

低環境負荷型噴射加工法による表面改質効果

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

Ryo HAYAKAWA, Koji YATSUSHIRO and Masafumi ISHIDA

要 約

容易に分解することから、ガラスビーズや鋼球といった従来のメディアに比べ環境負荷が低い重曹およびドライアイスメディアを用いて噴射加工を行い、表面改質効果を検証した。試験片にはプラスチック型用鋼PX5を用い、評価方法として残留応力・表面粗さの測定および表面観察を行った。

噴射圧力0.4MPa、4分間の重曹ピーニングの結果、約-300~-400MPaの圧縮残留応力が付与され、噴射圧力0.85MPa、1分間のドライアイスピーニングの結果、約-400~-500MPaの圧縮残留応力が付与された。また、鏡面仕上げ面における重曹およびドライアイス系メディアによるピーニング後の算術平均粗さRaは0.1 μ m以下であった。

1. 緒 言

表面に圧縮残留応力を付与することは、疲労強度の改善、応力腐食割れの防止、耐磨耗性の向上などの材料特性を改善する有効な手段の1つである。その方法の1つとしてショットピーニングといった噴射加工が工業的に広く普及しており、その用途に応じて砂、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¹⁾。

しかし、これらのメディアを用いた従来の噴射加工では、メディアの回収が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を要する。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。

一方、ドライアイスや重曹といった容易に分解可能な環境負荷の低いメディアを用いた噴射加工は、洗浄効果を目的とした分野には適用されてきたが、表面改質を目的とした技術開発は行われていない。

そこで本研究では、これらの低環境負荷型メディアを用い、従来では適用不可能であった環境においても利用可能な表面改質技術の開発を目的とし、ピーニング処理の前後において残留応力・表面粗さの測定および表面観察を行い、その効果を検証した。

2. 実験方法

2-1 試験片

本実験には大同特殊鋼(株)製のプラスチック型用プラスチック型用鋼PX5を用いた。これはプレハードン材であり、硬さは30~33HRCである。これを図1に示すよう

に直径 ϕ 58、厚さ20mmの寸法に機械加工した。試験片は2種類を用いており、一方は研削加工したままの表面状態とし、他方はエメリー紙および0.3 μ mのアルミナ粉末により鏡面に仕上げた表面状態とした。前者をGD試験片、後者をPS試験片とする。

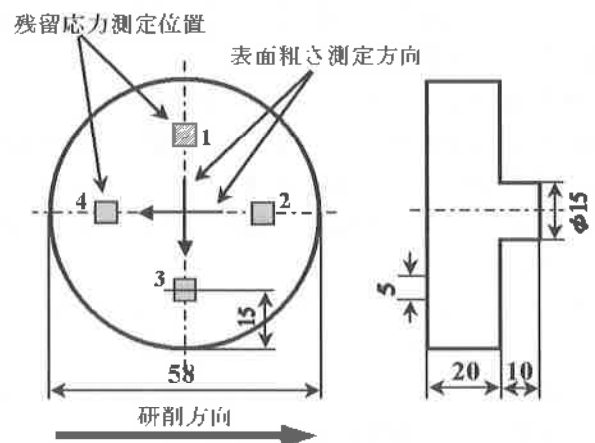


図1 試験片の形状および応力測定位置

2-2 ピーニング処理

ピーニング処理には図2に示す形状の、(a)重曹および(b)ドライアイス系メディアを用いており、ドライアイスメディア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。その圧壊強度はそれぞれ6~8 N、16~20 N、35~40 Nである。これらのメディアをそれぞれ、BS、DP、DP-w1、DP-w2とする。

噴射条件は表1に示すように、BSの場合では噴射圧

力を0.4MPa、噴射時間を4分または10分間とし、DP、DP-w1および-w2の場合では噴射圧力を0.85MPa、噴射時間を1分または10分間とした。

また、残留応力の付与がメディアの衝撃力によるものであることを確認するために、DPによるピーニング処理の際、図1の残留応力測定位置1から2を覆うように試験片の半面にマスキングを施した。

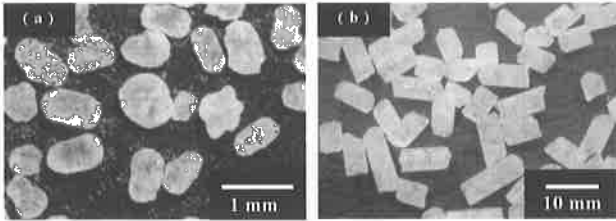


図2 ピーニングメディアの形状：(a) BS, (b) DP

表1 ピーニング条件

試験片	PS1	PS2	GD1	PS3
メディア	BS	BS	DP	DP
表面状態	鏡面	鏡面	研削面	鏡面
噴射圧力 (MPa)	0.4	0.4	0.85	0.85
ピーニング時間 (min)	4	10	1	1

試験片	PS4	PS5	PS6
メディア	DP-w1	DP-w1	DP-w2
表面状態	鏡面	鏡面	鏡面
噴射圧力 (MPa)	0.85	0.85	0.85
ピーニング時間 (min)	1	10	1

2-3 X線応力測定

残留応力の測定には㈱リガク製の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、 ψ 一定法にて測定した。試験片がSCM系材であることから、回折線には通常の鉄鋼材料の応力測定に用いられる α Fe 211回折を使用し、表2に示す条件により測定を行った。

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	ψ 一定法
X線の応力定数	-297MPa/deg

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ヶ所における円周方向の応力値を測定した。

2-4 表面粗さ測定

表面粗さの測定には、㈱小坂研究所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、測定方向は研削方向に対して直角となる(1-3)方向および平行となる(2-4)方向とした。

なお、ピーニング処理前の表面粗さは、GDおよびPS試験片において、それぞれ2つの試験片を測定し、その平均値とした。

2-5 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。

3. 結果および考察

3-1 残留応力

3-1-1 重曹メディア (BS)

図3にメディアBSを用いたピーニング処理における残留応力に及ぼすピーニング時間の影響を示す。

試験片には表面を鏡面仕上げしたPS試験片を用いているため、ピーニング処理前に研磨による圧縮応力が付与されている。

4分間のピーニング処理(PS1)によって約-300~-400MPaの圧縮応力が付与され、測定位置2においてはピーニング前に比べ約240MPa増大し、最も大きな変化が見られた。

しかし、10分間のピーニング処理(PS2)においては、測定位置1および3では僅かながら圧縮応力の増加が見られたものの、処理前後の残留応力は共に約-300~-400MPa、処理前後の平均値はそれぞれ約-400MPaおよび約-390MPaであり残留応力に違いは見られなかった。これはBSピーニング処理と研磨により付与される圧縮応力が、ほぼ同程度であるためであると考えられる。

また、PS2の噴射時間はPS1の約2倍であったが、付与された残留応力の平均値はPS1の約-350MPaに対して、-390MPaであり僅かに増大しただけであった。そのため、PS2においてピーニング効果が見られなかったことを考慮すると、BSピーニングにより付与され

る圧縮残留応力は約-300~-400MPa程度が限界であると考えられる。

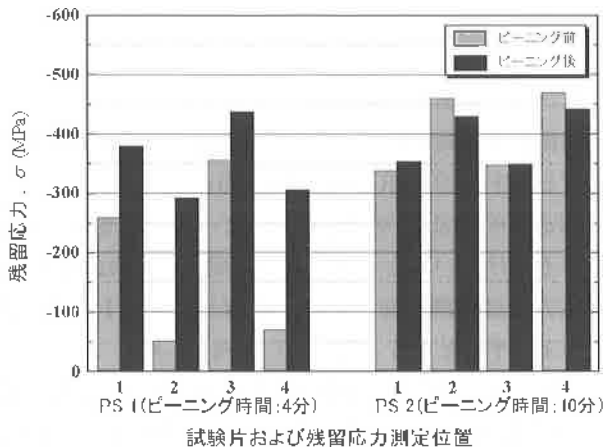


図3 BSピーニングにおける残留応力に及ぼすピーニング時間の影響

3-1-2 ドライアイス系メディア(DP, DP-w1, -w2)

図4にメディアDPを用いたピーニング処理における残留応力に及ぼすピーニング前加工面の影響を示す。

ドライアイスによって急冷された場合の表面組織への影響を調べるためにGD1およびPS3の半面のみマスキングを施したうえで、ピーニング処理を行った。

GD1, PS試験片の測定位置1および2においては残留応力に変化は見られなかったが、位置3と4に付与された圧縮残留応力の平均値は、GD1試験片が約-430MPa, PS3試験片が約-460MPaであった。マスキングが施された部分では残留応力に変化が見られなかったことから、ドライアイスピーニングによる効果は、急冷されることに伴う材料組織の変化によるものではなく、ドライアイスペレットが材料表面へ衝突した際の塑性変形により生じたものであることが分かる。

GD1試験片の残留応力はピーニング処理によりPS3に比べて大きく変化し、その値はPS3と同程度であった。これは残留応力の及ぼす影響が、研削加工よりもピーニング処理の方が大きかったためである。

図5にメディアDP-w1を用いたピーニング処理における残留応力に及ぼすピーニング時間の影響を示す。

PS4およびPS5試験片における圧縮残留応力は共に約100MPa増大し、その値はそれぞれ平均で約-460MPaおよび約-510MPaであった。PS5の噴射時間がPS4の約10倍であったにもかかわらず、このように圧縮残留応力の値に大きな違いは見られなかったことから、表面の残留応力は1分程度で飽和すると考えられる。

また、DP-w2を用いたピーニング処理により付与された圧縮残留応力の平均値は約-430MPaであり、DPピーニングと同程度であった。

メディアDP, DP-w1およびDP-w2により付与された

圧縮残留応力の平均値を比較すると、DP-w1はDPに比べ大きかったもののDP-w2はDPとほとんど違いがなかった。

これらの違いは、ドライアイスに起因したものと思われる。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150ppm含有させることで16~20N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。

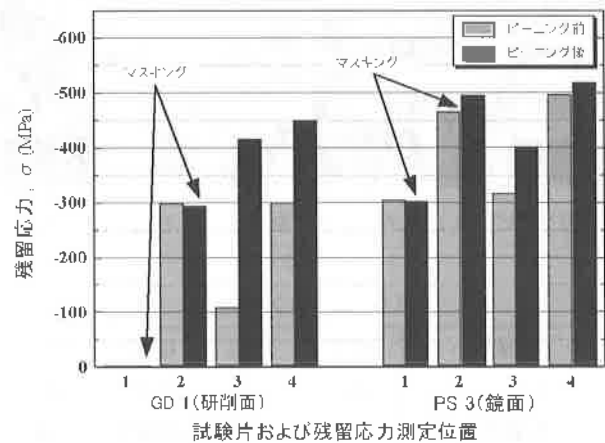


図4 DPピーニングにおける残留応力に及ぼすピーニング前加工面の影響

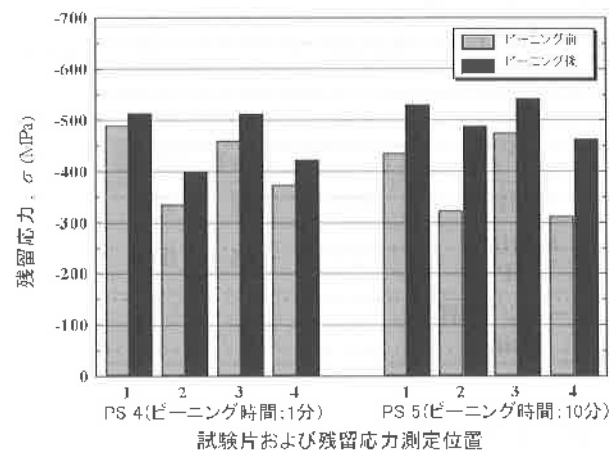


図5 DP-w1ピーニングにおける残留応力に及ぼすピーニング時間の影響

3-2 表面粗さ

3-2-1 重曹メディア (BS)

図6にメディアBSを用いたピーニング処理における表面粗さに及ぼすピーニング時間の影響を示す。

4分間のピーニング処理(PS1)によって、算術平均粗さRaは研削方向に直角な(1-3)方向が約0.04 μ mから約0.08 μ mに、平行な(2-4)方向が約0.03 μ mから約0.09 μ mに増加し、10分間のピーニング処理後(PS2)では、(1-3)方向が約0.1 μ m、(2-4)方向が約0.11 μ mに増加した。このことから、噴射時間の増加に伴い表面粗さは増大することがわかった。

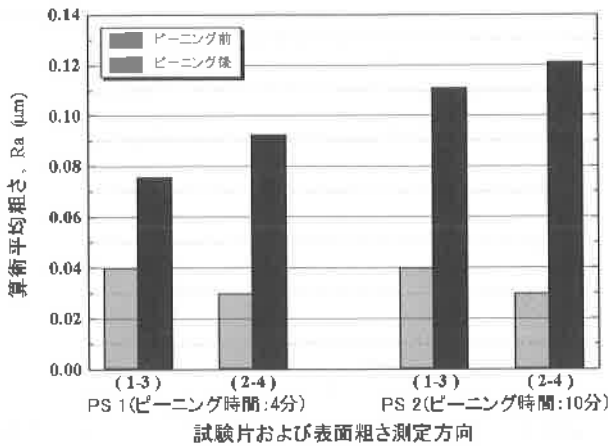


図6 BSピーニングにおける表面粗さに及ぼすピーニング時間の影響

3-2-2 ドライアイス系メディア(DP,DP-w1,w2)

図7にメディアDPを用いたピーニング処理における表面粗さに及ぼすピーニング前加工面の影響を示す。

GD1試験片において、(1-3)方向では $0.46\mu\text{m}$ から $0.44\mu\text{m}$ に減少した。(1-3)方向は研削方向に対して直角方向であるため研削加工による凹凸の影響を大きく受ける。そのため、このRaの減少は研削痕の凸部が塑性変形により平滑化されたためであると考えられる。(2-4)方向ではRaが $0.16\mu\text{m}$ から $0.35\mu\text{m}$ に増大した。このRaの増大は、(1-3)方向が研削方向に対して並行方向であり、研削加工による研削痕の凹凸の影響を受けなかったためであると考えられる。

PS3試験片においては、(1-3)、(2-4)方向のRaは約 $0.03\mu\text{m}$ 増加しただけであり、ピーニング後も十分な平面度を保っていることが分かった。

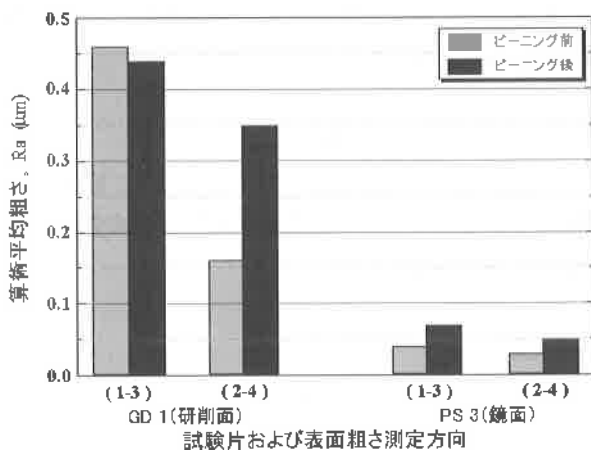


図7 DPピーニングにおける表面粗さに及ぼすピーニング前加工面の影響

図8にメディアDP-w1を用いたピーニング処理における表面粗さに及ぼすピーニング時間の影響を示す。

噴射時間の異なる両試験片ともRaには変化が見られなかった。メディアDPに比べ高い残留圧縮応力が付与されていたにも関わらず、表面粗さRaに変化が無かつ

たことから、DP-w1の方がピーニング処理に適していると考えられる。

なお、DP-w2ピーニングの場合も(1-3)方向ではRaが $0.016\mu\text{m}$ から $0.023\mu\text{m}$ に、(2-4)方向では $0.016\mu\text{m}$ から $0.027\mu\text{m}$ にわずかに変化しただけであり、十分な平面度を保っていた。

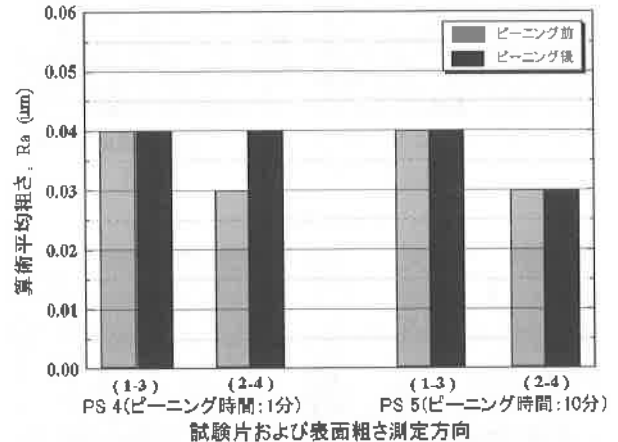


図8 DP-w1ピーニングにおける表面粗さに及ぼすピーニング時間の影響

3-3 走査電子顕微鏡観察

3-3-1 重曹メディア(BS)

図9にピーニング処理前における試料表面のSEM観察結果を示す。

GD試験片において切削加工による凹凸が見られるが、PS試験片では鏡面研磨により研削痕は見られなかった。

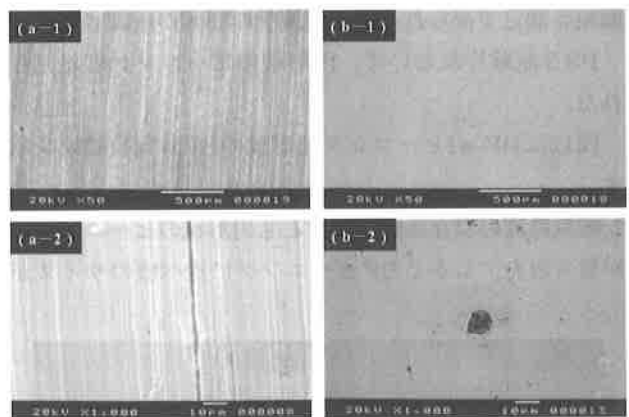


図9 ピーニング処理前における試験片表面のSEM観察結果；(a) GD試験片、(b) PS試験片

図10にBSピーニング処理後のSEM観察結果を示す。噴射時間の増加に伴いピーニング痕の増加が見られた。また、ピーニング痕は線状であった。

3-3-2 ドライアイス系メディア(DP,DP-w1,w2)

図11にDPピーニング処理後のSEM観察結果を示す。GD1試験片において、ピーニング処理前と比べて研

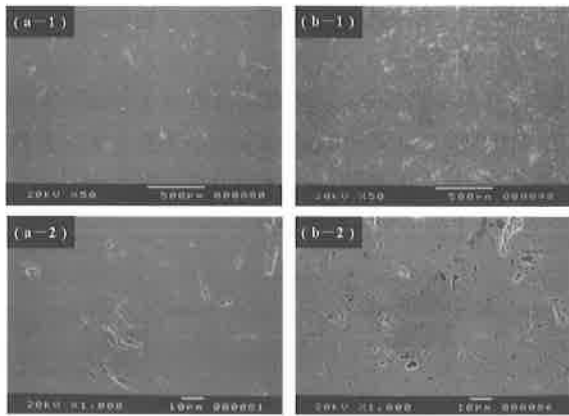


図10 BSピーニング処理前における試験片表面のSEM観察結果；(a) PS1, (b) PS2試験片

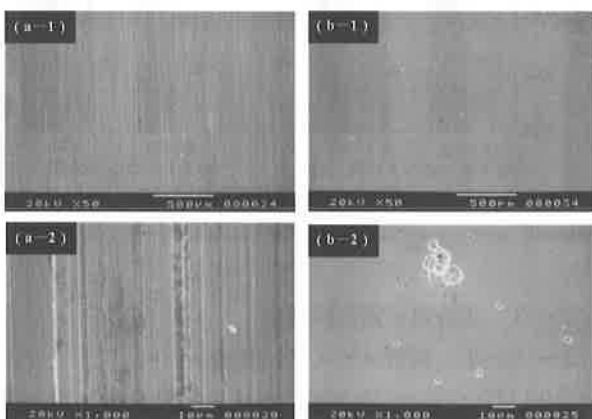


図11 DPピーニング処理前における試験片表面のSEM観察結果；(a) GD1, (b) PS3試験片

削痕が平滑化されているのが分かる。このことから、表面粗さ測定で得られた粗さ値減少の要因が確認された。

PS3試験片において、円形状のピーニング痕が見られた。

図12にDP-w1ピーニング処理後のSEM観察結果を示す。

噴射時間の異なる両試験片とも円形状のピーニング痕が見られた。しかしDPピーニングに比べ痕のサイズが

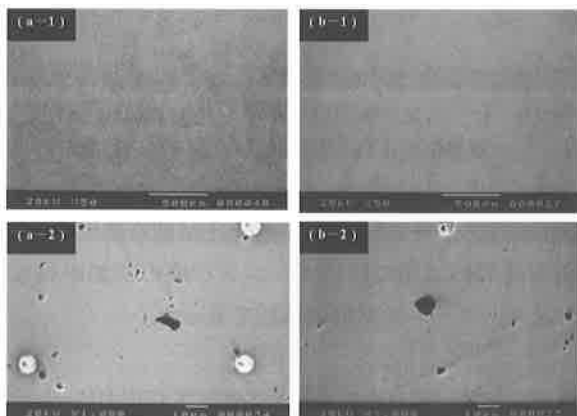


図12 DP-w1ピーニング処理前における試験片表面のSEM観察結果；(a) PS1, (b) PS2試験片

大きかった。これはDP-w1の方が水分を含むことから硬さが上昇し、試験片表面に与える衝撃力が大きかったためだと考えられる。

また、両試験片を比較すると、噴射時間10分の方がピーニング痕は少なかった。

DP-w2ピーニング処理後においても円形状のピーニング痕が見られ、その大きさはDPピーニングの場合とほぼ同じであった。

4. 結 言

重曹やドライアイスといった低環境負荷型メディアを用いた噴射加工法による表面改質を目的とし、ピーニング処理後の試験片の残留応力および表面粗さ測定、そしてSEM観察による評価を行ったところ、以下の結果を得た。

- (1) 応力測定の結果、全てのメディアにおいて圧縮残留応力は増大した。各メディアにより付与された圧縮残留応力の平均値はそれぞれ、BSが約-390MPa、DPが約-460MPa、DP-w1が約-510MPa、DP-w2が約-460MPaであった。
- (2) 表面粗さ測定の結果、鏡面仕上げ面で比較すると重曹メディアではピーニング前後で算術平均粗さRaに若干の増加が見られたが、ドライアイス系メディアでは全てのメディアにおいて、Raに大きな変化は見られなかった。研削面で比較するとDPピーニングは研削方向に直角方向の表面粗さを減少させることがわかった。
- (3) SEM観察の結果、重曹ピーニングでは線状、ドライアイス系メディアによるピーニングでは円形状のピーニング痕が見られたが、表面性状に大きな変化は見られなかった。

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株式会社日本ジョイントおよび太陽日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)