

講演論文 (8)

微粒子ショットピーニングによる航空機用
高強度アルミ合金の疲労特性向上

三菱重工業(株) 井上明子, 関川貴洋, 小栗和幸

1. 緒言

航空機の主な金属構成部材であるアルミ合金部品の多くは、ショットピーニング(SP)による疲労特性向上が図られている。しかしながら、近年の航空機の更なる軽量化の要求を受け、疲労特性の一層の向上が必要とされている。近年、粒径の小さいセラミックス製の粒子を用いた微粒子ショットピーニング(FPSP)が、ばねなどの鉄鋼部品の疲労特性向上を目的として実用化されており、航空機の主要構成部材であるアルミ合金への適用可能性を検討するため、FPSPによるアルミ合金7050の疲労特性を評価することで、航空機構造部材への適用を検討した。

2. 試験方法

FPSPは、呼び径0.038~0.053mmのセラミックス粒子を用いて、インテンシティ0.09~0.10mmN、カバレッジ100%で行った。比較のため、鋳鋼ショットASR230(呼び径0.5~0.8mm)を用いて、インテンシティ0.10~0.15 mmA、カバレッジ100%でショットピーニングを行った。供試材は、アルミ合金7050-T7451、最小部φ6mmの丸棒試験片を作製した。表面仕上げは、平均粗さ1.6μmと3.2μm、およびPolishedの3条件とした。疲労試験は、一軸引張り(応力比R=0.1)、室温、大気中で行った。試験片の評価は、表面粗さ測定、表面X線残留応力測定及び表面・破面の走査型電子顕微鏡(SEM)観察により行った。

3. 結果

Table 1に表面粗さと残留応力の測定結果を示す。SPよりもFPSPの方がインテンシティは低いにも関わらず、残留応力が高い。この要因としては、残留応力の深さ分布のピークがSPの方が深いためであると思われる。

Fig.1に各試験片の表面のSEM観察写真と、1.6μm仕上げの表面粗さの測定結果を示す。FPSP後の表面粗さは、機械加工後の形状に沿ってディンプルが形成されており、表面粗さの値もほとんど変化しない。これらのことから、FPSPは表面を荒らすことなく高い残留応力の付与が可能といえる。

疲労特性については、Fig.2に、345MPa、応力比0.1での疲労試験の結果を示すとおり、全ての表面仕上げ条件について、疲労寿命はUnpeened, SP材, FPSP材の順に長く、FPSP材はUnpeenedの結果よりも2桁程度長くなった。より詳細なデータを得るため、1.6μm仕上げの疲労試験を273MPa~379MPaの範囲でのS-N線図

Table 1 The results of Surface roughness and Residual stress

Specimen	Condition	Ra/μm	Residual Stress/MPa
Polished	Unpeened	0.2	-103
	SP	4.6	-153
	FPSP	0.9	-174
1.6 μm machined	As machined	1.2	10
	SP	4.8	-138
	FPSP	1.4	-159
3.2 μm machined	As machined	2.9	-48
	SP	5.3	-169
	FPSP	2.8	-187

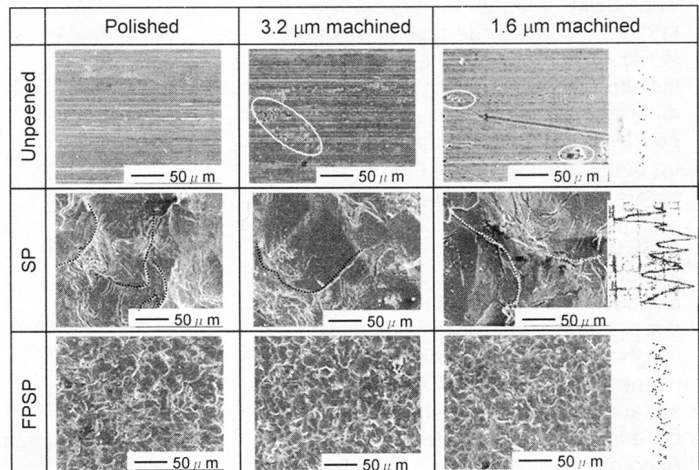


Fig.1 The SEM images of shot peened and unpeened surfaces and surface roughness profiles of 1.6 μm machined samples. (Circles in unpeened images indicate the machine scars and the dotted lines in SP images show the shape of dimples.)

0.4mm
10μm

をFig.3に示す。Fig.2に見られた結果と同様の疲労寿命の向上効果が、異なる応力条件でも得られた。

4.考察

Fig.4に示す表面・破面観察の結果から、Unpeenedの表面には機械加工時に導入された欠陥が認められ、疲労破壊はこのような欠陥部分を起点としていることが分かった。Unpeenedの疲労寿命は、機械加工時に生じた表面欠陥を予き裂としてき裂進展が起こっていた。

同様にSP材の表面には、ショット粒子が衝突した時にアルミ合金の表層部分が塑性変形したことで表面に微小き裂形状が形成された。SP材の疲労破壊の起点は、これら表面き裂からであり、機械加工後の表面粗さの違いによる影響は見られなかった。

表面に予き裂が存在する場合の疲労寿命は、き裂進展寿命支配であり、SPによる疲労寿命の向上は、残留応力がき裂進展を抑制したことによるものと考えられる。

これに対して疲労寿命向上効果の大きかったFPSP材は、いずれも内部起点で、高サイクル疲労の典型的な破面として知られる内部起点であった。また表面観察の結果から、FPSP材の表面には破壊の起点となり得るき裂は認められなかった。き裂発生段階の疲労寿命は、通常き裂進展寿命よりも著しく長いため、このき裂発生寿命の差がSP材との大幅な疲労寿命の差の要因であると考えられる。

上記の現象は、表面仕上げ条件の違いによらず、いずれの試験片においても同様の傾向が得られたことから、疲労特性は破壊起点位置の違いと密接な関わりがあり、内部起点では疲労寿命が長いものに対して、表面起点では疲労寿命が短いことが分かった。

5.まとめ

アルミ合金7050のショットピーニングによる疲労寿命効果は、表面粗さと圧縮残留応力の影響による影響を強く受け、FPSP後のアルミ合金7050の疲労寿命は、SP後のものよりも1桁程度長くなる。これは、FPSPが表面をあらすことなく表面の極近傍に高い圧縮残留応力を付与することが可能であるためと考えられる。また、FPSPによる疲労寿命向上効果は、ショットピーニング前の機械工仕上げ条件の違いによる影響を受けず、安定した疲労寿命向上効果が得られる。

本研究は独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の助成を受けて行っている「環境適応型高性能小型航空機」研究開発の一環として実施した研究成果の一部である。

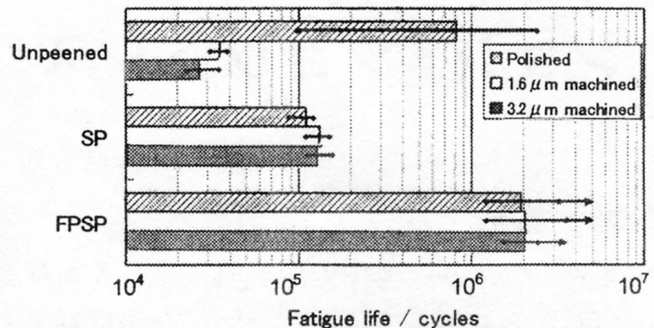


Fig.2 Fatigue lives of various surface finish at 345 MPa after variety of shot peening comparing the results of prior to peening.

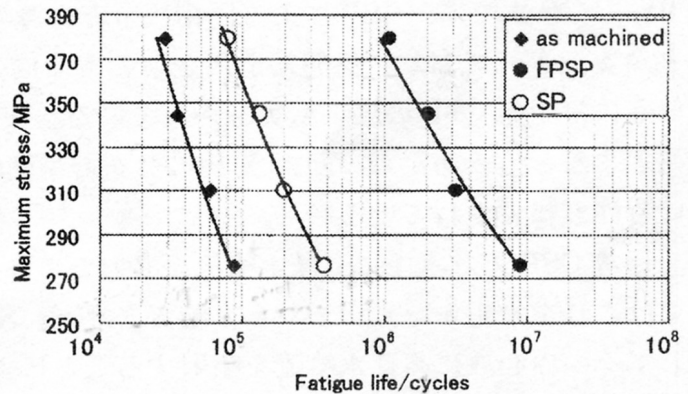


Fig. 3 S-N curve of 1.6 μ m machined aluminum 7050 before and after peening.

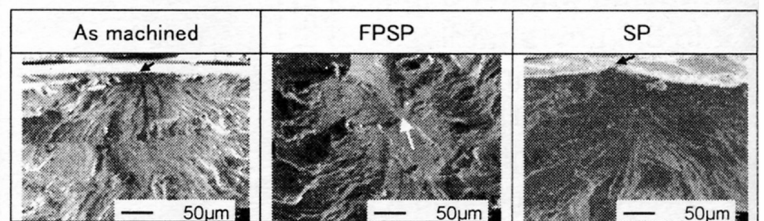


Fig.4 Fatigue fracture surface (1.6 μ m machined). Crack initiation sites of each sample are pointed by arrows.