

大同特殊鋼

齊藤 誠

○葛西靖正

1. はじめに

鋼中における不純物の功罪については、古くから種々の研究がなされてきており、強度面からは少ないほどよい、とされている。しかし、実際の溶製にあたっては、不純物の混入を皆無にすることは不可能であり、実用面からの許容量を定量的に把握することが重要となってくる。そこで、高強度域($\sigma_B \geq 150 \text{ kgf/mm}^2$)で常用されるばね鋼(SUP7)と、中強度鋼($\sigma_B = 60 \sim 120 \text{ kgf/mm}^2$)で常用される強靱鋼(SCr440)とを対象として、強度特性(主に疲れ特性)に及ぼす介在物形成不純物(O, Ti, S)の影響を調べた結果を述べる。供試材は70 ton 電気炉溶製材から採取した。

2. ばね鋼

2.1 静的特性

酸素含有量の影響を調べた結果、引張特性・ねじり特性には影響はほとんどみられないが、破壊靱性には顕著な差がみられた(図1)。図中のULOはUltra-Low Oxygenの略称であり、RH脱ガス処理などにより酸素含有量を11 ppmにまで低減したものである。通常材では22 ppmであった。

2.2 疲れ特性

文献収集データを(*)主とした回転曲げ疲れ強さとかたさとの関係を図2に示す。大印はULO処理により酸素含有量を6~11 ppmとしたものである。図中のバンドの上・中・下限の領域の強さを示した材料の破壊の起点に観察された介在物の例を図3に示す。疲れ強さは Al_2O_3 、TiNといった介在物と密接な関連を有していることが明白である。そこで、O, Ti, Sの影響を調査した。

(*) たとえば、ばね論文集

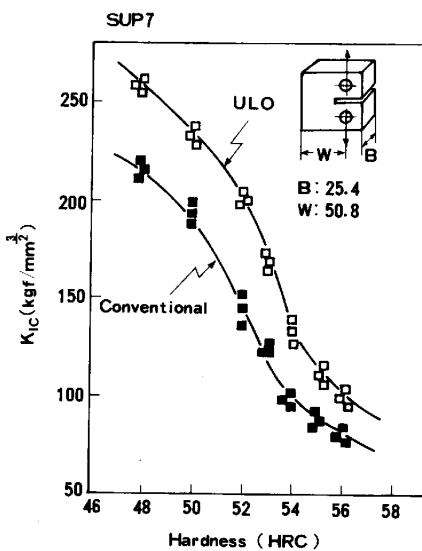


Fig.1 Fracture toughness of ULO-treated and conventional steels.

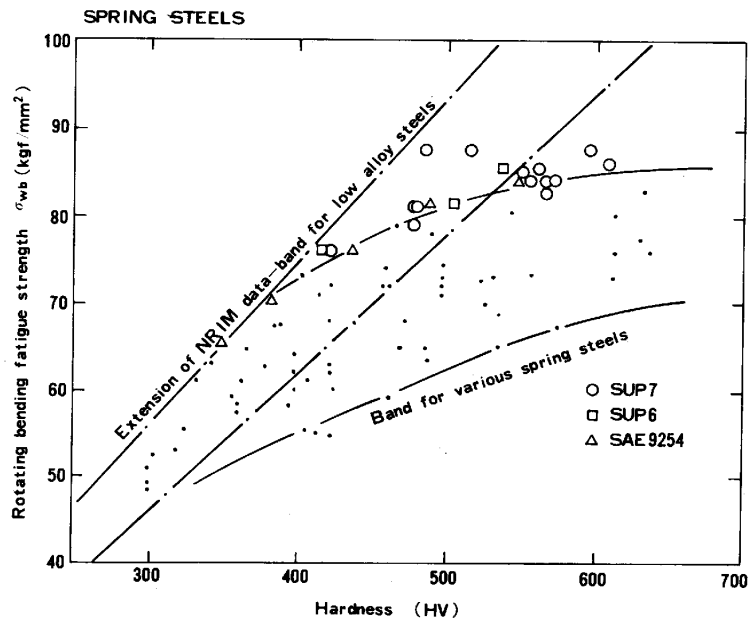


Fig.2 Relation between fatigue strength and hardness of various spring steels.

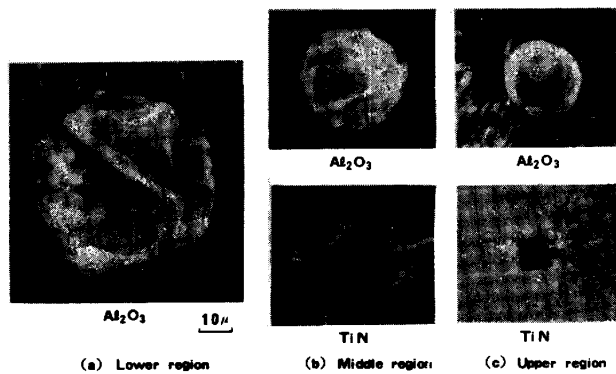


Fig.3 Variation of inclusions observed at origin of fatigue crack. Each region indicates the location in the data band.

(イ) O

HV500に調質し、応力振幅70 kgf/mm²で疲れ試験を行った場合の破断繰返数と酸素含有量との関係を図4に示す。低含有量では未破断が多いのに対し、高含有量では未破断・早期破断が混在し、ばらつきが大きくなっている。これは、酸素含有量すなわち介在物(Al₂O₃)総量のみならず、後述するように粒度分布も考慮しなければ整理しきれないことを示唆している。

(ロ) Ti

図5に溶製法を変化させた場合のTiNの粒度分布の違いを示す。測定は10 μm以上のものを対象とした。UL-TiNは原料の精選によりTi含有量を低減し(20~30 ppm)、さらに、溶製法の改善によりN含有量を低減する(40~60 ppm)ことにより、TiNの少量化と小径化とを合わせ達成する処理法である。ULO処理とUL-TiN処理とを併用することにより、疲れ特性は時間寿命・疲れ強さともに向上させることが可能である(図6)。図中の通常材のTi含有量は70 ppmであった。

50 kg 真空誘導炉溶製材のデータを図7に示すが、この場合には比較的高含有量まで疲れ強さはほぼ一定とみなせる。少量溶解のため、凝固速度が大きく、TiNの粒径が数 μm 以上には成長しえなかったことが、この原因と推測される。

(ハ) S

図8に50 kg 真空誘導炉溶製材のデータを示す。Sの場合には形成介在物MnSが応力負荷方向に伸延しているため、応力集中源とはなりがたく、高含有率まで低下がみられない。

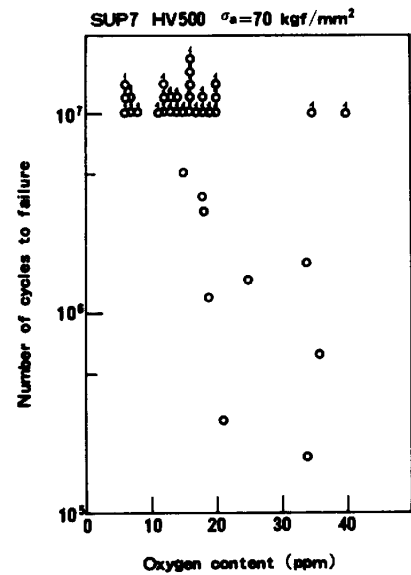


Fig.4 Effect of oxygen content on fatigue life.

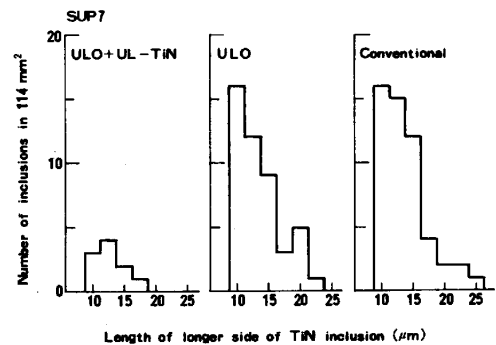


Fig.5 Size distribution of TiN inclusion.

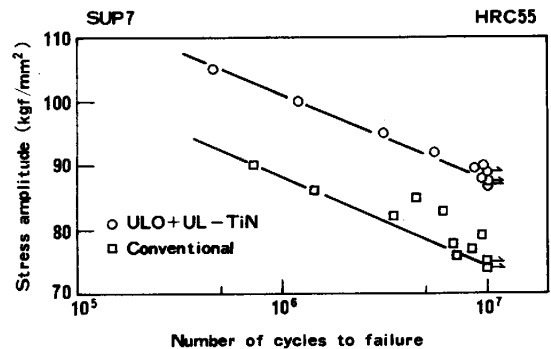
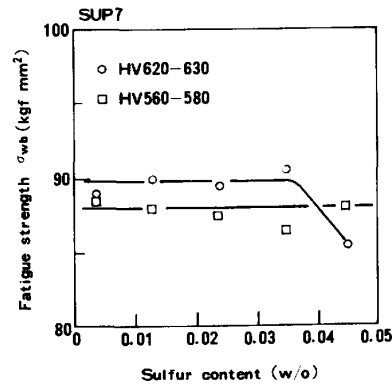
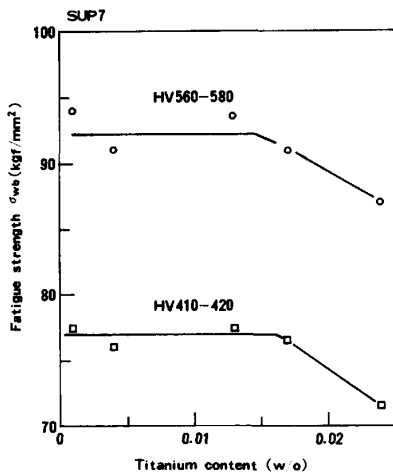


Fig.6 Effect of ULO+UL-TiN treatment on S-N curves.



Left
Fig.7 Effect of Ti content on fatigue strength. (50kg VIF, 0=11-14 ppm)

Right
Fig.8 Effect of S content on fatigue strength. (50kg VIF, 0=9-14 ppm)

3. 強靱鋼

3.1 各種強靱鋼の疲れ強さ

中炭素鋼, Cr鋼, Cr-Mo鋼, Ni-Cr鋼, Ni-Cr-Mo鋼を $\sigma_B=60\sim 120$ kgf/mm²に調質した場合の疲れ強さ比と酸素含有量との関係を図9に示す。酸素含有量の増加にともないばらつきが大きくなり, 疲れ強さ比の小さいものが現れている。このばらつき発生の原因を探ることを含めて, 疲れ特性に及ぼす含有酸素の影響を調べることを目的として, S Cr 440 を対象とし, 一連の実験を行った。

3.2 S Cr 440

酸素含有量の異なる(12~35 ppm)4チャージを採取

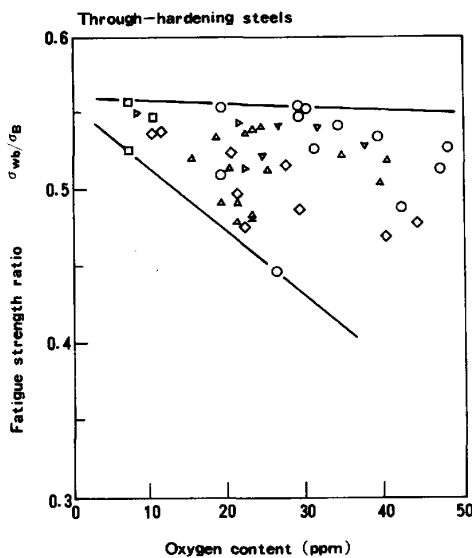


Fig.9 Relation between fatigue strength ratio and oxygen content of various through-hardening steels heat-treated to $\sigma_B=60-120$ kgf/mm².

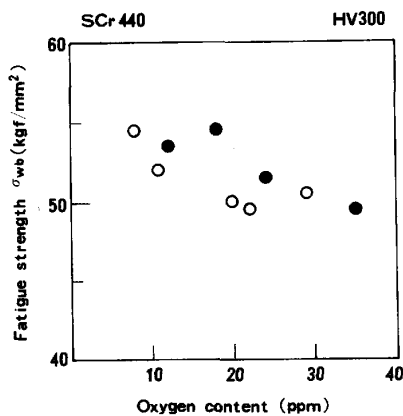


Fig.10 Effect of oxygen content on fatigue strength. ● marks were obtained by 25 specimens staircase method.

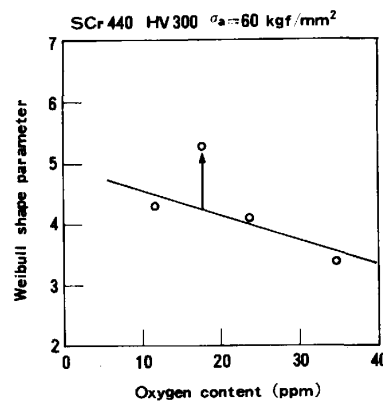


Fig.11 Effect of oxygen content on Weibull shape parameter of fatigue life.

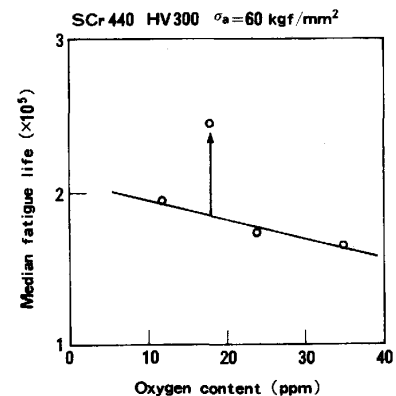


Fig.12 Effect of oxygen content on median fatigue life.

し供試材とした。

(イ) 疲れ特性

かたき一定 (HV 300) の試片を 25 本準備し、ステアケース法による疲れ強さ試験に供した。階差は 1 kgf/mm²とした。結果を図 10 に示す。図中の白丸は他チャージのデータであり、これらは 1 チャージ当り数本の試片で疲れ強さを求めたものである。ばらつきはあるものの酸素含有量の増加にともない疲れ強さは低下している。

次に、応力振幅 60 kgf/mm²一定で時間寿命試験を行った。寿命を Weibull 解析した結果を図 11, 12 に示す。位置のパラメータは 4 チャージとともに零とみなしえた。図 11 より、18 ppm の 1 点を除けば、寿命のばらつきは酸素含有量の増加とともに大きくなる傾向にある。また、4 チャージとも正規分布に近い寿命分布を示している。従って、図 12 より、18 ppm の 1 点を除き、平均寿命は酸素含有量の増加にともない短くなるのがわかる。

(ロ) 介在物特性

各チャージ 500 gr 程度を温硫酸法により溶解し、介在物を抽出した。図 13 に抽出介在物重量と酸素含有量との関係を示す。図中の Al₂O₃ を仮定した直線とよく一致しており、また、X 線回折により、Al₂O₃ であることが固定された。抽出した介在物の粒度分布を電気抵抗法により測定し、図 14 を得た。最大測定可能粒径は 50 μm としたが、いずれのチャージにおいても 16 μm 以上のものは検出されなかった。図の縦軸は横軸粒子径の粒子の占める体積割合を示している。図よりみて、酸素含有量 18 ppm のチャージのみは大径粒子の割合が小さく、小径粒子の割合が大きい。他 3 チャージは酸素含有量の多少に関係なく 3 μm 内外の粒子の占める体積が一番大きく、また、12.7 μm の粒子も存在している。

従って、酸素含有量の増加による疲れ強さの低下 (図 10)、時間寿命のばらつきの増大 (図 11)、平均寿命の増大 (図 12) は介在物 (Al₂O₃) の個数の増加に起因し、それらにばらつきを与えるのは介在物粒径分布の違いであると推測される。

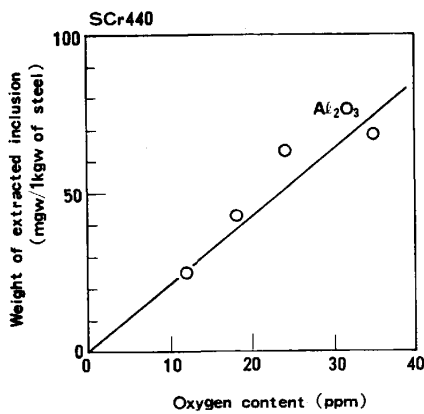


Fig.13 Relation between weight of extracted inclusion and oxygen content. Hot-H₂SO₄ method was employed in extraction.

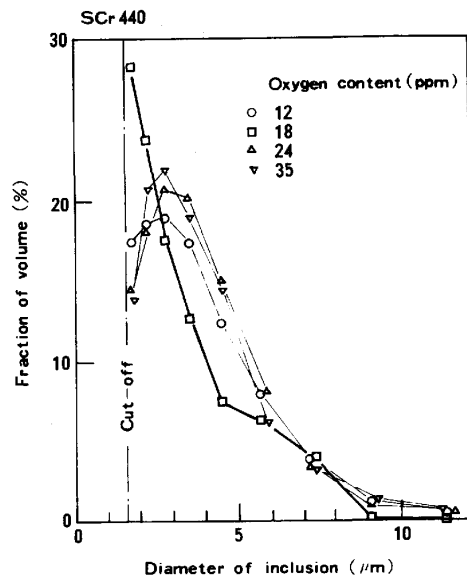


Fig.14 Plotting of fraction of volume and diameter of extracted inclusion.