

低環境負荷型噴射加工法による表面改質効果 (第2報)

早川 亮・八代 浩二・石田 正文

A Surface Modification Effect by A Low Environmental Burden Type of Shot Peening Method (2nd Report)

Ryo HAYAKAWA, Koji YATSUSHIRO and Masafumi ISHIDA

要 約

これまでの研究結果から、環境負荷の低いドライアイスおよび重曹メディアを用いることによって、従来では適用不可能であった環境においてもショットピーニングによる表面改質が可能であることがわかっている。

そこで、本技術の更なる実用化を目的として、ドライアイスメディアを用いたピーニング処理により、機械設備や配管材であるステンレス鋼に対する圧縮残留応力の付与および、熱疲労時に伴う圧縮残留応力の減少抑制効果について熱間金型材を用いて検証した。

その結果、試験片 SUS304 に対して約 $-220 \sim -250 \text{MPa}$ の圧縮残留応力が付与された。また、試験片 SKD61 に対する熱疲労試験の結果、1,000 サイクル後の圧縮残留応力値はピーニング処理により約 100MPa 高い値を保持した。

1. 結 言

噴射加工法であるショットピーニングは、表面に圧縮残留応力を付与することで疲労強度の改善、応力腐食割れの防止、耐摩耗性の向上などの材料特性を改善する有効な方法の1つであり、工業的に広く普及している。

従来のメディアには砂、ガラスビーズ、鋼球などの様々なメディアが使われているが¹⁾、これらのメディアの回収は困難であり加工品に付着したメディアの洗浄にも多くの労力が必要となる。そのため、製造ライン上の金型、クリーンルームや食品生産用の機械設備、原子炉やプラントにおける配管溶接部では使用不可能である。

本研究ではこれまでに得られた結果から、環境負荷の低いドライアイスおよび重曹メディアを用いることによって、従来では適用不可能であった環境においてもショットピーニングによる表面改質が可能であることがわかっている²⁾。

そこで本技術の更なる実用化を目的として、ドライアイスメディアを用いたピーニング処理による、機械設備や配管材であるステンレス鋼に対する圧縮残留応力の付与および、熱間金型材の熱疲労時に伴う圧縮残留応力の減少抑制効果について、残留応力・表面粗さの測定および表面観察を行い検証した。

2. 実験方法

2-1 SUS304への圧縮残留応力の付与

2-1-1 試験片

本実験には機械設備や配管材に用いられるステンレス

鋼の SUS304 を用いた。これを図 1 に示す寸法に機械加工した。試験片には 2 種類を用いており、一方は残留応力を除去するために大気雰囲気、 800°C で 3 時間加熱し、その後シュウ酸を用いた電解エッチングにより酸化膜を取り除いた状態、他方は試験片表面をエメリー紙および $0.3 \mu\text{m}$ のアルミナ粉末により鏡面に仕上げた状態とした。前者を SR 試験片、後者を PS 試験片とする。

残留応力測定位置

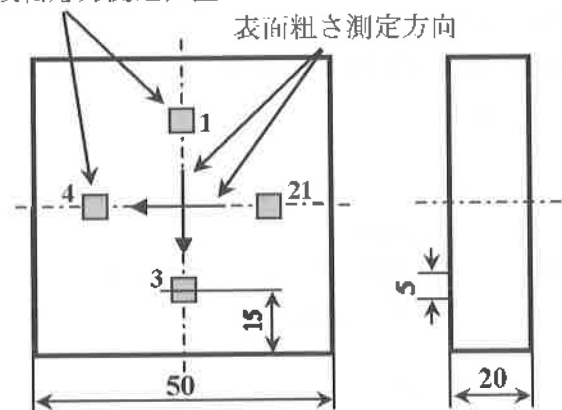


図1 SUS304試験片の形状および応力測定位置

2-1-2 ピーニング処理

ピーニング処理にはメディアの強度調整のために水分を 0 ppm, 150 ppm, 5 wt% 含ませたドライアイス系メディアを用いており、その圧壊強度はそれぞれ $6 \sim 8 \text{N}$, $16 \sim 20 \text{N}$, $35 \sim 40 \text{N}$ である。これらのメディアをそれぞれ、DP, DP-w1, DP-w2 とする。これらのメデ

ィアはこれまでの研究で用いたものと同形状である²⁾。噴射条件は、噴射圧力を0.85MPa、噴射時間は1分および5分間とした。

2-1-3 X線応力測定

残留応力の測定には、株式会社製のX線応力測定装置MSF-2Mを用いた。平行ビームスリットを装着し、 ϕ 一定法にて測定した。回折線には γ Fe 311回折線を使用し、表2に示す条件により測定を行った。

測定位置は図1に示すように、試験片表面において端面から15mmの位置を中心に5×5mmの範囲を設定し、その等価の位置4ヶ所における端面と平行方向の応力値を測定し、4点の平均値を残留応力値として評価した。

表1 X線応力測定条件

回折面	γ Fe 311
管球	Cr-K β
管電圧	30kV
管電流	8mA
測定方法	ϕ 一定法
X線的応力定数	-366MPa/deg

2-1-4 表面粗さ測定

表面粗さの測定には、株式会社製の触針式表面粗さ計SURFCORDER DSF1000を用いた。

測定箇所は図1に示すように、ピーニング処理の影響を最も受けていると考えられる試験片の中央部分とし、測定方向は(1-3)方向および(2-4)方向とした。

2-1-5 表面観察

表面観察には、日本電子製の走査電子顕微鏡JSM-5310LVを用いた。

観察位置は、表面粗さ測定の場合と同様に試験片の中央とした。

2-2 熱疲労試験時における圧縮残留応力の減少抑制効果

2-2-1 試験片

本実験には、熱間金型材であるSKD61を用いた。これを図2に示すように直径 ϕ 58、厚さ20mmの寸法に機械加工し、窒化処理を行った。

2-2-2 熱疲労試験およびピーニング処理

熱疲労試験は加熱温度を570℃として1,000サイクルまで行った。ピーニング処理は、熱疲労試験が100サイクルおよび500サイクルに達した際に、試験片を熱疲労試験機から取り外し0.85MPaの噴射圧力で1分間行った。メディアには水分を5wt%含ませて強度調整を施したドライアイス系メディアDP-w2を用いた。

残留応力測定位置

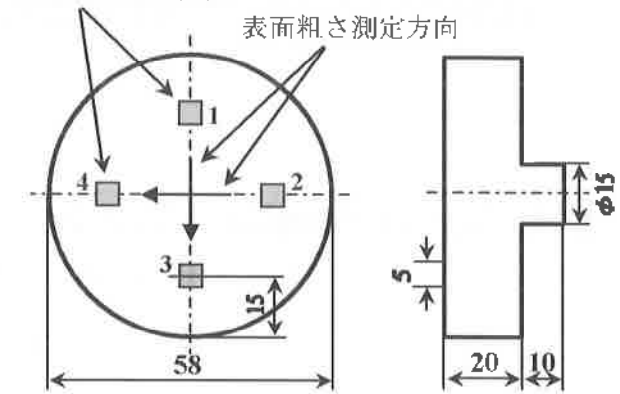


図2 熱疲労試験片の形状および応力測定位置

2-2-3 X線応力測定

残留応力の測定には、株式会社製のX線応力測定装置MSF-2Mを用いた。平行ビームスリットを装着し、 ϕ 一定法にて測定した。回折線には α Fe 211回折線を使用し、表2に示す条件により測定を行った。

測定位置は図2に示すように、試験片表面において端面から15mmの位置を中心に5×5mmの範囲を設定し、その等価の位置4ヶ所における円周方向の応力値を測定した。

表2 X線応力測定条件

回折面	α Fe 211
管球	Cr-K α
管電圧	30kV
管電流	8mA
測定方法	ϕ 一定法
X線的応力定数	-297MPa/deg

3. 結果および考察

3-1 SUS304への圧縮残留応力の付与

3-1-1 残留応力

図3にSR試験片の残留応力に及ぼすドライアイスピーニングによる処理時間の影響を示す。

ピーニング前、1分および5分間の処理によって付与された残留応力の変化から、いずれのメディアにおいても約5分間のピーニング処理によって残留応力の値は飽和することがわかる。5分間のピーニング処理の結果、DPメディアの場合SUS304に付与された圧縮残留応力は約-250MPa、DP-w1およびDP-w2の場合は-220MPaであった。付与された圧縮残留応力はDPメディアを用いた場合が最も大きく、DP-w1およびDP-w2を用いた場合ではその値に大きな差は無く同程度であった。これらの違いは、ドライアイスに起因したものと思われ、含有させる水分量には最適値があると考えられる。本研究

の場合、水分を含有させずに6~8Nの強度を持たせたドライアイスメディアが最もピーニング処理に適していると考えられる。これらの結果から、これまでピーニング処理が適用できなかった機械設備や配管溶接部に対してもドライアイスメディアを用いることで表面改質効果が得られる可能性が見出された。

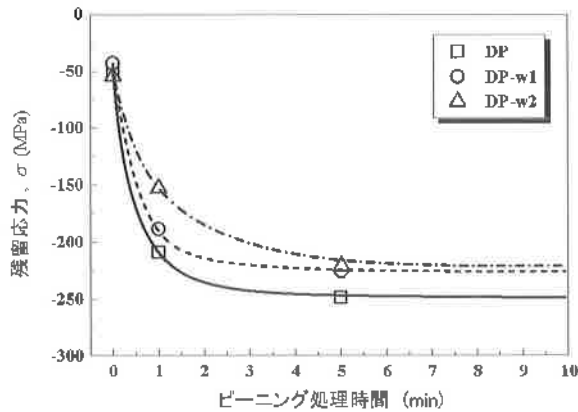


図3 SR試験片の残留応力に及ぼすドライアイスピーニングによる処理時間の影響

3-1-2 表面粗さおよび走査電子顕微鏡観察

図4にPS試験片表面の算術平均粗さRaに及ぼす5分間のDPおよびDP-w1ピーニング処理の影響を示す。

DPおよびDP-w1ピーニング処理によって、算術平均粗さRaは(1-3), (2-4)方向ともに約0.03μmに増加した。

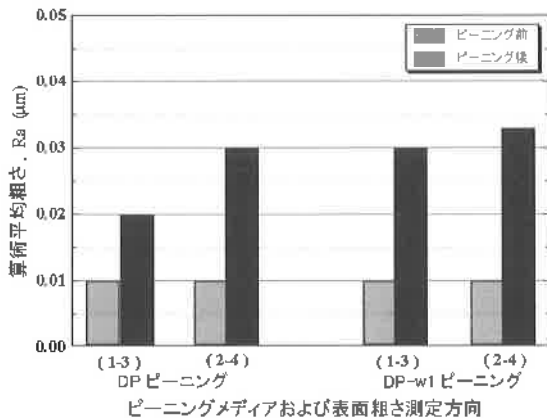


図4 PS試験片表面の表面粗さに及ぼす5分間のDPおよびDP-w1ピーニング処理の影響

なお、DP-w2ピーニング後においてもRaは約0.02μmに増加し、いずれのドライアイスメディアによるピーニング後も十分な平面度を保っていることがわかった。

図5にピーニング処理後における試験片表面のSEM観察結果を示す。いずれのメディアを用いた場合においてもピーニング痕はほとんど認められず、ピーニング処理後も平面性状は保たれており、十分な平面度を示して

いた。

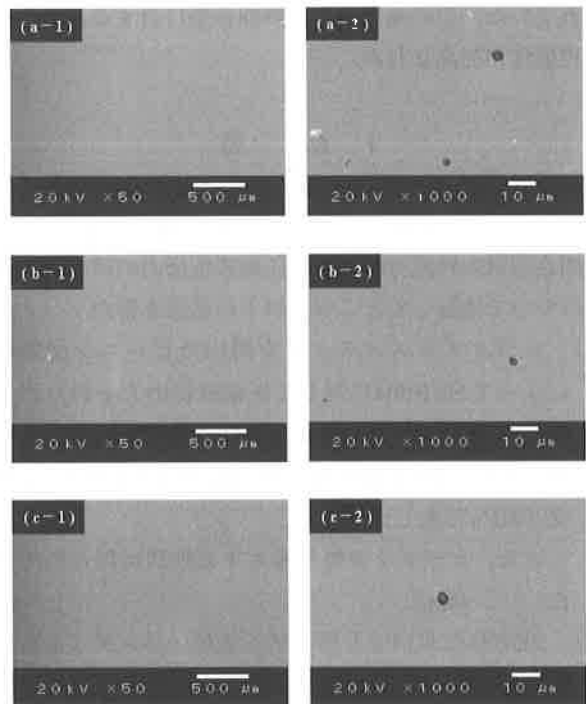


図5 ピーニング処理後における表面のSEM観察結果；(a) DP, (b) DP-w1, (c) DP-w2

3-2 熱疲労試験時における圧縮残留応力の減少抑制効果

図6に熱疲労におけるSKD61の残留応力変化に及ぼすピーニング処理の影響を示す。

熱疲労試験前の残留応力は両試験片とも約-1,020MPaであった。熱疲労試験のみを行った場合、1,000サイクル目の残留応力は約-440MPaまで減少した。一方、熱疲労試験の途中にピーニング処理を行った場合の残留応力の値は、1回目のピーニング処理を行う直前の100サイクル目で約-510MPa、2回目のピーニング処理を行う直前の500サイクル目で約-540MPa、1,000サイクル後では約-540MPaに変化した。1,000サイクル後の残留応力値を比較すると、100および500サイクル後にピー

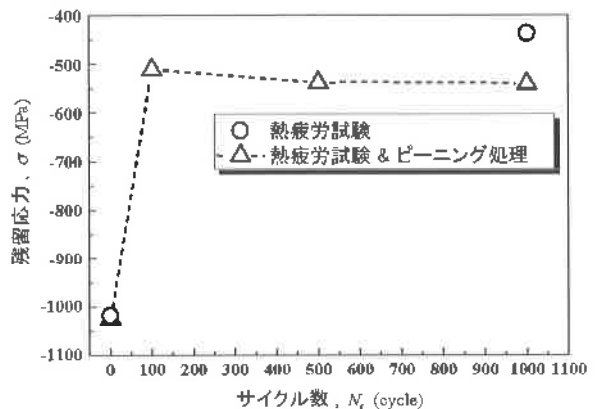


図6 熱疲労におけるSKD61の残留応力変化に及ぼすピーニング処理の影響

ニング処理を行うことによって、圧縮残留応力の減少は熱疲労試験のみを行った試験片と比べて約100MPa抑えられていた。この結果から、熱間金型に対する長寿命化の可能性が見出された。

4. 結 言

ドライアイスメディアを用いたピーニング処理による、ステンレス鋼に対する圧縮残留応力の付与および、熱間金型材の熱疲労時に伴う圧縮残留応力の減少抑制効果について検証したところ、以下の結果を得た。

- (1) ドライアイスメディアを用いたピーニング処理によってSUS304に対して圧縮残留応力を付与出来ることがわかった。付与された圧縮残留応力はメディアDPが約-250MPa、DP-w1およびDP-w2が約-220MPaであった。

また、ピーニング処理後も平面性状は保たれていた。

- (2) SKD61においてドライアイスピーニングによって熱疲労時における圧縮残留応力の減少を抑制する傾向が見られ、その差は約100MPaであった。

謝 辞

本研究を行うにあたり、試験片の作製にご協力頂いた大陽口酸株式会社に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) ばね技術研究会編：第3版 ばね，丸善株式会社，p.429 (1982)
- 2) 早川亮，八代浩二，石田正文：山梨県工業技術センター研究報告，p.(2008)