

硬さレベルを変えたマルエージング鋼の疲労強度に 及ぼすショットピーニングの影響†

永野茂憲* 皮籠石紀雄** 森山三千彦***
陳強**** 長島悦一*****

Influence of Shot Peening on Fatigue Strength of Maraging Steels with Different Hardness

by

Takanori NAGANO*, Norio KAWAGOISHI**, Michihiko MORIYAMA***,
Qiang CHEN**** and Etsuichi NAGASHIMA*****

In order to investigate the hardness dependence on the fatigue strengths for surface fracture and internal fracture, rotating bending fatigue tests were carried out for maraging steels using specimens with different hardness obtained by heat-treating at different under-aging conditions. Fatigue limit for surface fracture was evaluated in electro-polished specimens and the one for internal fracture was in shot-peened ones, where fatigue limits were defined as fatigue strengths at 10^7 cycles for surface fracture and 10^8 cycles for internal fracture, respectively. Fatigue limit for internal fracture increased with increase in hardness similar to the one for surface fracture. However, the proportional relationship between the fatigue limit and the hardness existed till higher hardness in the fatigue limit for internal fracture than in the one for surface fracture. This difference in the hardness dependence on fatigue limit was discussed from the viewpoint of the influence of humidity on the fatigue strength.

Key words: Fatigue, Maraging steel, Hardness, Shot peening, Surface fracture, Internal fracture, Humidity

1 緒 言

高強度鋼になると、硬さと疲労限度間の比例関係は成立せず、硬さが上昇しても疲労限度は上昇しないかもしくは逆に低下する。¹⁾これは主として、材料中に含まれる各種欠陥と高い切欠き感度に起因した現象であるが、^{2), 3)}それに加えて強度が高くなるほど大気中の湿度に敏感になること^{4), 5)}も影響していると考えられる。一方、高強度鋼にショットピーニング処理を行えば、破壊の起点は、応力レベルの低下に伴ない材料表面から内部に変化することが多い。^{6)~8)}しかし内部破壊の場合も切欠き感度の点からは、素材硬さの上昇に対する疲労強度の上昇は表面破壊の場合と同じ傾向を示すものと考えられる。しかし内部破壊の場合、疲労限度の有無を含め破壊機構の詳細は明らかでないこと^{9)~14)}さらに前述のように、表面と内部における大気湿度を含む環境の相違を考えると、表面破壊とは異なる疲労強度の硬さ依存性を示すことが考えられる。

そこで本研究では、実用鋼のバルク材中で最も強度の

高いマルエージング鋼を用いて時効条件を変えることにより、素材硬さを変えた試験片を準備し、電解研磨材とショットピーニング材の回転曲げ疲労試験を行い、表面破壊と内部破壊に対する疲労強度の硬さ依存性について検討した。

2 材料、試験片および実験方法

用いた材料は、市販の2種類の18%Niマルエージング鋼(300gradeと350grade)である。Table 1に両材の化学成分を示す。納入材を真空中で1123K、5.4ks加熱の溶体化処理後空冷し、Fig. 1に示す形状と寸法をもつ試験片を作成した。機械加工した試験片にTable 2に示す条件で時効処理を行った。Table 2には、時効後の各材の機械的性質も併せて示す。時効条件として選んだ温度

Table 1 Chemical composition (mass%).

Grade	Composition, mass%										
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Mo	Co	Ti	Al	Fe
300	0.01	0.05	0.03	0.002	0.002	18.7	5.0	8.94	0.92	0.12	Bal
350	0.001	0.01	0.01	0.001	0.001	17.89	4.27	12.36	1.30	0.08	Bal

† 原稿受理 平成19年2月15日 Received Feb. 15, 2007 ©2007 The Society of Materials Science, Japan

* 正会員 都城工業高等専門学校機械工学科 〒885-8567 都城市吉尾町, Dept. of Mech. Eng., Miyakonjo National College of Tech., Yoshio-cho, Miyakonjo, 885-8567

** 正会員 鹿児島大学工学部機械工学科 〒890-0065 鹿児島市都元町, Dept. of Mech. Eng., Faculty of Eng., Kagoshima Univ., Korimoto-cho, Kagoshima, 890-0065

*** 正会員 第一工業大学機械工学科 〒899-4395 霧島市国分中央, Dept. of Mech. Eng., Daiichi Univ., College of Tech., Kokubuchuo, Kirishima, 899-4395

**** 正会員 高知工業高等専門学校機械工学科 〒783-8508 南国市物部, Dept. of Mech. Eng., Kochi National College of Tech., Mononobe, Nankoku, 783-8508

***** 新東工業(株) 〒442-0061 豊川市穂ノ原, Shintokougio Ltd., Honohara, Toyokawa, 442-0061

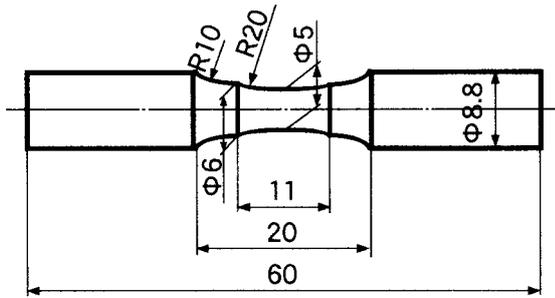


Fig. 1 Shape and dimensions of specimen.

Table 2 Aging conditions and mechanical properties.

		Hardness	strength	Tensile	Elongation
		HV	$\sigma_{0.2}$ (MPa)	strength σ_B (MPa)	
300grade	753K-2.8ks	550	1730	1833	11.3
	753K-6ks	570	1835	1890	7.3
	753K-11ks	604	1730	1833	11.3
	753K-48ks	634	2073	2156	8.5
	743K-320ks	670	2201	2257	-
350grade	753K-150ks	695	2272	2310	-

は、753Kの場合通常用いられる温度であること、またすべての温度は逆変態オーステナイトを生成させずに広い範囲で硬さを変化できることを考慮したもので(同一硬さでも、逆変態オーステナイトが生成すれば疲労強度は高くなる^{15), 16)}、Fig. 2はそれらの温度における時効曲線である。

ショットピーニング処理は、時効処理後エメリーペーパーで研磨してから Table 3 に示す条件で行った。また比較材として、時効後ペーパー研磨した表面をさらに約 40 μ m 電解研磨した試験片も準備した。

硬さおよび残留応力の分布は、ピッカース硬度計と X 線応力解析装置を用いて、表面を研磨しながら測定した。

疲労試験は、小野式回転曲げ疲労試験機(容量: 15N \cdot m, 繰返し速度: 約 50Hz)を用いて室温、大気中で行ったが、一部、疲労強度に及ぼす湿度の影響をみるため、相対湿度 25% の環境でも行った(湿度の制御は、試験機を囲むボックスを設けその中で除湿器を用いて行った。なお、大気中での疲労試験時の湿度は 60 ~ 80% であった)。

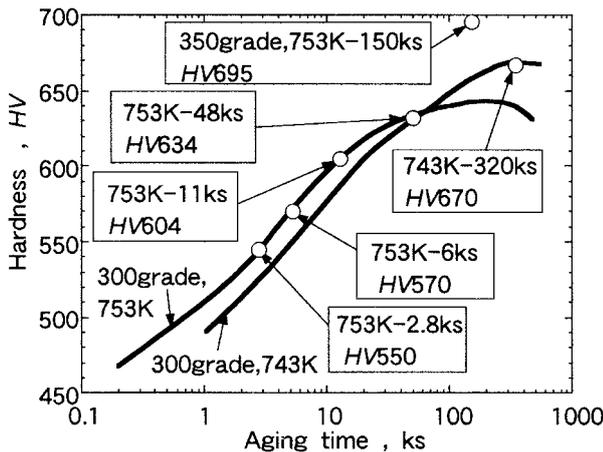


Fig. 2 Aging curves.

Table 3 Shot peening treatment condition.

Blasting equipment		Air type			
Shot	Material	Size (mm)		Hardness	Specific gravity
	Steel		Φ 0.3, Φ 0.6, Φ 1.1		HV=700
Cemented carbide		Φ 0.05		HV=1400	14
Blasting		Single shot			Double shot
	Shot size(mm)	Φ 0.05	Φ 0.3	Φ 0.6	Φ 1.1 Φ 0.05
	Arc hight (mm A)	0.075	0.230	0.430	0.730 0.075
	Time (sec)	6	6	6	12 6
	Pressure (MPa)	0.3	0.3	0.3	0.3 0.3
	Distance (mm)	180			
	Coverage (%)	300			

3 実験結果および考察

Fig. 3 に、300grade 材の電解研磨した各硬さ材の S-N 曲線を示す。ここでは 10^7 回を打ち切り回数とした。この範囲では破壊した試験片はすべて表面を起点としていた。なお、一部の材料で 10^8 回まで試験したが時間強度は 10^7 回のそれとほとんど変わらず表面破壊に対する疲労限度とみなしても大きな差はないと判断した。 10^7 回における時間強度は硬さ上昇に伴い高くなるが、HV600 を越えると逆に低下傾向を示す。

Fig. 4 に、300grade 材の場合におけるショットピーニング処理した各硬さ材の S-N 曲線を示す。ショットピーニングにより疲労強度は大幅に上昇するが、その程度は硬さにより異なる。ショットピーニング材の場合高応力下では表面破壊が起こり、低応力下では内部破壊が起こるが、ここでは内部破壊域での疲労強度の硬さ依存性をみるため打ち切り回数は、S-N 曲線が再び水平に近づく 10^8 回とし、そこでの時間強度で内部破壊に対する疲労強度

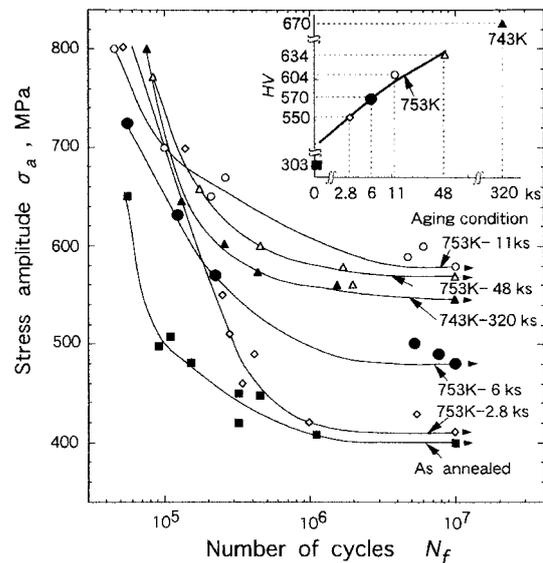


Fig. 3 S-N curves of electro polished specimens (300grade).

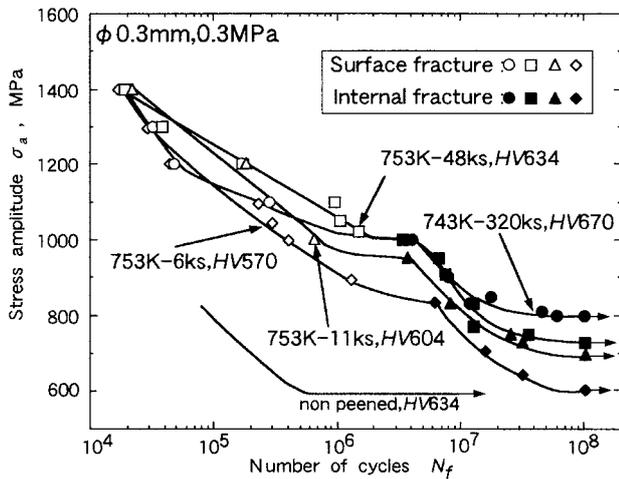


Fig. 4 S-N curves of shot peened specimens (300grade).

を評価する。10⁸回に対する時間強度は硬さが大きいほど高い。

Fig. 5 は、300grade 材に対する Fig. 3 および Fig. 4 の結果に 350grade 材の結果も加え、表面破壊と内部破壊に対する時間強度と素材硬さ（ビッカース硬さ HV）の関係をまとめたものである。ここでは疲労強度の硬さ依存性をみるため、表面破壊に対しては電解研磨材の 10⁷ 回の時間強度を、内部破壊に対してはショットピーニング材の 10⁸ 回の試験片表面の公称応力で表した時間強度で整理したが、参考のため内部破壊の場合、応力勾配および残留応力も考慮した破壊起点の真応力 σ'_a による表示も破線で示してある。またショットピーニング材の表面破壊域における硬さ依存性（硬さとして内部の値で表示）も示したが、その場合、明確な表面破壊となる 10⁵ 回における時間強度をとった。図からわかるように、表面破壊の場合、これまで報告された傾向と同様に硬さ上昇に伴う疲労強度の増加には限界があり、¹⁾電解研磨材、ショットピーニング材のいずれも HV600 付近でピークを示し、それ以上になると疲労強度は低下している。

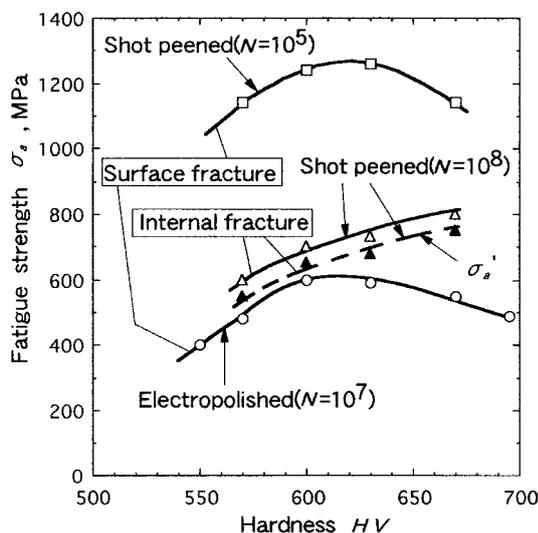


Fig. 5 Relationships between the fatigue strength and Vickers hardness.

一方内部破壊の場合、検討対象とした硬さの範囲では、硬さの上昇に伴い疲労強度はほぼ比例的に増大しており、表面破壊に対する硬さ依存性をもとに、内部破壊に対する硬さ依存性を評価すればかなり安全側になることがわかる。高強度材になると硬さ上昇が疲労強度上昇に直接反映されないのは切欠き感度が上昇するためである。^{2), 3)} この観点で考えれば表面破壊と内部破壊に対する硬さ依存性は同じ傾向を示すはずだが、Fig. 5 に示した結果はそうになっていない。この理由として素材硬さによりショットピーニング効果が異なり、表面硬化や残留応力の大きさの分布に相違が生じ、そのことが疲労強度の違いに関与した可能性も考えられる。

Fig. 6 は、300grade 材にショットピーニング処理した各硬さ材の硬さおよび残留応力分布を示している。すべての材料で、硬化深さはほとんど同じであるが、素材硬さが異なれば硬化量は異なり残留応力にも多少の差異がみられる。

そこで 300grade 材の素材硬さ HV670 材を用いて、硬さの異なるショット材により表面層の硬さと残留応力の分布を変えてその疲労強度に対する影響を調べた。

Fig. 7 は、硬さ HV700 と 830 の普通鋼のショット粒径 $\Phi 0.3\text{mm}$ を用いて、素材硬さ HV670 の材料にショットピーニングした場合の硬さおよび残留応力分布を、Fig. 8 はその材料に対する S-N 曲線を示している。同じ素材であってもショットピーニング条件の違いにより硬さおよび残留応力は顕著な影響を受ける。

また疲労強度も表面破壊が起こる高応力域の場合、ショット粒の硬い方が長寿命になっている。しかし、内部破壊が起こる低応力域は Fig. 6 に示した同一硬さ材の

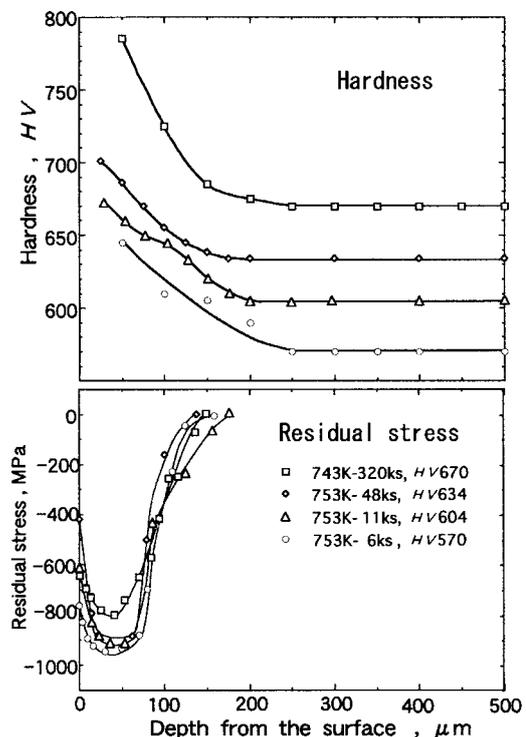


Fig. 6 Distributions of hardness and residual stress.

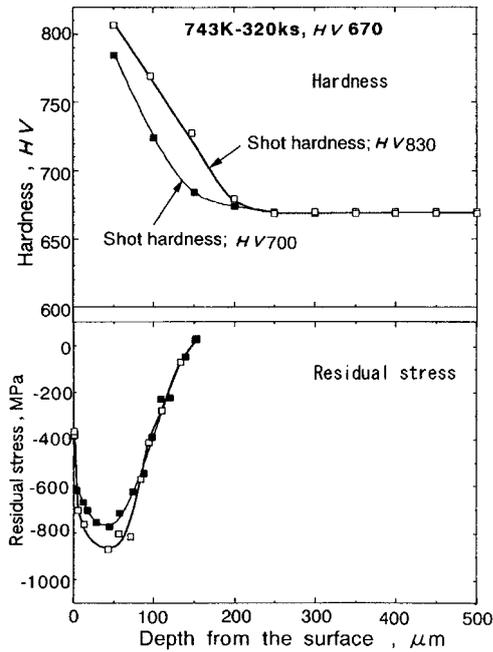


Fig. 7 Distributions of hardness and residual stress.

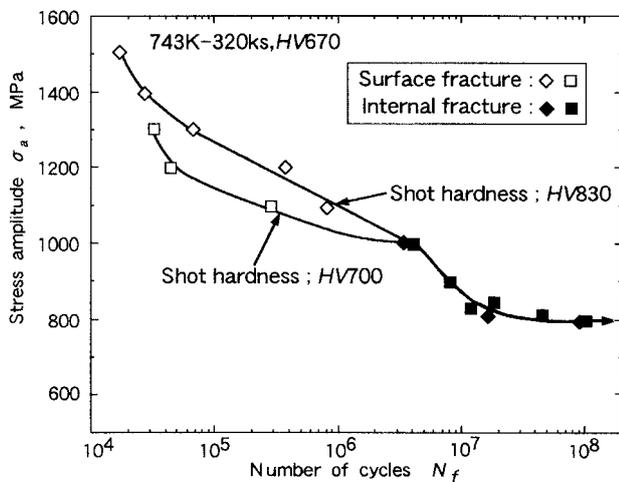


Fig. 8 Influence of shot hardness on the fatigue strength.

結果とほぼ同じである。すなわち、ショットピーニング条件により硬さや残留応力の大きさと分布は異なり、その結果表面破壊に対する疲労強度は大きく影響されるが、内部破壊に対する疲労強度はほとんど影響されないことを示している。したがって、Fig. 5 に示した 10^8 回の時間強度で内部破壊に対する疲労強度の硬さ依存性を評価しても大きな差異は生じないものと考えられる。

Fig. 9 は内部破壊したショットピーニング材の破面写真である。図には硬さが最も大きい場合と小さい場合を例に示しているが、矢印で示すようにいずれも介在物を起点としており破面もお互いに類似し、硬さによる影響はみられない。なお、内部破壊の起点は、図に示した介在物だけでなくマルテンサイトやパケットの境界割れの場合も観察された。起点近傍の破面は平坦で、いわゆるラス割れと呼ばれる特徴を示し、その後は旧オーステナイト粒界割れが生じている。本材における内部破壊の破面の

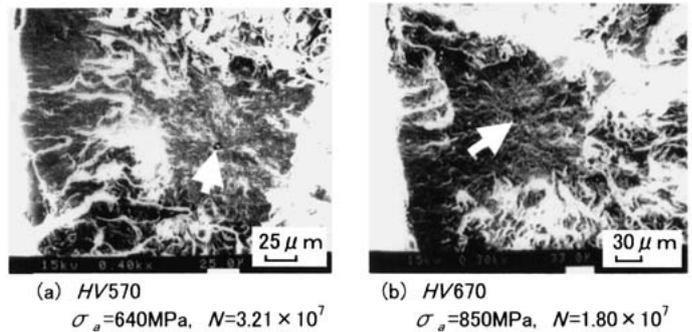


Fig. 9 Fracture surface of shot-peened specimens (internal fracture).

特徴は、通常内部破壊の多くで観察される円形のフィッシュアイとは異なり複雑な形状を示していることである(以下では、起点周囲の平坦な破面を、一般に観察されるフィッシュアイと区別してファセットと呼ぶ)。しかも試験片表面方向へは平坦のまま、内部き裂が急速に表面き裂に成長し、破壊したことを示唆している。また、高強度鋼の長寿命域で生じるフィッシュアイの起点周囲では粗い破面が観察されることが多いが^{10)~14)}本材の場合それを確認することはできなかった。

Fig. 10 は、ショットピーニング材において破壊の起点となった介在物の表面からの深さ d_{inc} と疲労寿命 N_f の関係を示している。

Fig. 11 にファセット寸法を代表して、試験片円周方向にとったファセット直径 b と疲労寿命 N_f の関係を示す(ファセット寸法の定義は図中を参照)。疲労寿命が長くなるほどファセット寸法は大きくなる。そしてこの関係に硬さの影響はみられない。

Fig. 12 は、内部破壊した場合における起点の応力拡大係数を、応力勾配を考慮して求めた起点位置の応力 σ_f を用いて計算した K_{inc} さらに応力として残留応力 σ_r も考慮して計算した K_{inc}' 疲労寿命 N_f の関係である。ここで K_{inc} と K_{inc}' は村上による次式¹⁷⁾で求めた。

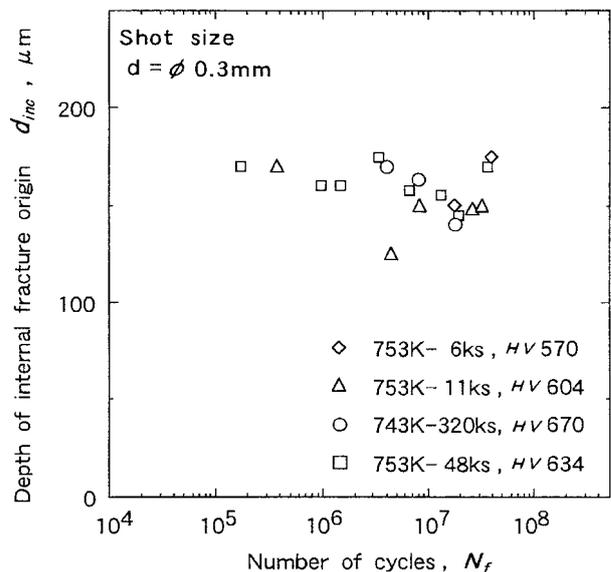
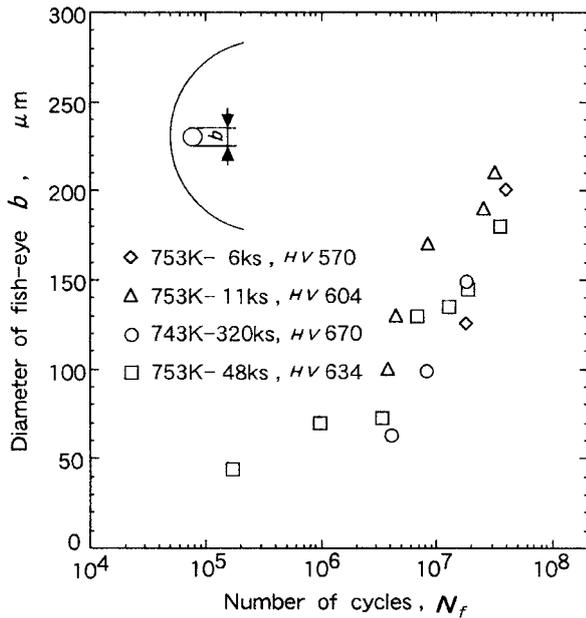
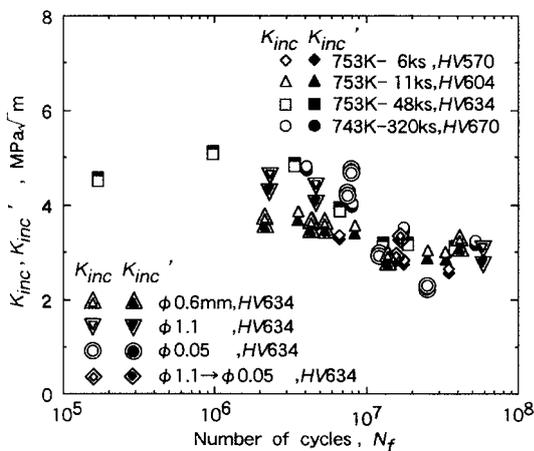


Fig. 10 Relationship between d_{inc} and N_f .

Fig. 11 Relationship between b and N_f .Fig. 12 Relationship between K_{inc} and N_f .

$$K_{inc} = 0.5\sigma_t \sqrt{\pi \sqrt{area}} \quad (1)$$

$$K_{inc}' = 0.5(\sigma_t + \sigma_r) \sqrt{\pi \sqrt{area}} \quad (2)$$

Fig. 12には、先に報告したショット粒径を変えた場合の結果⁷⁾を用いて式(1)、(2)で計算した値も示してある。すべての条件下で起点における K_{inc} と K_{inc}' はほぼ等しい。すなわち、ショット粒径だけでなく硬さの影響も小さく、 $4\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$ 前後である。この値は村上がマルエージング鋼で求めた下限界応力拡大係数にほぼ等しい。¹⁸⁾このことと、全寿命のほとんどが微小き裂の伝ばで占められること^{9), 19)}さらに残留応力の大きさと分布はショット条件や素材硬さの影響を受ける(文献⁷⁾およびFig. 6, 7)がき裂発起点近傍での残留応力は小さいのでその影響は小さくなるが、内部破壊域における疲労強度に硬さやショット粒径の影響が少ない主な理由であると考えられる。このようなショットピーニング条件の影響が表面破壊に対して大きく、内部破壊に対して小さいことは、高炭素クロム鋼を用いた塩澤ら²⁰⁾高ら²¹⁾も報告している。

Fig. 13に、表面破壊した場合の破面写真を示す。この場合も素材硬さが最大と最小の場合のみを例として示した。いずれも破面はラス割れで占められているが、高硬さ材の場合ラス割れの中に粒界割れ(図中矢印で示した旧オーステナイト粒寸法程度の平坦な破面)がみられる。これは表面破壊域における疲労強度に大気中の水分が影響したことを示唆しており、その場合高硬さ材ほどその影響は大きいことになり²²⁾Fig. 5に示した表面破壊に対する疲労強度の硬さ依存性には大気湿度の影響が含まれていることを意味している。そこで大気湿度の影響の程度を調べるため、300grade (HV634と670)材を用いて、大気湿度を相対湿度25%と低く制御した環境下で疲労試験を行った(なお、以下に示すように、内部破壊に対する湿度の影響は認められなかったため、ショットピーニング材の試験はHV634材のみを行った)。

Fig. 14に、これらの試験片のS-N曲線を示す。

Fig. 15は、Fig. 5に、湿度25%下の電解研磨材の表

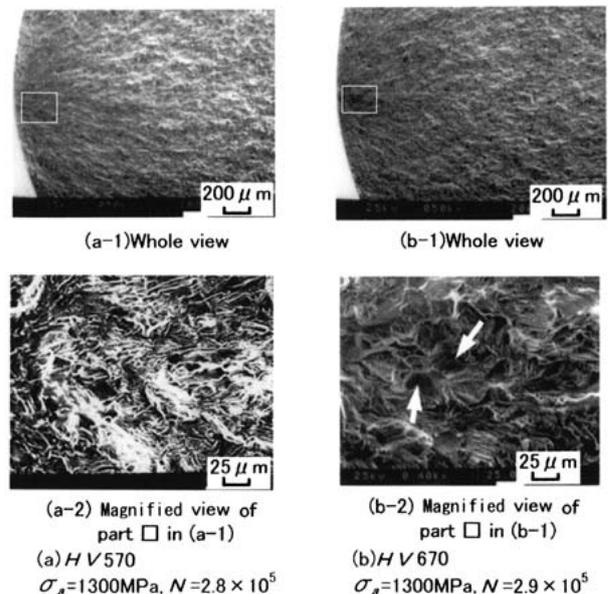


Fig. 13 Fracture surface of shot-peened specimens (surface fracture).

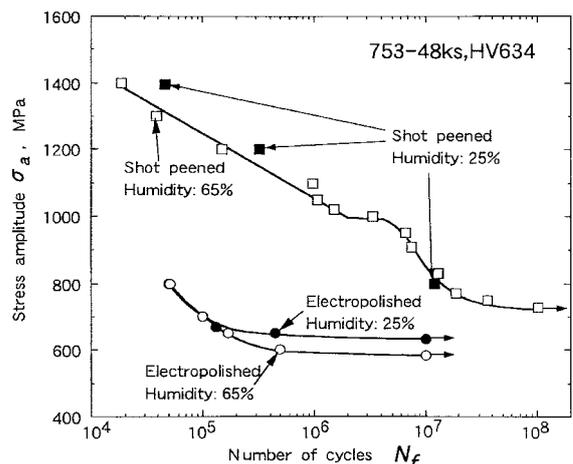


Fig. 14 S-N curves.

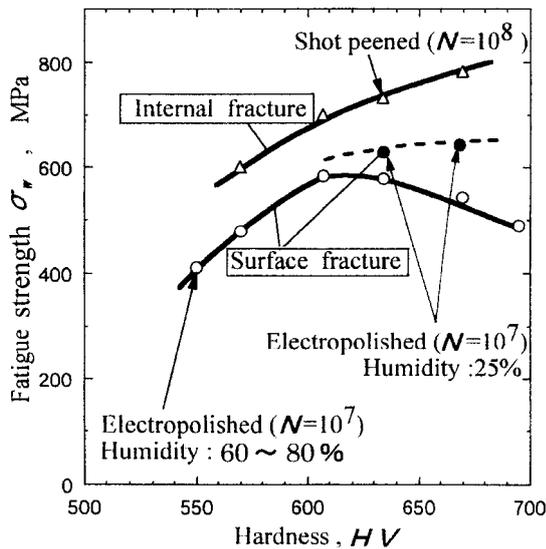
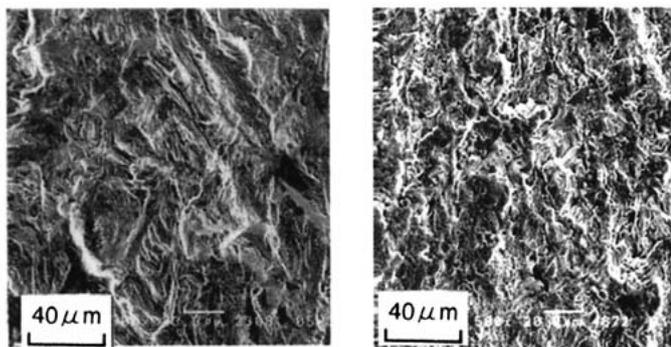


Fig. 15 Relationships between the fatigue strength and Vickers hardness.

面破壊に対する結果も含めた電解研磨材とショットピーニング材における疲労強度の硬さ依存性を示している。

Fig. 16は、湿度25%の場合の電解研磨材における破面写真である。Fig. 14～Fig. 16からわかるように、内部破壊の場合、大気湿度の影響を受けないが、表面破壊の場合低湿度の方が長寿命になり、疲労強度と硬さの間における比例関係は、電解研磨材、ショットピーニング材共に高硬さ域まで広がる(湿度25%での疲労試験はHV634と670の2種類だけ行ったが、他の硬さでも疲労強度は上昇するものと考えられる)。また、破面にも粒界割れはほとんど観察されない。

以上のことから、高強度鋼における疲労強度の硬さ依存性を考える場合、高い切欠き感度だけでなく、湿度の影響も無視できず、大気中での試験結果は湿度の影響でかなりばらつきを示すことを意味している。また、湿度が20%から80%の範囲は通常の大気環境でも起こりうることであるので、本材の場合、湿度による強度変化は実用上特に注意すべきことである。



(a) Hv634 $\sigma_a = 650\text{MPa}, N = 1.31 \times 10^6$ (b) Hv670 $\sigma_a = 700\text{MPa}, N = 1.62 \times 10^6$

Fig. 16 Fracture surfaces of electropolished specimens (RH25%).

4 結 言

時効時間を変えることにより、素材硬さを変えたマルエージング鋼(300gradeと350grade)の電解研磨材とショットピーニング材を用いて回転曲げ疲労試験を行い、表面破壊と内部破壊に対する疲労強度の硬さ依存性について検討した。得られた結果を要約すると以下のようになる。

(1) すべての硬さ材で、ショットピーニングにより疲労強度は大幅に向上した。

(2) ショットピーニング材の疲労破壊は、短寿命域では試験片表面から、長寿命域では内部の欠陥から生じた。

(3) 疲労強度の硬さ依存性を表面破壊と内部破壊で評価するため、表面破壊する電解研磨材と内部破壊するショットピーニング材の疲労限度を、それぞれS-N曲線が水平に近づく 10^7 回と 10^8 回の時間強度で比較すれば、硬さの上昇に伴う疲労限度の上昇は、表面破壊の場合、HV600程度が限界となるのに対し、内部破壊の場合HV670でもその限界は認められない。

(4) 表面破壊の場合、大気中で試験した高硬さ材の破面には粒界割れが観察されたが、低湿度で試験した場合それが観察されなかった。

(5) 内部破壊における破面の特徴に対する硬さおよび湿度の影響は認められなかった。

(6) 結論(4)、(5)から、表面破壊と内部破壊で疲労強度の硬さ依存性が異なるのは、内部破壊の場合、大気湿度の影響を受けないのに対し、表面破壊の場合、湿度が高くなると粒界割れが生じるためである。

参 考 文 献

- 1) M. F. Garwood, H. H. Zurburg and M. A. Erickson, Interpretation of Tests and Correlation with Service, "Correlation of laboratory tests and Service Performance", American Society for Metals, pp.1-77 (1951).
- 2) T. Isibasi, "Kinzoku no Hiro to Hakainobousi" p.19 (1967) Youkendo.
- 3) Y. Murakami, M. Abe and T. Kiyota, "Effects of small defects and inclusions on fatigue strength of maraging steel", Transactions of Japan Society of Mechanical Engineers, A, Vol.53, No.492, pp.1482-1491 (1987).
- 4) K. Endo, K. Komai, T. Fujimoto and Y. Matsuda, "Fatigue crack growth under stress corrosion of a high strength steel", Transactions of Japan Society of Mechanical Engineers, A, Vol.45, No.398, pp.1152-1159 (1979).
- 5) K. Asami and H. Emura, "The influence of moisture in air on fatigue crack propagation characteristics of high-strength steels", Journal of the Society of Materials and Science, Vol.39, pp.425-431 (1990).
- 6) M. Moriyama, T. Nagano, N. Kawagoishi, S. Takaki and E. Nagashima, "Effect of shot peening on fatigue strength of maraging steel", Journal of Japan Society of Mechanical Engineers, Series A, Vol.44, No.2, pp.301-308 (2001).
- 7) M. Moriyama, T. Nagano, N. Kawagoishi, S. Takaki and E.

- Nagashima, "Effect of double shot peening using super-fine particles on fatigue strength of 18% Ni maraging steel", Transactions of Japan Society of Mechanical Engineers, A, Vol.67, No.656, pp.711-718 (2001).
- 8) M. Moriyama, T. Nagano, N. Kawagoishi and S. Takaki, "Influence of reversion austenite on fatigue strength of shot-peened maraging steel", Journal of the Society of Materials and Science, Vol.50, No.10, pp.1126-1132 (2001).
- 9) Y. Kuroshima, T. Ikeda, M. Harada and S. Harada, "Subsurface crack growth behavior on high cycle fatigue of high strength steel", Transactions of Japan Society of Mechanical Engineers, A, Vol.64, No.626, pp.2536-2541 (1998).
- 10) K. Shiozawa, L. T. Lu and S. Ishihara, "Subsurface fatigue crack initiation behavior and *S-N* curve characteristics in high carbon-Chromium bearing steel", Journal of the Society of Materials and Science, Vol.48, No.10, pp.1095-1100 (1999).
- 11) C. Bathias, "There is no infinite fatigue life in metallic materials", Fatigue Fract. Engng. Mater. Struc., Vol.22, pp.559-565 (1999).
- 12) Y. Murakami, T. Nomoto, T. Ueda and Y. Murakami, "On the mechanism of fatigue failure in the superlong life regime ($N > 10^7$ cycles). Part 1 : influence of hydrogen trapped by inclusions", Fatigue Fract. Engng. Mater. Struc., Vol.23, pp.893-902 (2000).
- 13) H. Oguma, T. Nakamura, S. Yokoyama and T. Noguchi, "Very high cycle fatigue properties and fracture types of Ti-6Al-4V alloy", Journal of the Society of Materials and Science, Vol.52, No.11, pp.1298-1304 (2003).
- 14) T. Sakai, M. Takeda, N. Tanaka, M. Kanemitsu, N. Oguma and K. Shiozawa, "*S-N* property and fractography of high carbon chromium bearing steel over ultra wide life region under rotating bending", Transactions of Japan Society of Mechanical Engineers, A, Vol.67, No.663, pp.1805-1812 (2001).
- 15) M. Moriyama, S. Takaki and N. Kawagoishi, "Influence of aging condition and reversion austenite on fatigue property of the 300 grade 18Ni maraging steel", Journal of the Society of Materials and Science, Vol.49, No.6, pp.631-637 (2000).
- 16) M. Moriyama, S. Takaki and N. Kawagoishi, "Influence of reversion austenite on fatigue property of the 350ksi grade 18Ni maraging steel", Journal of the Japan Society for Heat Treatment, Vol.41, No.5, pp.266-271 (2001).
- 17) Y. Murakami, S. Kodama and S. Konuma, "Quantitative evaluation of effects of nonmetallic inclusions on fatigue strength of high strength steel", Transactions of Japan Society of Mechanical Engineers, A, Vol.54, No.500, pp.688-696 (1988).
- 18) Y. Murakami, M. Abe and T. Kiyota, "Effects of small defects and inclusions on fatigue strength of maraging steel", Transactions of Japan Society of Mechanical Engineers, A, Vol.53, No.492, pp.1482-1491 (1987).
- 19) M. Nakajima, K. Tokaji, H. Itoga and T. Shimizu, "Two-step multiple block loading tests for a high strength steel considering the transition of failure mode in high cycle regime", Journal of the Society of Materials and Science, Vol.55, No.9, pp.849-854 (2006).
- 20) L.T. Lu and K. Shiozawa, "Effect of shot-peening on super-long fatigue behavior in high carbon-chromium bearing steel", Transactions of Japan Society of Mechanical Engineers, A, Vol.67, No.662, pp.1630-1638 (2001).
- 21) H-N. Ko, H. Itoga, T. Hasegawa, C. Kagaya K. Tokaji and M. Nakajima, "Fatigue behavior of high carbon chromium steel bombarded with fine particles", Transactions of Japan Society of Mechanical Engineers, A, Vol.68, No.667, pp.484-490 (2002).
- 22) N. Kawagoishi, T. Nagano, M. Moriyama, Y. Ohzono, T. Ura, "Effect of Humidity on fatigue strength of maraging steel", Transactions of Japan Society of Mechanical Engineers, A, Vol.71, No.704, pp.600-606 (2006).