

香川大学工学部 [院] 山下剛史 ○江原隆一郎
(株) ニチダイ 窪田勝昭

1 緒 言

最近機器の長寿命化や構造材料の長寿命疲労挙動の解明のために高強度鋼の長寿命疲労挙動についての関心が高まっている¹⁾。また、ギガサイクル疲労強度を把握するためには、従来の試験速度 20Hz 程度での疲労試験では時間的に不可能に近いので、試験速度が 20kHz におよぶ超音波疲労試験への関心も高まりつつある。

高強度鋼に関してはこれまでに SNCM439 鋼²⁾、マルエージ鋼³⁾、高速度工具鋼⁴⁾などについて貴重な知見が得られつつあるが鍛造金型用鋼についての知見は少ないようである。特に、熱間鍛造金型用鋼については金型寿命との関連から主として低サイクル疲労挙動についての知見が得られている⁵⁾が同鋼の高サイクル疲労挙動についてはほとんど明らかにされていない。そこで、本研究では高強度鋼の超音波疲労挙動の解明を目的とした研究の一環としてこれまでに長寿命域における疲労挙動の知見がほとんど見当たらない熱間鍛造金型用鋼 SKD61 について超音波疲労試験を実施し、長寿命疲労強度および長寿命疲労挙動におよぼすイオン窒化の影響について検討した。ここでは熱間鍛造金型用鋼 SKD61 に関し、ギガサイクル域における疲労挙動におよぼす硬さおよびイオン窒化処理の影響について報告する。

2 実験方法

2.1 供試材および試験片

試材としては硬さが HRc 50.8、HRc 47.0 と異なる熱間鍛造金型用鋼 SKD61 を使用した。両鋼の化学組成 Table 1 に示す。母材の他に軟窒化処理としてイオン窒化を施した鋼も使用した。試験片の形状と寸法を Fig.1 に示す。

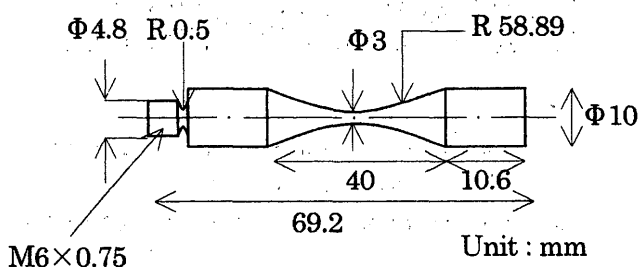


Fig.1 Fatigue test specimen

2.2 超音波疲労試験

超音波疲労試験機としては島津製超音波疲労試験機

USF2000 を用いた。R 値は 0、周波数は 20kHz とし最長 10⁹ 回まで試験した。なお、超音波疲労試験は高速で行われるため発熱の問題がある。そこで、本試験では試験片平行部の周囲をコンプレッサーによる圧縮空気、試験中常時冷却すると同時に負荷 0.2 秒、無負荷 1 秒の間歇運転を行うことにより疲労試験中の試験片の発熱を防止した。

破面観察は JEOL 製走査型電子顕微鏡 JSM5500S を使用し、マクロ破面、内部き裂発生点、疲労き裂進展領域、最終破断面を観察した。

3 実験結果および考察

Fig.2 に硬さの異なる熱間鍛造金型用鋼の超音波疲労試験結果を示す。同図から高応力域では硬さの影響が見られ、硬さの大きい鋼の疲労寿命が大きいことが明らかである。しかしながら、応力が低下するにつれて硬さの相違による疲労寿命の差は小さくなり、10⁹ 回における疲労限度には相違が見られない。後述の破面観察の結果では疲労き裂は全て試験片内部で発生することが観察されている。高応力域では内部から疲労き裂が発生しても疲労き裂発生に及ぼす表面硬さの影響は大きく疲労寿命への影響が大きく現れたものと考えられる。しかしながら、応力の低下につれて表面硬さの影響は少しずつ小さくなり試験片内部から疲労き裂が発生するために 10⁹ 回疲労限度が同一になったものと考えられる。

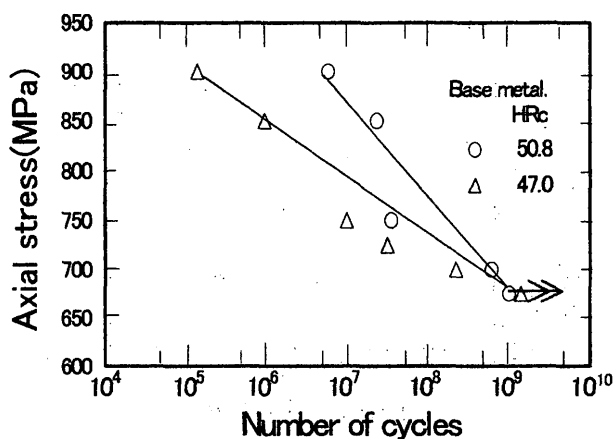


Fig.2 S-N curves of SKD61 with different hardness

Fig.3 は HRc47.0 の試験片に及ぼすイオン窒化の影響を示したものである。イオン窒化の影響は高応力域でごくわずかに

Table 1 Chemical compositions

Material	Chemical compositions (mass%)							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V
SKD61 steel	0.37	1.04	0.39	0.02	0.002	5.22	1.23	0.84

見られるが応力の低下につれてイオン窒化の影響は全く見られなくなる。一方 HRc50.8 の試験片では、すべての試験応力域でイオン窒化の影響は全く見られず、母材に比べ、イオン窒化を施した試験片の疲労寿命が低下している (Fig.4)。破面観察の結果、イオン窒化を施した試験片においても疲労き裂は内部から発生していることが全ての試験片において観察されている。したがって、イオン窒化により表面を硬化しても疲労き裂の発生におよぼす表面硬化の影響が現れず疲労強度の改善効果が見られないと考えられる。この現象は硬さの低い HRc47.0 の試験片に比べ硬さの高い HRc50.8 の試験片で顕著に現れている。

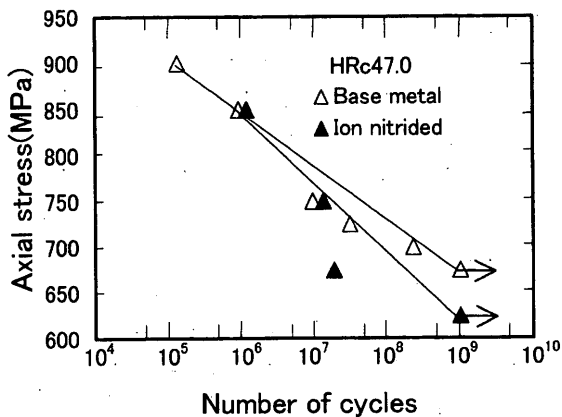


Fig.3 Effect of ion nitride on ultrasonic fatigue strength of SKD61 with HRc 47.0

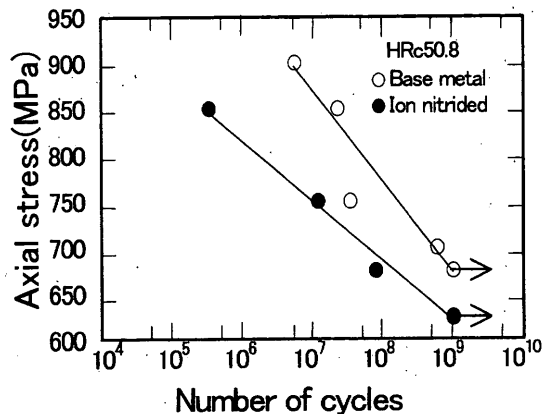


Fig.4 Effect of ion nitride on ultrasonic fatigue strength of SKD61 with HRc 50.8

母材では応力が低下するにつれ、き裂発生点が表面に近づく。一方、イオン窒化を施した試験片においては、応力が低下するにつれてより内部からき裂が発生する。Fig.5 に破面観察結果の一例を示す。内部介在物からのき裂発生が観察される [Fig.5 (b)]。き裂進展部においては粒内破壊が支配的である [Fig.5 (c)]。

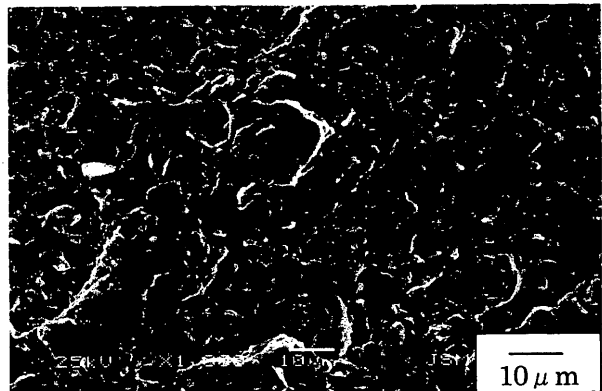
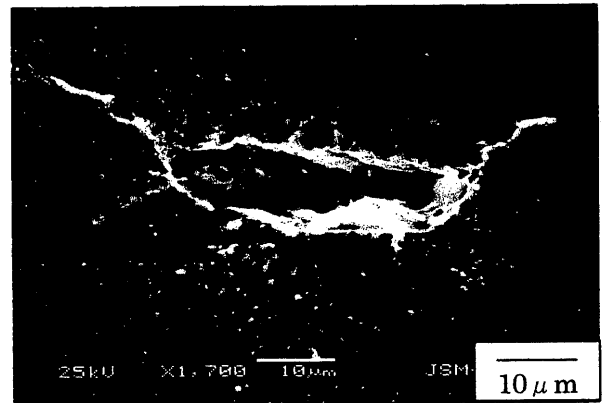
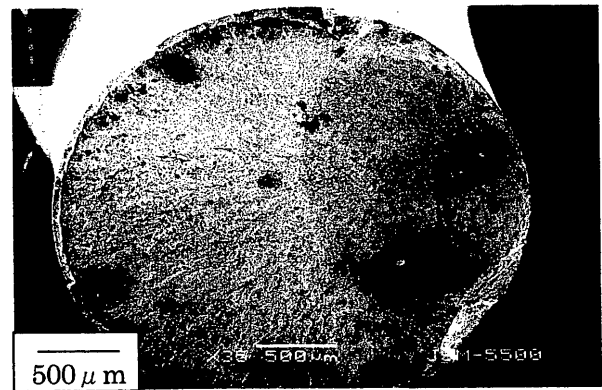


Fig.5 Fracture surface of SKD61 base metal with HRc50.8
850MPa 2.3×10^7 cycles

a) whole view b) crack initiation area c) crack propagation area

4 結 言

硬さの異なるSKD61鋼の超音波疲労試験の結果以下の結論を得た。

- 1) 母材硬さの影響は高応力域で大きく、低応力域ではほとんど認められない。
- 2) 母材硬さの相違によらず、イオン窒化による疲労強度の改善効果は見られない。

参考文献：省略