

669.15/26-194:621/165-253.5
 :621.787.6:539.43 No.62169

(169) 13 Cr 鋼の疲労強度におよぼす
 表面処理の影響 P.633~634

東京芝浦電気

秋場 辰郎・○吉田 宏

Effect of Surface Treatment on
 Fatigue Strength of 13% Chromium Steel.

Tatsuo AKIBA and Hiroshi YOSHIDA.

I. 緒 言

蒸気タービン用羽根は、蒸気の流動抵抗を減ずる目的とその製品美観という見地より、羽根の表面には電解研磨またはバフ研磨処理を行なうのが普通である。ところで電解研磨処理を施すと、バフ研磨処理を施した際に生じる残留圧縮応力の加工層が除去され、疲れ強さがバフ研磨処理を行なつたままのそれより10~15%低下するので、疲労という見地からは好ましくないという報告がある。しかし蒸気タービンの羽根は高温の蒸気に曝されて作動するので、使用中に残留圧縮応力が除去され、いずれの処理を施しても疲れ強さの差異はなくなるものと考えられる。また同様のことが羽根根元に与えるショットピーニング処理について言えることであるが、蒸気タービン羽根に使用する13Cr鋼について、その加熱の影響を確かめた報告が少ない。そこで本報告では、上述の電解研磨、バフ研磨、ショットピーニングの表面処理が疲れ強さにおよぼす影響と、高温加熱に伴うこれら表面処理の効果を検討したので報告する。

II. 供試材料と表面処理条件

試験に供した材料は、蒸気タービン用羽根に広く使用される13Crステンレス鋼で、供試材は50×60×1.790に鍛造した後、850°C 1時間焼鈍した。その後さらに960~980°C 0.5時間保持後油冷の焼入、750~780°C 1時間保持後空冷の調質を行なつた。これよりシエング型繰返し曲げ疲労試験片を採取した。上記供試材の化学組成ならびに機械的性質はTable 1に示す通りである。疲労試験片の表面は、サーフェスグラインダで研磨後酸化クロムでバフ研磨処理をした。その後さらに電解研磨、ショットピーニング処理を施した。電解研磨およびショットピーニングの表面処理条件は、Table 2に示す通りである。ショットピーニングの装置は、久保田製作所製のSPR型を使用した。この場合ショットピーニング処理の時間と、その疲れ強さとの関係を求めてみた結果、1, 3, 5, 10分間ショットピーニング処理を行

Table 2. Treating condition of electrolytic polishing and shot peening.

Electrolytic Polishing		Shot Peening	
Electrolytic liquid	H ₃ PO ₄ 85%	Air pressure	5.6 kg/cm ²
	H ₃ Cr ₂ O ₅ 10%	Steel ball	0.66 mm φ
	H ₂ SO ₄ 2~3%	Dia of nozzle	4.6 mm φ
Temperature of liquid	80~100°C	Flow quantity	4.9~5.8 kg/mn
Current density	80~100 Amp/Dm ₂	Shotting time	15mn

なつたもの間で、その疲れ強さは1分と10分処理とで、疲れ強さの上昇がわずか2%程度であつたので、ショット時間を一応1.5分と定め以下の実験を行なつた。試験片の表面は、その片面を所定の時間ショットピーニングし、つぎにその反面を同様の処理を行なつて両面をショットピーニングした。なおこれらの試験片はあらかじめ磁気探傷検査を行ない、亀裂などの欠陥のないことを確かめた上試験を行なつた。

III. 試験結果

上述の表面処理を施した試験片の中、バフ研磨処理の試験片は、100°, 200°, 300°, 400°Cの各温度で、ショットピーニング処理のそれは、200°, 250°, 300°, 350°, 400°Cの各温度でそれぞれ1時間保持後炉冷の低温焼鈍を行なつた。このような処理を行なつたのは、バフ研磨、ショットピーニング処理の効果が、加熱によりいちじるしく失われるというので、この点を確かめるために行なつた。この加熱による表面処理の効果と、表面硬さを測定することによつて探索してみた。この結果はFig. 1に示す通りで、ショットピーニング処理を行なつたものは加熱とともにその表面硬さは減じる。すなわち200°Cまでは、ショットピーニング処理のままの硬さとほとんど変わりなく、200°Cではむしろ硬度が増加していることが確かめられた。しかしそれ以上の加熱では硬さが減り、400°C 1時間の加熱では、20%程度硬さが減少する。200°Cの加熱で硬さがわずかに増加することは、平、大野らのバネ鋼の測定結果にも認められていることで、ひずみ時効が微視的な残留応力に影響するためかかる現象が認められると思われる。つぎにバフ研磨処理の加熱による硬度変化は、上述のショットピーニング処理と同様、加熱とともに硬さの減少することが認められるが、400°Cに加熱した場合の硬さが、加熱しな

Table 1. Chemical composition and mechanical properties of materials tested.

	C%	Si%	Mn%	P%	S%	Ni%	Cr%	Mo%
Spec.	0.12/0.18 0.12	<0.16 0.28	<1.00 0.18	<0.04 0.019	<0.04 0.021	0.19	11.50/13.50 13.28	— —
	Yield strength kg/mm ²	Tensile strength kg/mm ²		Elongation %	Reduction of area %	Charpy value kg-m/cm ²		
Spec.	>40 45.8	>60 65.2		>25 30.6	>55 65.5	>13 13.8		

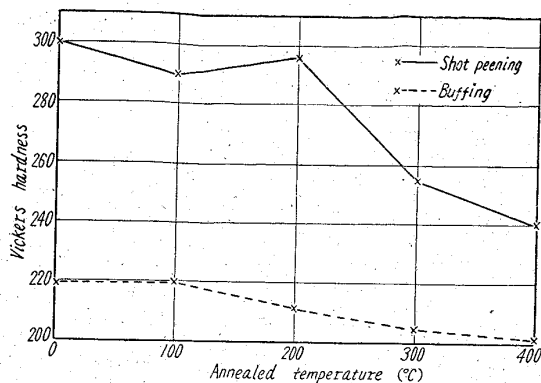


Fig. 1. Relation between hardness and annealing temperature.

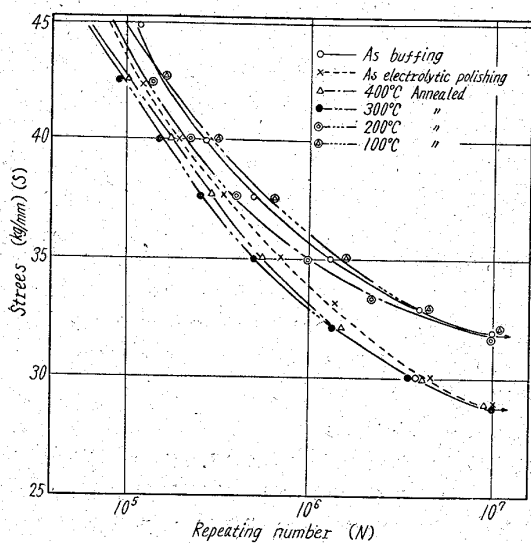


Fig. 2. Effect of surface treatment and annealing temperature on fatigue strength. (Buffing and electrolytic polishing)

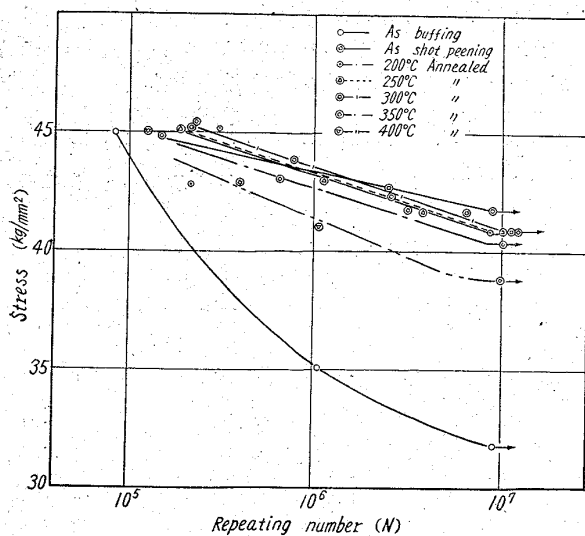


Fig. 3. Effect of surface treatment and annealing temperature on fatigue strength. (Buffing and shot peening)

いバフ研磨のままの硬さに較べ約7%程度の硬さが減少していることが判る。つぎにこれらの疲労試験片について、シェンク型繰返し曲げ疲労強度を求めたのが Fig. 2 Fig. 3 である。Fig. 2 より判るように、電解研磨処理を行なったものはバフ研磨処理の疲れ強さの10~15%低下することが判つた。しかしバフ研磨処理を行なったものは、これを加熱焼鈍したものは加熱温度の上昇とともにその疲れ強さを減じ、400°C 1時間焼鈍したものは、電解研磨の疲れ限度と同じである。Fig. 3 はショットピーニング処理と疲れ強さとの関係性を求めたものである。この場合ショットピーニングを行なうことにより、バフ研磨の疲れ限度の約31%増加することが判つた。しかしショットピーニング処理を行なったものを加熱焼鈍すると、加熱温度の上昇とともにその疲れ強さを減じることは、バフ研磨処理の場合と同様である。しかし400°C 1時間焼鈍したのものでもなお、バフ研磨処理の20%増加の疲れ限度である。このようにバフ研磨、ショットピーニング処理により疲れ強さが向上するのは、これらの処理により表面層に引張り塑性ひずみを生じ、それが残留圧縮応力を生起せしめるためと考えられる。一方加熱によるこれらの処理の効果が、400°Cの加熱でバフ研磨の疲れ強さは、電解研磨のそれと同じになるが、ショットピーニングの場合にはなおバフ研磨の疲れ強さより向上している。これは残留圧縮応力の生じる量、その層の深さ、あるいはその加工硬化のおよんでいる深さによつて、これが加熱によるこれらの処理の効果を急激にしたり、または緩慢にするものと考えられる。最後に破断までの疲労寿命に関しては、ショットピーニングしたものと同らざるもの、バフ研磨したものと電解研磨したものととの時間強度の傾斜線は、応力振巾の低いほど拡がっている。これは応力振巾の低いほど残留応力の減衰が小さく、これが有効に疲労寿命に作用していると考えられる。

IV. 結 言

以上の諸実験の結果を総括するとつぎの通りである。

- (1) 低圧羽根のように100°C以下で作動する羽根では、電解研磨処理よりバフ研磨処理の方が良い。
- (2) 高圧羽根、中圧羽根のように高温で使用する羽根には、電解、バフ研磨いずれの処理でも良く、その処理法の難易などによつてその法を定めて良い。
- (3) 羽根根元の疲れ強さを増すために施すショットピーニング処理は、低圧羽根のように低温部に対してはその効果を期待出来るが、高温作動の羽根に対しては期待出来ない。どの程度までその効果を保ち得るかは、今後の研究に待ちたい。
- (4) ショットピーニングによる圧縮残留応力は、加工硬化の結果として材料の機械的性質に影響を与える。
- (5) ショットピーニング処理、バフ研磨処理は、疲労寿命の増加に対しても効果があり、応力振巾の低いほどその効果は大きい。