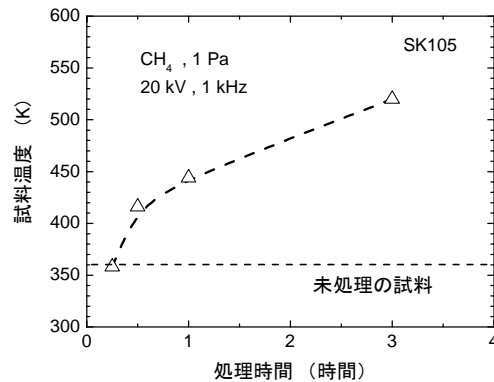


図 6. プラズマイオン注入の模式図

この方法は熱処理時の温度測定法として用いられている。

3.2 実験結果 SK105 の焼戻し軟化曲線を図 5 に示す。焼戻し温度の上昇とともに、ほぼ直線的に硬さが低下することがわかる。

種々の時間でプラズマイオン注入処理を行った試料の硬さを図 5 の曲線を用いて温度に換算した結果を図 6 に示す。処理時間の増加とともに次第に試料温度が上昇していく傾向が認められる。温度上昇は放物線則を示しており、実際の温度上昇の過程を反映しているものと考えられる。

4. まとめ

プラズマ中の試料温度の推定を行った。両者とも、定量性についてはより詳細な検討、他の方法による確認が今後必要であるが、実験を行う際の簡便な方法として利用可能と考えている。

(平成 20 年 7 月 7 日受付, 平成 20 年 7 月 31 日再受付)

文 献

- (1) A. Mitsuo, N. Nihira and T. Aizawa : "Carburising of Steels by RF Induction Plasma Flame in Argon and Methane Gas Mixture", Proc. 12th Intl. Federation of Heat Treatment and Surface Engineering Congress, Vol.3, pp. 207-210 (2000)
- (2) 三尾 淳, 川口雅弘, 青木才子, 森河和雄, 鈴木秀人 : 「メタンプラズマを用いてイオン注入した高速度工具鋼の表面特性」, 表面技術, 59, pp.185-189 (2008)
- (3) F. E. Harris : Metal Progress, 44, pp.265-272(1943)