

## ジルコニア溶射皮膜の密着性に与える残留ブラスト材の影響\*

桑嶋 孝幸<sup>\*,†</sup>, 森田 侑輝<sup>\*\*</sup>, 脇 裕之<sup>\*\*\*</sup>Influence of Residual Blast-materials on Adhesion of Plasma-sprayed Yttria-stabilized Zirconia Coatings<sup>※</sup>Takayuki KUWASHIMA<sup>\*,†</sup>, Yuuki MORITA<sup>\*\*</sup>, Hiroyuki WAKI<sup>\*\*\*</sup>

The bonding mechanism of thermal sprayed ceramic coating was not clear due to the complicated profile of blasted surface and microstructure of the coating. The objective of this study is to investigate the influence of residual blast-material on the adhesive strength of yttria-stabilized zirconia coatings sprayed by atmospheric plasma spraying. Stainless steel was used as a substrate, and blasted in three different pressures and five different blast angles by fused alumina abrasives with three different particle sizes. Three powders with different particle sizes were used as spray materials. Our observation revealed that roughness of blasted substrate were constant in each blasting material independent of blast angle, though mass of residual blast-material increased with increasing the blasting pressure. Interestingly, the tensile adhesive strength increased with increasing the mass of residual blast-material in each spray materials under the condition of the same roughness. Tensile residual stress was high at near the interface, and the residual stress of acute blast angle was higher than that of right angle. It was convinced that the residual stress reduced the adhesive strength in the case of acute angle. Therefore, it was concluded that residual blast-material did not almost affect the adhesive tensile strength.

**Keywords** : bonding strength, residual blast-material, blast angle, residual stress, YSZ coating, root mean square slope, indentation test

## 1. 緒言

セラミック溶射皮膜は、耐熱性、断熱性、耐摩耗性などの表面機能を金属基材に付与するために様々な部位で用いられている。しかし、下地層との物性の差が大きいため、必然的に界面近傍で損傷が生じやすい。例えば、本研究で扱うプラズマ溶射ジルコニア皮膜は遮熱コーティングとしてガスタービンブレードなどの高温部品に適用されているが、界面に熱成長する酸化物との線膨張係数差による熱応力などをメカニズム<sup>1)</sup>として、剥離が発生することが知られている。ジルコニア溶射皮膜の信頼性を確保するためには、溶射皮膜の密着性を把握することが重要である。

一般に、溶射皮膜の下地に対する密着力の主因はアンカー

効果によるものと知られている<sup>2)</sup>。そのため、溶射の前処理として、ブラスト処理による粗面化が不可欠である。その下地の粗さが、溶射皮膜の密着性に大きな影響を与えることは周知のことである。しかし、下地の粗さが及ぼす影響の系統的な研究は数少なく、密着機構については明快ではない。例えば、セラミック皮膜の密着性について、多くの研究は算術平均粗さ  $Ra$  で検討されており<sup>3-6)</sup>、 $Ra$  以外のパラメータで検討されたもの<sup>7-9)</sup> はほとんど無い。また、溶射皮膜の密着性が表面粗さに相関する場合<sup>3-5, 7-9)</sup> や相関しない場合<sup>6, 10)</sup> など様々な結果が報告されていた。そこで筆者らは、剥離箇所を明確にすることで、密着性と表面粗さとの相関を正確に検討し、 $Ra$  よりも基材の凹凸の勾配、すなわち表面積がジルコニア溶射皮膜の密着性と強く相関することを明らかにした<sup>11)</sup>。

※ 原稿受付 2019年12月16日 「日本溶射学会第108回, 109回(2018年度春季, 秋季)全国講演大会(2018年6月7日, 2018年11月20日)にて発表」

\* 地方独立行政法人岩手県工業技術センター (〒020-0857 岩手県盛岡市北飯岡2丁目4-25)

\*\* 国立大学法人岩手大学大学院 (〒020-8551 岩手県盛岡市上田4丁目3-5)

\*\*\* 国立大学法人岩手大学理工学部 (〒020-8551 岩手県盛岡市上田4丁目3-5)

\* Iwate Industrial Research Institute (2-4-25 Kitaiioka, Morioka, Iwate 020-0857, Japan)

\*\* Graduate school of Arts and Sciences, Iwate University (4-3-5 Ueda, Morioka, Iwate 020-8551, Japan)

\*\*\* Faculty of Science and Engineering, Iwate University (4-3-5 Ueda, Morioka, Iwate 020-8551, Japan)

† Corresponding author, E-mail: kuwashima@pref.iwate.jp

ただし、ブラスト処理により、基材の粗面化と同時に、ブラストするグリットが基材に残留することが知られている。前報<sup>11)</sup>では、表面積の増加とともに、残留グリットが増加していたため、残留グリットの影響は課題として残っていた。

丸山らは、グリットの基材への残留過程<sup>12)</sup>や、基材表面を溶解することで残留グリットを定量的に評価し、その除去性<sup>13)</sup>について報告している。Mellaliら<sup>14)</sup>はブラスト表面の画像を解析することで残留グリットの量を評価した。しかし、残留グリットと溶射皮膜の密着性の関係を調査した研究は数少ない。宮崎、丸山ら<sup>15)</sup>は、ブラスト時間をコントロールして、残留グリットと密着性の関係を検討している。天田ら<sup>16)</sup>は、ブラスト角度をコントロールして、残留グリットと密着性の関係を考察している。しかし、残留グリットが溶射皮膜の密着性を低下させる報告<sup>5, 17)</sup>や低下させない報告<sup>15, 16)</sup>があり、残留グリットが密着性に与える影響は未解明である。溶射皮膜の信頼性、密着性向上のためには、ブラスト時に必然的に残留するグリットが溶射皮膜の密着性に与える影響を理解することが重要である。

本研究では、様々なブラスト条件（粒サイズ、圧力、角度）でブラスト処理を行い、表面粗さが一定で、グリットの残留量だけが変化する表面を形成した。この際、グリットの残留量は蛍光X線分析により、定量的に評価した。次に、巨視的な引張密着試験を系統的に実施し、界面の密着性を得た。この際、EPMA分析と蛍光X線分析から破断箇所を正確に把握した。一方、微視的なインデンテーション試験により界面近傍の密着性（界面破壊靱性）を得た。以上の様に、破断箇所を把握して、表面積が一定で残留グリットだけを変化させ、残留グリットが密着性に与える影響を調査した。

## 2. 実験方法

### 2.1 供試材およびブラスト処理

金属基材はSUS304で、幅50mm、長さ60mm、厚さ5mmの板状と直径25mm、長さ20mmの円柱状の試験片を用いた。板状試験片は、皮膜組織観察や後述するインデンテーション試験に、円柱状試験片は引張密着試験に用いた。両試験片の皮膜厚さは300 $\mu\text{m}$ となるようにパス数を調整した。

基材はアセトン洗浄を行った後に、ブラスト処理を行なった。ブラスト方法の概略図をFig.1に示す。用いたブラスト材は、褐色アルミナ（(株)不二製作所製）で粒度の異なる三種類を用いた。それぞれの粒度範囲をTable 1に示す。ブラストは、吸引式ブラスト装置（厚地鉄工（株）製B-2）を用いてTable 2に示すようにブラスト圧力を0.3, 0.5, 0.7MPaの三水準で、ブラスト角度は所定の角度で保持するジグを用いて30°, 50°, 60°, 70°, 90°の五水準で基材表面に対して均一になるように行った。すなわち、粒度の異なるブラスト材、ブラスト圧力とブラスト角度との組み合わせで17種類のブラスト処理を行い試験片とした。

前述したブラスト条件で前処理を行った基材に対して粒度の異なる三種類のYSZ粉末、Metco 204C-NS, Metco 204B-

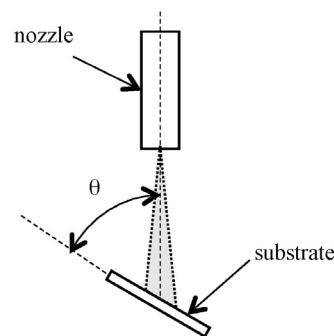


Fig.1 Schematic illustration of blasting method.

Table 1 Blasting materials.

Blasting material	Size[ $\mu\text{m}$ ]
A-24	600~710
A-60	212~250
A-120	90~106

Table 2 Blasting conditions

Pressure[MPa]	0.3, 0.5, 0.7
Angle $\theta$ [ $^{\circ}$ ]	30, 50, 60, 70, 90
Distance[mm]	100
Time[sec]	40

NS, Metco 6600（以下、それぞれ204C, 204B, 6600と記す）を使用した。粉末の粒度範囲をTable 3に示す。使用に際しては、乾燥炉で十分に乾燥して使用した。溶射は大気プラズマ溶射装置を使用した<sup>11)</sup>。

Table 3 Spray Materials

YSZ ( $\text{ZrO}_2\text{-}8\text{Y}_2\text{O}_3$ )	Size[ $\mu\text{m}$ ]
Metco 6600	-75+15
Metco 204B-NS	-75+45
Metco 204C-NS	-147+45

### 2.2 ブラスト処理表面評価

#### 2.2.1 表面粗さパラメータ

試験片表面の粗さは、触針式粗さ測定機（(株)小坂研究所製の表面形状・粗さ測定機DSF600）で測定した。触針先端半径は2 $\mu\text{m}$ 、測定長さは12.5mmである。測定データから算術平均粗さ（以下、 $R_a$ と記す）および二乗平均平方根傾斜（以下、 $R_{\Delta q}$ と記す）を求めた<sup>11)</sup>。 $R_a$ は高さ方向のみの指標であるのに対して、 $R_{\Delta q}$ は横方向の情報も含み、表面積に比例するパラメータである。測定は一つの試料につき中央部付近の三カ所を測定して平均値を求めた。

## 2.2.2 プラスト材の残留量評価

試験片表面のプラスト材残留量を評価するために波長分散型の蛍光X線分析装置((株)ブルカージャパン(株)製S-8 Tiger)を使用してAlの特性X線強度を測定した。この測定面積は直径18mmである。

## 2.3 密着性評価方法

### 2.3.1 引張密着強度試験

引張密着強度試験は前述した円柱状試験片を用いて、溶射後の試験片と同形状の基材を接着材で接着して試験片とした。接着剤は、エポキシ系接着剤(スリーエムジャパン(株)製DP-460 オフホワイト)を使用した。密着強度試験は、ユニバーサルジョイントを介して万能材料試験機に固定し、引張速度1mm/minで行った。測定は一つの条件につき三本行い、平均値を求めた。

引張密着試験の破断箇所は、基材と皮膜界面近傍で所々、基材に溶射皮膜の残留が確認された。皮膜残留状態の観察のために、表面のSEM観察と面分析をFE-EPMA分析装置(日本電子(株)製JXA-8530F)で行った。

### 2.3.2 インデンテーション試験

皮膜の破壊靱性値を前報<sup>11)</sup>と同じ界面破壊靱性評価法で評価した。これは、ある力 $P$ を界面に圧入したときに発生する半楕円表面き裂の全長から界面の破壊靱性を得るものである。

試験片は、前述した板状試験片をエポキシ樹脂に埋め込み、樹脂が硬化した後、精密切断機で切断し、それをエポキシ樹脂で包埋し、自動研磨機でバフ研磨まで行った。

インデンテーション試験のダイヤモンド圧子押込は、マイクロビッカース硬さ計((株)ミットヨ製HM-221)で押込荷重 $2 \times 9.81\text{N}$ で行い、発生したき裂長さを、レーザー顕微鏡(レーザーテック(株)製OPTELICS HYBRID)で測定した。測定は一つの試料につき五カ所測定して平均値を求めた。

## 2.4 残留応力評価

皮膜表面の残留応力を測定した。測定はパルステック工業(株)製ポータブル型X線残留応力測定装置 $\mu$ -X360を用いた。この装置は $\cos \alpha$ 法によって残留応力を測定するものである。Table 4に測定条件と残留応力計算に用いたX線弾性係数<sup>18)</sup>を示す。皮膜厚さを変えた溶射試験片を準備し、皮膜表面の面内方向の残留応力を評価した。膜厚は約10, 30, 300 $\mu\text{m}$ である。ピッチやパス数を調整して所定の膜厚を得た。

Table 4 X-ray conditions and X-ray elastic constants for stress measurements

Characteristic X-ray	Cr-K $\alpha$
Diffraction angle[ $^\circ$ ]	153.82 <sup>18)</sup>
$E_X$ [GPa]	143 <sup>18)</sup>
$\nu_X$ [GPa]	0.267 <sup>18)</sup>

## 3. 実験結果

### 3.1 プラスト圧力とプラスト粒の影響

プラスト圧力と残留プラスト材との関係をFig.2に、プラスト圧力と二乗平均平方根傾斜 $R\Delta q$ の関係をFig.3に示す。プラスト圧力が高くなる、またはプラスト材の粒度が粗くなるほど、アルミニウムのX線強度は増加、すなわちプラスト材の残留量は増えていることが分かる。プラスト材のサイズが大きくなるほど炭素鋼基材への残留量が増える結果<sup>13, 14)</sup>が報告されており、これらの結果は、それと一致している。ただし、残留プラスト材の増加のみならず、 $R\Delta q$ も同時に増加していることに注意が必要である。

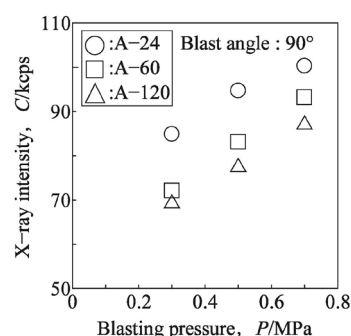


Fig.2 Relationship between blasting pressure and mass of residual blast-material.

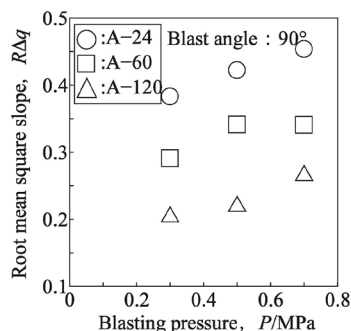


Fig.3 Relationship between blasting pressure and root mean square slope  $R\Delta q$ .<sup>11)</sup>

次にプラスト残留量と引張密着強度との関係をFig.4に、二乗平均平方根傾斜 $R\Delta q$ と引張密着力との関係をFig.5に示す。これらの図から、残留量が増えても引張密着強度は増加していることが分かる。これはZnAl金属皮膜について宮崎、丸山らが報告している結果<sup>15)</sup>と一致している。

以上の様に、プラスト角度 $90^\circ$ の実験結果だけでは、引張密着力に対する表面粗さと残留プラストの影響を分離して検討できていない。そこで、本研究ではこれらを分離して、残留プラスト材の影響について検討する。

### 3.2 プラスト角度の影響

Fig.6にプラスト角度を変えて処理した基材表面の反射電子線像を、Fig.7に蛍光X線分析装置でプラストの残留量を測定

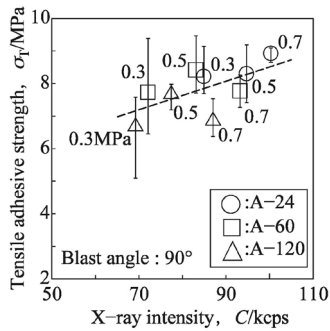


Fig.4 Relationship between mass of residual blast-material and tensile adhesive strength.

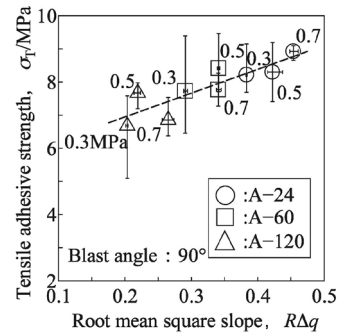


Fig.5 Relationship between root mean square slope  $R\Delta q$  and tensile adhesive strength.<sup>11)</sup>

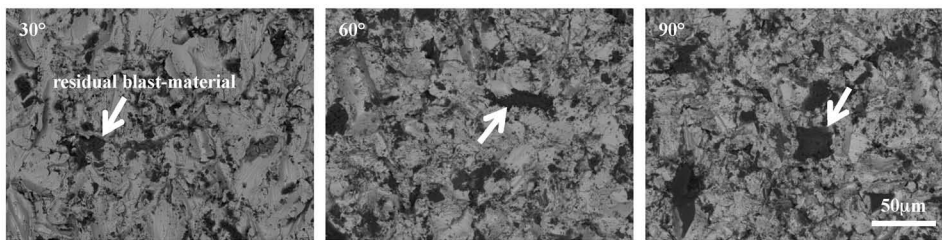


Fig.6 Back scattered electron images of substrate surface after blasting.

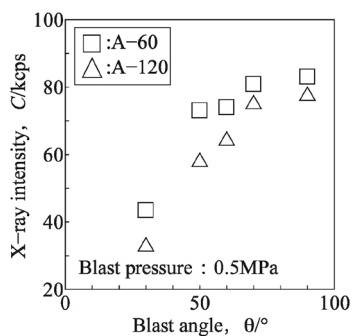


Fig.7 Relationship between blast angle and mass of residual blast-material.

した結果を示す。写真中で黒っぽく見えているのがブラスト材のアルミナである。これらの写真からブラスト角度が増加するに従ってブラスト材の残留量が増えていることが分かる。Fig.7からもブラスト角度の増加に伴ってA-60, A-120共にブラスト材の残留量は増加していて反射電子線像の結果と一致している。この結果は、ブラスト角度が大きくなるほど、軟鋼やチタン合金への残留グリットが増える報告<sup>16, 19)</sup>と一致している。

次にブラスト処理した基材表面部の断面写真をFig.8に示す。表面の形状を比較しても、ブラスト角度による顕著な差は見られないことが分かる。ただし、鋼基材に対してブラスト角度が変化すると、断面の投錨形状が変化するという報告<sup>20, 21)</sup>もあるが、本研究ではそのような傾向は見られなかった。

ブラスト角度と算術平均粗さ  $Ra$ 、二乗平均平方根傾斜  $R\Delta q$  との関係それぞれFig.9, Fig.10に示す。ブラスト角度が変わっても  $Ra$ ,  $R\Delta q$  はほぼ一定となっていることが分かる。鋼基材において先行研究<sup>20-22)</sup>で  $Ra$  が一定である報告があり、この結果と一致している。しかし、鉄基材について低角度で大きくなる場合<sup>23)</sup> やチタン合金やステンレスなどについて低角度で  $Ra$  が小さい場合<sup>19, 24-25)</sup> もある。本研究では、粗さを保ったまま、ブラスト材の残留量を変化させることができた。

### 3.3 残留ブラスト材と密着強度

次にブラスト角度を変化させて前処理を行った基材へプラズマ溶射した皮膜の引張密強度について述べる。Fig.11に3種類の溶射材料のブラスト材残留量と引張密着強度との関係を、Fig.12に破壊靱性値との関係を示す。引張密着力との関

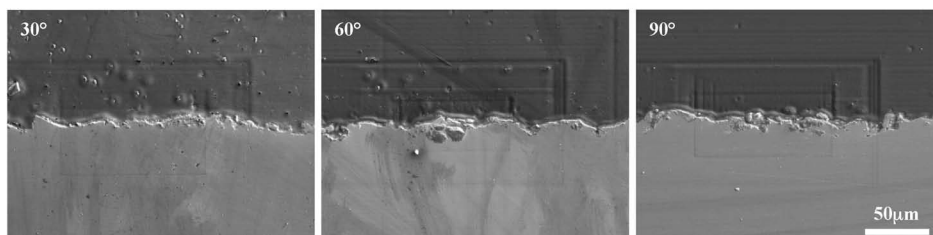


Fig.8 SEM images of cross section of blasted substrates.

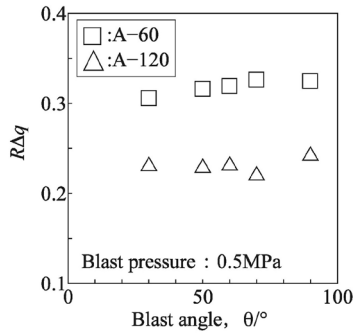


Fig.9 Relationship between blast angle and arithmetic surface deviation  $Ra$ .

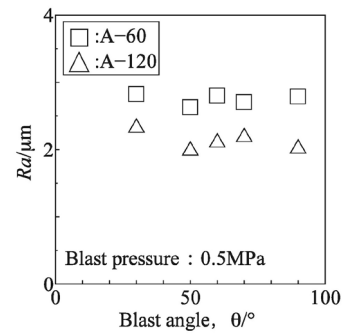


Fig.10 Relationship between blast angle and root mean square slope  $R\Delta q$ .

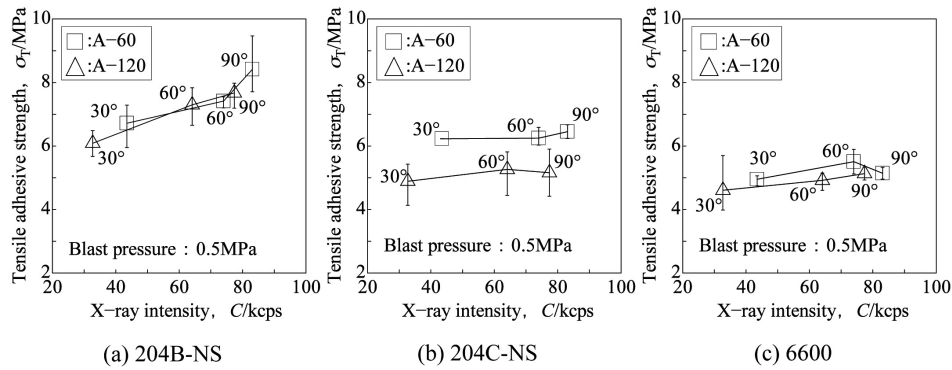


Fig.11 Relationship between mass of residual blast-material and tensile adhesive strength.

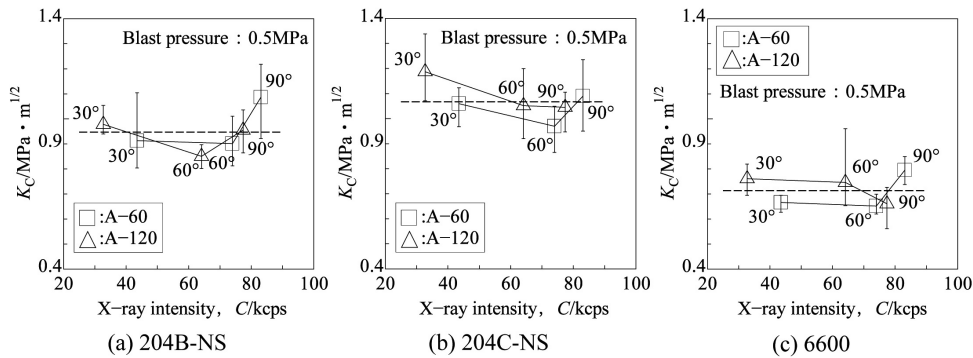


Fig.12 Relationship between mass of residual blast-material and interfacial fracture toughness ( $K_c$ ).

係では204Bは、右上がりの傾向が見られる。204C、6600も若干の右上がりの傾向が見られる。これらの結果は、軟鋼にアルミナ皮膜を被覆した天田らの結果<sup>21)</sup>と一致している。一方、界面破壊靱性値との関係では、全ての溶射材料でプラスチックの残留量が増加しても一定の値となっている。

#### 4. 考察

残留プラスチックの引張密着力や界面破壊靱性値との関係について考察する。前報<sup>11)</sup>で皮膜の破壊する場所によって密着力や界面破壊靱性値への影響が異なることを報告した。破断の模式図をFig.13に示す。引張密着強度試験では204B-NS、204C-NSは、ほとんどが皮膜と基材界面で破壊していたが、

6600は基材界面よりわずかに皮膜側で破壊していた。界面破壊靱性試験では、全ての皮膜で、き裂の発生箇所は皮膜内であった。Fig.12で界面破壊靱性値がプラスチックの残留量によらず一定であったのは、界面から離れた皮膜内で破壊が起こっているためである。

プラスチック角度が大きいほど密着強度が高い理由についての研究報告はほとんどない。天田ら<sup>21)</sup>は、プラスチック角度が大きくなると投錨形状が形成されることが密着性を高くする要因と指摘している。しかし、本研究では、プラスチック角度の変化による断面形状の顕著な違いは見られなかったため、残留応力の観点から考察する。

Fig.14に皮膜表面の残留応力測定結果を示す。皮膜厚さは、界面近傍の変化を見やすくするために皮膜厚さの1/2乗でま

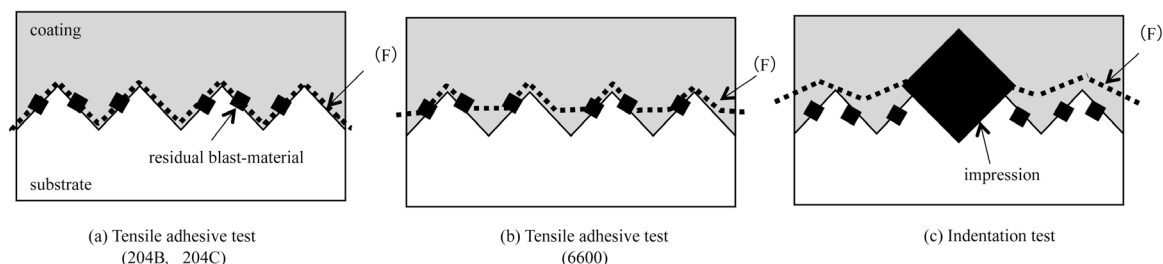


Fig.13 Schematic diagram of fracture area in each test. (F): fracture area

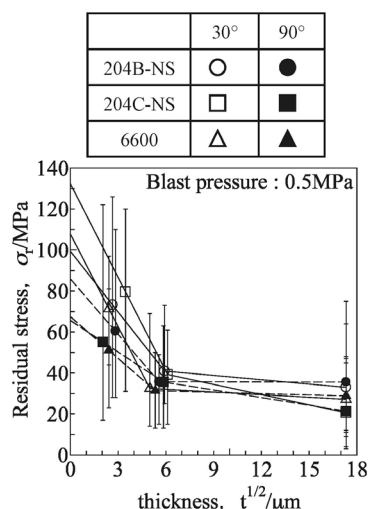


Fig.14 Residual stress of each sprayed coating.

とめている。データ範囲は広いが、各20点の平均値を示しており、平均値には明確な傾向が現れている。すなわち皮膜厚さが30 $\mu\text{m}$ 以上の厚い場合は、溶射材料依存やブラスト角度依存に大きな差は認められない。一方、皮膜厚さが最も薄い10 $\mu\text{m}$ の測定結果、すなわち界面近傍の皮膜の面内方向の引張残留応力は高く、かつブラスト角度30°の方が90°よりも高い。 $Ra$ 、 $R\Delta q$ はブラスト角度を変化させてもほぼ同じであったことから、両者の差は残留応力の差が影響していて、引張の残留応力はアンカー効果を低下させたと考えられる。そのため、ブラスト角度が大きくなるに伴い、引張密着強度が高くなったと考えられる。なお、溶射粉末の粒径による差はあまり見られないことが分かる。204Bの引張密着強度は比較的高いため、残留応力の影響が表れやすかったと考えられる。

ブラスト材が多く残留している90°で、引張の残留応力が低くなった原因として、ブラスト材が $\text{Al}_2\text{O}_3$ であるので、線膨張係数がジルコニア溶射皮膜と同様に低いことが一因とも考えられるが、明確な原因は不明である。

## 5. 結 言

- (1) ブラスト圧力が高くなる、またはブラスト材の粒度が粗いほど、残留ブラスト材は多くなった。また、ブラスト角度が直角に近いほど、残留ブラスト材が多くなった。

- (2) ブラスト角度が変わっても、 $Ra$ 、 $R\Delta q$ は、ほぼ一定であった。
- (3) 粗さを一定に保った状態で、ブラスト角度が直角に近づく(残留ブラスト材が増える)ほど、引張密着強度は高くなる傾向を示した。
- (4) 残留応力が原因で、ブラスト角度を変化させた際の密着性に差が生じたと考えられた。すなわち、残留ブラスト材は密着性にほとんど悪影響を与えないことが分かった。

## 謝 辞

本研究は、(一社)日本溶射学会研究助成の補助を受けて実施したものである。ポータブル型X線残留応力測定装置はパルステック工業(株)のご厚意によって使用させていただいた。ここに記して関係各位に謝意を表します。

## 文 献

- 1) A.G. Evans, D.R. Mumm, J.W. Hutchinson, G.H. Meier, F.S. Pettit: Mechanisms controlling the durability of thermal barrier coatings, *Prog. Mater. Sci.*, **46**, 5 (2001), 505-553.
- 2) 溶射工学便覧, 日本溶射協会, (2010), 3-7.
- 3) M. Mellali, P. Fauchais, A. Grimaud: Influence of substrate roughness and temperature on the adhesion/cohesion of alumina coatings, *Surf. Coat. Technol.*, **81**, (1996), 275-286.
- 4) D. Sen, N.M. Chavan, D.S. Rao, G. Sundarajan: Influence of Grit Blasting on the Roughness and the Bond Strength of Detonation Sprayed Coating, *J. Therm. Spray Technol.*, **19**, 4 (2010), 805-815.
- 5) S.K. Asl, M.H. Sohi: Effect of grit-blasting parameters on the surface roughness and adhesion strength of sprayed coating, *Surf. Interface Anal.*, **42**, (2010), 551-554.
- 6) R.S. Lima, D. Nagy, B.R. Marple: Bond Coat Engineering Influence on the Evolution of the Microstructure, Bond Strength, and Failure of TBCs Subjected to Thermal Cycling, *J. Therm. Spray Technol.*, **24**, 1-2 (2015), 152-159.
- 7) S. Amada, H. Yamada: Introduction of fractal dimension to adhesive strength evaluation of plasma-sprayed coatings, *Surf. Coat. Technol.*, **78**, (1996), 50-55.
- 8) 深沼博隆, 大野直行: 溶射皮膜の密着強度に与える基材表面粗さと温度の影響, 日本溶射協会全国講演大会講演論文集, **76**, (2002), 22-23.
- 9) Y. Ding, H. Li, Y. Tian: Bristle Blasting Surface Preparation in Thermal Spraying, *J. Therm. Spray Technol.*, **28**, (2019), 378-390.
- 10) G. Marot, P. Démarécaux, J. Lesage, M. Hadad, S.

- Siegmann, M. H. Staia, : The interfacial indentation test to determine adhesion and residual stresses in NiCr VPS coating, *Surf. Coat. Technol.*, **202**, (2008), 4411-4416
- 11) 桑嶋孝幸, 森田侑輝, 脇裕之: ジルコニア溶射皮膜の密着性と表面粗さパラメータの関係, *溶射*, **56**, 3 (2019), 107-113.
  - 12) 丸山徹, 宮崎智也, 小林武: プラスチック処理におけるグリットの基材への残留過程, 日本溶射協会全国講演大会講演論文集, **90**, (2009), 5-6.
  - 13) T. Maruyama, K. Akagi, T. Kobayashi: Effect of Blasting Parameters on Removability of Residual Grit, *J. Therm. Spray Technol.*, **15**, 4 (2006), 817-821.
  - 14) M. Mellali, A. Grimaud, A.C. Leger, P. Fauchais, J. Lu: Alumina Grit Blasting Parameters for Surface Preparation in the Plasma Spraying Operation, *J. Therm. Spray Technol.*, **6**, 2 (1997), 217-227.
  - 15) 宮崎智也, 丸山徹, 小林武: 溶射基材のプラスチック処理における残留グリット量と密着強さとの関係, 日本溶射協会全国講演大会講演論文集, **89**, (2009), 23-24.
  - 16) S. Amada, T. Hirose, T. Senda: Quantitative evaluation of residual grits under angled blasting, *Surf. Coat. Technol.*, **111**, (1999), 1-9.
  - 17) B.J. Griffiths, D.T. Gawne, G. Dong: The erosion of steel surfaces by grit-blasting as a preparation for plasma spraying, *Wear*, **194**, (1996), 95-102.
  - 18) 鈴木賢治, 町屋修太郎, 田中啓介, 坂井田喜久: 熱遮へいコーティング膜の変形特性のX線的研究, 日本機械学会論文集A編, **67**, 660 (2001), 1325-1331.
  - 19) M.F. Bahbou, P. Nylén, J. Wigren: Effect of Grit Blasting and Spraying Angle on the Adhesion Strength of a Plasma-Sprayed Coating, *J. Therm. Spray Technol.*, **13**, 4 (2004), 508-514.
  - 20) 石川量大, 戸部省吾: 溶線式フレーム溶射法によるアルミニウム溶射皮膜の密着性に及ぼすプラスチック角度と溶射角度の影響, *溶射*, **40**, 3 (2003), 107-112.
  - 21) S. Amada, T. Hirose: Influence of grit blasting pretreatment on the adhesion strength of plasma sprayed coatings: fractal analysis of roughness, *Surf. Coat. Technol.*, **102**, (1998), 132-137.
  - 22) K. Bobzin, M. Öte, T.F. Linke, J. Sommer, X. Liao: Influence of Process Parameter on Grit Blasting as a Pretreatment Process for Thermal Spraying, *J. Therm. Spray Technol.*, **25**, 1-2 (2016), 3-11.
  - 23) 窪堀俊文, 前田崇行, 乾保之, 生田稔郎: 基材の傾斜がプラスチック加工に及ぼす影響, *溶射*, **43**, 4 (2006), 115-121.
  - 24) K.P. Chander, M. Vashista, K. Sabiruddin, S. Paul, P.P. Bandyopadhyay: Effects of grit blasting on surface properties of steel substrates, *Mater. Design*, **30**, (2009), 2895-2902.
  - 25) H. Begg, M. Riley, H.V. Lovelock: Mechanization of the Grit Blasting Process for Thermal Spray Coating Applications: A Parameter Study, *J. Therm. Spray Technol.*, **25**, 1-2 (2016), 12-20.