

高周波誘導加熱微粒子ピーニング (IH-FPP) 処理 を利用した SUS440C 鋼の表面改質

慶應義塾大学[院]

○菊池将一

慶應義塾大学[院]

笹子敦司

慶應義塾大学

小茂鳥潤

高周波熱錬(株)

深沢剣吾

高周波熱錬(株)

三阪佳孝

高周波熱錬(株)

川寄一博

Surface Modification for SUS440C Steel by IH-FPP Treatment

Shoichi KIKUCHI, Atsushi SASAGO, Jun KOMOTORI,

Kengo FUKAZAWA, Yoshitaka MISAKA and Kazuhiro KAWASAKI

1 緒 言

通常のショットピーニングと比較して高い圧縮残留応力を材料表面に付与できる¹⁾微粒子ピーニング (Fine Particle Peening: FPP) は、同時に、投射粒子の構成元素を被処理面に拡散させることができる処理としても注目を浴びている。著者らは、そのような拡散現象の促進を目的として、高周波誘導加熱 (Induction Heating: IH) 装置と FPP 処理を組合せた高周波誘導加熱微粒子ピーニング (IH-FPP) 処理に関する基礎研究を行っており、これまでに、構造用鋼に Cr 粒子を投射することでその耐食性の改善が可能なことを報告している²⁾。

一方 IH-FPP 処理システムは、被処理材を変態点以上の温度まで加熱した状態で FPP 処理を施すことが可能なため、粒子投射時に噴射される圧縮空気を利用して被処理材を急冷することも可能となる。このことは、IH-FPP 処理により、微粒子の投射と熱処理の両者を同時に施すことができる可能性を示唆するものである。

本研究では、この特徴を利用して、高温で FPP 処理を施すことにより高硬度表面を創製し、鋼の摩耗特性の改善を試みた。さらに、IH-FPP 処理により形成された鋼の微視組織形態に注目し、その効果発現メカニズムについて検討・考察を加えた。

2 実験方法

供試材としては、マルテンサイト系ステンレス鋼 (SUS440C) を用いた。同材を $\phi 15\text{mm}$ 、厚さ 4mm に機械加工した後、表面を #320~1200 の耐水研磨紙を用いて研磨した。その後、Fig.1 に示す熱履歴のもとで IH-FPP 処理を施した。FPP 処理は、吸引式投射装置を用いて、投射圧力 0.6MPa、投射間距離 100mm、粒子投射時間 10 秒の条件で行った。図中の ■ 印は粒子を投射した期間を表している。Table 1 に粒子衝突時の基材温度を示す。以下、これらの試験片を、High, Middle, Low シリーズと呼ぶ。なお、圧縮空気による冷却時間はすべてのシリーズで合計 30 秒となるようにした。すなわち、例えば Middle シリーズの試験片の場合には、10 秒圧縮空気のみを投射した後の 10 秒は粒子を混入し、さらに 10 秒間圧縮空気のみを投射している。また、比較のために、IH 装置により高温に加熱した後、FPP 処理の圧縮空気により冷却した試験片 (IHAir シリーズ) および IHAir シリ

ーズに対して室温で FPP 処理を 10 秒施した試験片 (IHAir-RT シリーズ) を準備した。

摩擦摩耗試験は、室温・大気中・無潤滑下において、ボールオンディスク往復摺動形式にて行った。その際、相手材には $\phi 3\text{mm}$ のアルミナボールを用いた。垂直荷重は 4.9N、摺動距離は片道 8mm、摺動速度は 300mm/min とした。摩耗量の算出は、電子天秤を用いて試験前後の試験片重量変化を測定することにより行った。

3 実験結果および考察

3.1 IH-FPP 処理を施した鋼の微視組織

Fig.2 に試験片縦断面を研磨した後、20%塩酸を用いて現出させた組織を光学顕微鏡により観察した結果を示す。同図より、変態点以上の温度で FPP 処理を施した High シリーズの場合には、表面からおよそ 30 μm の領域において結晶粒の微細化が認められる。これに対して、変態点以下の温度で FPP 処理を施した Middle, Low シリーズおよび IHAir-RT シリーズにおいては結晶粒の微細化は認められず、High シリーズとは異なる様相を呈していることがわかる。

さらに、走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いて高倍率での表面組織の観察を行った。Fig.3 にその結果を示す。同図より、Middle シリーズには、FPP 処理により形成され

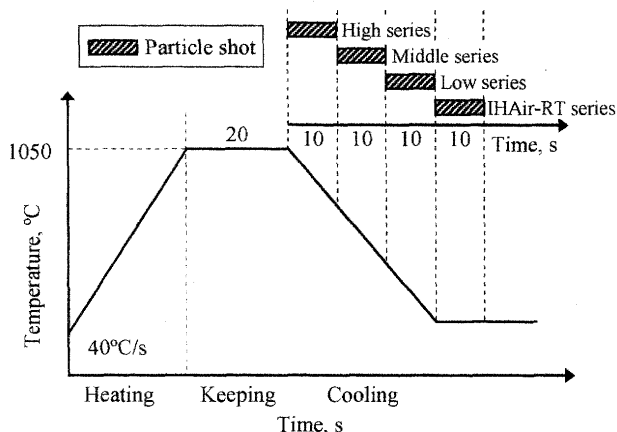


Fig.1 Heat cycle of IH-FPP treatment.

Table 1 FPP treated temperature. (°C)

High series	Middle series	Low series	IHAir-RT series
1050~480	480~250	250~180	R. T.

た渦状組織が認められるが、High シリーズにはそのような組織は認められず、鋸状の微細結晶粒を呈していることがわかる。このことから、IH-FPP 処理による結晶粒微細化は、変態点以上の温度における粒子の衝突に起因した動的再結晶、すなわち高温変形中における再結晶が関与しているものと考えられる。

3.2 IH-FPP 処理を施した鋼の硬さ分布

Fig.4 に試験片中心部の縦断面上において、被処理面から深さ方向に硬さ分布を測定した結果を示す。同図より、IH-FPP 処理を施すことにより、表面近傍のみならず材料内部においても硬さが上昇していることがわかる。これは、焼入れと FPP 処理の両者の効果が得られていることを示すものである。

次に、IH-FPP 処理による表面近傍の硬さの上昇幅に注目すると、その幅は粒子衝突時の基材表面温度が低いほど大きいことがわかる。さらに、High シリーズは硬さのピークが表面からやや内部に存在しており、他シリーズとは異なる分布形状を呈していることがわかる。これは、変態点以上の温度で FPP 処理を行う High シリーズの場合には、動的再結晶に伴い表面近傍の転位が消失したためと考えられる。

3.3 IH-FPP 処理を施した鋼の摩耗特性

Fig.5 に、摩耗量を測定した結果を示す。まず、焼入れのみを施した IHAir シリーズは、未処理材に FPP 処理を施した FPP シリーズと比較して摩耗量が低下していることがわかる。これは焼入れによる基材硬さの上昇に起因するものと考えられる。次に、IH-FPP 処理を施した試験片に注目すると、IHAir シリーズと比較してさらに摩耗量が低下していることがわかる。これは、IH-FPP 処理により高硬さとなったことが原因と考えられる。

ここで、IH-FPP 処理時の基材温度による比較を行うと、High シリーズは Middle, Low シリーズと比較して低硬さ

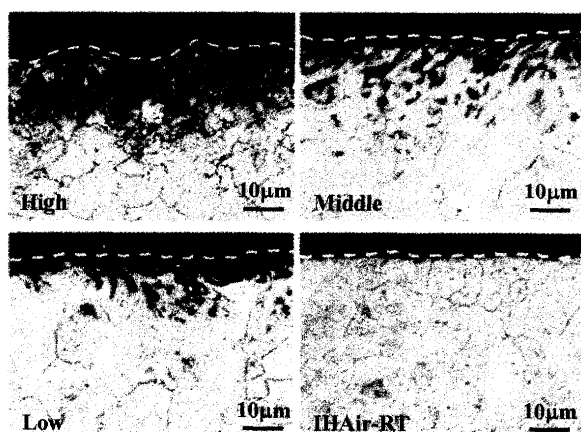


Fig. 2 Observations of microstructure by optical microscope.

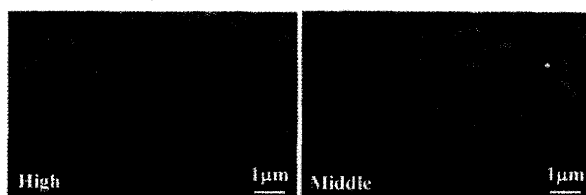


Fig. 3 Observations of microstructure by SEM.

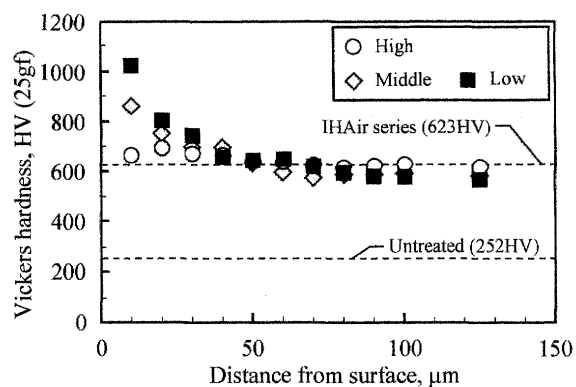


Fig. 4 Vickers hardness distribution.

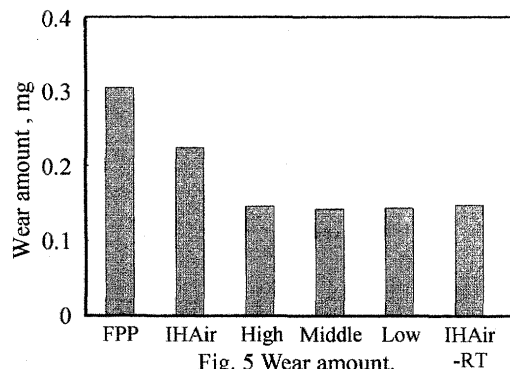


Fig. 5 Wear amount.

であるにも関わらず、ほぼ同程度の摩耗量を示していることがわかる。これは、High シリーズの表面に形成された微細結晶粒により摩耗量が低減されたため³⁾と考えられる。さらに、IH-FPP 処理時に生成した残留オーステナイトが摩耗試験時の垂直荷重によりマルテンサイトに変態したため、結果として摩耗量に差が認められなかったものと推測される。

4 結 言

本研究では、高周波誘導加熱微粒子ピーニング (IH-FPP) 処理によるマルテンサイト系ステンレス鋼 (SUS440C) の表面改質効果について検討を加えた。具体的には、高硬度表面の創製による摩耗特性の改善を目的として、変態点以上の温度に加熱した状態で FPP 処理を施した。その結果、IH-FPP 処理を施した試験片は単独処理材と比較して摩耗量が低減することが明らかとなった。また、粒子投射時の基材温度に着目し、IH-FPP 処理による効果発現メカニズムについて検討を加え、変態点以上の温度で FPP 処理を施すことにより微細な結晶粒が形成されることが明らかとなった。以上の結果は、IH-FPP 処理が鋼の摩耗特性改善に有効であることを示唆するものである。

参考文献

- 1) 米倉大介, 野田淳二, 小茂島潤, 清水真佐男, 清水博美, 日本機械学会論文集 A, **67**, 1155(2001).
- 2) 笹子敦司, 菊池将一, 亀山雄高, 小茂島潤, 深沢剣吾, 三阪佳孝, 川寄一博, 日本金属学会誌, **72**, ページ数未定 (2008).
- 3) Z. B. Wang, N. R. Tao, S. Li, W. Wang, G. Liu, K. Lu and J. Lu, Materials Science and Engineering A, **352**, 144(2003).