P051 窒素雰囲気微粒子衝突処理を施した Ti-6Al-4V の基礎的特性

The basic properties of Ti-6Al-4V by Fine Particle Bombarding Treatment with nitrogen

坂下 友宏・名城大院

江上 登・名城大

Tomohiro SAKASHITA, Graduate School Meijo University

Noboru EGAMI, Meijo University

來海 博央・名城大

宮坂 四志男・(株) 不二機販

Hirohisa KIMACHI, Meijo University

Yoshio MIYASAKA, Fuji Kihan Company

Key Words: *Fine Particle Bombarding, Ti-6Al-4V, Nitrogen*

1. 緒言

表面改質処理の中の一つである微粒子衝突処理は、粒径 50～200 μm 程度のショット材を被加工物表面に 100m/s 以上の高速度で衝突させる処理法である。この処理法は、表面粗さの改善、圧縮残留応力の付与、組織微細化、相変態の誘起など様々な特徴を有している。

一方最近では、通常のエアーの代わりに窒素ガスを使用して処理することで、通常処理法よりも硬度が上昇することが報告されている。したがって、微粒子衝突処理は加工硬化による特性の改善に加えて、窒化や浸炭性ガスを使用することで、さらなる特性向上の可能性を有している。しかしながら、高硬度材に窒素ガスが用いられている報告例はほとんどなく、不明な点が多いのが現状である。

そこで本研究では、窒素濃度を变化させ Ti-6Al-4V に微粒子衝突処理を施し、窒素影響について検討した。

2. 実験方法

供試材としてチタン合金(Ti-6Al-4V)を使用した。 $\phi 13.0\text{mm}$ の圧延丸棒を 705 $^{\circ}\text{C}$ で焼鈍し、残留応力の除去や結晶組織の調整などするため以下の熱処理を行った。

溶体化処理 950 $^{\circ}\text{C}/30\text{min}$ 水冷

時効処理 540 $^{\circ}\text{C}/8\text{hr}$ 空冷

供試材の化学成分を Table 1 に示す。熱処理後、試験片を作製し、Table 2 に示す条件で微粒子衝突処理を施した。微粒子衝突処理後に鏡面仕上げを施し、クロール液でエッチングし、表面粗さ測定はデジタルマイクロスコープ、硬度測定はナノインデンテーション、組織観察および成分分析は走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いて行った。

Table 1. Chemical composition of Ti-6Al-4V

Al	V	O	N	C	Fe	H
6.46	4.21	0.18	0.002	0.012	0.27	0.0039

Table 2. Fine Particle Bombarding conditions.

Material shot	FSS
Air pressure(MPa)	0.4,0.6
Bombarding time(sec)	15,30
Diameter of shot(μm)	50
Atmosphere of bombarding	Air,N ₂
Nitrogen concentration(%)	99.8,99.999,99.9995

3. 実験結果

3-1 表面粗さ測定 エアー圧 0.4MPa、投射時間 15sec のもと、投射雰囲気（窒素濃度 99.8%）を变化させて微粒子衝突処理を施した試験片の表面粗さ測定を行った。通常処理法は表面粗さ R_z が 2.4 μm であるのに対し窒素ガスを使用すると 2.8 μm であった。また、エアー圧 0.4MPa、投射時間 30sec のもと、窒素濃度を变化させて微粒子衝突処理を施した試験片表面粗さ測定を行った。窒素濃度が 99.8%、99.99%、99.9995% では表面粗さ R_z がそれぞれ 2.9 μm 、3.2 μm 、3.3 μm であった。窒素雰囲気ですらに窒素濃度が高いほど表面粗さが上昇している。これは、窒素ガスをうい微粒子衝突処理を施したことにより、投射材が窒素の影響を受けて硬度が上昇し、通常エアーより衝突エネルギーが上昇したためと考えられる。

3-2 硬度測定 Fig. 3.1 にエアー圧 0.4MPa、投射時間 30sec、通常エアーまたは、窒素雰囲気の下で窒素濃度を变化させ微粒子衝突処理を施した硬度測定結果を示す。測定結果から明らかに、通常エアー、窒素の両者とも表面から 20～30 μm 付近で硬度上昇しており、さらに窒素濃度が高くなるにつれ硬度がより上昇していることが認められた。また、通常エアーは表面から 5mm で硬度分布のピークであるのに対し、窒素は各濃度において硬度分布のピークが表面であることを示している。これは窒素ガスをういたことにより、通常エアーより衝突エネルギーが上昇し、表面に多くの塑性変形を受けたためと考えられる。次に Fig. 3.2 に窒素雰囲気下でエアー圧、投射時間を变化させたときの硬度測定結果を示す。エアー圧が高く、投射時間が長くなるにつれ硬度が上昇していることが認められた。つまり、窒素雰囲気下で窒素濃度、エアー圧が高く、投射時間が長くすることでより硬度が上昇することを示している。

3-3 組織観察 エアー圧 0.4MPa、投射時間 15sec のもと、投射雰囲気（窒素濃度 99.8%）を变化させて微粒子衝突処理を施した試験片断面の SEM 画像を Fig. 3.3 に示す。材料表面近傍には無数の微小な凹凸が観察され、(B) の窒素雰囲気の方が、(A) の通常の場合よりも塑性変形が促進していることがわかる。次にエアー圧 0.4MPa、投射時間 30sec のもと、窒素濃度を变化させて微粒子衝突処理を施した試験片断面の SEM 画像を Fig. 3.4 に示す。図示のごとく、窒素濃度が高くなるにつれ塑性変形が多少ではあるが促進している。

3-4 成分分析結果 窒素雰囲気(窒素濃度 99.999%)のもと、エアー圧 0.6MPa、投射時間 30sec で投射した試験片断面の各点の EDS 成分分析の結果を Fig. 3.5 に示す。炭素と窒素の含有量が内部に比べて明らかに多く、投射材および投射雰囲気

の含有成分の拡散が確認できる。これは投射材の含有成分である炭素、および投射雰囲気中の窒素が材料内部に浸透・拡散したものと考えられる。また Fig. 3.6 に窒素雰囲気(99.9995%)のもと、エア圧 0.4, 投射時間 15, 30sec, またエア圧 0.6MPa、投射時間 30sec で投射した試験片表面深さ方向の EDS 成分分析結果を示す。なお分析対象として窒素を選んだ。エア圧が高く、投射時間が長くなるにつれ投射雰囲気中の窒素の浸透・拡散深さが増加していることがわかる。この浸透・拡散現象は投射材を高速度で被加工物に投射することで最表面温度が高くなり、衝突時に投射材の一部が瞬間的に熔融し、微粒子の含有元素が溶出したものと考えられる。また窒素の成分が多いのは、投射時に粒子が窒化し、粒子に窒素の成分が含有されたためと考えられる。

結言、参考文献 省略

Fig. 3.1. Change of hardness distribution.

Fig. 3.2. Change of hardness distribution.

(A) Normal treatment (B) Nitrogen atmosphere

Fig. 3.3. SEM micrographs of Ti-6Al-4V.

(a) 99.9995% (b) 99.999%

(c) 99.8%

Fig. 3.4. SEM micrographs of Ti-6Al-4V.

(a) SEM micrograph

Point	C	N
1	9.40	8.80
2	3.72	5.04
3	1.61	3.86
4	1.09	2.85
5	10.38	10.01

(b) Chemical composition of each point (mass %)

Fig. 3.5. EDS analysis result of Ti-6Al-4V.

Fig. 3.6. EDS analysis result of Ti-6Al-4V (N).