

ハイドロキシアパタイト被覆処理ステンレス鋼の腐食疲労挙動

山形大学工学部技術部
機器分析専門技術室 佐竹忠昭

1. 緒言

金属材料の生体適合性や耐食性を向上させる方法として基材金属表面をセラミックスで被覆する方法が近年試みられている。ハイドロキシアパタイト(HAP)は脊椎動物の骨の主成分であり、新生骨と直接化学的に接合することから生体用材料として最も注目されているセラミックスの一つである。しかしながら、破壊靱性値と曲げ強度が金属材料に比較して劣っている。特に前者は、金属材料よりも一桁以上低い値となっている。このため、生体用インプラント材料として広く使用されているステンレス鋼表面をHAPで被覆することにより両材の欠点を補完する方法が考えられる。

本研究では、繰返し荷重下におけるHAP被覆処理ステンレス鋼の生体用インプラント材としての適用性を検討した。そのため、ステンレス鋼基材にHVOF法によりHAP皮膜を形成させた試験片について生理食塩水中で引張圧縮疲労試験を行った。比較用に、被覆処理を施さない試験片についても疲労試験を実施した。

疲労特性曲線を比較・検討するとともに皮膜の組織変化と疲労き裂発生の様相を走査型電子顕微鏡で観察し、腐食疲労挙動に対する被覆処理の効果を微構造の観点から追求した。

2. 実験方法

2.1 試験片

基材金属には SUS316L ステンレス鋼を用いた。Table 1 に化学成分を示した。試験片は Fig.1(a) に示すような形状、寸法に機械加工し、熱処理として真空中で 1h 保持のひずみ取り焼なまし処理を施した。ここで、標点間平行部に電解研磨を施したものを、

Table 1 SUS316L の化学成分

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Fe
0.02	0.46	1.18	0.03	0.01	16.94	12.26	2.09	bal.

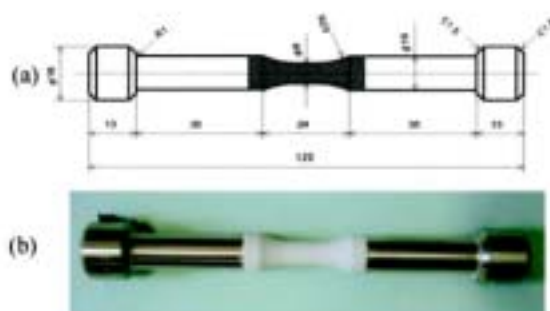


Fig. 1 試験片の形状と寸法

Table 2 グリッドブラスト条件

Powder	White ABRAX #70
Pressure (MPa)	0.65
Distance (m)	0.3
Ry (μm)	23.5
Grid size (μm)	409

Table 3 アンダーコートの溶射条件

Powder	METCO 480NS (Ni 95.5%, Al 4.5%)	
Spray gun	Type	9 MB
	Cooler	Air jet
Gas pressure		
Primary (Ar)	(MPa)	0.69
Secondary (Ar)	(MPa)	0.41
Powder	Arc current (A)	500
	Arc voltage (V)	60
Spraying		
Distance	(mm)	150
Traverse speed	(m/min)	1.2
Thickness of coating	(μm)	200

非処理材とする。

熱処理後、標点間平行部にアルミナ破砕粒を用いて Table 2 に示す条件でグリッドブラスト処理を施し、下地層として Table 3 に示す条件で Ni-Al 系合金粉末をプラズマ溶射した。さらに、トップコートとして Table 4 に示す条件で HAP を HVOF(high

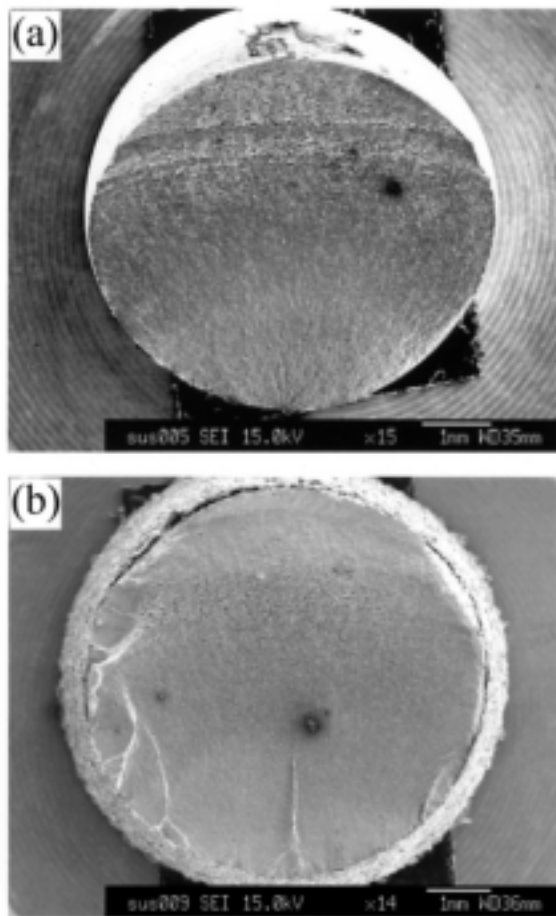


Fig.5 破面の巨視的観察，非処理材(a) $\sigma = 250 \text{ MPa}$ $N_r = 6.3 \times 10^5$ ，被覆処理材(b) $\sigma = 250 \text{ MPa}$ $N_r = 8.9 \times 10^4$

壊源は一個であるのに対して，被覆処理材の破断面には複数の破壊源が小さな半円状に確認される。この結果は被覆処理材を施すことにより疲労き裂が発生しやすくなることを示唆する。

Fig.6 には両材の破壊源の様相を示した。同図(a)の非処理材の場合，腐食生成物は薄く不明瞭であるのに対して，同図(b)の被覆処理材の場合には，明らかな腐食生成物の形成が広範囲に認められる。この結果は被覆処理を施すことによって基材が腐食しやすくなることを示しており，原因として，アンダーコートと基材間の局部電池の形成や隙間腐食が考えられる。また，両材ともに破壊源に腐食ピットの形成は認められない。

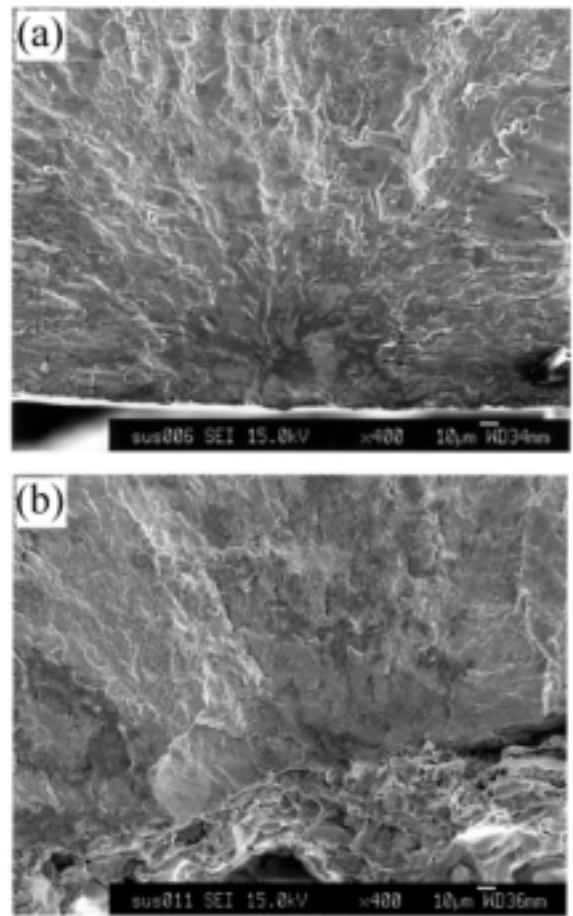


Fig.6 破壊源の様相，非処理材(a) $\sigma = 250 \text{ MPa}$ $N_r = 6.3 \times 10^5$ ，被覆処理材(b) $\sigma = 250 \text{ MPa}$ $N_r = 8.9 \times 10^4$

3.4 非処理材の表面様相

応力振幅 250 MPa の疲労試験で破断後の非処理材の平行部表面様相を Fig.7 に示した。表面には多数のすべり線が認められ，これに沿って突き出しや入り込みが観察される。特に最大せん断応力方向(応力軸に対して 45°) 方向に近いのすべり線が最も活発に活動しており，これらのすべり線に沿って疲労き裂が発生していた。

3.5 被覆処理材の縦断面様相

破断後の被覆処理材の縦断面様相を Fig.8 に示した。き裂はグリッドブラスト処理時に形成された凹部から発生している(矢印)。この結果は，被覆処理材の場合，き裂が基材表面の凹部への応力集中により発

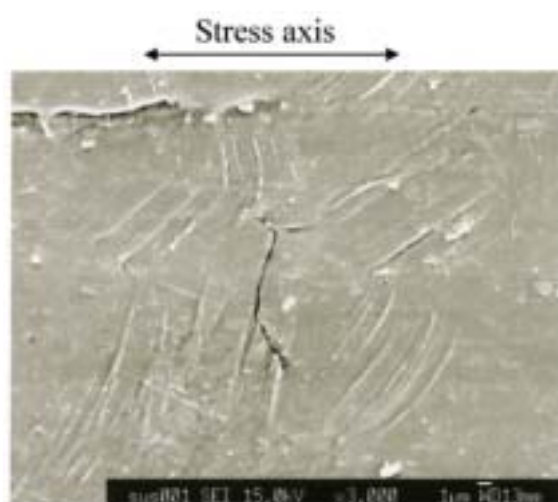


Fig.7 非処理材の表面き裂,
 $\sigma=250$ MPa, $N_f=6.3 \times 10^5$

生じたことを示している。また、同図より、トップコートの HAP 皮膜が剥離し、皮膜の一部のみが残存している様子が分かる。これに対して、アンダーコートの Ni-Al 合金溶射皮膜は基材から剥離せず残存している。HAP 皮膜が疲労試験中に剥離する様子は疲労試験中に肉眼でも確認することができた。例を Fig.9 に示した。HAP 皮膜が繰返し応力下で剥離することは、生体用材料として利用する際に大きな問題であり、今後の検討課題である。

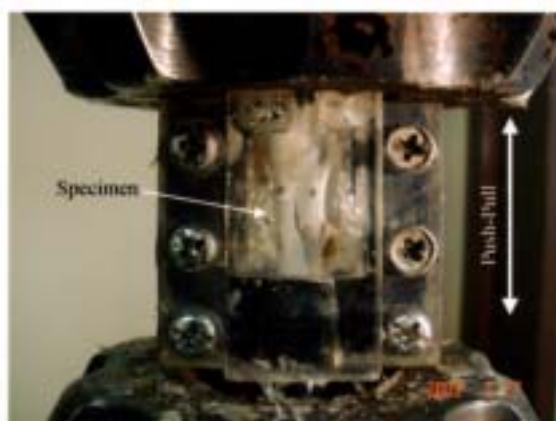


Fig.9 HAP の剥離の様子

4. 結言

1. HAP 被覆処理を施すことにより疲労強度特性は基材試験片に対して低下した。
2. 被覆処理材の疲労き裂はグリットプラスト処理時に生じた凹部から発生していた。これに対して、非処理材ではすべり線に沿ってき裂が発生していた。
3. HAP 皮膜は疲労試験時に剥離した。

本研究についてご指導いただいた本学菅野幹男教授、岡崎勝利 助手に感謝いたします。

本稿は H14 年度奨励研究(B)の一部を紹介したものである。

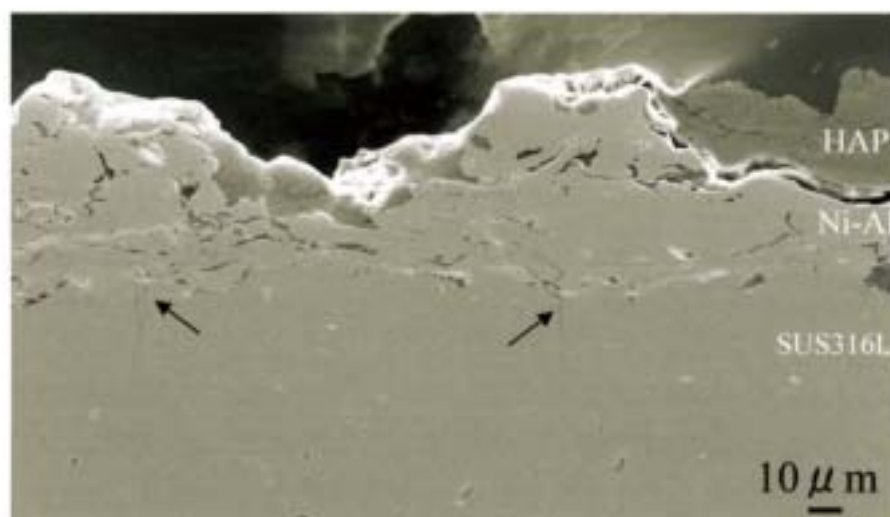


Fig.8 被覆処理材の縦断面様相, $\sigma=250$ MPa, $N_f=8.9 \times 10^4$