

- 12) 広瀬正吉: ショットピーニング (昭30) 3, 180  
 12) 内山道良, 上正原和典: 鉄と鋼 42 (昭31) 7, 27  
 14) 内山道良, 上正原和典: 鉄と鋼 42 (昭30) 8, 13  
 15) J. C. Straub: SAE Journal, 56 (1948)

- Nov., 38  
 16) 倉田忠雄, 安田益一, 坂本勲: 日立造船技術研究所, 技研~277 (昭28) 10

## 13% Cr 鋼の機械的強度におよぼす鍛造比の影響\*

小野 健 二\*\*・佐々木 良 一\*\*\*

### THE EFFECT OF FORGING RATIO ON MECHANICAL STRENGTH OF 13% Cr STEEL

Kenji Ono, Dr. Eng., Ryoichi Sasaki

#### Synopsis:

It is well known that forging ratio affects on the mechanical strength of steel, yet a necessary forging ratio as structural steel varies with different kinds of steels and ingot size. The experiments herein introduced were made to clarify the effect of forging ratio on the mechanical strength of 13% Cr steel. Eight specimens were used which had various forging ratios from 1 to 73, and test pieces were prepared being taken from two directions (i. e. forging direction and the direction at right angles to it.).

The results were summarised as follows.

- (1) Tensile strength was not affected by forging ratio.
- (2) With increase of forging ratio, reduction of area and impact value increased to the forging ratio of 18 and then decreased slightly, however those in the direction at right angles to forging decreased considerably to 10.5 forging ratio and then increased slightly.
- (3) At room temperature, variation of fatigue strength had analogy to impact value etc., however, at 400°C, it showed different tendency.

#### I. 緒 言

一般に機械的性質の良好な状態で鍛造材を使用するには、鍛造比の影響を考慮することが望ましいが、構造用鋼において必要とされる鍛造比は鋼種により、また鋼塊の大きさによつて差がある。従来鍛造比の影響を調べた研究には炭素鋼あるいは低合金鋼のシャフト材が多く、13% Cr 鋼に関するものは少い。そこで今回 13% Cr 鋼の機械的性質におよぼす鍛造比の影響を求め、鍛造比が 1~73 の範囲の試料を作製し実験を行った。

#### II. 試 料 の 調 製

約 800 kg の鋼塊 #17 および #19 を用い Fig. 1 に示すようにまず上部と底部を切捨て、さらにこれを四分割し、中心部を除去して約 100 kg の鋼塊を作り、これから鍛造比が 1~73 の範囲の試料を調製した。Table 1 は試料の組成および学振法による清浄度と平均厚みとを示す。1/2 t ハンマーを用い、上記鋼塊を重油炉により 1100~850°C で鍛造し、鍛造後 850°C 2時間炉冷の焼

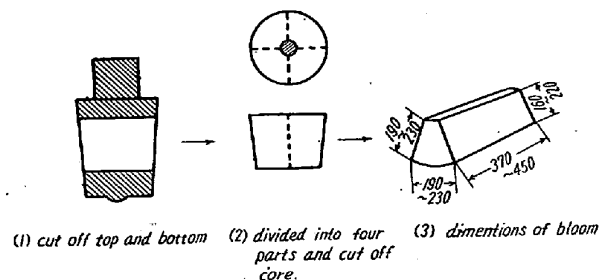


Fig. 1. Cutting of ingot.

鈍を行った。鋼塊の断面が不規則な扇形をしているので鍛造比が小さいところでは試料全体が一様に鍛造効果を受けない嫌いはあるがやむを得ない。試料の鍛造比、採取法および溶番との関係は Table 2 に示す。なお本報では鍛造前の鋼塊の平均断面積を鍛造後の断面積で割つた値を鍛造比と定義する。鍛造比 2 の試料は素材の都合により表のような工程によらざるを得なかつた。

\* 昭和30年10月本会講演大会にて発表

\*\* 日立製作所, 工博

\*\*\* 日立製作所日立研究所

Table 1. Chemical composition and the degree of cleanliness &amp; thickness of non-metallic inclusions (Japan Gakushin's standard)

Charge No.	Chemical composition (%)						Cleanliness & thickness	
	T.C	Si	Mn	P	S	Cr	A type	B type
# 17	0.16	0.13	0.43	0.020	0.025	13.35	0.2, 1.5 $\mu$	3.3, 3.6 $\mu$
# 19	0.15	0.21	0.38	0.017	0.020	13.38	1.2, 3.0 $\mu$	4.7, 6.6 $\mu$

Table 2. Preparation of test pieces.

Charge No.	Forging ratio	Preparation
# 16	1	25mm square bar, cut from ingot
# 19	2	90×80 mm rectangular bar, cut from ingot, and forged
# 19	4	60 mm square bar, divided into four parts lengthwise
# 17	6.3	forged 85 mm square bar, divided into nine parts lengthwise
# 17	10.5	forged 75 mm square bar, divided into six parts lengthwise
# 17	18	forged 60 mm square bar, divided into four parts lengthwise
# 19	45	forged 45 mm square bar, divided into four parts lengthwise
# 17	73	forged 25 mm square bar

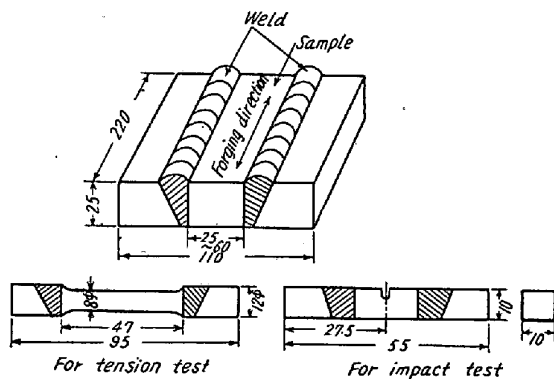


Fig. 2. Specimens taken at right angles to forging direction.

鍛造方向から引張、衝撃および疲労試験片を、またそれと直角方向から引張および衝撃試験片を採取した。鍛造比が大きい試料は断面が細くそのままでは直角方向の試験片を採取できないので、Fig. 2 に示すように試料の両側に 13% Cr 鋼を 13% Cr 鋼溶接棒にて溶接してこれから直角方向の試験片を採取した。一部の直角方向の試験片は平行部内に溶接部が入ってしまうため正確な伸びはえられず、また鍛造比 73 の試験片は採取できなかった。

22~25 角とされた試験片素材をブリネル硬さ  $H_B$  201~206 に調質した。焼入れは 990°C 30 分保持油焼入れで焼戻しはそれぞれ # 17 は 765~770°C、# 19 は 760~765°C 各 1 時間保持空冷とした。調質後試験片素材のすべてが上記の硬さ範囲にあることを確認してから機械試験片に加工した。なお全然鍛造していない鍛造比 1 の試料は 990°C で 10 時間の拡散焼鈍を行った後上記の

熱処理を実施した。

### III. 実 験

#### (1) 組織

鍛造比と繊維組織との関係を調べるため、縦断面のマクロ組織を観察した。腐蝕はギエー液によった。なお学振法によるオーステナイト結晶粒度および顕微鏡組織を調べ鍛造比との関連を求めた。

#### (2) 引張試験

20 t アムスラー型試験機を用い、直径 8 $\phi$  標点距離 28 mm の試験片により、室温および 400°C でそれぞれ 2 本宛試験を行い平均値を求めた。

#### (3) 衝撃試験

30 kg m シャルピー衝撃試験機を用い、JIS 3 号試験片により、室温および 400°C でそれぞれ 2~4 個宛試験を行い平均値を求めた。

#### (4) 疲労試験

高温試験が可能のように改めた<sup>1)</sup>特型小野式回転曲げ疲労試験機により室温および 400°C で試験した。金属の疲労が著しい統計的性質を有し、疲れ強さについて確かなことを論ずるには、統計的手法によつて試験を計画しかつ試験値は統計的に解釈する必要があると指摘されている<sup>2)</sup>。しかし普通は極めて多数の試験片を必要とする関係から統計的手法の導入が極めて困難である。そこで 10 回以下の実験でも信頼度の推定ができるとのべられている Brownlee, Hodges, Rosenblatt 氏等の“少数試料による昇降法”<sup>3)</sup>を試みに疲労試験に取り入れて

みた。統計的手法導入の考え方を簡単に述べる。

同一材料から採取された個々の試験片はそれぞれ疲れ限を有している。すなわちその応力値以下では  $10^7$  回の繰返しに耐え破断しないが、それより少しでも大きい応力値では  $10^7$  回の繰返しに耐えられず途中で破断する限界の応力値があるはずである。この疲れ限は個々の試験片によつて異なり、一般に或る値を中心とした正規分布をとるものと考えられている。しかし我々が試験を行う場合は個々の試験片については、ある応力値で破断したか、しないか、言いかえると疲れ限がその応力値以下かその応力値以上かどうかわかるだけで、その試験片自身の疲れ限はわからない。そこで“少数試料による昇降法”を用いて平均疲れ限（繰返数  $10^7$  回で試験片の 50% が破断しない応力）およびその 90% 信頼限界を推定した。昇降法<sup>35)</sup>とは次のようなものである。予期される疲れ限範囲から試験を始め、第 1 の試験片が破断したら、縦軸を応力水準、横軸を試験の順序にとつた座標上に×印で表わし、第 2 の試験片はある一定値だけ応力水準を下げて試験する。これが破断したら×印で表わし、また一定値だけ応力水準を下げて第 3 の試験片を試験し、これが破断しないで  $10^7$  回の繰返しに耐えれば○印で表わし、次の第 4 の試験片は一段高い応力水準で試験する。かくして前の試験片が  $10^7$  回の繰返しに耐えたか破断したかで次の試験片はこれより一段高い、あるいは低い応力水準で試験され、これが繰返されると×、○印の昇降する図表がえられ、これから平均疲れ限およびその信頼限界が推定できる。（計算法は文献参照<sup>35)</sup>）試験応力の間隔は疲れ限の標準偏差と余り違わない大きさであることが望ましい。信頼限界を推定するにはこの標準偏差を知らなければならないが、これを求めるには相当多数（50~200）の試験を行う必要があるので、本研究ではやむをえず SAE 4340 鋼（Ni-Cr-Mo 鋼）についての Ramson, Mehl 両氏<sup>36)</sup>の実験値を参照して大ざつばに 13% Cr 鋼の疲れ限の標準偏差を  $1.4\text{kg/mm}^2$  と仮定した。

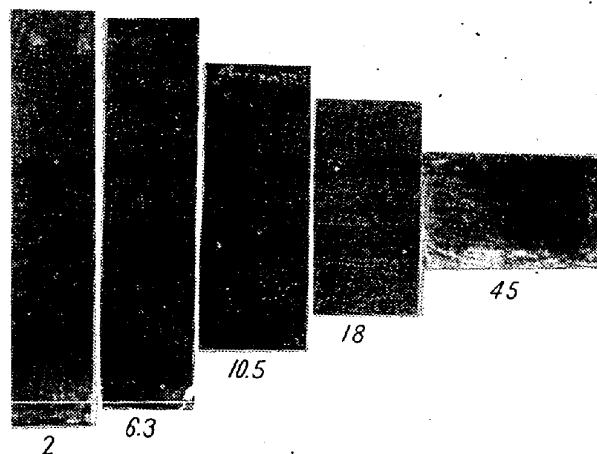
#### IV. 実験結果

##### (1) 組織

Photo. 1 は代表的なマクロ組織を示す。鍛造比が大きくなるにしたがい繊維組織が発達し、鍛造比 6.3 でもかなり良好なマクロ組織を示している。

Fig. 3 はオーステナイト結晶粒度測定結果で、各 10 視野の平均値である。鍛造比が大きくなるにしたがい粗粒は減少し、細粒が増している。

Photo. 2 は顕微鏡組織である。鍛造していないもの



The number means the forging ratio.  
Photo. 1. Typical macrostructure.

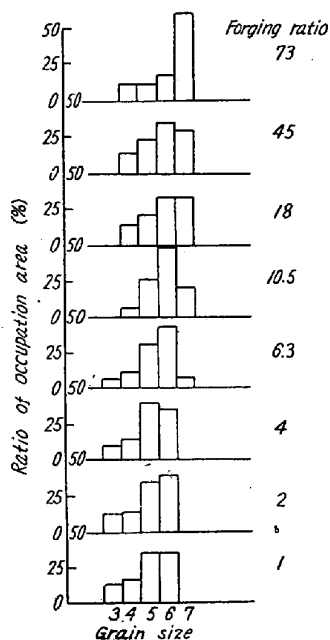


Fig. 3. Variation of austenite grain size by forging.

でも組織は比較的良好であるが、鍛造材に比べやゝ粗い感じがする。その他はほとんど同じような組織を呈し鍛造比による差が認められない。

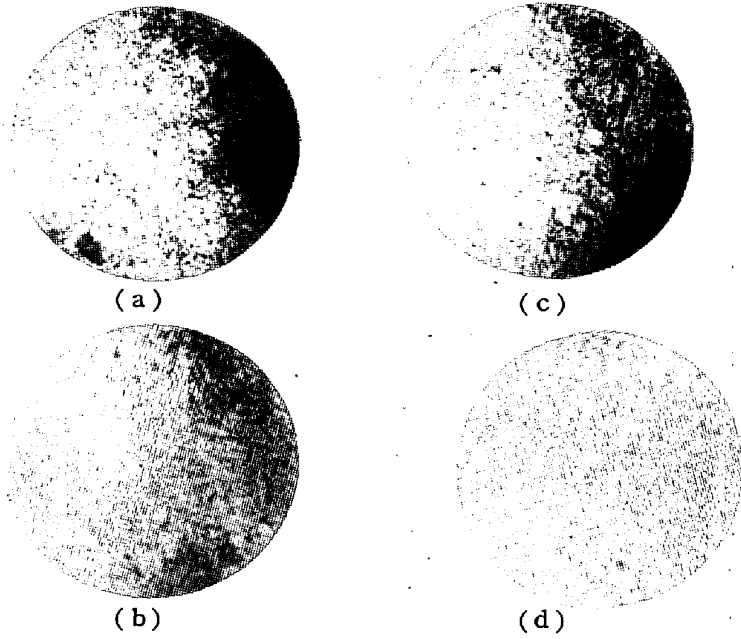
##### (2) 引張試験

Fig. 4 は試験結果を示す。直角方向の試験片の一部は平行部内に溶接部が含まれ、したがって伸びは試験料の値を示さないので省略した。引張強さは鍛造比によつてほとんど変わらないが鍛造方向とこれと直角方向とでは僅かに差があるようである。鍛造方向の伸びおよび絞りは鍛造比 18 附近までやゝ増加し、それ以上では多少低下の傾向を示す。一方直角方向の絞りは室温、 $400^\circ\text{C}$  ともに鍛造比の増加とともに低下し、鍛造比  $10.5$  附近で最低値をとりそれ以上では僅かに増加の傾向がある。

##### (3) 衝撃試験

Fig. 5 は試験結果を示す。室温、 $400^\circ\text{C}$  ともに鍛造比の増加とともに、鍛造方向の衝撃値は急増し鍛造比 18 では鍛造しないものの約 2.3 倍に達し、それ以上鍛造比が増せば衝撃値は減少する傾向がある。また直角方向の衝撃値はこれと逆に傾造比が  $10.5$  まで急減し、それ以上ではやゝ増加の傾向があるようである。

##### (4) 疲労試験結果



Note (a) (b) (c) (d)  
 forging ratio 1 2 6.3 73  
 Photo. 2. Typical microstructure of specimens.

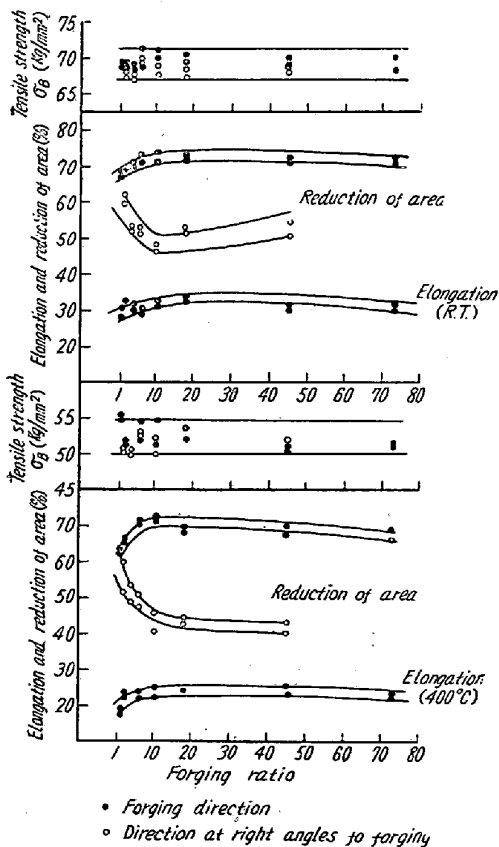


Fig. 4. Result of tensile test.

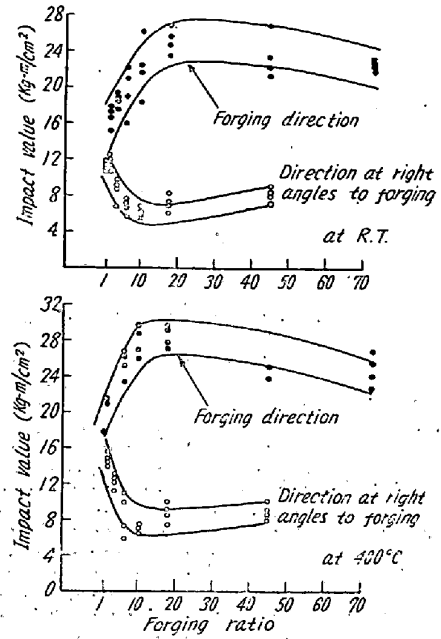


Fig. 5. Result of impact test.

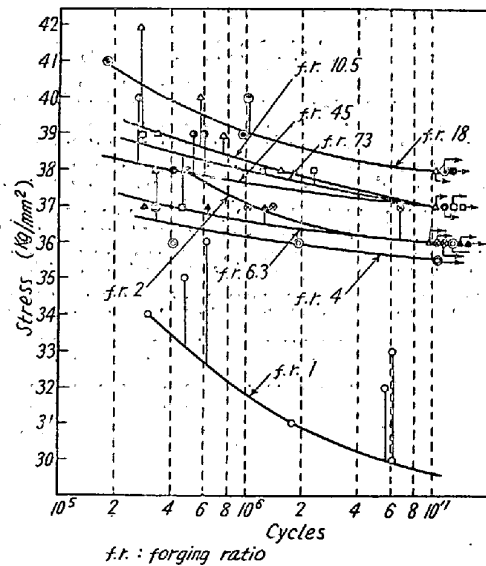


Fig. 6. S-N Diagrams for forging direction (R. T.)

は始めの推定を誤つたため全試験片が破断し、平均疲れ限の計算ができないが、Fig. 6 の S-N 曲線から約 29 kg/mm<sup>2</sup> と推定される。室温では鍛造比が大きくなるにしたがい疲れ限がまし、特に1から2の間で著しいが鍛造比18以上ではやゝ低下の傾向を示している。しかし90%信頼度では鍛造比18と73とで平均疲れ限の差は有意であるとは言い切れない。400°Cの試験結果は室温のそれとやゝ異なる。すなわち疲れ限が鍛造比1から2の間で急に高くなることは室温と同様であるが、鍛造比2~18の間ではほとんど変化がなく、18~73の間で再

Fig. 6 および Fig. 7 は疲労試験結果を示す。Fig. 8 はこれからえられた平均疲れ限および疲れ限の標準偏差を 1.4 kg/mm<sup>2</sup> と仮定した場合の平均疲れ限に対する90%信頼限界を示す。室温における鍛造比1の試験で

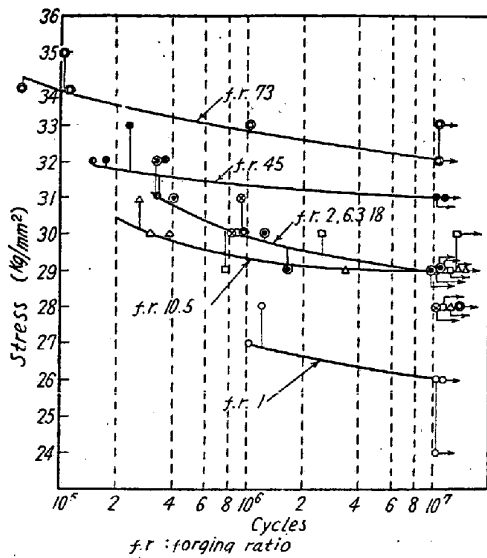
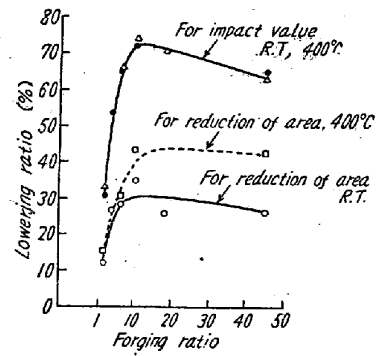


Fig. 7. S-N Diagrams for forging direction (400°C)



Note:  
 Lowering ratio =  $\frac{(\text{Value for forging}) - (\text{Value for direction at right angles to forging})}{\text{Value for forging direction}}$

Fig. 9. Lowering ratio.

が、これは拡散焼鈍が充分施されたことと、結晶粒度が細かいことによるものであろう。菊田、森<sup>7)8)</sup>両氏の研究によると Ni-Cr 鋼において引張強さには鍛造比の影響が極めて少く、伸び、絞り、衝撃値および疲れ限などは鍛造比の増加とともに向上する。鍛造比 4 で疲れ限が 47 kg/mm<sup>2</sup>、60 で 51.5 kg/mm<sup>2</sup> であり、この間鍛造比の増加とともに疲れ限は漸増すると報告されている。また田川<sup>9)</sup>氏は炭素鋼で実験を行い、同様に疲れ限は鍛造比の増加とともに漸増する結果をえている。本研究の 13% Cr 鋼についても、鍛造方向の性質はこれと同様の傾向であるが、鍛造比 18 附近に山があり、それ以上の鍛造比で、伸び、絞り、衝撃値および室温の疲れ限がやや低下の傾向を示す点が異なる。また Ni-Cr 鋼や炭素鋼に比べて鍛造による疲れ限の増加の程度は小さいようである。伸び、絞りおよび衝撃値について有意差検定を行うと、鍛造比 18~73 の間の差は 5% の危険率で有意でない。また室温の平均疲れ限も 90% 信頼度では鍛造比 18~73 の差は有意であると言いきれない。したがって、これら個々の機械的性質について単独に考えれば鍛造比 18 附近に山があるとは言いきれない。しかし、これらのすべてが同様の傾向を示すので、全般的に考えると鍛造比がある程度を越すと鍛造方向の機械的性質は僅かに低下する傾向にあるようである。400°C の疲れ限と鍛造比との関係が室温のそれと異なる理由は明らかでない。

直角方向の絞りおよび衝撃値が鍛造方向に比べ著しく低いのは鍛造による繊維発達のためであり、繊維方向には強く、これと直角方向に弱いことは周知のことである。試験片の都合で伸びは測定されなかつたが絞りと同様の傾向にあらう。また鍛造比の増加とともに低下率が著しく増大するのは繊維組織の発達によるものであるが鍛造比 10.5 で低下率が最大になる理由は不明である。

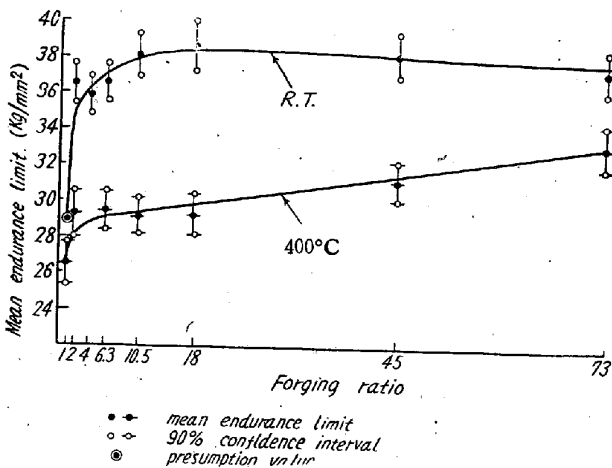


Fig. 8. Mean endurance limit and 90% confidence interval.

び高くなる。400°C の場合は鍛造比 18 と 73 とで平均疲れ限の差は有意である。

(5) 低下率

なお参考のために、絞りおよび衝撃値について次式による低下率を算出すれば、Fig. 9 に示されるように低

$$\text{低下率} = \frac{(\text{鍛造方向の値}) - (\text{直角方向の値})}{(\text{鍛造方向の値})} \times 100 (\%)$$

下率はいずれも鍛造比 10.5 で最大となり、衝撃値は室温と 400°C とでほとんど差がなくまた絞りは 400°C の方がやや大きい。全般的に衝撃値の低下率が絞りのそれに比べ著しく大きいことが知られる。

V. 結果の検討

全然鍛造しない鍛造比 1 の試料が比較的良好な機械的性質を示し、伸び、絞りおよび衝撃値ともにかなり高い

Ni-Cr-Mo 鋼に関する Schmidt 氏<sup>10)</sup>の実験によると、衝撃値の低下率は鍛造比 4.4~22 の間で鍛造比に関係なく約 60% であり、本実験結果とは傾向が違っている。引張強さの方向による差を検定したところ、室温の場合は 1% の危険率で有意であるが、400°C の場合は平均値では差があつても 5% の危険率で有意ではない。しかし高温の試験値のばらつきが大きく検定の精度が悪いのでこの結果からたゞちに 400°C では方向による差はないと言ひ切れぬ。全般的に考えると、直角方向の引張強さは鍛造方向のそれより僅か低いようであるが、その差は僅か 1 kg/mm<sup>2</sup> 程度で実用上は差がないとしてよいであろう。

疲労試験の計画および試験値の取扱いに統計的手法を取入れてみたが、鍛造比 1 および 18 の試料は最初の推定を誤り不十分な結果になつた。また平均疲れ限の信頼限界を計算するに際し疲れ限の標準偏差を仮定しているところに問題があり、本実験ではこれを 1.4 kg/mm と仮定したが、鍛造比 1 の試料を除きこの値は大き過ぎたようである。

## VI. 結 言

以上 13% Cr 鋼の機械的強度におよぼす鍛造比の影響について実験を行つた。結果は要約すると次のようである。

(1) 引張強さは鍛造方向、直角方向ともに鍛造比によつてほとんど変らない。また方向による差は極めて僅小である。

(2) 伸び、絞りおよび衝撃値は室温、400°C とともに鍛造方向では鍛造比の増加とともに鍛造比 18 附近まで増加し、それ以上ではやゝ低下の傾向があり、一方直角方向ではこれと全く逆の変化を示す。

(3) 鍛造方向の平均疲れ限は室温では伸び、絞りお

よび衝撃値などと同様の変化を示すが、400°C ではこれとやゝ異なる。

(4) 鍛造比 1 から 2 の間で機械的性質は著しく向上し、少しの鍛造でも著しい効果があり、鍛造比 6 でもかなり良好な機械的性質を示し、鍛造比が 6 以上あれば鍛造比の大小が機械的性質におよぼす影響は少ない。

本研究を行うに当り統計的手法について御教示を与えられた日立製作所島史朗博士を始め、種々御協力頂いた日立研究所根本正氏、小川浩三氏、小林豊治氏、伊藤久太郎氏の方々に厚く御礼申し上げるとともに、実験に従事された入野達君に対し感謝の意を表す。

(昭和31年6月寄稿)

## 文 献

- 1) 小野, 佐々木: 日立評論, (1954), 36, 1066
- 2) ASTM, STP. No. 121 (1651)  
Symposium on statistical aspects of fatigue
- 3) ASTM, STP. No. 137, (1952)  
Symposium on fatigue with emphasis on statistical approach-I
- 4) Brownlee, Hodges, Rosenblatt: American Statistical Association Journal (1953), 262 ~277
- 5) Dixon, Massey: Sensitivity Experiment, Introduction to Statistical Analysis, McGraw-Hill (1951)
- 6) Ramson, Mehl: 3) の中にある。
- 7) 菊田, 森: 日立評論, (1938), 21, 723
- 8) 菊田, 森: 日立評論, (1939), 22, 281 および 345
- 9) 田川: 鉄と鋼, (1937), 23, 11 号
- 10) Schmidt: Arch. f. Eisen., (1938), 8, 393.