

論 文

SCM22Ca-S 快削鋼の冷間加工性におよぼす
硫化物形態の影響*

日 下 邦 男**・岩 丸 正 明***

Effect of Sulphide Shape on the Cold Forming Properties of
SCM22Ca-S Free Cutting Steels

Kunio KUSAKA and Masaaki IWAMARU

Synopsis:

The effect of sulphide shape on cold forming properties of SCM22Ca-S free cutting steel containing 0.20% C, 1.00% Cr, 0.20% Mo and 0.05% S were investigated. The results obtained are as follows.

- 1) Sulphide shape ratio (width/length) increases linearly with the addition of Al, Zr, and V.
- 2) Cold forming properties of SCM 22 Ca-S are improved with increasing the sulphide shape ratio, and beyond the sulphide shape ratio of 0.6 cold forming properties become comparable to SCM22 (Base steel).

(Received Mar. 9, 1971)

1. 緒 言

2. 実験方法

快削鋼としては Pb, S, Se などの快削元素を単独または複合して添加した鋼がもつとも広く使用されているが、Pb 快削鋼の場合は被切削性、冷間加工性は良好であるが、耐転動疲労特性が劣化する。また S 快削鋼の場合は耐転動疲労特性は良好であるが、冷間加工性、機械的性質(ヨコ方向)が劣化する。このため、これらの快削鋼は使用部品に制限をうける欠点がある。そこで著者らは、S が 0.15% 以下と低い場合には転動疲労特性が基本鋼(JIS SCM22)と同程度に良好であり、またヨコ方向の機械的性質¹⁾の劣化が小さいことに着目し、硫化物の性質、形状ならびに分布を改善することによつて、従来の S 快削鋼(0.15~0.35%)で欠点とされている冷間加工性を改善できると考え実験を行なつた。

硫化物の性質、形状ならびに分布の改善については、すでにいろいろ報告^{2)~7)}があるが、われわれは JIS SCM22 を基本鋼とし、これに 0.05% S および 0.005% 程度の Ca を添加し、さらに Al, Zr, V を変化させ、これらによる硫化物の形態の変化が冷間加工性におよぼす影響を調査した。その結果、被切削性、転動疲労特性を劣化させることなく、冷間加工性を基本鋼とほぼ同等の水準まで向上させ得る硫化物の形状分布を得ることができたので報告する。

2.1 供試材および実験方法

供試材の化学成分を Table 1 に示す。A は基本鋼で JIS SCM22 に該当するもので、B~J はこれに S を約 0.03, 0.05, 0.09% の 3 つの水準に調整し、Ca, Al, Zr, V の添加量を変化させたものである。B~G は S/Al+Zr+V 量が順次増加し、H は 0.09% S 水準の鋼、I は高 Ca 添加(0.02%) 鋼、J は基本鋼に 0.05% S 添加鋼である。溶製は A, B, C がエール炉、D~J が高周波炉により、1000 kg 鋼塊を溶製し、圧延温度 1200~1000°C で、70 mm φ (鍛造比 25) に熱間圧延し、実験に供した。

冷間加工性の試験は球状化焼なまし処理を行なつた供試材から、12 mm φ × 20 mm の試片に切削加工し、拘束金型を用いて、圧縮試験を行ない、試片の側面に亀裂を発生したときの試片高さを求め、限界圧縮率を算出、冷間加工性を評価した。すなわち、圧縮前の試片高さを H_0 mm、亀裂を発生したときの高さを H mm とすると $(1-H/H_0) \times 100\%$ が限界圧縮率である。また供試材の

* 昭和45年10月本会講演大会にて発表

昭和46年3月9日受付

** 特殊製鋼(株)技術研究所 工博

*** 特殊製鋼(株)技術研究所

Table 1. Chemical composition of specimens (%).

Specimen	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Al	Zr	V	Ca	O	N
A	0.19	0.32	0.76	0.016	0.005	1.03	0.18	0.036				0.0053	0.0100
B	0.20	0.25	0.75	0.017	0.049	1.00	0.19	0.017	0.02		0.005	0.0049	0.0095
C	0.23	0.22	0.76	0.014	0.059	1.18	0.20	0.018		0.06	0.006	0.0082	0.0107
D	0.20	0.31	0.79	0.010	0.058	1.07	0.20	0.024	0.06		0.003	0.0033	0.0057
E	0.20	0.22	0.56	0.011	0.043	1.11	0.18	0.027		0.04	0.003	0.0063	0.0113
F	0.24	0.31	0.79	0.012	0.032	1.11	0.18	0.014	0.10		0.002	0.0055	0.0037
G	0.21	0.28	0.78	0.012	0.050	1.05	0.20	0.027	0.14	0.05	0.002	0.0059	0.0035
H	0.24	0.31	0.79	0.012	0.092	1.11	0.18	0.014	0.10		0.002	0.0042	0.0091
I	0.19	0.28	0.76	0.013	0.053	0.97	0.18	0.008		0.06	0.020	0.0042	0.0097
J	0.19	0.30	0.76	0.016	0.052	1.10	0.18	0.043			0.005	0.0045	0.0097

Table 2. Results of cleanliness test in 70 mm bars.

Specimen	Cleanliness % (JIS G0555)				Total
	Sulphide	Sulphide + Al ₂ O ₃ (Ca) B + C	ZrN		
A	0.004	0.020	0.025		0.049
B	0.217		0.016	0.017	0.250
C	0.266	0.045	0.004		0.315
D	0.150	0.008		0.071	0.229
E	0.112	0.063	0.016		0.191
F	0.088		0.050	0.14	0.279
G	0.025	0.184	0.041	0.099	0.349
H	0.458	0.032		0.099	0.589
I	0.259	0.012	0.075		0.346

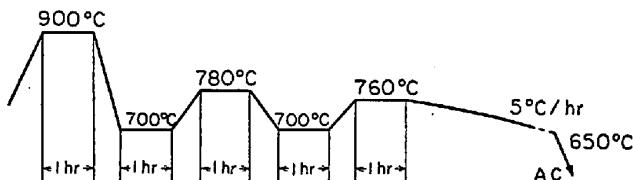


Fig. 1. Heattreatment of specimens.

代表的なものについては、実際の冷間鍛造品の製造工程に細み入れ、実用化試験を行なった。Fig. 1は供試材の球状化焼なまし処理条件を示す。

2.2 非金属介在物の形状および分布

70 mm φ 圧延材に観察される非金属介在物の測定結果 (JIS G0555 による) を Table 2 に、また硫化物系介在物の形状比 (幅/長さ) の分布状況を Fig. 2 に示す。介在物比 (幅/長さ) の分布の測定は供試材の直径のほぼ 1/4 の位置について、介在物の幅と長さを倍率 400 で無作為に 20 視野、検鏡し、介在物比 (幅/長さ) の分布状況を測定した。

硫化物系介在物の面積率は S 添加量とほぼ相対的な関係にあり、S 添加量が増加すれば、それに比例して増加する。しかしその形状は Zr などの添加によつて著しく変化する。たとえば、S 0.05% 水準の B, C, D, E, G, I 鋼の場合 B, C, D, E は細長い硫化物がほとんど

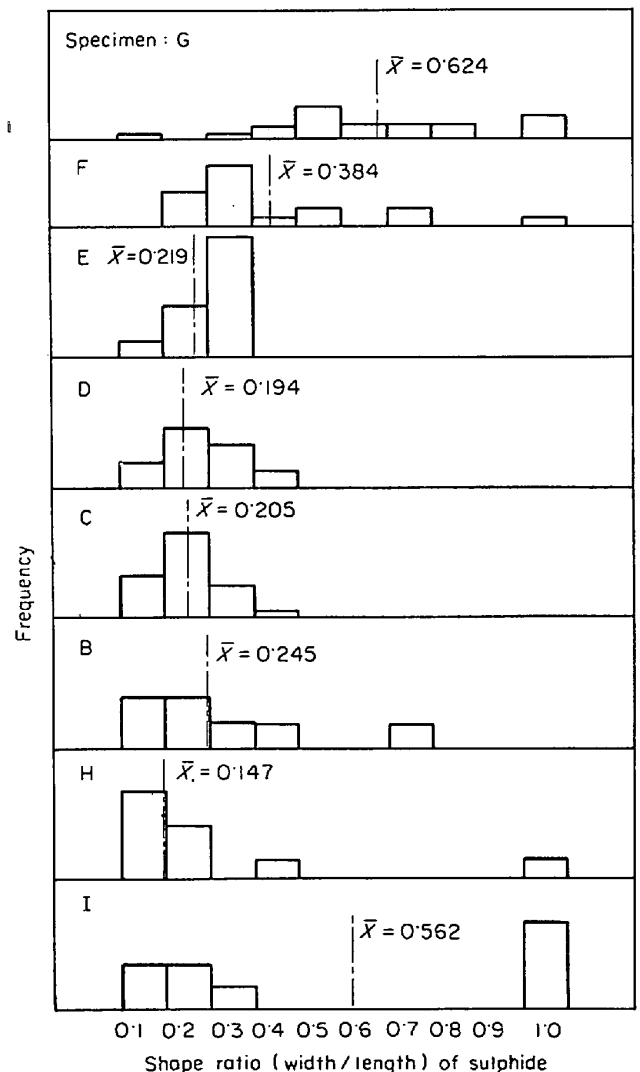


Fig. 2. Distribution of shape ratio (width/length) of sulphide.

であるが、Gのように Al, Zr, V の添加量の高いものは紡錘状の硫化物に変化する。すなわち、Al, Zr, V の添加によつて、硫化物の組成が変化し、熱間加工によつても容易に変形し難くなることを示す。I 鋼は Al, V 添加し、Ca 添加量を極端に高くしたもので、比較的

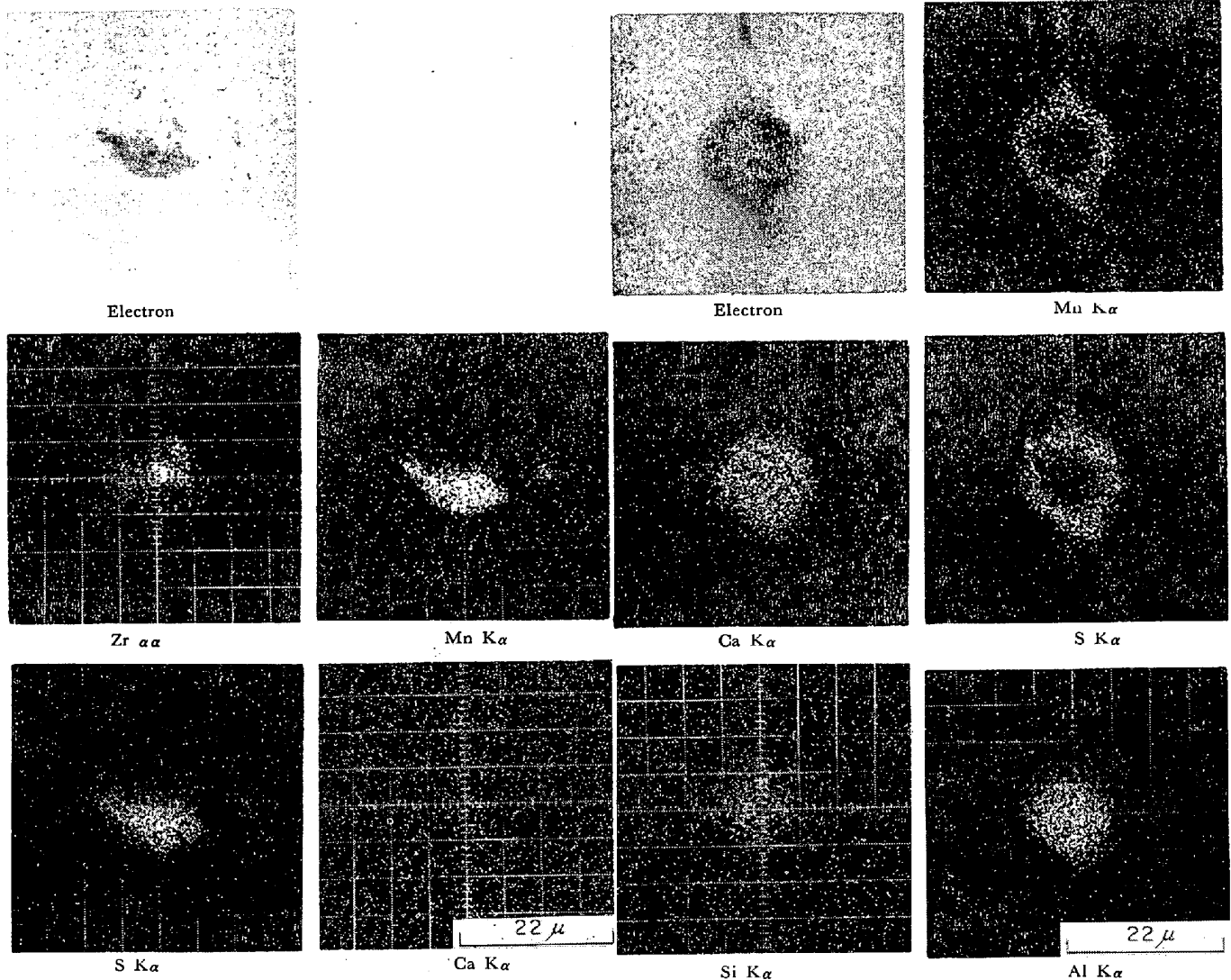


Photo. 1. Microprobe analysis of sulphide inclusion.

Photo. 2. Microprobe analysis of oxide inclusion.

細長い硫化物系介在物の他に Ca-Si-Al 系酸化物の周囲に Ca(Mn)S を付着した円形に近い介在物の混合である。Fig. 3 および Photo. 1 に硫化物の X 線分析結果の一例を示す。Zr の添加は Zr が α MnS 中へ固溶し、 α MnS の地に ZrS が共存した形態になる。Fig. 4, Photo. 2 は Ca-Si-Al 系酸化物の分析結果の一例を示す。S 無添加の場合は Al-Si-Ca 系複合酸化物であるが、S がある程度添加されると Photo. 2 に示すごとく酸化物に CaS あるいは MnS として付着共存している。すなわち、介在物中央部は Ca-Si-Al 系酸化物で、その周囲を Ca(Mn)S で包む形態になる。

2.3 顕微鏡組織

Photo. 3 に供試材 C, D, G の硫化物系介在物の一例を示す。Al+Zr+V 添加量 0.07% の C 鋼の場合は細長く伸びた硫化物が主体であるが、Al+Zr+V 添加量がふえるにしたがって、D 鋼および G 鋼のごとく、硫化物

の形状は幅/長さ比の大きい紡錘形に変化する。また硫化物は Zr の添加によって若干褐色をおびたものに変化する。Photo. 4 は各供試材の球状化焼なまし組織を示す。各供試材の球状化の程度には、ほとんど差は認められない。

3. 実験結果および考察

3.1 被切削性

Fig. 5 は被削性を旋盤における工具摩耗より比較した結果を示す。基本鋼に比べ Ca-S 快削鋼 (B, D, G) はいずれも工具摩耗が小さく、被削性がすぐれていることがわかる。B, D, G 鋼の間ではそれほど大きな差はないが G 鋼が若干すぐれている傾向にある。また切屑処理性は Ca-S 鋼が比較的カール半径も小さく、分断され、基本鋼に比して改善されている。

3.2 転動疲労特性

供試材より 12 mm φ × 24 mm 試片を削り出し, 930 °C 浸炭, 830°C 油焼入, 150°C 焼戻をして, カタサ

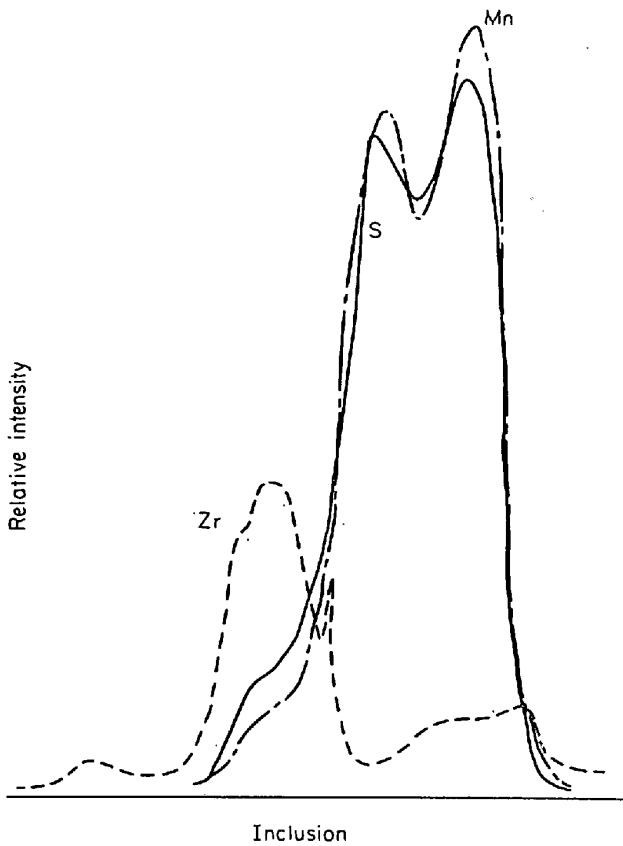


Fig. 3. Distribution of Zr, Mn and S in sulphide inclusion.

Rc 62~64 にしたのち, 円筒形転動疲労試験機にて試験を行なった. その結果を Fig. 6 に示す. すなわち, 繰返し数を対数目盛で横軸に, フレーキングによる損傷率を $\log [1/1-F]$ の形で縦軸に示した. 供試材 C, D, G, I 鋼いずれも, 基本鋼の水準を満足している. また図には比較のために基本鋼に 0.05% S 添加した J 鋼を示した. 高寿命側では基本鋼と同水準であるが低寿命側では著しく劣化する.

3.3 冷間加工性

冷間加工性の評価としては, それぞれの加工形式に対して経験的に選定されているのが現状であり, 何を目安にするかについてはいろいろ問題のあるところである

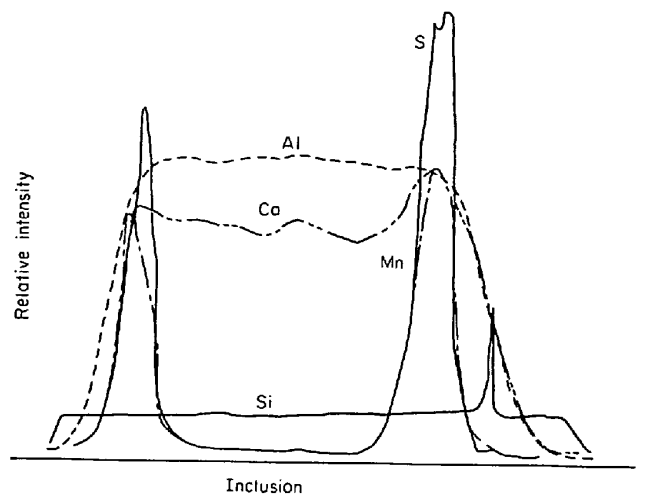


Fig. 4. Distribution of Mn, S, Al, Si and Ca in oxide inclusion.

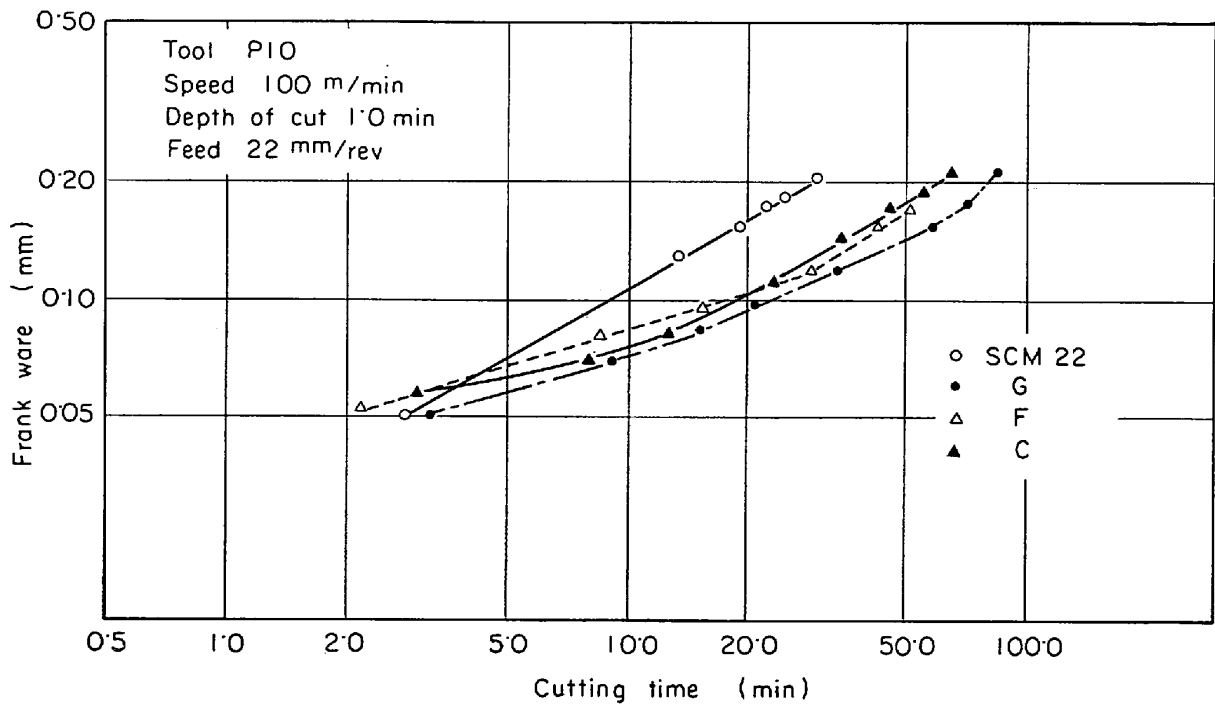
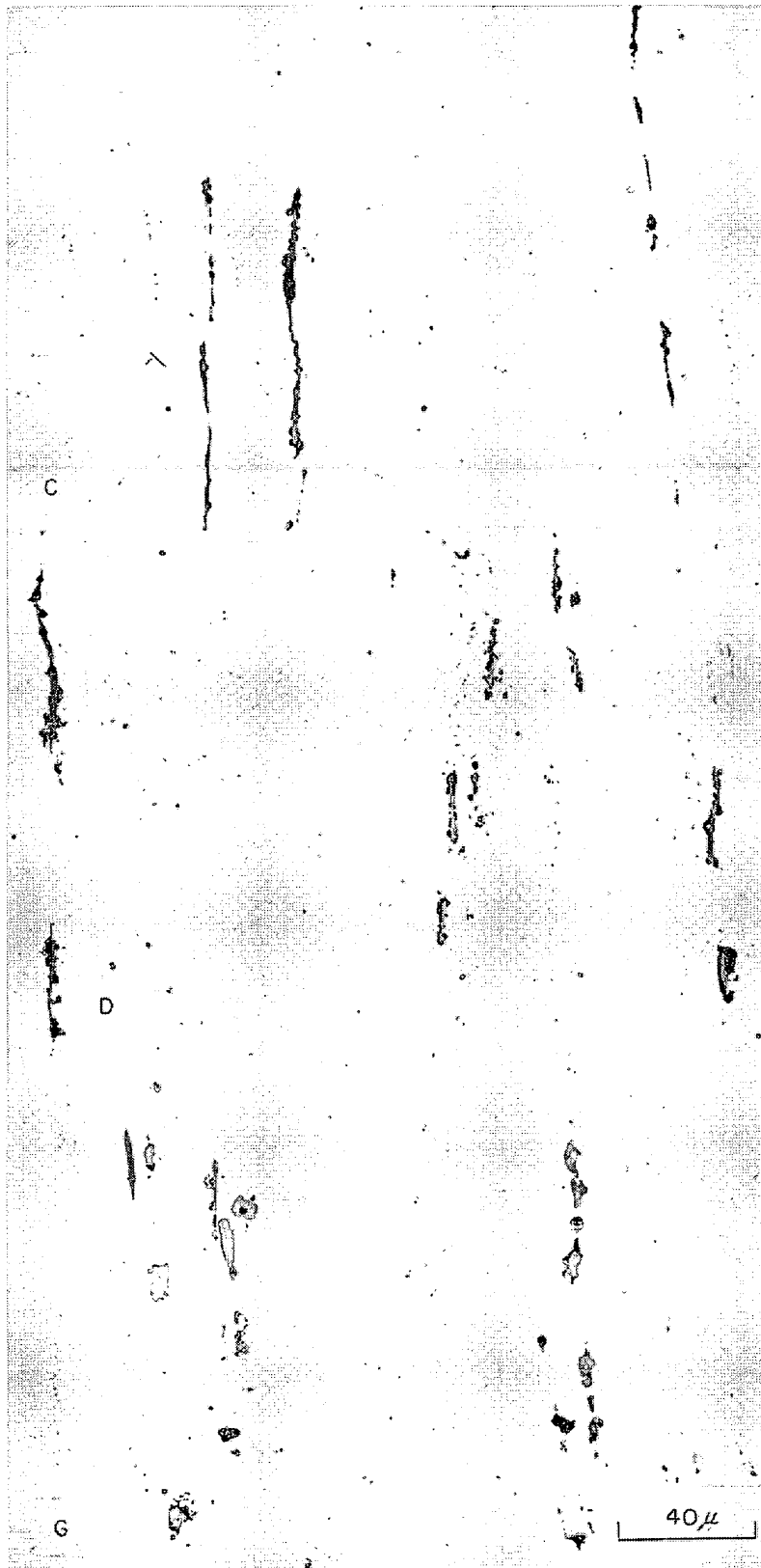


Fig. 5. Variation of flank wear (VB) with cutting time for 100 m/min cutting speed.



×500 (3/4)

Photo. 3. Distribution of MnS in specimens.

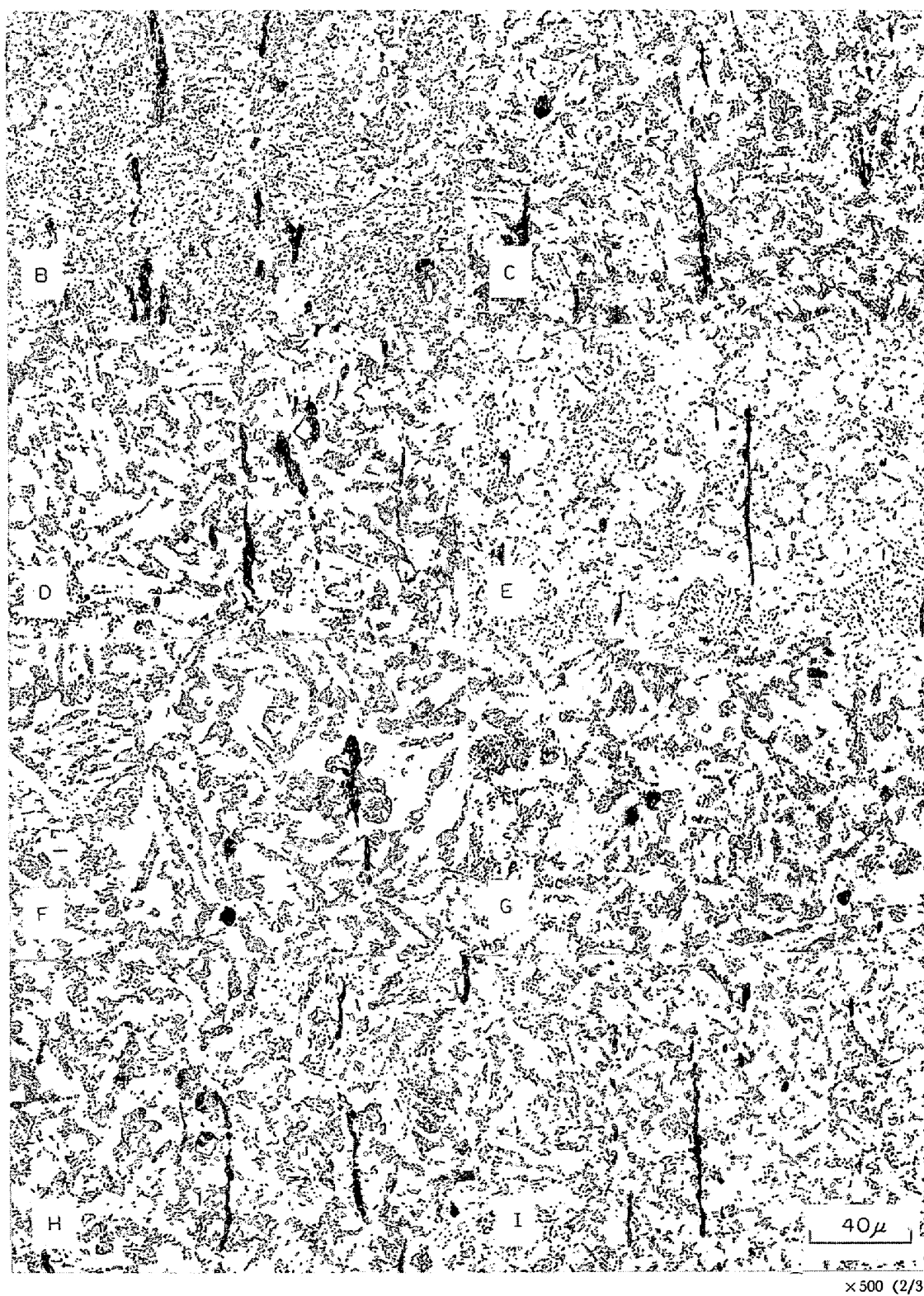


Photo. 4. Microstructure of specimens. Etched by 5% picral.

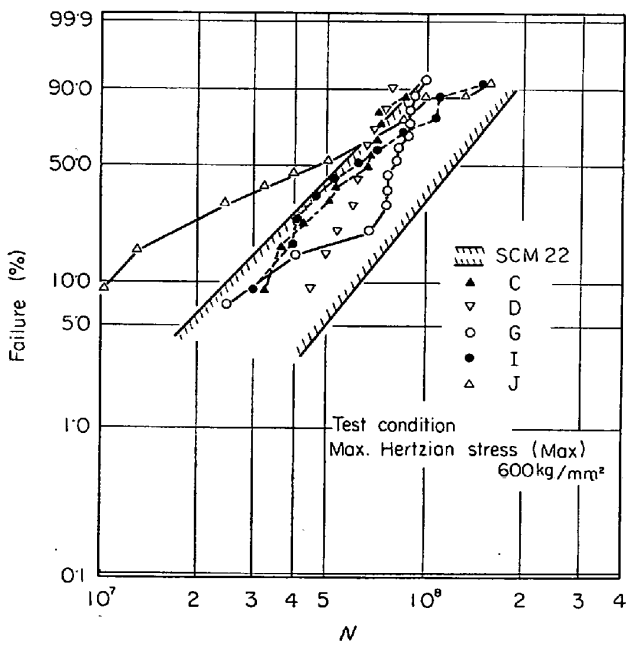


Fig. 6. Results of rolling fatigue bearing test.

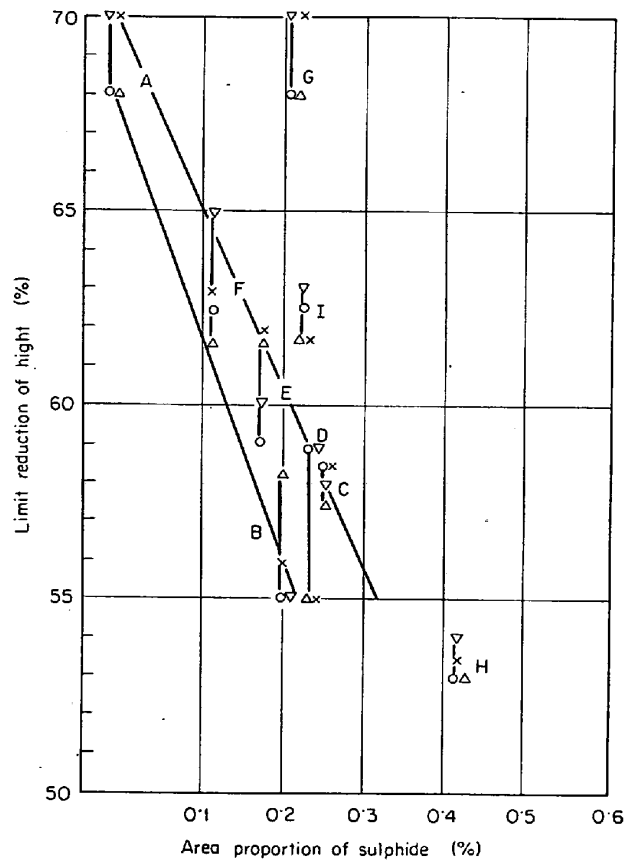


Fig. 8. The relationship between limit reduction of height(%) and area proportion of sulphide.

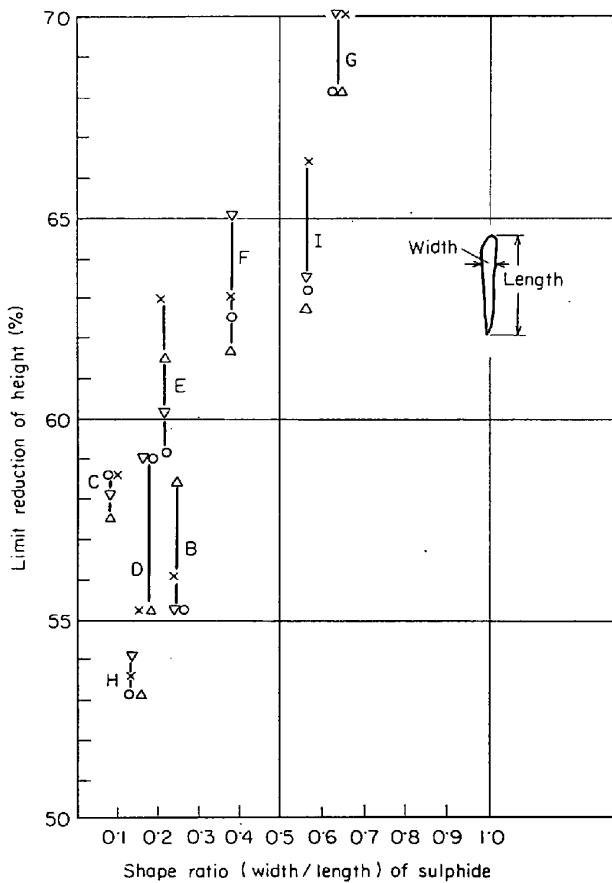


Fig. 7. The relationship between limit reduction of height(%) and shape of sulphide.

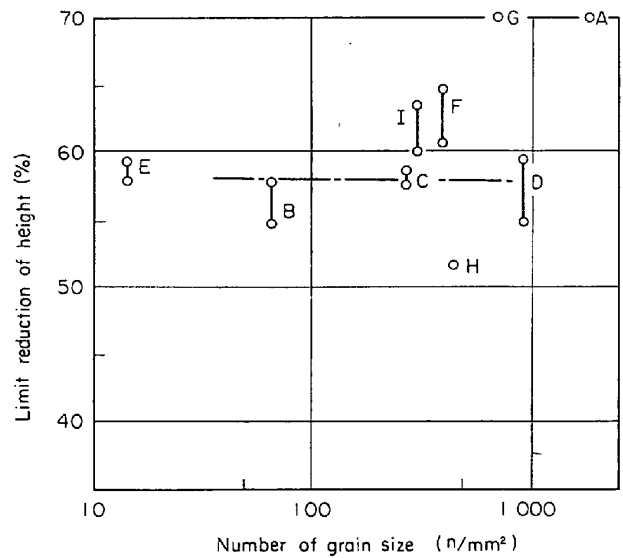


Fig. 9. The relationship between limit reduction of height(%) and grain size.

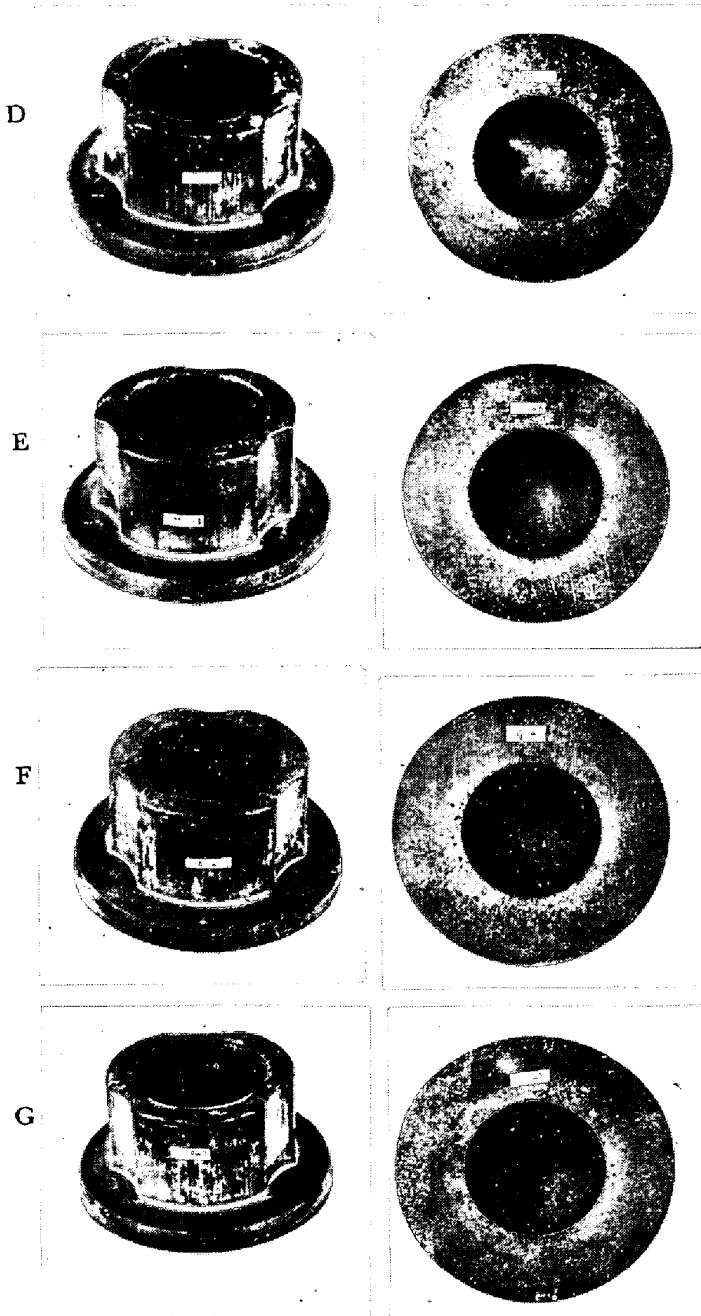


Photo. 5. Outside view of cold forming.

が、本実験は前述のごとく、最も簡単な、材料の軸方向に圧縮して、横方向に広げる、いわゆる据え込み試験により比較した。

3.3.1 硫化物の形状の影響

2.1 でのべた限界圧縮率の算出方法にもとづき、Fig. 7 に限界圧縮率と硫化物形状の関係を示す。限界圧縮で発生するワレはほとんどが圧延方向に平行で、硫化物を起点にしたものである。

硫化物の形状比 (幅/長さ) が B, C, D, E, H 鋼のように小さい場合は限界圧縮率は 53~63% で、形状比大きくなるにしたがつて、限界圧縮率は上昇し、G 鋼

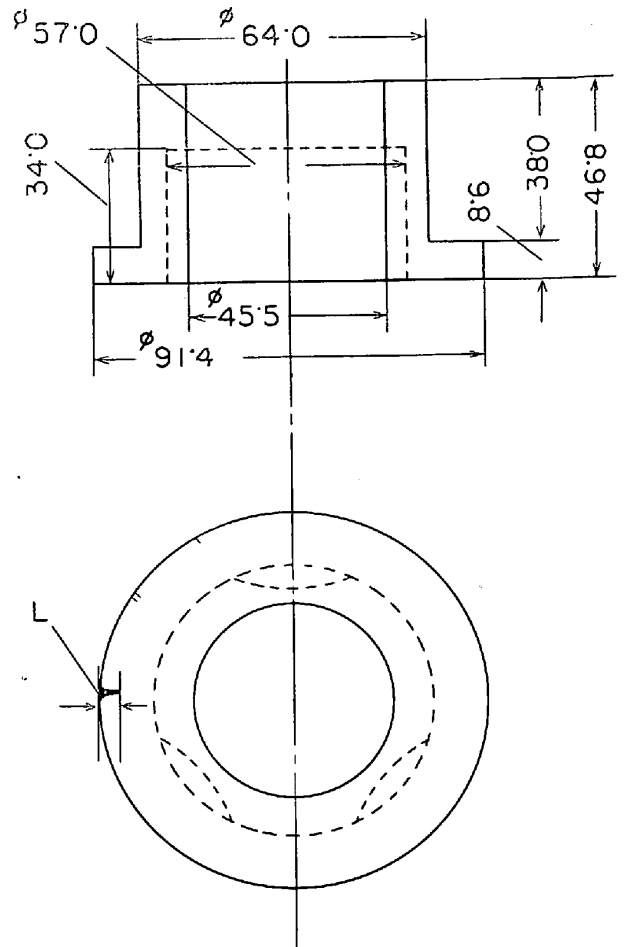


Fig. 10. Dimension of cold forming.

のように形状比が 0.6 程度では 70% 程度に達し、基本鋼とほとんど同程度になる。

3.3.2 硫化物の面積率の影響

硫化物の面積率は S 添加量と相対的な関係にあることはのべたが、硫化物の形状にそれほど大きな差がなければ限界圧縮率は硫化物の面積率とほぼ直線的な関係を示し、面積率が増加するにつれて、限界圧縮率は低下する。Fig. 8 はその関係を示す。図中 I 鋼がこの直線関係から離れているのは、硫化物の形状による効果である。

3.3.3 焼なましカタサおよび結晶粒度の影響

一般に冷間加工性は炭化物の分布状態が同一であれば、カタサは低くければ低いほど、また結晶粒度は整粒で細粒 (極たんに細かいものは不良) がよいことは、周知のことであるが、本実験に用いた供試材は前述のごとく、限界圧縮時の破壊が硫化物に起因するので、はつきりした傾向は認められない。すなわち、一般鋼の場合の冷間加工性は基地の性質 (炭化物の分布、カタサ、結晶粒度) に依存するが、この場合は硫化物の性質、形状に

Table 3. Result of compression test.

Specimen	No	Crack length (mm)				
		~ <1	1 ≤ ~ <2	2 ≤ ~ <3	3 ≤ ~ <4	4 ≤ ~
F	1					
	2	///				
	3					
	4			//	/	
	5					
G	1					
	2	///				
	3					
	4					
	5					
D	1	/// // //			/	
	2	/// //	///	///	/	
	3	/// //		/// /	/	/
	4	/// //	/	///		
	5	/// //	///	//	/	
E	1	///				
	2	/				
	3					
	4	/// //			/	
	5		//			

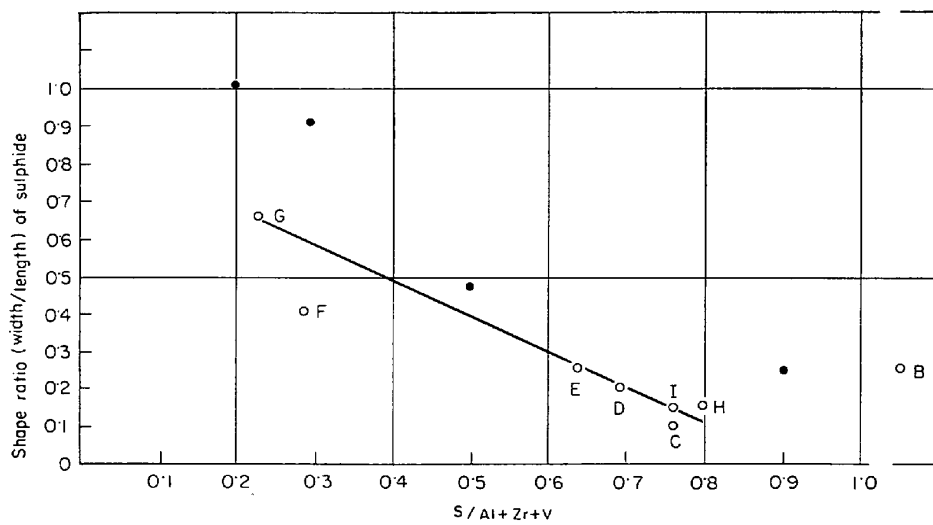


Fig. 11. Effect of S/Al+Zr+V on the shape ratio of sulphide.

よる切欠効果, 基地との境界の性質などに依存する加工限界値が基地の限界値に比べ低い値のため, 破壊が早期に発生したものである。しかしG鋼の場合は, 硫化物の形状が紡錘状から, さらに円形に近い形状に変化したため, 硫化物の性質, 形状などに依存する限界値が基地の限界値と同程度に達したと考えられる。Fig. 9は限界圧縮率と結晶粒度の関係を示す。硫化物形状比(幅/長さ)の小さいレベルのB, C, D, E鋼では限界圧縮率の結晶粒度依存性は認められない。

3.4 実用試験

前節までの結果にもとずき, 代表的な供試材D, E, F, G鋼を実際の冷間鍛造工程に組み入れ, 冷間加工性を観察した。Fig. 10は冷間鍛造用素材および加工品の寸法を示す。加工性の比較は加工品で最も可酷な条件になるフランジの部分について, クラックをチェックし評価した。Photo. 5に加工品の外観を示す。またTable 3は加工品について, クラック長さとお数をチェックした結果である。D鋼が最もクラックの発生が多く, 次いでE, F, Gの順となつている。G鋼は1mm以下の微細なものが最高3個認められただけで, その水準は基本鋼に比べてそんな色のないものである。

3.5 硫化物形状におよぼす Al, Zr, V の影響

Fig. 11は硫化物形状におよぼすSおよびAl+Zr+Vの影響を示す。Al, Zr, Vの添加が硫化物の形状比(幅/長さ)を小さくすることは前にのべたが, S/Al+Zr+Vを基準に考えた場合, 約0.05% S水準ではS/Al+Zr+Vの減少によつて, 硫化物形状比は大きくなる傾向があり, S/Al+Zr+V比が0.25以下になる

と硫化物はほとんど変形しなくなる。また図中の●印は7kg鋼塊(鍛造比25)による0.1% Sレベルの鋼の実験結果⁶⁾である。溶製法などが異なるため若干の問題はあると考えるが, 0.05% Sレベルに比べS/Al+Zr+Vが比較的大きいところで介在物の形状比が小さくなる傾向がある。

4. 結 言

転動疲労特性, 冷間加工性において, 基本鋼の水準を得ることを目的にSCM22Ca-S快削鋼の改良実験を行なつた結果, 次のようなことが明らかになつた。

- 1) 0.05% S水準の快削鋼では, 硫化物の形状比(幅/長さ)が0.6以上であれば, 基本鋼と同程度の冷間加工性を得ることができる。
- 2) 硫化物の形状改善にはAl, ZrおよびVの添加が有効であるが, 0.6以上の形状比を得るにはAl+Zr+VはS含有量の約2.5倍以上必要である。
- 3) 基本鋼に0.05% S単独添加鋼は基本鋼に比べ転動疲労特性は劣化する。

文 献

- 1) 山中, 大宮: 鉄と鋼, 41 (1955) 3, p. 126~303
- 2) 大沢, 丹羽: 日本機械学会, 第256回座談会, p. 9~12
- 3) E. J. LICHY, G. C. DUDERSTADT, and N. L. SAMMAYS: J. Metals, (1965), July p. 769~775
- 4) 加藤: 鉄と鋼, 48 (1962) 6, p. 753~761
- 5) L. LUYCKX and J. R. BELL: Met. Trans., 1 (1970) December p. 3341
- 6) 日下, 岩丸: 未発表