

ショットピーニング処理による微粒子投射材の消耗挙動

Consumption Behavior of Fine Particle Media During Shot Peening Treatment

澤田 俊之*

Toshiyuki Sawada

Synopsis: Micro shot peening, using fine media with mean particle diameter of approximately 100 μ m, is widely applied for various parts with high strength. In general, high compressive residual stress on peened surface can be obtained by using the media with high hardness. However, in case of crystalline media, it has been common that the increase of media hardness decreases its media toughness. Therefore, it has been also considered that hard media has a tendency of low media life.

On the other hand, in our past study, it was reported that FeCrB media with high hardness of 1200 HV in Vickers hardness showed longer media life than conventional high speed steel media with 740HV in Vickers hardness. Therefore, it seems that the relationship between hardness and life of shot peening media is more complicated matter.

In this study, media life of crystalline metallic media with various hardness were evaluated by the consumption of media after 24 h projection test by air type shot peening machine. As a result, both of the media with low hardness in the range between 100 and 600 HV, and high hardness in the range between 1000 and 1200 HV in Vickers hardness showed low consumption. The media with medium hardness in the range between 700 and 900 HV in Vickers hardness showed high consumption. From cross-sectional observation of media after test, it was cleared that no internal crack was observed in the media with low hardness, and remarkable pulverization by initiation and propagation of internal crack were observed in the media with medium hardness. Furthermore, it was inferred that the media with high hardness showed a little pulverization because of less plastic deformation due to its high hardness.

Key words: shot peening, micro shot peening, iron-chromium-boron media, hardness, media life

1. 緒言

ショットピーニング処理は、被処理材に金属やセラミックスの投射材を噴射、衝突させることにより、その表面に高い圧縮残留応力を付与し、疲労特性を改善する処理であり、多くの分野で適用されている。また、粒径が0.2mm以下程度の投射材を用いる微粒子ショットピーニング処理は、被処理材の表面を過度に荒らすことなく疲労破壊の起点抑制が可能であるとともに、圧縮残留応力を処理表面の近傍に付与することができ、大きな疲労強度改善効果が得られる¹⁾。このような特徴から、今後も微粒子ショットピーニング処理の適用分野は大きく拡大すると予測されている²⁾。

一般に、高硬度を有する投射材をショットピーニング処理に用いることで、被処理材の表面に大きな圧縮残留応力を

を付与できることが知られている^{3,4)}。特に表面硬度の高い被処理材へショットピーニング処理する場合、低硬度の投射材を用いると投射材が被処理材との衝突時に塑性変形し、その結果、大きな圧縮残留応力が与えられないため、高硬度の投射材を用いることが有効と考えられている。微粒子ショットピーニング処理には、鋳鋼製や粉末ハイス製の投射材が広く用いられているが、その硬度の上限は900HV程度である。近年では、これより高硬度な投射材として、超硬製⁵⁾や金属ガラス製²⁾の投射材が開発されている。また、著者らが開発したFeCrB投射材⁶⁻⁸⁾は1200HVを有し、高強度部品や金型への微粒子ショットピーニング処理に適用されている。

一方、従来、結晶質の投射材は、硬度の増加にともない脆性となるためショットピーニング処理による破砕が進行し、消耗量が多くなると考えられてきた²⁾。しかしながら、

* 粉末事業部 粉末技術部 技術グループ

FeCrB投射材は、高硬度鉄系硼化物であるFe₂Bが、延性の高いαFeとFe₂Bの共晶組織により結合された組織を有しており、高硬度と高靱性を兼備している。そのため、高硬度にもかかわらず、投射材として用いた場合の消耗量が少ない⁹⁾。

このように、投射材の消耗量と硬さは、従来考えられてきたような単純な相関ではないことが推測される。特に、1000HVを超える高硬度を有する結晶質の金属投射材についての消耗に関する系統的な報告例はなく、その挙動は明らかでない。そこで本報では、微粒子投射材の消耗挙動に及ぼす投射材硬さの影響を明らかにすることを目的とし、合金種類および熱処理により広範囲に硬さを調整した微粒子投射材のショットピーニング処理による消耗量、消耗形態を評価した結果について報告する。

2. 実験方法

2.1 微粒子投射材

評価に用いた投射材の試料名と硬さをTable 1に示す。いずれもガスアトマイズ法により製造された投射材であり球形状を有している。ST-160はSUS316相当の投射材、ST-390はSUS630相当の投射材、CS-840は鋳鋼製投射材である。HSSシリーズは、熱処理により硬さを变化させた粉末ハイス投射材であり、FCB-1130はFeCrB投射材である。粒径はいずれも45~125 μmに分級したものをを用いた。

Table 1 Vickers hardness of test media.

Material	Sample code	Vickers hardness, HV
Stainless steel	ST-160	160
	ST-390	390
Cast steel	CS-840	840
	HSS-500	500
High speed steel	HSS-740	740
	HSS-1010	1010
	HSS-1110	1110
FeCrB	FCB-1130	1130

2.2 投射材消耗量の評価

Fig. 1に投射材消耗量の評価に用いたショットピーニング装置の模式図を示す⁹⁾。投射材はノズルから噴射され、ターゲットに衝突した後、チャンバー下の配管を通り、サイクロンに回収される。回収された投射材は循環し、再びターゲットへ噴射される。これを繰り返すことにより投射材は破碎あるいは摩耗などにより微粉化する。微粉化した投射材は、サイクロン内で集塵され、装置外へ排出されることにより消耗する。ターゲットは表面硬度700~

800HV、有効硬化層深さ1.4mmのSCM420ガス浸炭材を用い、4h毎に取り替えた。ノズルとターゲットとの距離は50mmとした。試験前の投射材投入量を20kgとし、2kg/minの投射量（初期条件）で、投射圧0.6MPaで投射した。また、約25 μm以下に破碎された投射材がサイクロンから排出されるように設定した。この方法で、24h投射した後、装置内に残存している投射材を回収し、消耗量を評価した。

また、消耗挙動を検討するため、回収した投射材について、走査型電子顕微鏡（SEM）による断面および表面性状の観察を行った。断面観察には樹脂埋め研磨試料を用いた。

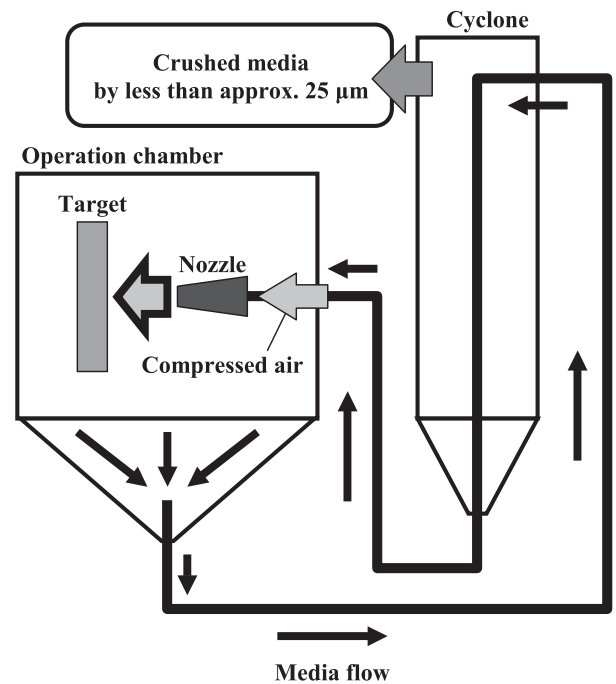


Fig.1 Schematic diagram of air type shot peening equipment to evaluate consumption of shot peening media in this study.

3. 実験結果および考察

3.1 投射材の消耗量

投射材の消耗量と硬さの相関をFig.2に示す。投射材硬さが100~600HVの低硬度域（以下、領域Ⅰとする）、700~900HVの中硬度域（以下、領域Ⅱとする）、1000~1200HVの高硬度域（以下、領域Ⅲとする）において、消耗量に大きな差異が認められる。すなわち、領域Ⅰでは投射材硬さによる明確な傾向はなく消耗量は2kg程度であり、領域Ⅱでは消耗量が大きい。さらに、領域ⅡからⅢにかけては投射材硬さの増加にともない消耗量が減少する傾向が認められる。なお、汎用的に用いられている高硬度微粒子投射材である領域Ⅱの鋳鋼製、粉末ハイス製投射材の消耗量は6~9kgと大きい。

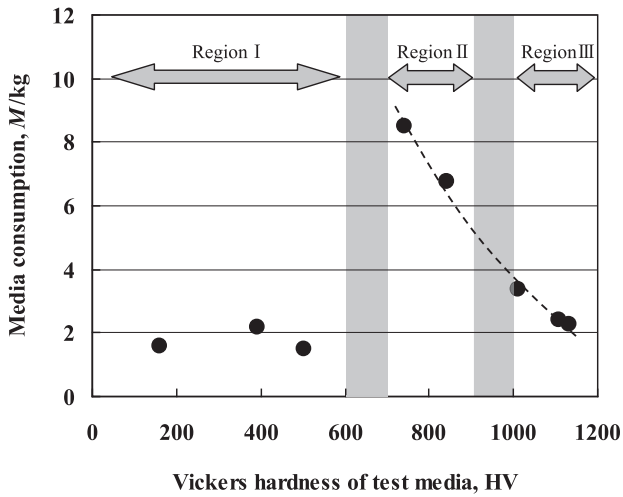


Fig.2 Media consumption by 24h projection test as a function of media hardness.

3.2 消耗試験後の投射材の断面観察

投射材の硬さ領域により消費量が大きく異なった原因を検討するため、消耗試験後の投射材を評価した。Fig.3に試験後の投射材の断面を示す。なお、ST-160、ST-390、HSS-500は領域Ⅰ、HSS-740、CS-840は領域Ⅱ、HSS-1010、HSS-1110、FCB-1130は領域Ⅲに属する。

領域Ⅰの3種類の投射材は、断面形状が円形ではなく外周が直線的な多角形に近くっており、ターゲットとの衝突による塑性変形が顕著であると考えられる。また、投射材の内部にクラックが発生していない。

領域Ⅱの2種類の投射材は、破碎した粒子が多く認められるとともに、破碎前の粒子の内部にも多数のクラックが発生している。また、破碎前の粒子の断面形状に着目すると、わずかに外周が直線的に変形しているが領域Ⅰの投射材と比較すると変形は小さい。

領域Ⅲの3種類の投射材は、内部にクラックを発生している粒子も認められるが、領域Ⅱの投射材と比較しクラックを発生している粒子の頻度が著しく低い。また、領域Ⅱの投射材と同様に外周に直線的な部位は少なく、ターゲットとの衝突による変形が小さいと考えられる。

3.3 消耗試験後の投射材の表面性状

ST-390 (領域Ⅰ)、CS-840 (領域Ⅱ)、HSS-1110 (領域Ⅲ)における消耗試験後の投射材のSEM像をFig.4に示す。ST-390の表面には薄片状の層 (Fig.4 (a) の矢印部) が多く認められる。このような層は、投射材がターゲットに衝突することで、投射材の表層が塑性変形、流動した痕跡であると考えられる。一方、この薄片状の層は、CS-840

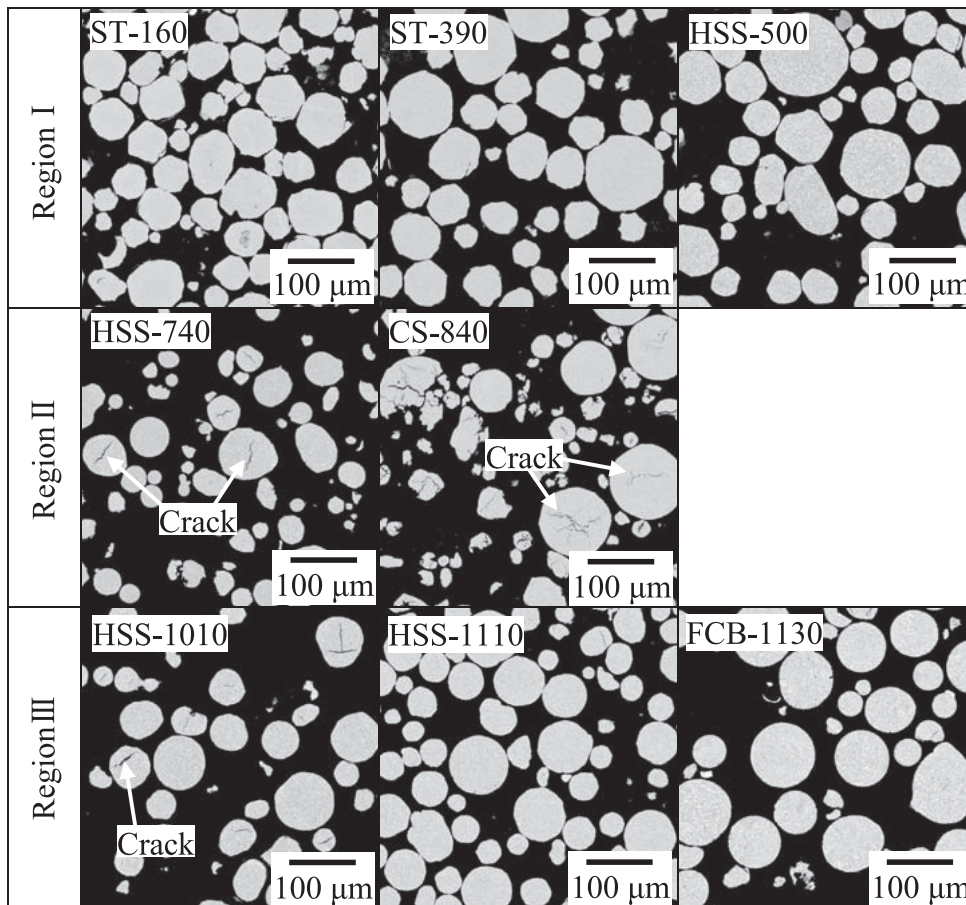


Fig.3 Cross-sectional observation of media after 24h projection test.

ではわずかであり、HSS-1110には認められない。したがって、投射材硬さの増加にともない塑性変形、流動が抑制されていると考えられる。なお、上記に示した投射材以外においてもこの傾向は同様であった。

また、Fig.5にST-390の表面の一部を拡大したSEM像を示すように、薄片状の層は衝突が繰り返されることにより投射材から脱落すると推察される。

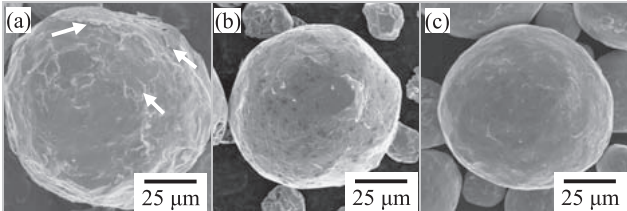


Fig.4 Surface observation of media after 24h projection test. (a) , (b) and (c) show those of ST-390, CS-840 and HSS-1110, respectively.

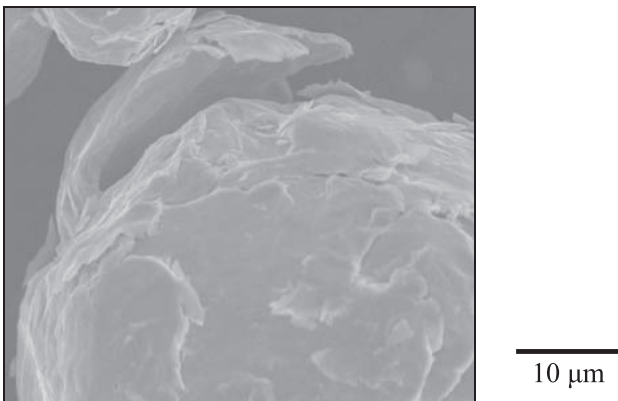


Fig.5 Separation of flaky surface layer on ST-390 media after 24 h projection test.

3.4 硬さの異なる投射材の消耗挙動の推定

領域Ⅰの投射材は、低硬度であるためターゲットとの衝突による塑性変形は著しいが延性が十分に高いために内部クラックを発生せず破砕が起こらないと考えられる。一方、表層の塑性流動が顕著であり、これにより薄片状表面層が脱落することにより消耗すると考えられる。領域Ⅰの投射材消耗量は2kg程度と低いことから、この形態の消耗度合いは緩やかであると推察される。

領域Ⅱに属する中程度の硬度を有する投射材は、ターゲットとの衝突による塑性変形により粒子内部にクラックが発生、進展し、破砕に至ると考えられる。領域Ⅱの投射材は消耗量が6～9kgと高く、この形態の破砕が著しいと考えられる。

領域Ⅲの投射材は、領域Ⅱの投射材と同様にターゲットとの衝突により粒子内部にクラックを発生し、破砕に至ると考えられる。しかしながら、硬度が著しく高いため衝突による塑性変形量が小さく、内部クラックの発生、進展が領域Ⅱの投射材より緩やかであると考えられる。この結果、領域Ⅱ～Ⅲにおいて、投射材硬さの増加とともに投射材消耗量が小さくなる傾向があると推察される。

4. 結言

微粒子投射材の消耗挙動に及ぼす投射材硬さの影響を明らかにすることを目的とし、広範囲に硬さを調整した微粒子投射材のショットピーニング処理による消耗量、消耗形態を評価した。その結果、以下の知見が得られた。

- (1) 100～600HVの低硬度投射材は消耗量が少なく、汎用の高硬度投射材の硬さである700～900HVの投射材は消耗量大きい。さらに、これよりも硬度の高い1000～1200HVの投射材は消耗量が小さくなる。
- (2) 100～600HVの低硬度投射材は、十分な延性を有しているため、ターゲットとの衝突による破砕が発生しない。この硬度域の投射材は表面の塑性流動層の脱落により主に消耗し、この形態の消耗は比較的緩やかであると推察される。
- (3) 700～900HVの投射材は、ターゲットとの衝突による塑性変形により内部にクラックを発生し、これが進展し、破砕に至る。この硬度域の投射材は破砕が著しく、消耗量大きいと考えられる。
- (4) 1000～1200HVの高硬度投射材は、700～900HVの投射材と同様に内部クラックの発生、進展による破砕が主な消耗形態であるが、著しく高い硬度を有しているため塑性変形量が小さく、内部クラックの発生、進展が比較的緩やかであり消耗量が小さいと推察される。

参考文献

- 1) N. Egami, C. Kagaya, N. Inoue, H. Takeshita and H. Mizutani: Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series A 66 (2000) 1936-1942.
- 2) K. Okumura: Function Materials 29 (2009) 16-24.
- 3) M. Uchiyama and K. Kamishohara: Tetsu-to-Haganē 42 (1956) 569-573.
- 4) N. Hamasaka: Journal of The Japan Society for Heat Treatment 39 (1999) 264-270.
- 5) T. Ito, E. Nagashima, Y. Ishikawa and Y. Izawa: Trans. of JSSE 43 (1998) 23-30.
- 6) T. Sawada and A. Yanagitani: Sanyo Technical Report 15 (2008) 36-42.
- 7) T. Sawada and A. Yanagitani: J. Japan Inst. Metals 73 (2009) 401-406.
- 8) T. Sawada and A. Yanagitani: J. Japan Inst. Metals 75 (2011) 274-281.
- 9) T. Sawada and A. Yanagitani: J. Japan Inst. Metals 73 (2009) 666-669.

■ 著者



澤田 俊之