

# 111 2相ステンレス鋼の変形挙動および加工材の疲労強度特性

姫路工大<sup>o</sup> 深浦 健三, 平郡 秀幸, 泉 久司  
 大阪大学工学部 川辺 秀昭

## 1 まえがき

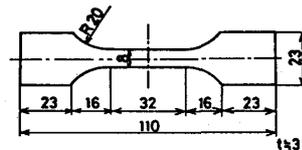
( $\alpha+\gamma$ ) 2相ステンレス鋼の強度特性を明らかにするためには $\alpha$ 、 $\gamma$ 各相内でのそれぞれの変形挙動について詳細に検討することが肝要である。しかし、本鋼は結晶粒が微細であり、かつ $\alpha$ 、 $\gamma$ 両相ともに延性に富むため、そのミクロ的解明は十分とは云い難いように思われる。そこで本研究は引張、圧延加工あるいは繰り返し応力を受けたときの $\alpha$ 、 $\gamma$ 各相内での変形挙動を透過電子顕微鏡、あるいはX線回折法を利用することによって微視的な立場から検討することを試みたものであり、さらに疲労強度に及ぼす前加工の影響についても調査したので報告する。

表1 供試材の化学組成 (mass%)

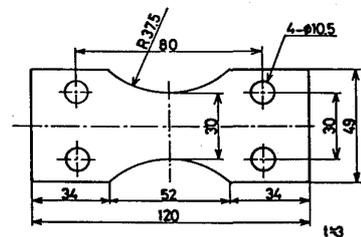
material	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	N	Nb
SUS 329J1	0.014	0.46	0.36	0.030	0.007	4.14	24.87	1.71	0.14	
SUS 444	0.011	0.37	0.15	0.021	0.002	0.22	18.71	2.26	0.015	0.28
SUS 304	0.06	0.52	1.07	0.030	0.009	8.75	18.33			

## 2. 供試材および実験方法

供試材は SUS 329J1, SUS 444 および SUS 304 型鋼で、それぞれの化学組成は表1に示す。これを図1に示すような試験片形状に機械加工後、溶体化処理を施したものを標準材とした。疲労試験はシエンフ型疲労試験機を用いて行なった。TEM組織観察用薄膜試料は疲労試験片の最表面部より採取した。X線を用いて残留応力あるいは半価中と測定したが、その時の回折面は(211) $\alpha$ 、(311) $\gamma$  および(220) $\gamma$  である。なお半価中として通常、回折線ピーク高さの1/2での回折線の中をとりが、ここでは1/3高さでの中を測定した。また疲労強度に及ぼす前加工の影響を調べるために圧延、および引張加工によって0~25%の加工度を与えた。さらに変形にともなう硬化挙動を知る目的で微小ビッカース硬度計を用いて $\alpha$ 、 $\gamma$ 各相の硬度を測定した。



(a) 引張試験片



(b) 疲労試験片

図1 引張および疲労試験片の形状と寸法

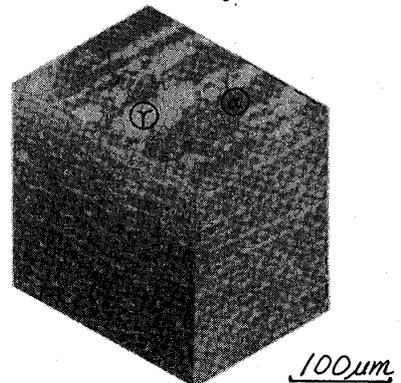


図2. 2相ステンレス鋼の光学顕微鏡組織

## 3 実験結果および考察

図2に標準材の光学顕微鏡組織を示す。黒く着色されているのが $\alpha$ 相で、白色は $\gamma$ 相である。 $\gamma$ 相は層状で存在していることがわかる。 $\alpha$ 相体積率は約60%で、本実験の加工範囲内では $\alpha'$ マルテンサイトの生成はみられなかった。図3には引張応力を与えたときの( $\alpha+\gamma$ )相の硬度、および $\alpha$ 、 $\gamma$ 各相の硬度変化を示す。応力が増すに従って、

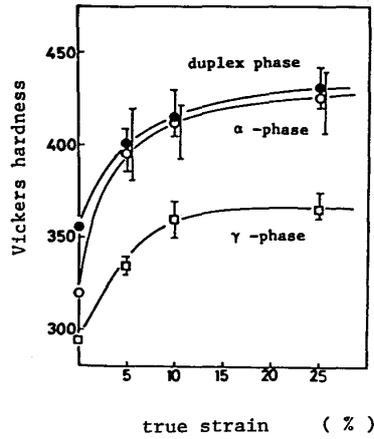


図3.  $(\alpha+\gamma)$ 相 および  $\alpha$ 相,  $\gamma$ 相の硬度と引張伸びの関係

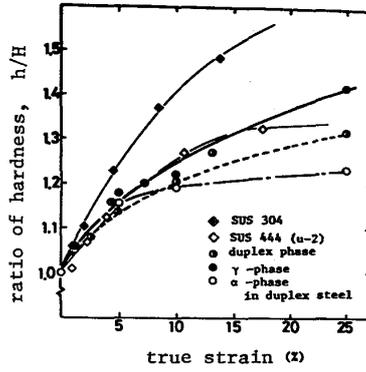


図4. 2相ステンレス鋼と  $\alpha$ ,  $\gamma$ 各単相鋼との硬度比較

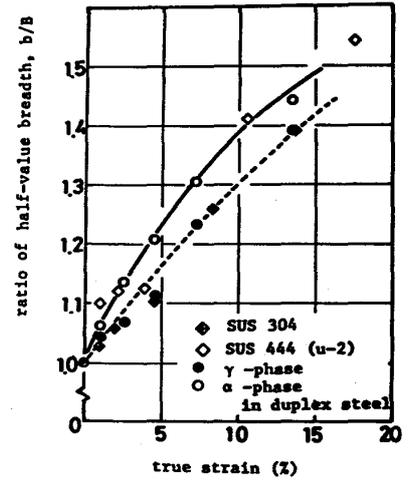
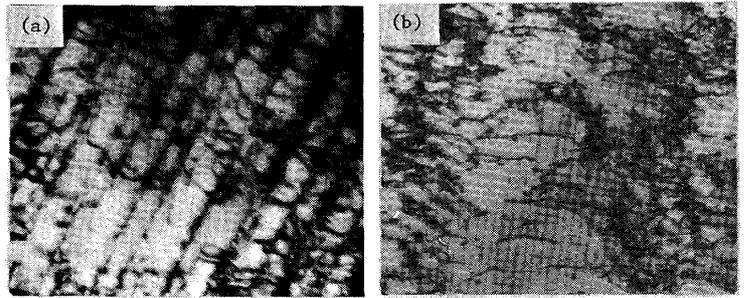


図5. 引張伸びとX線半値巾変化との関係

硬度は上昇している。2相ステンレス鋼中の $\alpha$ ,  $\gamma$ 各相の硬度変化と $\alpha$ および $\gamma$ 単相鋼のものとの比較した結果を図4に示す。 $\alpha$ ,  $\gamma$ 各相の硬化挙動はそれぞれ単相鋼のものに類似していることがわかる。図5には同じく伸びと半値巾の関係と $\alpha$ ,  $\gamma$ 各単相鋼の場合と比較したものである。2相ステンレス鋼中の $\alpha$ ,  $\gamma$ 各相の半値巾の変化はそれぞれ単相材のものに非常に良い一致を示している。これらのことより、

0.5  $\mu$ m



(a)  $\gamma$ 相

(b)  $\alpha$ 相

図6. 引張伸び  $\epsilon_t = 10\%$  でのTEM組織

本実験に用いた2相ステンレス鋼中の $\alpha$ ,  $\gamma$ 各相の静的変形挙動は等伸びモデル的と考えて差しつかえなりのと思われる。図6は引張伸び  $\epsilon_t = 10\%$  でのTEM組織を観察した一例である。 $\alpha$ 相では転位の均一分布が特徴で、伸びが増すと従って転位密度は高くなり、 $\epsilon_t = 25\%$  ではセル組織がみられた。一方、 $\gamma$ 相は低伸び域では転位の粒界への集積と積層欠陥が多くみられ、伸びが増すと転位配列は図に示すようにプラナーとなり、 $\epsilon_t = 25\%$  ではエマルゼンサイトも階層にみられた。なお、圧延加工でもほぼ同様な組織変化であった。図7には引張伸びと転位密度の関係を示す。各相における転位密度変化はX線による半値巾の変化とほぼ同様な変化をしていることがわかる。図8は標準材および前加工材のS-N

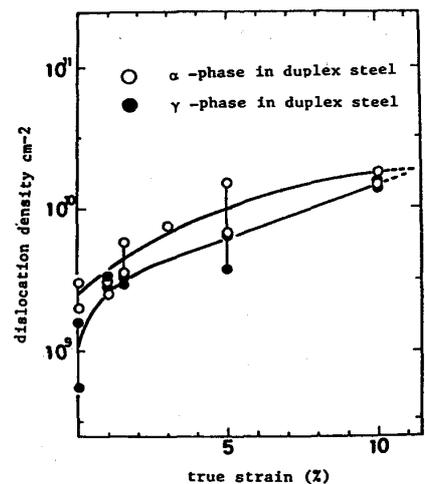


図7. 引張伸びによる転位密度の変化

曲線を示す。前加工を施すことによつて疲労限度は高くなり寿命も長くなることゝがわかる。しかし、圧延加工材は同一引張り量の引張前加工材に比べ疲労限度の上昇率は低い。図9は標準材の疲労による転位組織を観察した一例を示す。 $\gamma$ 相では疲労初期に粒界への転位の集積がみられ、くり返し数が増すにつれ積層欠陥が顕われ、その後、転位配列はアラナーになつてくるのが特徴である。一方、 $\alpha$ 相では転位密度の増大と多数の転位ループがみられた。しかし疲労ではセル組織は観察されなかった。転位密度とくり返し数との関係と図10に示す。 $\alpha$ 相では疲労初期に転位密度は急激に上昇するが、その後の転位密度の上昇は小さい。一方、 $\gamma$ 相でも初期の転位密度の上昇は大きい、その後くり返し数の増加に従つて増えていくことがわかる。このような転位密度の変化、あるいは図9で示したような $\gamma$ 相内での転位の粒界や相境界への集積とアラナーな転位配列が疲労挙動を支配していることが推察される。前加工材では転位の再配列した結果と思われる転位ループやセル組織が $\alpha$ 相内でみられるが、 $\gamma$ 相内では疲労による組織変化は特に認められなかった。このことより前加工材の疲労では疲労き裂発生や伝播挙動が標準材とは異なっていることが予想される。

4 まとめ

2相ステンレス鋼を引張変形した時の $\alpha$ 、 $\gamma$ 相の変形挙動は、各単相鋼のものと変化なく、定か引張りモデルで近似できることがわかった。しかし疲労においては $\gamma$ 相内での転位の配列と密接に関係しているものと思われる。

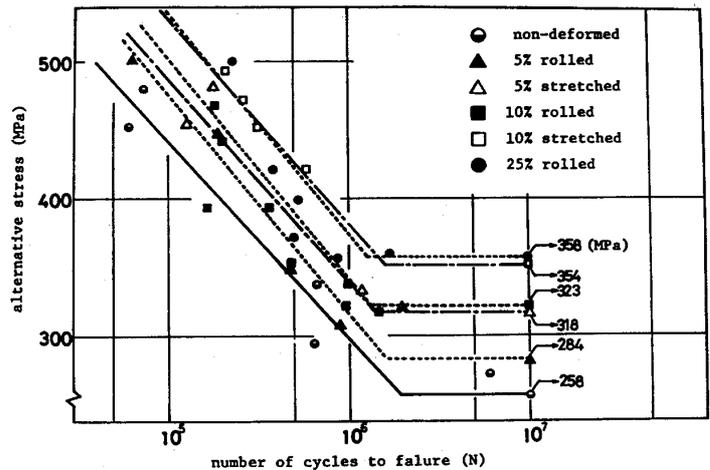


図8. 前加工された2相ステンレス鋼のS-N曲線

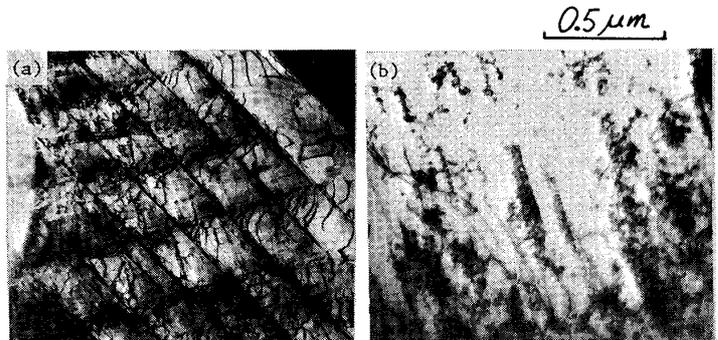


図9. 疲労過程中的の転位組織

(a)  $\gamma$ 相  $\sigma_a = 340\text{MPa}$ ,  $N_f/N_f = 0.8$   
 (b)  $\alpha$ 相  $\sigma_a = 340\text{MPa}$ ,  $N_f/N_f = 0.4$

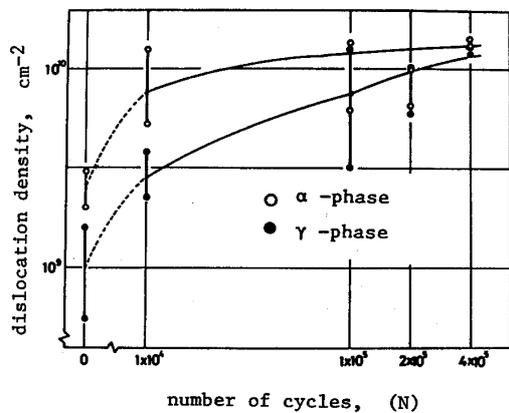


図10. 疲労による転位密度変化