

(討20) 鉄合金のこり系と降伏応力の結晶方位依存性

金材技研 田岡忠美* 竹内伸 古林英一

*現八幡東研

§1 序

金属結晶のこり系はその変形機構、機械的性質、再結晶や変態等を理解するのに最も重要である。F.C.C.金属ではこり系は $\{111\}\langle 110 \rangle$ であるがBCC金属ではこり方向は $\langle 111 \rangle$ にまわつてゐるが、こり面について定説がない。i) $\{110\}$, ii) $\{111\}$, $\{112\}$ と $\{123\}$, iii) どれが最大せん断応力面の三説に大別されBCCに特有な波状こり帯は上の一又は二のこり面での交叉こりによると考えられてゐる。又温度により変り、低温で $\{110\}$ 、常温で $\{112\}$ 更に高温で $\{123\}$ が切らく傾向がみとめられてゐる。最近の電顕直接観察も十分に素こり面を観測してゐない。従つて臨界せん断応力、その温度変化等を求めることが出来ない。

この研究ではFe, Si-Fe, Al-Fe, V-Feについて $\langle 111 \rangle$ 晶帯に属する低指数面に最大せん断応力があるような方位の単結晶 引張り、圧縮変形についてこり系、その臨界せん断応力、その温度変化、降伏応力の結晶方位依存性を測定、更にこり帯の転位分布の結晶方位による差も観察した。その結果

- i) $\{110\}$ 面こりの臨界せん断応力が結晶方位(引張り軸に対する)により変る。
- ii) $\{112\}$ 面こりの臨界せん断応力がこりの向きによつて変化する等の異常現象が明らかになつた。それ等の結果について述べる。

§2 実験方法

表1の成分の鉄、鉄合金単結晶と1mm厚さの板材を用い、歪焼鈍法で製作し、結晶の成長方向に平行に

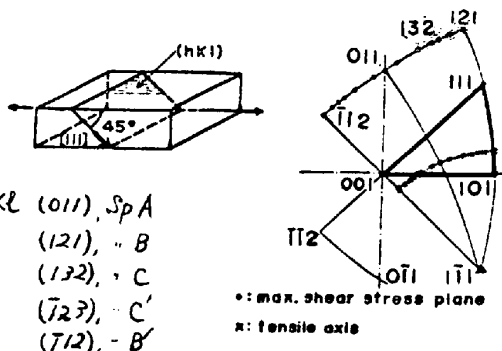
specimens	C	Si	Mn	P	S	V	Al
Fe	0.002	0.001	0.001	0.001	0.004		0.001
2.6%Si-Fe	0.001	2.57	0.006				
4.4%Si-Fe	0.001	4.36	0.01	0.004	0.002		
1.9%V-Fe	0.0018					1.90	
9.6%V-Fe	0.005	0.13	0.01	0.004	0.001	9.62	
2.9%Al-Fe	0.002	0.01	0.01	0.004	0.004		2.92

表1 鉄、鉄合金単結晶の化学成分

行に4mm平行部16mmの引張り試料を切り出した。引張り軸に対する方位は表1図に示すようにこり方向 $[1\bar{1}1]$ が側面に平行で最大せん断応力が $\{111\}$ 晶帯の (011) , (121) , (132) 等にあるように選んだ。夫をSpA, SpB, SpCと呼ぶ。 (011) に対し対称な $(\bar{1}12)$, $(\bar{1}23)$ 方位をSpB', SpC'と夫々呼ぶ。

又溶解法で作つたブロック状単結晶から同じ方位の試料を切出し、圧縮試験した。変形速度は1%/minで常温より液体窒素温度の範囲でインストロニ型試験機で変形した。

こり面は~1%伸張した試料のこり帯降伏応力の方位依存性を決める。こり帯



- hkl (011), SpA
- (121), SpB
- (132), SpC
- ($\bar{1}23$), SpC'
- ($\bar{1}12$), SpB'

表1図 試料の結晶方位

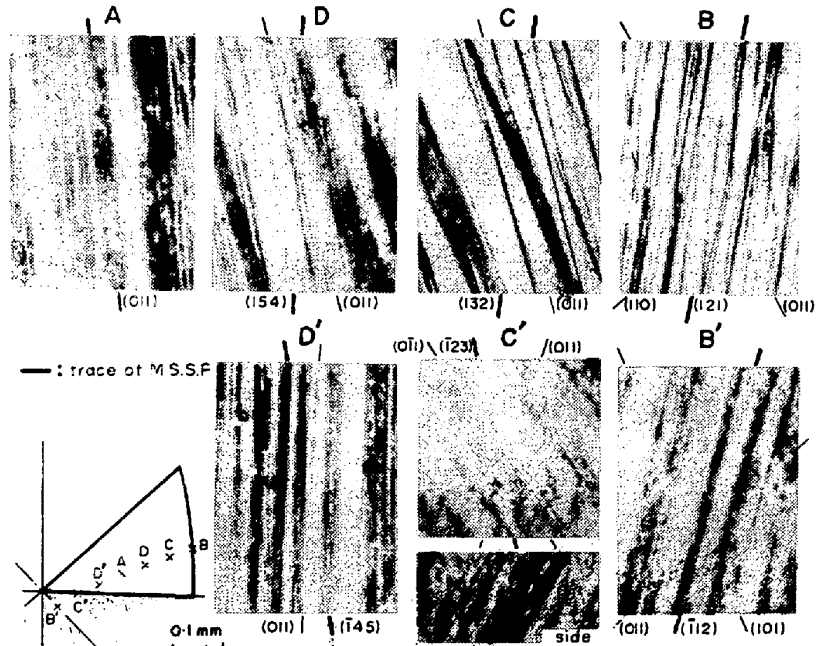
S142

の転位分布の直接観察を 500KV SMH-1A 電顕で行った。

§3 測定結果

3-1 上り面の観察

1例として 4.4% Si-Fe と常温で 1% 伸張した時の表面の上り帯をオ2図に示す。各試料共に単一上り帯で SpA では (011), SpB では (121) のトレスにそい、SpC ではほとんど (011), SpC' では (011) と (121) トレスの中間にある。各方位の試料の上り帯の (011) からの傾きを示したのがオ3図である。SpA から SpB までは (011) 面に平行であるが SpA と SpB の間では (011) と最大せん断応力面の間にあることが分る。この傾角は 2.6% Si-Fe の場合でもサとりられた。



オ2図 4.4% Si-Fe の上り帯

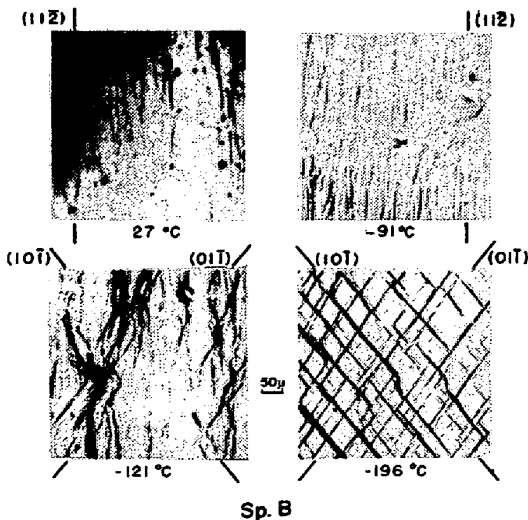
オ2図 4.4% Si-Fe の上り帯。SpA から SpB までは (011) 面に平行であるが SpA と SpB の間では (011) と最大せん断応力面の間にあることが分る。この傾角は 2.6% Si-Fe の場合でもサとりられた。

上り面の変形温度の影響は SpA では観察されず 全温度範囲で (011) 面である。一方 SpB ではオ4図に見られるように 常温での (121) 面から -100°C 付近から (011) 面に変わる。この傾角も全測定試料について同じである。

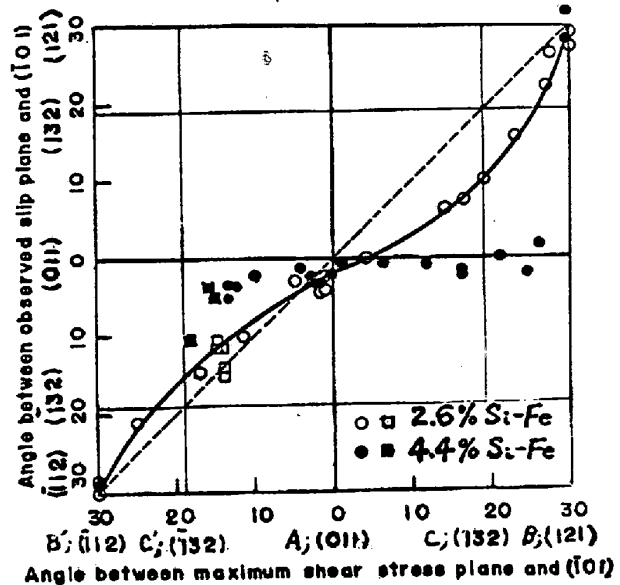
3-2 降伏応力の温度に伴う変化

オ5図に測定した全試料の SpA, B, B' の降伏応力の温度変化を示す。各試料共に SpA に比べ SpB, SpB' の降伏応力は高く 温度変化も大きい。又 SpB の降伏応力が SpB' に比べ、すべての試料で大きいのが注目される。SpB で上り面が (011) から (121) に遷移する温度も各曲線上

で示した。よすは、(011) 面の降伏応力の 1.15 倍が (121) の降



オ4図 2.6% Si-Fe の上り帯温度変化



オ3図 2.6, 4.4% Si-Fe の上り帯方位

伏応力に当る温度をえす。主り面の遷移温度は常に上の温度より低い事に注意。

3-3 降伏応力の結晶方位による変化

2.6%, 4.4% Si-Feにおいてオ6図に示す。両試料共に(011)に対し結晶学的に対称な左右で降伏応力は非対称に変化する。引張り試験で SpB と SpB' を比較すると SpB が2.6%Siに対し~4%, 4.4%Siに対し~13%高い。圧縮試験ではせん断応力の向きが反対になり、(011)の左右で逆になつてゐる。

又両試料で SpA の降伏点を通る破壊は、全結晶方位で(011)面で分解せん断応力の法則に従つてとると仮定した時の値で SpB, B' では SpA の1.15倍である。観測値は2.6%Si-Feで低く4.4%Si-Feで高くなつてゐる。後者で SpA から SpB 近くまで(011)面とりが観察されてゐるので明らかSchmid法則は成立しない。

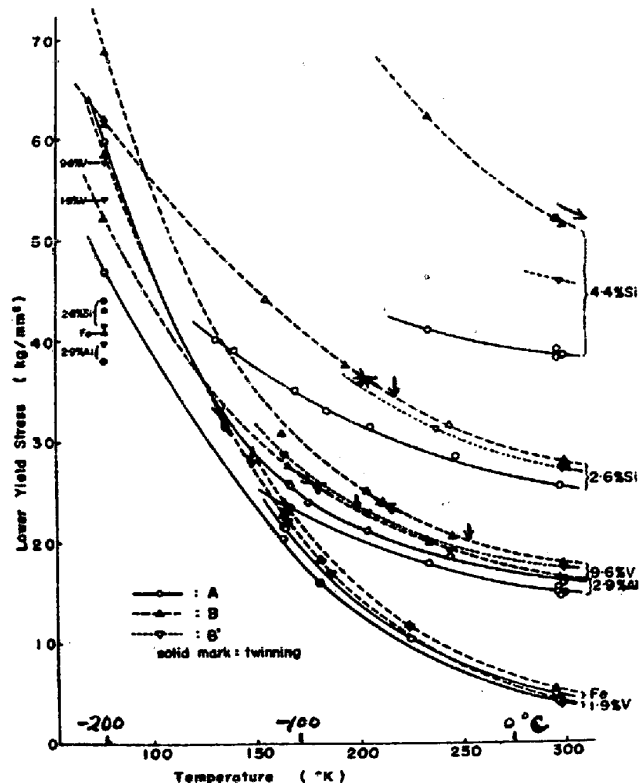
3-4 主り帯上の転位分布

上述の降伏応力の結晶方位による異常変化と明らかにする手がかりとして、各試料の主り面の転位分布も主り帯に平行に切り出した薄膜で電顕観察(500KV SMH-1A)した例もオ7図に示す。 SpA, SpC' の圧縮後の写真で何れも(011)面であるが、一見して異なる。 SpA の転位は $\langle 111 \rangle$ にそうラセ=転位が大部分で長くのびてゐる。 SpC' ではloopsやdebrisが多く転在し、転位はCuspやdipoleに伴うedge成分が増えてゐる。転位のscrew成分に対するedge成分の比、転位の全長に対するloopsやdebrisの数をオ8表に示した。尚loopsやdebrisのBurgersベクトルは転位と同じ $\langle 111 \rangle$ である。

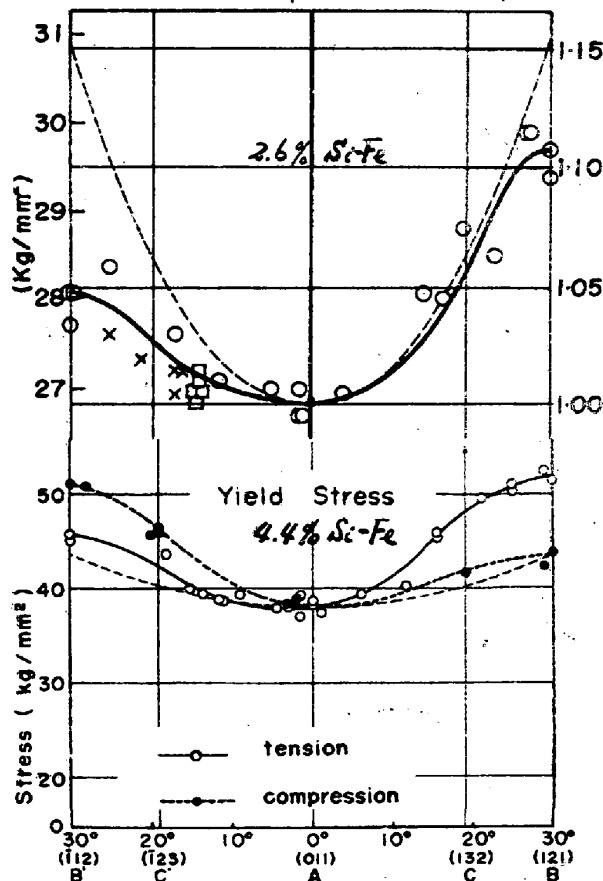
5-4 考察

4-1 主り系

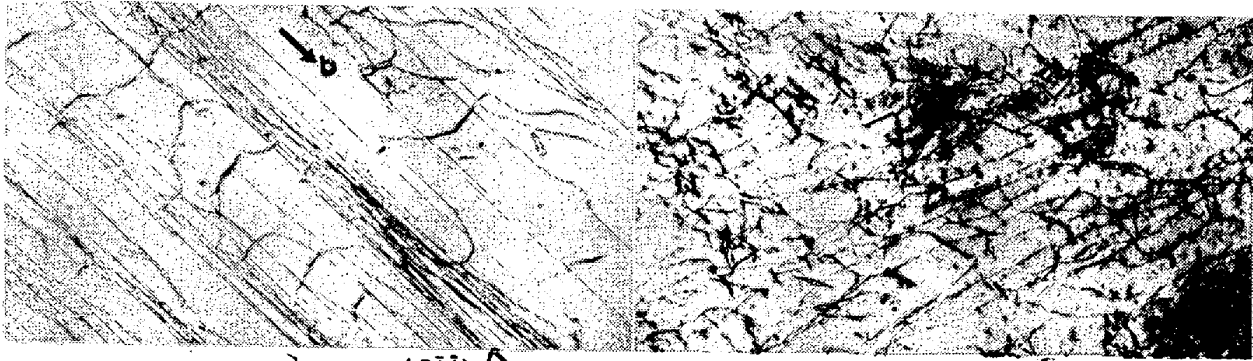
SpA で $1011\langle 111 \rangle$ 主り系、 SpB, B' で $1121\langle 111 \rangle$ 主り系の存在は明らかであらう。



オ6図 鉄-鉄合金の降伏応力の温度変化



オ7図 降伏応力の結晶方位による変化



A orientation 1μ (011) (111) (100) C' orientation 0.5μ (111) (100)

★7図 上り帯に生じた脱膜の電顕写真

specimens	edge comp. / screw comp.	density of loops & debris / density of dislocations
A	0.16	$0.6 \mu^{-1}$
C'	0.56	$2.1 \mu^{-1}$

Sp B, Sp B' の上り帯が $\{011\}$ $\langle 111 \rangle$ 上りの交叉と考へることは降伏応力が Sp A の (011) 面の臨界せん断応力から期待される値に比べ 2.6% Ni-Fe で低く 4.4% Ni-Fe で明らかに高いことから否定される。Sp A と Sp B, B' の間の方位では最大せん断応力面上に上り帯は生じておらず、このような試料では一応 $\{011\}$, $\{111\}$ 面上りの交叉と考へるべきであろう。

★8表 4.4% Ni-Fe の Sp A, Sp C' 上り帯上転位の edge 成分と screw 成分の比, loops と debris の密度。

★-2 $\{112\}$ 面上りの臨界せん断応力の上りの向きによる相違

Steijn, Šesták 等が Fe と Ni-Fe で同じ結果を得ておることは合金でのみおこる現象ではない。臨界せん断応力の低い Sp B' (圧縮のときは Sp B) は応力の向きが双晶上りの向きで Sp B (又は Sp B') は逆向きとなる。双晶面 $\{112\}$ 面上の $\langle 111 \rangle$ 転位の周りの原子配列が対称ではなく Peterls Nabarro のポテンシャルの形が対称ではなく 転位のしり応力が向きにより異なるためであろう。

★-3 (011) 面上りの臨界せん断応力が結晶の方位により変化

Šesták 等は上り面に垂直な応力の差で説明しておるが引張り変形と圧縮変形で差がないこと等から否定される。Sleeswyke による $\{112\}$ 面での転位の分解の影響とすゝことも積局欠陥エネルギーが余りなくないので考えられる。 (011) 面上の転位は Sp C' で cusps や dipoles が多岐みられるがこれはラセン転位に不動ジョグの多数の存在を示しておる。Sp C' では (112) 面上の分解せん断応力が大きいことから (011) 面から (112) 面へ更に (011) 面へ交叉上りもおこすことにより (112) 面上のジョグの形成が考えられる。この (112) 面上の edge 成分をもつ jog がより難く debris や dipole を作り 転位の運動を止まらせておると考える。

文献

- 1 竹内伸: 日本物理学会誌, 19 (1964) No7, p427 (2.6% Ni-Fe)
- 2 T. Taoka, S. Takeuchi & E. Furubayashi; J. Phys. Soc. 19 (1964) 702.
- 3 D. Hull; Proc. Roy. Soc. 274 (1963) 4; F.W. Noble & D. Hull: Phil. Mag. 12 (1964) 777
- 4 R.P. Steijn & R.M. Brick: Trans ASM 46 (1964) 1406
- 5 B. Šesták & S. Libovický: Acta Met. 11 (1963) 1170