

コールドスプレー法により成膜した鉄鋼材料界面近傍残留ひずみ評価

Study on the residual stain of cold sprayed steel coatings near the coating and substrate interface

深沼 博隆¹⁾ 黄 仁忠¹⁾ 菖蒲 敬久²⁾ 村松 壽晴²⁾

Hiroataka FUKANUMA Renzhong HUANG Takahisa SHOBU Toshiharu MURAMATSU

¹⁾ プラズマ技研工業（株） ²⁾ 独立行政法人 原子力開発機構

(概要)

コールドスプレー法は高速粒子を基材に衝突させて、粒子と基材両方を塑性変形させることにより、皮膜を形成する技術である。この技術は新しい成膜方法として注目されている。しかし、コールドスプレー技術において重要と思われる基材あるいは皮膜への衝突・扁平現象、皮膜の形成機構、基材-皮膜間の密着メカニズム等についてはこれまでのところ諸説あるが本質的な解明には至っていない。この現象を解明のために、本研究にコールドスプレー法で SUS304 皮膜を作成し、高輝度高エネルギー放射光 X 線の利用し、非破壊で皮膜内部の残留ひずみを測定した。

キーワード：

コールドスプレー、残留ひずみ、SUS304

1. 目的

コールドスプレー法は、金属粒子を溶解せず、高速で基材に衝突させることにより、粒子と基材を塑性変形させ、基材上に金属粒子を成形する成膜方法である。他の溶射技術と比べ、温度が材料の融点・軟化点以下であることから、酸化や熱による変質が少ない成膜形成法であり、基材への熱影響も小さい。近年、コールドスプレー法は新しい成膜方法として注目されている。しかし、コールドスプレー技術において重要と思われる基材あるいは皮膜への衝突・扁平現象、皮膜の形成機構、基材-皮膜間の密着メカニズム等についてはこれまでのところ諸説あるが本質的な解明には至っていない。コールドスプレー法の応用に関わった皮膜の剥離問題がある。膜厚が厚くなるとはく離し易くなる。この現象を解明のために、本研究では、コールドスプレー法により成膜した皮膜内部のひずみ或は応力特性を評価することで、最適なスプレー条件を見出し、皮膜残留応力の改善を図る事を目的とする。本研究は、JAEA 敦賀本部レーザー共同研究所と共同研究で行なっている「レーザー溶接補修技術の標準化に向けた研究開発」の課題にも重要である。原子力施設を始め一般産業施設に展開可能なレーザー溶接技術として、き裂を除去した後に、コールドスプレー法により溶加材を成膜し、レーザー溶接を行う 3 ステップの溶接補修技術開発が行われている。この補修技術開発に向けた課題の一つとして、補修箇所による溶加材及び基材の材質、溶加材の積層厚さが挙げられる。

2. 方法

コールドスプレー法は新しい成膜技術であり、皮膜は緻密で、酸化物が極めて少なく、基材との密着性にも優れる。このコールドスプレー法の利点を生かし、原子炉内部のレーザー溶接補修技術の標準化に向けた研究開発として、コールドスプレー法による溶加材付着固定技術の開発を行う。本研究では、金属粒子として SUS304 粉末を用い、スプレー条件として作動ガスを変化させ、SUS304 基材上に成膜を行う。測定方法はひずみスキニング法で、0.1mm 程度に成形した 70keV の高エネルギー放射光 X 線を、4 軸回折計+試料位置調整用自動 xyz に設置した試験片に照射し、受光側のダブルスリットを通過した回折 X 線を CdTe ダイオード検出器で計測する。これにより、成膜後の試験片のひずみ分布を算出し、皮膜内部の残留ひずみを明らかにする。

3. 結果及び考察

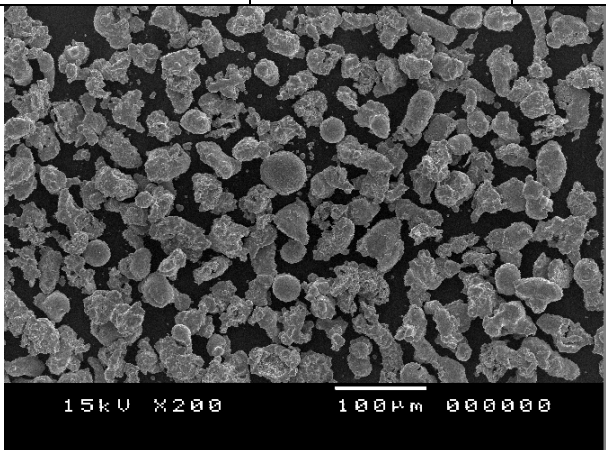
a. コールドスプレー

プラズマ技研株式会社が開発した PCS-1000 コールドシステムを用いて、SUS304 皮膜を SUS304 基材

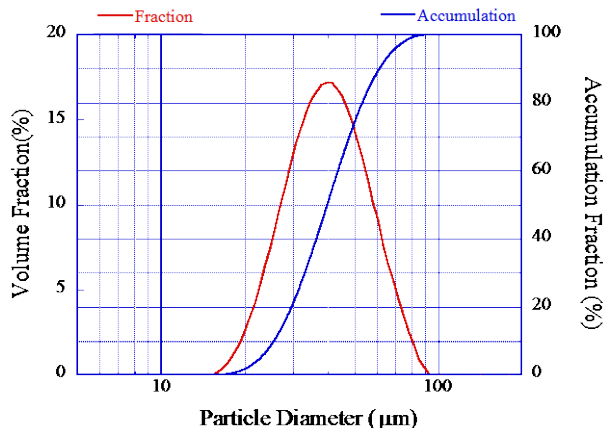
に成膜した。成膜条件を表 1 に示す。使用した粉末の写真と粒度分布を図 1 に示す。粉末の平均粒径は $40\mu\text{m}$ である。

表 1 : コールドスプレー条件

番号	ガス種類	ガス温度 ($^{\circ}\text{C}$)	ガス圧力 (MPa)	膜厚 (mm)
1	N_2	1000	5	1
2	He	1000	3	3.1



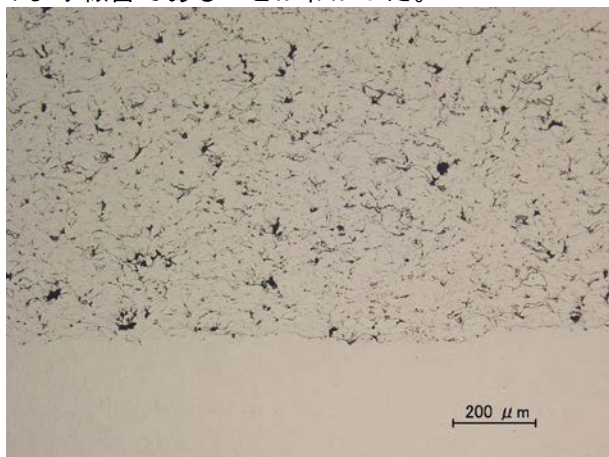
(a) SUS304 粉末の写真



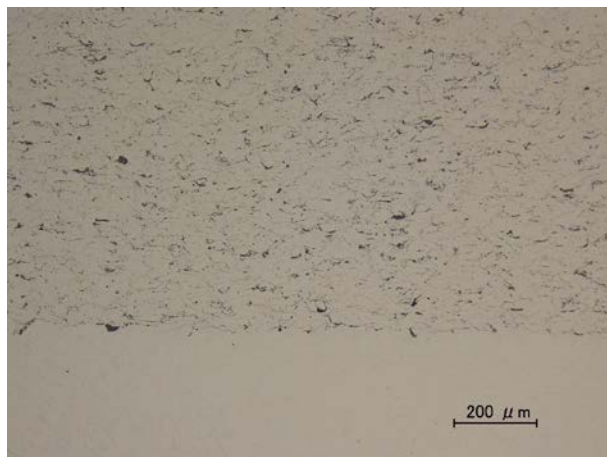
(b) SUS304 粉末の粒度分布

図 1 : 使用した粉末

コールドスプレーした皮膜の断面写真を下の図 2 に示す。写真により、Heガスで作成した皮膜が N_2 のより緻密であることがわかった。



(a) N_2 , 5MPa, 1000 $^{\circ}\text{C}$



(b) He, 3MPa, 1000 $^{\circ}\text{C}$

図 2 : コールドスプレーした皮膜の断面組織

b. ひずみ測定

コールドスプレーした皮膜を図 3 のような形状に加工して、皮膜のひずみ測定を行った。使用した b-ムービーは Spring8 の BL22XU で、X 線のエネルギーは 70.019 keV で、計測法は角度分散法である。

ブラッグの式に基づいて、皮膜のひずみは下の式を利用して得られる [1]。

$$\varepsilon = \frac{\Delta d}{d} = \frac{\sin \theta_0 - \sin \theta}{\sin \theta}$$

θ - 皮膜の回折角

θ_0 - 粉末の回折角

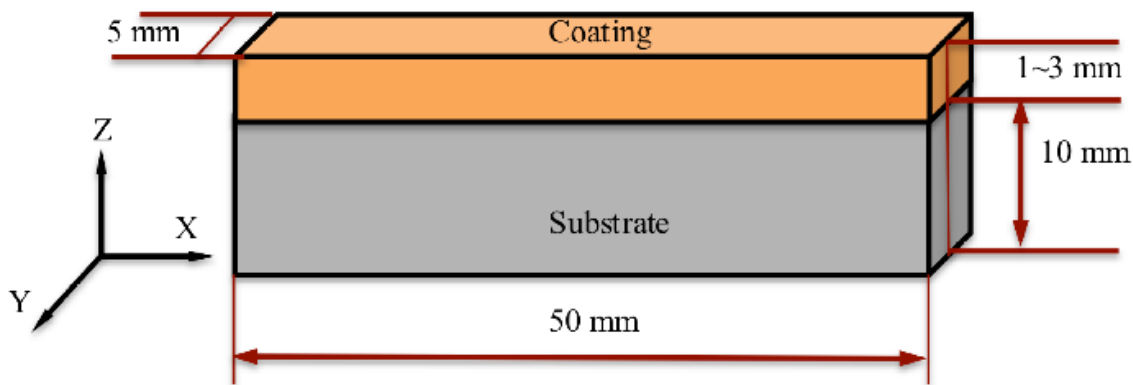


図3；ひずみ測定のためのTP

上の式により、ひずみ測定のために、粉末の回折角の測定が必要な条件になる。SUS304 粉末の回折角の測定結果を図4に示す。

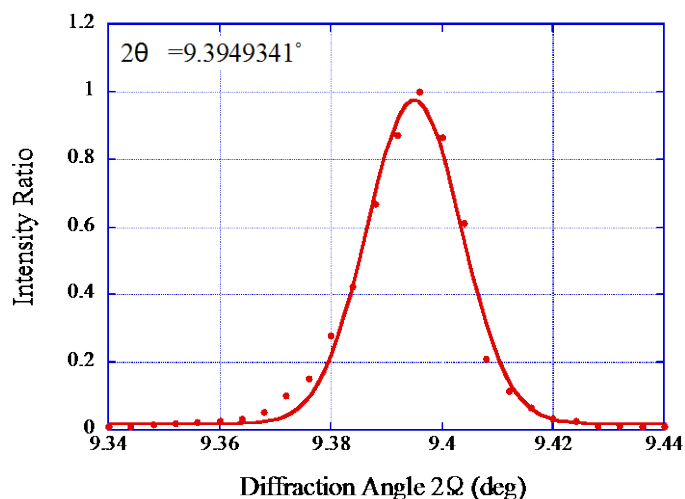


図4：SUS304 粉末の回折角

ひずみ計算式を用いて、得られた皮膜のひずみ図5に示す。

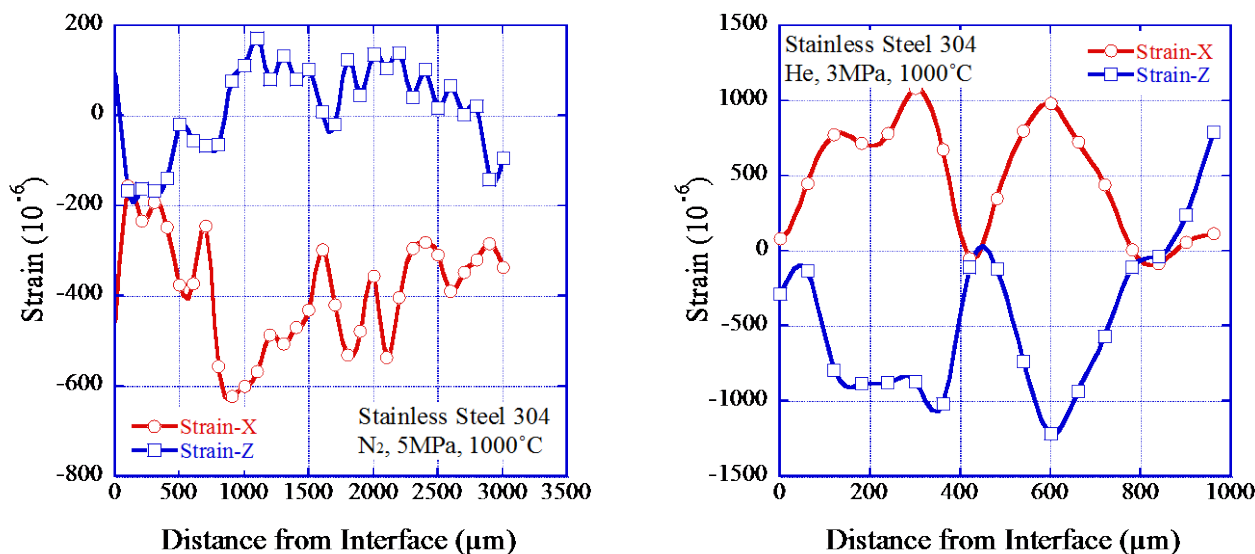


図5：皮膜内部のひずみ

グラフにより、Heで作った皮膜はN2のより残留ひずみが大きくて、しかもばらつきも大きい。これはHeガスによる粒子速度が早いので、形成された皮膜の変形が大きいためである。皮膜垂直方向(Z)に

N2 の皮膜が主に引張りひずみで、He の皮膜が主に圧縮のひずみが残留していることがわかった。

4. 引用(参照)文献等

[1] 菖蒲敬久 高エネルギー放射光 X 線による材料内部の残留応力分布の非破壊測定に関する研究 博士論文