

文 献

- 1) E. EPREMIAN and E. F. NIPPES: Trans. Soc. Metals, 40 (1948), P. 870
- 2) 溶接学会第2回講習会「高張力鋼の溶接」(1962), p. 1

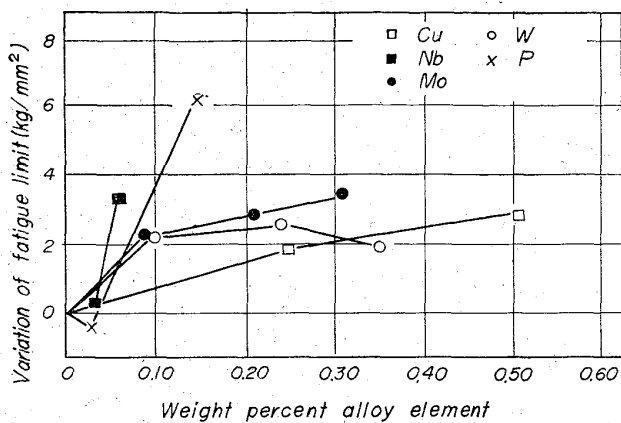


Fig. 3. The variation of fatigue limit versus weight percent of alloying element.

引張強サと、ほぼ同じと考えられる。

全伸びはほぼ強度と逆の関係にあり、絞りについても同じ関係である。

3.2 疲労試験

疲労限と引張強サとの間には経験的に巾は広いが一定の関係が成立するとされており、今回の実験でも Fig. 2 のようにばらつきの小さい関係は得られている。この関係から疲労限におよぼす合金元素の影響を補正して求めるのに、先の鈴木・木原の $C_{eq.}$ (引張強サ) の式を利用して実用上ほとんどさしつかえないであろう。この補正を行なった結果を Fig. 3 に示した。すなわち合金元素の添加による疲労限の増加は、 $Nb > P > Mo > W > Cu$ の順であり、引張強サの順序と P, Nb が入れかわっているだけである。疲労特性については単に合金元素の固溶強化のほか、mean ferrite path を通じて析出物の影響をも考える必要がある。Nb はすでに多くの報告でみられるように、炭・窒化物の形成により結晶粒の微細化とともにフェライト結晶粒がひずむことが多いから、あるいはこうした金属組織の変化を通じて Nb の影響はより大きくあらわれたとも考えられる。しかしながら他の元素については、その強化順位が引張強サの場合と同じであり、同じ固溶強化機構を通じて合金元素の効果があらわれたものといえよう。

4. 結 言

以上の結果を要約すると、極軟鋼に P, Mo, W, Cu, Nb といった非脱酸性合金元素を実験的に単独添加して、機械的性質・疲労限への効果を検討した。

(1) 引張強サ・降伏点は合金元素の添加により増加する。その効果は $P > Nb > Mo > W > Cu$ の順であり、各原子の大きさとの間に関係が認められ、Nb のほかは固溶機構により強化が生じたものと考えられる。

(2) 全伸び・絞りについての合金元素の効果は、引張強サ・降伏点と全く逆の関係にある。

(3) 繰返し両振り疲労限についての合金元素の効果は引張強サと同じ傾向にあるが、Nb は析出細粒化傾向の強いいためか最も疲労限を上昇させ、 $Nb > P > Mo > W > Cu$ の順になる。

(4) 繰返し振り疲労限について介在物の影響は特に認められなかつた。

(151) 鋼の疲労強度におよぼすオーステナイト結晶粒度の影響

山陽特殊製鋼

工博 結城 晋・梶川和男・○坪田一一

The Effect of Austenite Grain Size on the Fatigue Strength of Steel.

Dr. Susumu YŪKI, Kazuo KAZIKAWA and Kazuichi TSUBOTA.

1. 緒 言

鋼の疲労強度におよぼすオーステナイト結晶粒度の影響に関しては、従来種々の実験が行なわれている。しかしこれらの研究は主として、オーステナイト結晶粒度自体と疲労強度とを関連づけたもので、結晶粒度の異なる鋼に浸炭を行なつて、これらの関係を調査したものはあまりないようである。そこで結晶粒度の異なる鋼に浸炭を行ない、疲労強度におよぼすオーステナイト結晶粒度の影響を調査した。

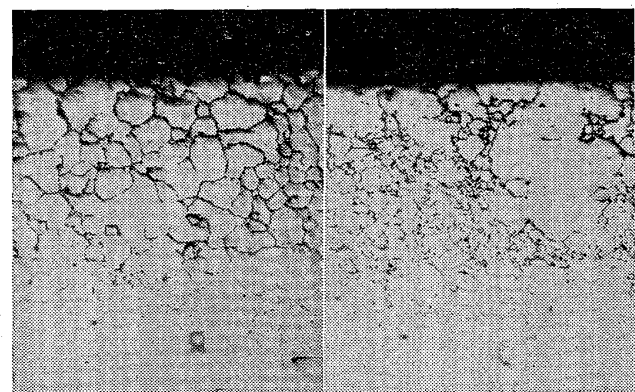
2. 供 試 材

供試材は Table 1 に示す化学成分のもので、ほぼ JIS SCR 22 に該当するものである。これら 4 ヒートを 100 kg 高周波炉にて溶製し、Al 投入量を変化させて結晶粒度を調整し、その後鍛造工場にて 20 ϕ に鍛伸した。Table 1 に示すごとく、鋼番 A は粗粒であり、かつ整粒であり、鋼番 B は混粒である。なお、比較のために、結晶粒度の正常なものを 2 ヒート用いた。

Specimen A, B の JIS 浸炭粒度判定試験における浸炭組織を Photo. 1 に示す。明らかに A は粗粒かつ整粒であり、B は粗粒かつ混在型の粒度分布をしている。

3. 実験方法

オーステナイト結晶粒度の疲労強度におよぼす影響を調査するために、1) 浸炭焼入後、S-N 曲線の作成、2) 浸



(a) heat A, (b) heat B

Photo. 1. Austenite grain size by carburizing method.

Table 1. Chemical composition of specimens (wt.%).

Heat	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Sol. Al	Austenite grain size
A	0.19	0.18	0.90	0.011	0.011	0.08	0.86	0.02	0.13	0.008	3.2 (coarse grain)
B	0.20	0.30	0.82	0.013	0.011	0.08	0.79	0.02	0.13	0.012	3.9 (mixed grain)
C	0.18	0.30	0.80	0.013	0.016	0.08	0.84	0.02	0.14	0.043	6.5 (fine grain)
D	0.16	0.33	0.86	0.014	0.019	0.09	0.81	0.03	0.17	0.039	7.1 (fine grain)

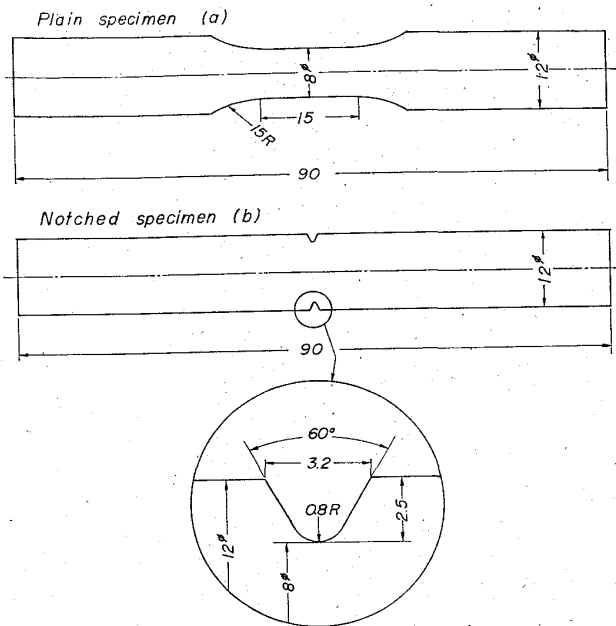


Fig. 1. Specimens for rotating bending fatigue test.

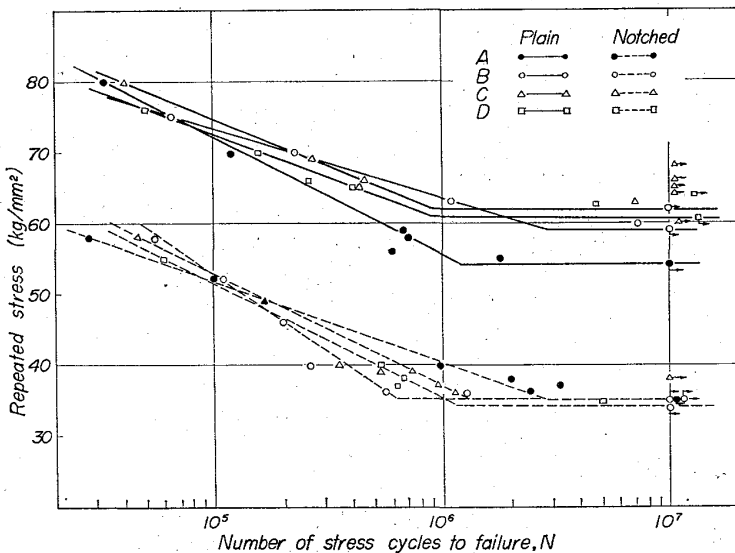


Fig. 2. S-N diagram of each heat.

炭焼入後、一定応力下での疲労挙動のバランスをみるための定応力試験²⁾、3) 低温衝撃試験を行なった。

3.1 S-N曲線

各供試材を 945°C にて焼準後、小野式回転曲げ疲労試験片 (Fig. 1-a, b) を作成し、915°C × 6hr ガス浸炭後、歪防止のために 860°C より 150°C × 3 min のマルクエンチを行ない、170°C × 1hr の焼戻を行なった。そ

Table 2. Fatigue limits of each heat.

Heat	Fatigue limits (kg/mm ²)	
	Plain specimen	Notched specimen
A	54.0	35.0
B	59.0	35.0
C	62.0	35.0
D	61.0	34.0

の後試験片硬度 HRC 57.0 以上のもので、小野式回転曲げ疲労試験機 (3400 r.p.m. max 10 kg-m) を用いて、S-N 曲線を作成し、疲労限を求めた。有効浸炭深さは、0.7~0.8 mm を目標とした。

3.2 定応力試験

各供試材を 945°C にて焼準後、Fig. 1-a の平滑試験片を作成し、915°C × 6hr ガス浸炭後、860°C より 150°C × 3 min のマルクエンチを行なった。その後 830°C より油焼入を行ない、170°C × 1hr の焼戻を行なった。この再焼入を行なったのはマルクエンチのみでは十分硬度が揃わなかったためである。この処理によって表面硬度、コア硬度とも、満足すべき均一性が得られた。

3.3 低温衝撃試験

この実験に用いたのは、945°C で焼準後、JIS 3号試験片に切削し、熱処理は、860°C 油焼入後 170°C にて焼戻を行なった。低温での保持は、フィリップ社製ガス液化装置を用いて行ない、試片取出後、3 sec 以内に試験が終わるようにした。

4. 実験結果と考察

4.1 S-N曲線

実験結果を Fig. 2 に示す。各試験のガス浸炭熱処理後の硬度は、表面硬度 HRC57~62 であった。この程度の硬度の差は疲労強度には、あまり影響がないと考えてよいと思われる。これらの試験結果から疲労限のみをまとめると、Table 2 のようになる。Table 2 からわかるように plain specimen の場合は、粗粒のヒートは、細粒のものより疲労強度が劣っており、これは粗粒かつ整粒のヒート A において著しい。しかし、粗粒であっても混粒であるヒート B の疲労強度は細粒のものともあまり差のないことを示している。さらに、notched specimens では、ABCD とともに疲労強度に差がない。一般に試験片の疲労の切欠感度は細粒の金属中では増加し、粗粒の場合は減少するといわれている³⁾。したがってこの場合、切欠が大きい場合は、切欠感度と材

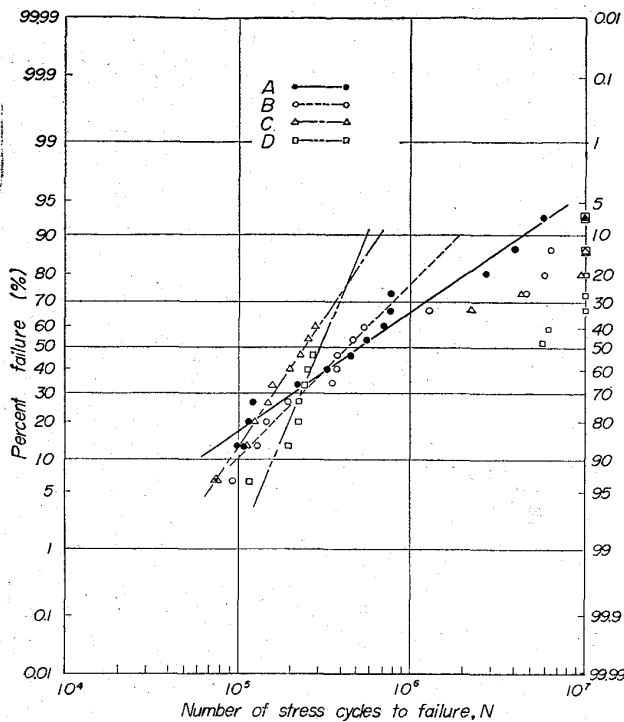


Fig. 3. Distribution of percent failure.

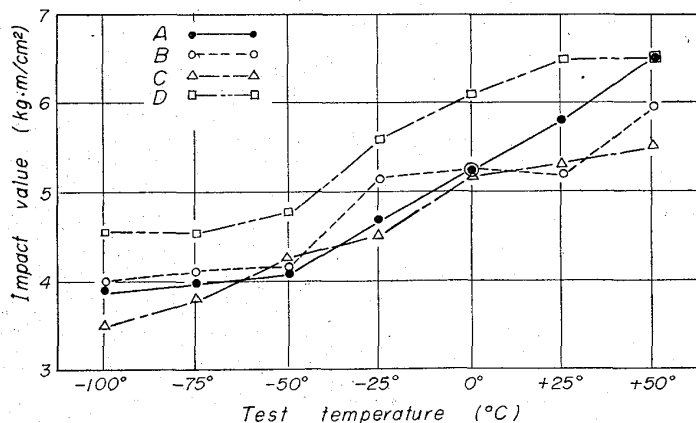


Fig. 4. Impact value versus test temperature for each heat.

力自体の相関によつて、粒度の差に原因する疲労強度の減少は少なく、切欠がない場合は、粒度の差が大きく現われるように思われる。

細粒鋼と粗粒鋼で疲労強度に差があるのは、結晶粒界と粒内とで機械的な強度に差があることによるとされている。したがつて、疲労によつて結晶粒内に slip band が生成されると、応力の繰返し数が増加するにつれて、この slip band が拡大して疲労クラックに成長してゆくわけであるが、このときに、細粒であれば結晶粒界で阻止される確率が高いため、試験片全体に疲労クラックの伝播が拡がらず、結局疲労強度は大きいことになるわけであるが、粗粒の場合は、これら疲労クラックの伝播が比較的容易であるため、疲労強度は劣ることになると説明されている⁴⁾。

混粒鋼で、Photo. 1に見られるように粗粒のまわりに細粒の存在するような、いわゆる混在型の粒度分布を示

すものでは、粗粒部を通過した疲労クラックがそのまわりの細粒部で再び阻止される確率が高いため、かなり大きな疲労強度を示すものと考えられている。いずれにせよ、粗粒と細粒による強度差は約 10% で、設計時の安全係数に含まれてしまうと考えられ、実用上問題のない強度と考えられる。

4.2 定応力試験

この実験は、一定応力で各ヒートの疲労破壊確率分布を調べるために行なつた。実験結果を Fig. 3 に示す。この図は、破壊確率を対数正規分布上にプロットしたものであるが、やはり、上述の傾向が現われている。したがつて、一般に細粒鋼ほど、疲労強度の再現性があると考えられる。この場合もヒート B は、細粒鋼に近い傾向を示しており、混粒鋼で混在型分布のものは、細粒鋼とほぼ同一の性状を持つとみてよいと考えられる。

4.3 低温衝撃試験

従来からいわれているように、鋼の遷移温度は、結晶粒が微細であるほど、低温側へ移行し⁵⁾、かつ衝撃値は高い⁶⁾。前述した疲労強度は安全係数の範囲内で一応、問題のない強度であることを示したが、低温での強度、とくに衝撃値が著しく劣るようでは、実用上使用不可能となるので、本実験を行なつた。測定温度範囲は、+50 ~ -100°C に限定した。各 specimen とともにほぼ同様の衝撃値を示した。実験結果を Fig. 4 に示す。

5. 結 言

以上の実験結果から、鋼の疲労強度におよぼすオーステナイト結晶粒度の影響をヒートの細粒鋼と粗粒鋼で試験したが、約 10% の疲労強度の差となつて現われた。この程度の差は、当然部品設計上の安全係数の中に含まれてしまうため、問題とする程度の差ではない。また低温衝撃試験でもその差は、ほとんどなく、問題はないと考えられる。とくにこの実験で判明したことは、後に結晶粒度が粗粒となつても、混在型分布を示す粗粒鋼は、細粒鋼とほとんど同一の疲労強度を有することがわかつた。これは、疲労クラックの伝播について、従来考えられていた説を実証するものである。さらに同一ヒート内で粗粒鋼と細粒鋼を作り、粒度の影響を再確認したいと考えている。

文 献

- 1) 例えば
G. M. SINCLAIR and T. J. DOLAN : Proc. ASTM., 50 (1950), p. 587
- 2) 河本: 金属の疲労, (1962), p. 40
- 3) R. W. KARRY and T. J. DOLAN : Proc. ASTM., 53 (1953), p. 789
- 4) M. K. LENSIT, M. HOLZMANN, P. DUKAS, P. RYS: J. Iron & Steel Inst.(U. K.), 203(1965), p. 47
- 5) E. C. BAIN : Function of Alloying Element in Steel, (1939), p. 55
- 6) S. A. HERRES and C. H. DARIG : Trans. Amer. Soc. Metals, 40 (1948), p. 809