

切欠きを含む S45C 材の回転曲げ疲労の実験的研究*

芳賀 武** 関川 三男***

1. 緒 言

破壊現象において、特に疲労破壊は機械工業界の中で重視されている問題であり、この疲労破壊は平滑材^{1)~6)}においても起こりうる現象である。切欠き材の場合は平滑材と異なり切欠き部に集中応力が作用し疲労が進行し、き裂が拡大され、破壊する。すなわち切欠きを入れることにより疲労限は低下するのが普通である。しかしながら切欠き形状の種類によって疲労限がどのように変化するかは明らかでない場合が多い。そこで筆者らは、10種類の形状について実験を行い、平滑材の場合と比較した。

試験片は市販の S45C 材を用い、平滑材と $\phi 1\text{mm}$ 穴、 $\phi 2\text{mm}$ 穴、 $\phi 3\text{mm}$ 穴、 $\phi 4\text{mm}$ 穴、 $\phi 5\text{mm}$ 穴、 $\phi 1\text{mm}$ 穴 cross、 $\phi 1\text{mm}$ 穴 (1/2)、環状 V-notch および plane 材の計 10 種類の形状について、疲労試験を行い、疲労限の変化を調べ、破面については、光学顕微鏡（以後光頭とする）および電子顕微鏡（以後電頭とする）を用い、切欠き形状による疲労破壊現象の特徴を観察し、比較検討した結果を報告する。

2. 試験片および試験方法

Table 1 Chemical Compositions S45C (Wt%)

C	Si	Mn	P	S
0.45	0.29	0.79	0.025	0.03

Table 2 Mechanical Properties of Specimen

Yielding Point (kg/mm ²)	Tensile Strength (kg/mm ²)	Elongation (%)	Reduction (%)
37.7	64.4	29	45

試験片の化学成分を Table 1 に、機械的性質を Table 2 に示す。熱処理は 850°C で 1 時間行った後に、Fig. 1 に示すような形状寸法に仕上げた。Fig. 1 を平滑材とし、つぎの 9 種類の切欠きを入れ、それぞれ試験片を行った。

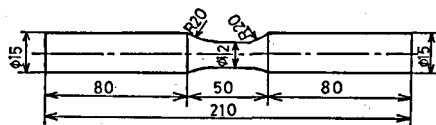


Fig. 1 Form and Dimension of Fatigue Test Specimen.

(4) 中央部断面に $\phi 1\text{mm}$ 穴、 $\phi 2\text{mm}$ 穴、 $\phi 3\text{mm}$ 穴、 $\phi 4\text{mm}$ 穴 および $\phi 5\text{mm}$ 穴を貫通さ

* 昭和56年3月12日 日本機械学会 北陸信越学生会 第10回学生員卒業研究発表講演会にて発表

** 機械工学科 講師

*** 機械工学科 教授

原稿受付 昭和58年9月30日

せた。

- (ロ) $\phi 1\text{mm cross}$ とは、中央部断面に $\phi 1\text{mm}$ 穴を直角に 2 本の穴を貫通させた。
- (ハ) $\phi 1\text{mm}(1/2)$ とは、中央部断面に $\phi 1\text{mm}$ 穴を半分だけあけた。
- (ニ) 環状 V-notch とは、中央部断面に角度 45° 、深さ 1mm の V-notch をつけた。
- (ホ) plane とは、中央部断面の上下 2 面をフライス加工した。

試験機は、小野式回転曲げ疲労試験機 (3420 r. p. m.) を用い、平滑材と切欠き材 9 種類について、S-N 曲線を製作し、この S-N 曲線より切欠き係数 β を求めた。また破面については、光学および電子顕微鏡より観察を行った。

3. 結果および考察

3-1 S-N 曲線および切欠き係数 β について

回転曲げ疲労試験より得られた S-N 曲線を、Fig. 2 と Fig. 3 に示す。Fig. 2 は切欠き形状が $\phi 1\text{mm}$ 穴、 $\phi 2\text{mm}$ 穴、 $\phi 3\text{mm}$ 穴、 $\phi 4\text{mm}$ 穴および $\phi 5\text{mm}$ 穴材における S-N 曲線で、穴の形状が大きくなるにしたがい、疲労限は低下しているが、 $\phi 3\text{mm}$ 穴までは勾配が同じ傾向であるのに対し、 $\phi 4\text{mm}$ 穴と $\phi 5\text{mm}$ 穴は急激にゆるやかに成っている。これは ϕ

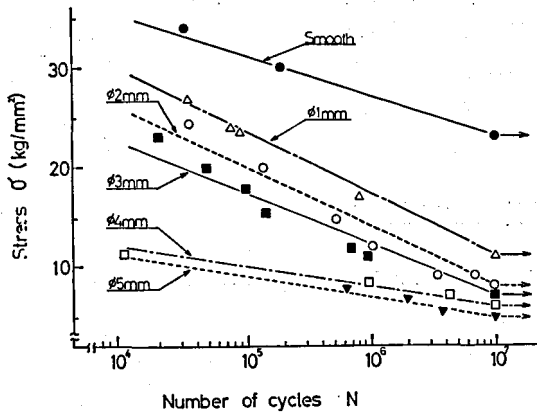


Fig. 2 S-N Curve.

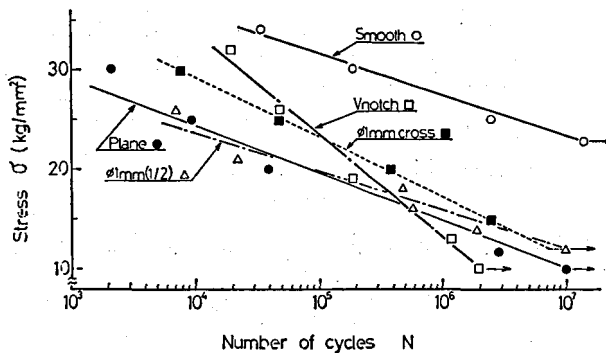


Fig. 3 S-N Curve.

3mm 穴までは応力集中の影響があるが、 $\phi 4\text{mm}$ 穴以上は、応力集中というより断面積減少の状態に成っていると考えられる。

Fig. 3 は $\phi 1\text{mm cross}$ 、 $\phi 1\text{mm}(1/2)$ 、環状 V-notch および plane 材における S-N 曲線を示す。環状 V-notch 材の疲労限は低く、つぎに plane 材で、 $\phi 1\text{mm cross}$ 材と $\phi 1\text{mm}(1/2)$ 材では、ほぼ同程度の疲労限を有する。中でも環状 V-notch 材は先端部が鋭い角度が環状にあるため、全表面から疲労が進展し、crack の進行状態が早いものと考えられる。また plane 材は、両面が平面部として存在するため、厚い板材と同様な現象を示し、両平面部にせん断作用がおこるために疲労限が低下するものと考えられる。

Table 3 は各切欠き形

Table 3 Fatigue Strength Reduction Factor (β)

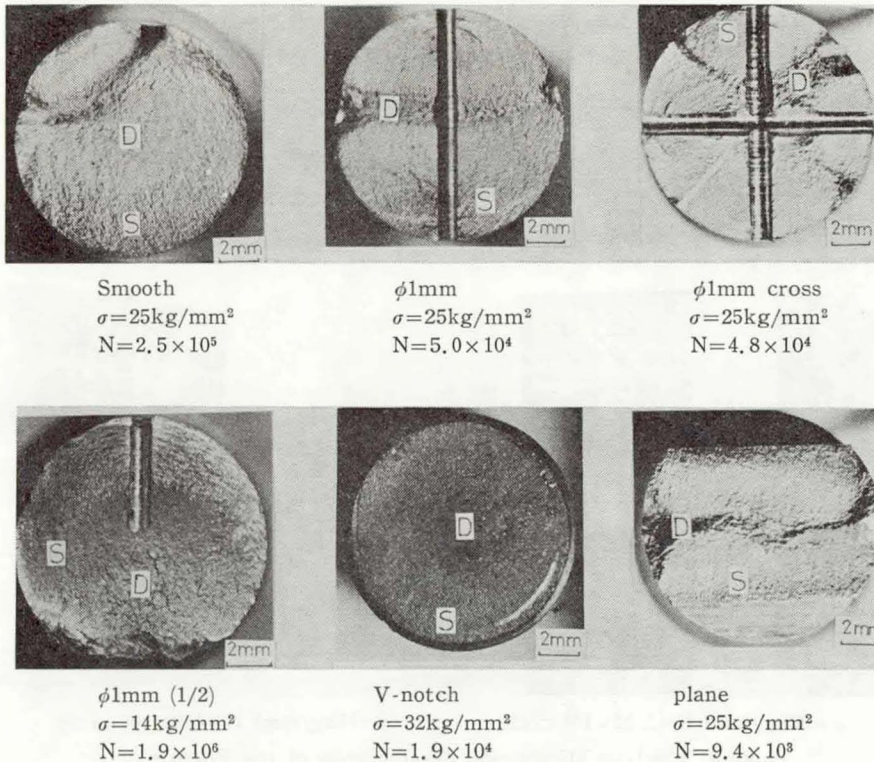
$$\beta = \frac{\sigma_0 \text{ (Smooth Specimen Fatigue Limit)}}{\sigma \text{ (Specimen With A Notch Fatigue Limit)}}$$

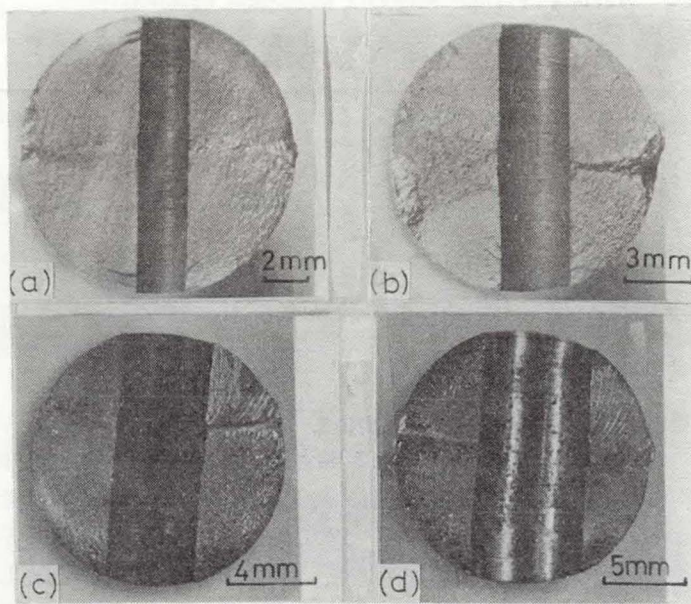
	(ϕ 1mm cross)	ϕ 1mm (1/2)	ϕ 1mm	V-notch	Plane
β	1.9	1.9	2.3	2.3	2.3

状の中の代表的形状における切欠き係数 β を表わしたものであり、計算結果によれば、 ϕ 1mm cross材と ϕ 1mm (1/2)材は1.9であり、 ϕ 1mm穴材、環状Vnotch材およびplane材は2.3である。これより、切欠き係数は1.9~2.3の間におさまり、切欠き形状と切欠き係数 β との間には、相互関係は得られなかった。

3-2 光学顕微鏡および電子顕微鏡観察について

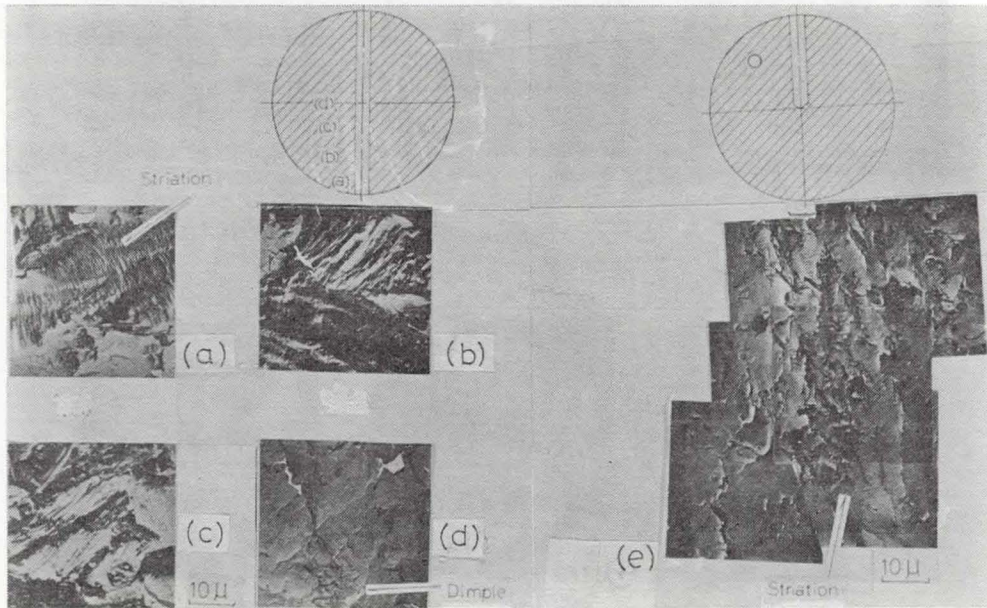
各切欠き形状の破断面の光顕観察を **Photo. 1** および **Photo. 2** に示した。特に ϕ 1mm穴、 ϕ 1mm cross、 ϕ 1mm (1/2) および plane 材に観察されるごとく、各切欠き部より遠方距離方向に初期の crack の発生が観察される。このことは切欠き部に応力集中がおこるが、引張りおよび圧縮の繰返しにより応力緩和が起り、切欠き部以外に大きい繰返し応力が作用

**Photo. 1** Optical Microscope Fractographs.



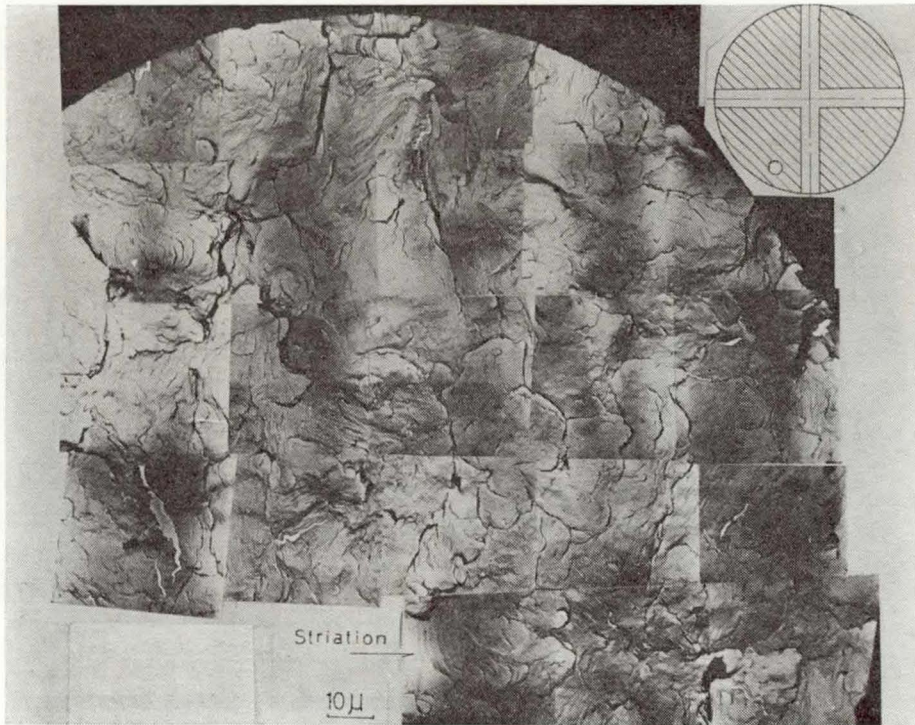
(a) $\phi 2\text{mm}$ $\sigma = 8.95\text{kg/mm}^2$ $N = 6.67 \times 10^6$	(b) $\phi 3\text{mm}$ $\sigma = 19.94\text{kg/mm}^2$ $N = 4.90 \times 10^4$	(c) $\phi 4\text{mm}$ $\sigma = 8.31\text{kg/mm}^2$ $N = 9.63 \times 10^4$	(d) $\phi 5\text{mm}$ $\sigma = 7.84\text{kg/mm}^2$ $N = 6.26 \times 10^5$
--	---	--	--

Photo. 2 Optical Microscope Fractographs.



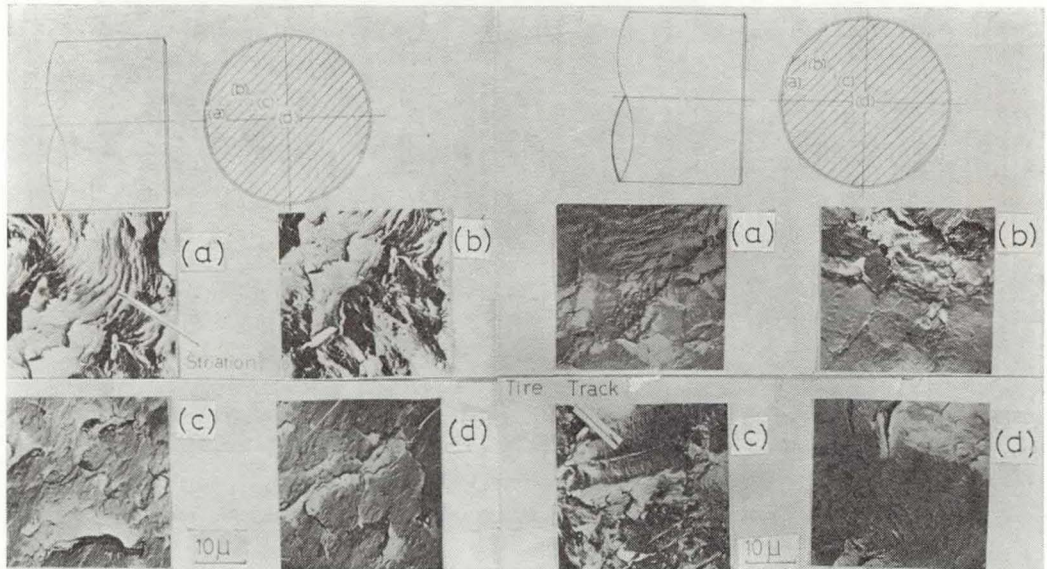
$\sigma = 20\text{kg/mm}^2$ $N = 2.32 \times 10^5$ cycle	$\sigma = 18\text{kg/mm}^2$ $N = 4.8 \times 10^5$ cycle
--	---

Photo. 3 Electron Microscope Fractographs of the Fracture Surface Obtained from the Fatigue Test.



$\sigma=25\text{kg/mm}^2$ $N=4.8 \times 10^4$ cycle

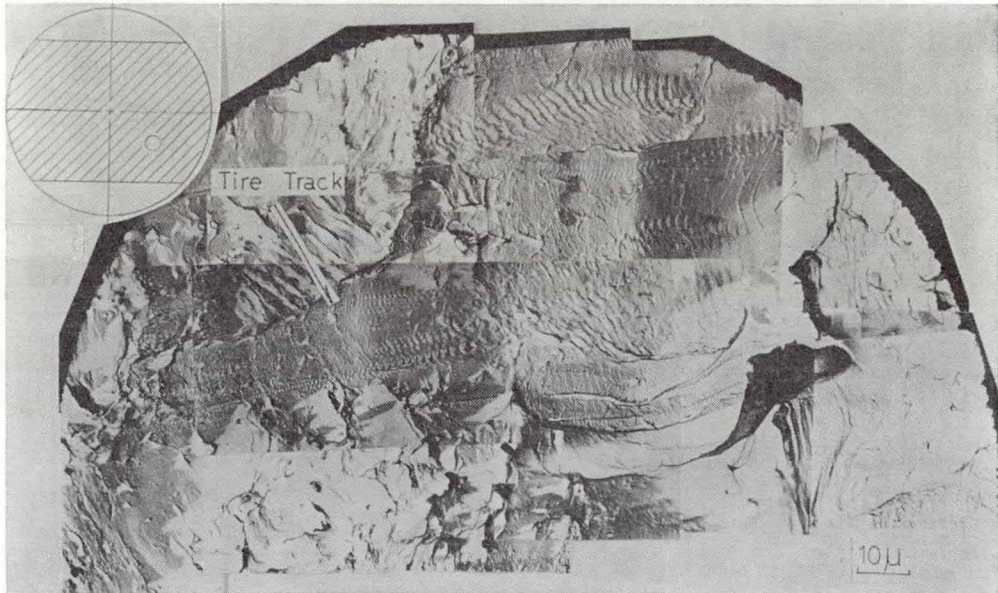
Photo.4 Electron Microscope Fractographs of the Fracture Surface Obtained from the Fatigue Test.



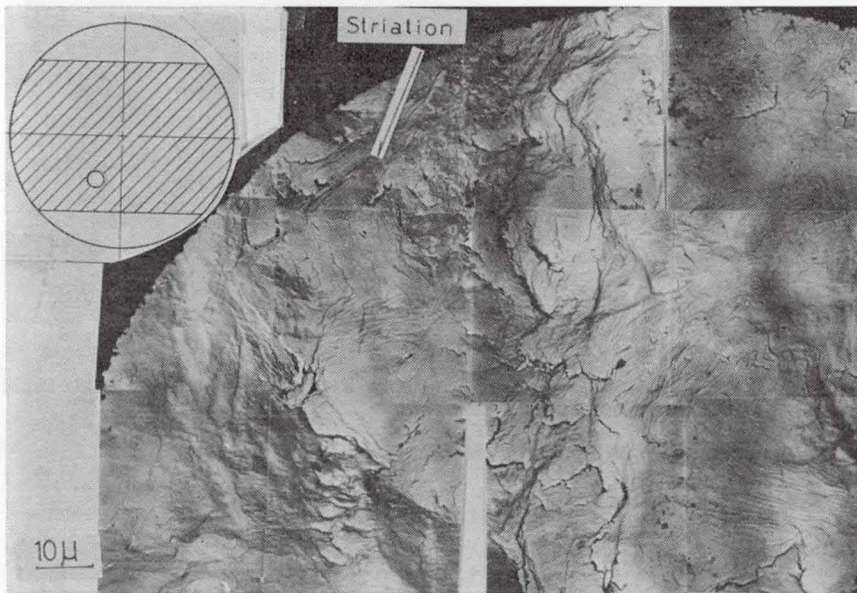
$\sigma=32\text{kg/mm}^2$ $N=1.94 \times 10^4$ cycle

$\sigma=25\text{kg/mm}^2$ $N=2.49 \times 10^6$ cycle

Photo.5 Electron Microscope Fractographs of the Fracture Surface Obtained from the Fatigue Test.



$\sigma=30\text{kg/mm}^2$ $N=2.1 \times 10^8$ cycle



$\sigma=25\text{kg/mm}^2$ $N=9.4 \times 10^8$ cycle

Photo.6 Electron Microscope Fractographs of the Fracture Surface Obtained from the Fatigue Test.

するものと思われる。

Photo.3~Photo.6 に各切欠き形状の破断面の電顕観察を示す。Photo.3 は $\phi 1\text{mm}$ 穴材

のときに観察され、試験片表面附近 (Photo.3 (a)) において、Striation の発生が観察され、中央部附近 (Photo.3 (d)) において、Dimple の発生が観察される。Photo.3 (c)において、Striation と Dimple の混合組織が観察される。Photo.3 (e)は $\phi 1\text{mm}$ (1/2) 材の切欠き形状における電顕観察で、試験片表面附近部分で Striation が観察される。Photo.4 は $\phi 1\text{mm}$ cross の切欠き形状のもので、Photo.3 と同様、試験片表面附近部分で Striation が観察される。Photo.5 は、環状V-notch の形状のもので、切欠き底附近 (Photo.5 (a)および Photo.5 (b))において、Striation⁴⁾ の発生が観察され、中には Photo.5 (c) $\sigma=25\text{kg}/\text{mm}^2$ において、Tire Track 模様も観察される。また中央部附近の Photo.5 (c)および Photo.5 (d) において、Dimple 破面も観察される。Photo.6 は plane 形状のもので、plane 面に近い部分において、Striation あるいは Tire Track 等の発生も観察される。

これらの電子顕微鏡観察結果から、各切欠き形状の相違の場合においても、試験片表面附近および切欠き形状面附近において、Striation の発生が観察され、一般に発生される Striation⁵⁾⁶⁾ と同様であり、切欠き形状による変化と無関係であることが分った。

4. 参 考 文 献

- 1) 芳賀武, 村井三郎, 平山恵一: 日本材料学会 "材料" 第18巻第188号, p.405.
- 2) 芳賀武: 日本材料学会 "材料" 第19巻第197号. p.90.
- 3) 南澤力, 青木望, 芳賀武, 石田有示: 日本材料学会 "材料" 第21巻第221号. p.89.
- 4) Chikara Minamisawa, Nozomu Aoki, Takeshi Haga and Yuhji Ishi-Da: Proc. of the 15 th Japan Congr. on Materials Reseavch, 22 (1972).
British Iron and Steel Industry Translation Service 10592.
- 5) Takeshi Haga, Hisashi Yokouchi. and Motomu Ishida: Proc. of the 16 th. Japan Congr. on Materials Reseach, 168 (1973).
- 6) 南澤力, 芳賀武, 関川三男: 日本材料科学会 "材料科学" 第14巻第3号. p.201.