

鋼材の鍛錬と繊維状組織並びに 機械的性質の關係に就て

(日本鐵鋼協會第 19 回講演大會講演昭和 13 年 4 月)

菊田多利男*
森 靖*

THE FORGING EFFECT ON THE FIBRE AND MECHANICAL PROPERTIES OF STEEL.

Tarō Kikuta and Yasushi Mori.

SYNOPSIS:— In order to obtain superior steel bars, it is necessary that the ingot is made sufficiently refined from wellselected raw materials and also that the ingot is remarkably well-forged. Recently, various excellent aircraft structures and aero-engines are manufactured. Such structures and engines are light and strong, for which superior and well-forged steels are to be used. For obtaining the superior steel forgings, care should be taken not only for the shape of the forging, but also for the state of its inner structure, *i. e.*, the fibre flow of forged steel; and this is especially important for the parts of engines and other constructional parts of the aeroplane.

In this paper, we explain the effect of forging under various conditions upon the mechanical properties of steel and also clarify the relations between the forging rate, the fibre flow, the mechanical properties, etc.

I. 緒 論

優良なる鋼材を造らんとするには先づその原料を厳選し充分精錬せられて得た鋼塊を入念鍛錬しなければならぬ。近時各種の機械器具の優秀なるものを作らんとするに當り鋼材の鍛錬に注意する様になり、その鍛造品は形状のみならず内部の繊維組織の如何をも論議される様になった。特に航空機の發達は一層この方面の研究を喚起して居る。

本報告は航空機用 $Ni \cdot Cr$ 鋼につき種々に鍛延した場合の繊維状組織の状態を検べ、それに關聯して機械的性質の變化をも併せ研究し、鋼の鍛錬の程度とそれに依て發生する繊維組織の發達及び機械的性質の間の關係を明かにすることに努めた。而して鋼塊時にあつた樹枝状結晶が鍛錬により如何なる影響を受けるものか併せ考究した。この種の研究は理論的考察よりも實際的事實により解決される性質のものであるから主として現場作業により得られた鍛造品に就き研究を行た。

II. 第一次實驗

鍛錬係數と繊維状組織並びに機械的性質の關係に就ては既に幾多の研究が發表され大體の傾向は知られてゐる。伊

丹氏¹⁾の研究に依れば $Ni \cdot Cr$ 鋼は鍛錬係數 5 に至れば樹枝状晶は大部分破壊され微細なる組織を呈する。又機械的性質と鍛錬係數との關係に就て從來の研究結果を總合すると抗張力及降伏點は鍛錬係數により著しき影響を受けぬが延伸率、断面收縮率、衝擊値等は鍛錬係數 3 迄は方向の如何に關せず急激に増加する、それ以上鍛錬係數が増加すると縦方向には幾分増加の傾向はあるが著しい影響を受けぬ、横方向には一般に減少の傾向を有し衝擊値は殊にこの減少が甚しい様である。

本實驗では先づ此等の關係を明らかにする爲 450 kg 鋼塊より鍛伸せる 200 mm 角の有合せの鋼片を一方向に鍛伸して其マクロ組織と機械的性質の關係を見た。尙本實驗では 1,500 t 水壓機と 2.5 t 汽鎚にて鍛錬を行て兩者の比較を行たが殆んど差異が無かつたので汽鎚鍛錬の結果は之を省略した。

1) 試材の成分 本實驗に使用した鋼片の化學成分は第 1 表に示す如き $Ni \cdot Cr$ 鋼である。

第 1 表 (%)

鋼塊番號	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
41380	0.40	0.24	0.36	0.017	0.004	3.64	0.90

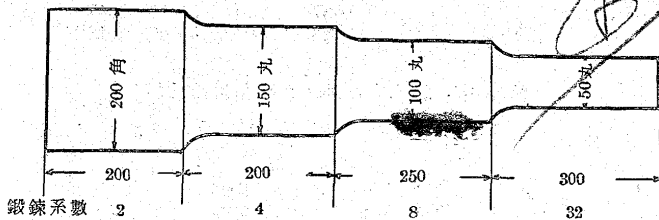
¹⁾ 伊丹、鐵鋼協會、第 11 回研究部會第 1 回鋼材部會昭和 10 年 4 月。

* 日立製作所安來工場

102

2) 鍛錬の方法 上記成分を有する 200 mm 角の鋼片を 1,500 t 水壓機を以て第 1 圖に示す如く丸棒に鍛延し鍛錬係數 2, 4, 8, 32 に相當する階段狀鋼片を造た, 此時の鍛錬溫度を目測したる結果は第 2 表に示す如くである。

第 1 圖 (寸法 mm)

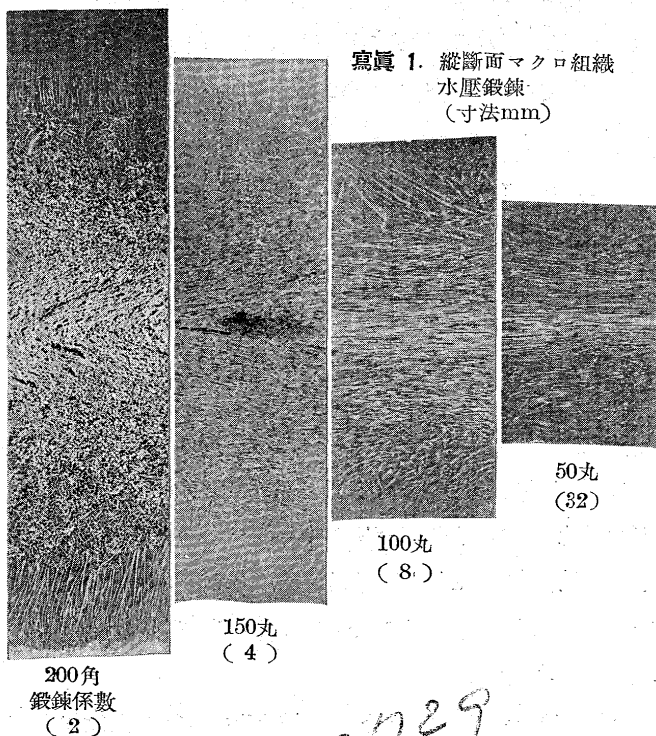


第 2 表

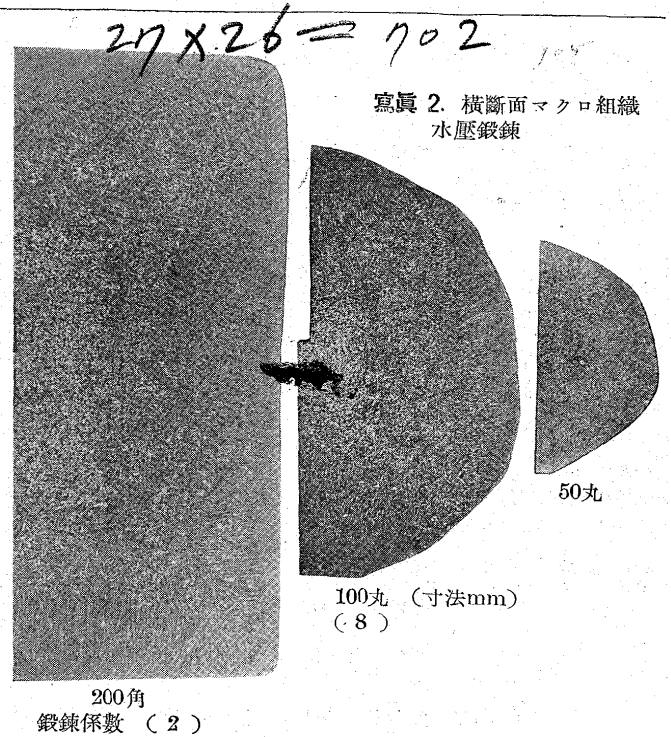
鍛伸程度	鍛錬溫度		
	150mm 丸	100mm 丸	50mm 丸
中延の時	約 1,050°C	約 950°C	800~750°C
最後に丸形に仕上時	約 700°C	約 700°C	約 600°C

3) マクロ組織試験 (2) の如く水壓機にて鍛伸したものを鋼片の軸に平行と横の兩方向に切斷しその切斷面のマクロ組織を見た。寫眞 1 及び寫眞 2 は夫々縦方向及横方向の斷面のマクロ組織である。マクロ寫眞を見ると 200 mm 角荒延粗材では原鋼塊の柱狀晶及自由晶が其儘殘存してゐる。即鍛延係數 2 程度では樹枝狀結晶を明らかに認めることが出来る。

鍛錬度が 4, 8 と進むに従て内部の樹枝狀結晶は次第に



寫眞 1. 縦斷面マクロ組織 水壓鍛錬 (寸法 mm)



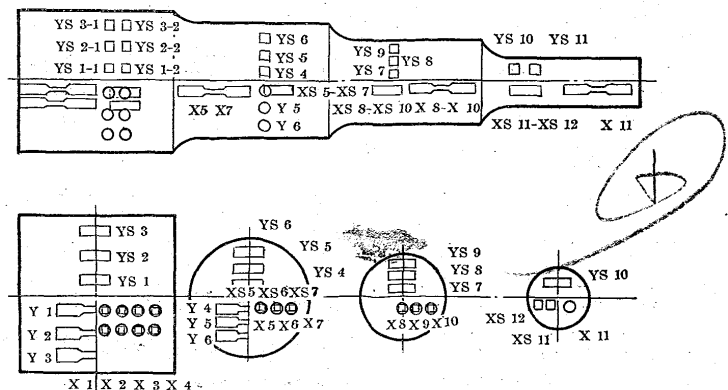
寫眞 2. 横斷面マクロ組織 水壓鍛錬

破壊され微細組織となる。外部の柱狀晶は鍛延の方向に向ふ様になり、鍛錬の効いた處には纖維狀組織が現はれる。

鍛錬係數 8 即 100 mm 丸に鍛伸されたものは周邊部に多少の原柱狀晶を殘存するが、内部樹枝狀晶は殆んど消失し鍛伸方向に纖維狀組織が現はれてゐる。横斷面のマクロ組織を見ると邊周の處は壓縮鍛錬の影響を受放射線狀の晶を示すが、中心部は微細は組織となつて居る。

4) 機械的試験 (2) の如く鍛錬した鋼材は一度焼鈍した後第 2 圖に示す如く原鋼塊軸方向 (X 軸) 換言すれば鍛延の方向に平行とそれに直角の方向 (Y 軸) に沿ふて 20 mm 角 150 mm 長さの試料を採取した。採取した試料は 850°C 油焼入 600°C 焼戻水冷の熱處理を施したる後抗張試験片は平行部 14 mm 丸標點距離 50 mm に仕上げ、衝撃試片は 10 mm 角長さ 60 mm のシャルピー試験片に仕上げた。

第 2 圖



27x27=729

如斯各所よりとりたる試験片の試験の結果を示すと第3表乃至第6表の如くである。これ等の結果より見ると、

第3表 縦(鍛鍊)方向に於ける抗張試験成績

鍛伸寸法	記號	降伏點 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸%	絞%	硬度 ブリネル	其他	
200mm 角材 素	X1-1	95.2	99.1	5.53	8.12	302	破面傾斜60°	
	X1-2	94.8	105.9	14.47	40.65	302		
	X2-1	95.4	106.0	14.20	37.70	293		
	X2-2	93.5	105.0	15.26	39.05	293		
	鍛鍊係數 2	X3-1	91.8	103.8	17.10	43.45		285
		X3-2	95.0	106.1	17.10	46.20		302
		X4-1	90.1	105.3	17.10	46.20		293
		X4-2	94.7	105.4	17.60	47.70		293
	150mm 丸 鍛鍊係數 4	X 5	93.4	104.9	18.15	51.60		302
		X 6	94.9	106.6	18.42	54.20		302
X 7		94.0	104.6	19.20	56.70	302		
100mm 丸 鍛鍊係數 8	X 8	91.2	103.2	18.40	55.50	285		
	X 9	93.0	105.3	18.40	54.20	293		
	X10	92.4	103.6	18.90	56.70	293		
50mm 丸 鍛鍊係數32	X11	95.4	106.4	19.20	64.20	302		

第4表 縦方向に於ける衝撃試験成績

鍛伸寸法	記號	衝撃値 kg/cm ²	硬 度 ブリネル
200mm 角材 素	XS 1-1	4.81	293
	XS 1-2	7.34	302
	XS 2-1	5.14	302
	XS 2-2	6.85	302
鍛鍊係數 2	XS 3-1	8.31	293
	XS 3-2	7.65	302
	XS 4-1	7.82	302
	XS 4-2	7.65	293
150mm 丸 鍛鍊係數 4	XS 5	10.54	302
	XS 6	10.31	302
	XS 7	10.28	302
100mm 丸 鍛鍊係數 8	XS 8	13.18	293
	XS 9	11.67	293
	XS 10	12.20	285
50mm 丸 鍛鍊係數 32	XS 11	9.57	302
	XS 12	10.10	302

(イ) 降伏點及び抗張力は縦横兩方向に於て何れも鍛鍊係數に殆んど左右されず且中心と外部に於ても殆んど同一値を示して居る。

(ロ) 延伸率は鍛鍊係數2程度の素材に於ては中心部自由晶附近は低く外側に向ふに従ひ高くなつてゐる。150 100 50mmと鍛鍊係數を増加するに従て中心も外部も殆んど同一値を示す、而して此等相互間に於ても大差がない。即鍛鍊係數が4以上となれば鍛鍊はかなり効いて延伸性にはあまり影響せぬこととなる。

(ハ) 断面收縮率も素材に於ては中心部は著しく低く外周部程高くなつてゐる、150mm丸に於ても外部と中心部とでは幾分差が認められるが、100mm丸、50mm丸では中心部も外部も殆んど同一値を示して居る、即鍛鍊係數8以上に於ては鍛鍊度を増しても何等影響が認められない。

第5表 横方向に於ける抗張試験成績

鍛伸寸法	記號	降伏點 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸%	絞%	硬度 ブリネル	其他
200mm 角材 素	Y1-1	91.4	102.9	13.16	28.45	285	破面傾斜6°
	Y1-2	—	59.7	2.63	8.12	293	
	Y2-1	93.3	104.0	15.80	36.14	285	
	Y2-2	92.3	103.7	14.47	34.60	285	
	Y3-1	93.0	104.2	17.90	47.70	285	
	Y3-2	92.1	103.1	18.15	47.70	285	
150mm 丸	Y 4	92.9	105.3	14.70	36.14	285	
	Y 5	95.1	106.2	15.80	36.14	285	
	Y 6	91.2	102.6	16.84	44.90	293	

第6表 横方向に於ける衝撃試験成績

鍛伸寸法	記號	衝撃値 kgm/cm ²	硬 度 ブリネル
200mm 角材 素	YS 1-1	6.05	293
	YS 1-2	5.90	293
	YS 2-1	7.01	293
	YS 2-2	6.85	293
	YS 3-1	7.48	293
	YS 3-2	7.49	293
150mm 丸 鍛鍊係數 4	YS 4	6.36	285
	YS 5	6.67	293
	YS 6	7.65	302
100mm 丸 鍛鍊係數 8	YS 7	5.74	293
	YS 8	6.05	293
	YS 9	7.01	293
50mm 丸 鍛鍊係數 32	YS 10	5.44	302
	YS 11	5.14	302

(ニ) 縦方向の衝撃値は鍛鍊度の進むに従ひ次第に増加して最大値に達しそれ以上鍛鍊を效かすと却て減少する。即この場合に於ては 100mm丸までは次第に衝撃値を増して居るが、この點より尙鍛鍊を進ませ 50mm丸となつたものは却て衝撃値が減じて居る。横方向の衝撃値は鍛鍊度の進むに従て次第に減少する傾向にある。

(ホ) 以上の諸點を綜合して見ると、鍛鍊は或程度を超して充分効かして鮮明なる纖維狀組織を現出せしむることは凡ての方向の機械的性質を向上せしむるものと考へられない。適度の鍛鍊をなし適度の纖維狀組織を現出せしむる時に初て最高機械的性質を保持せしむるのであるまいかと思考せらるゝのである。

III. 第二次實驗

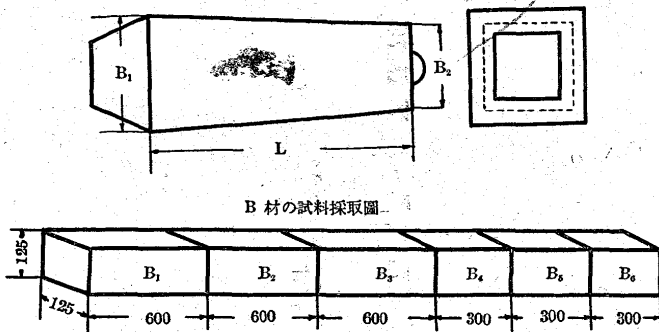
本實驗に於ては前回同様の鍛伸方法を行へる場合鋼塊の大き及び鍛鍊温度の影響を見る爲に 1,200 kg, 350 kg, 150 kg の三種類の角型鋼塊を使用し、一鋼塊に就き 500 1,000 1,100°C と三種の鍛鍊温度にて鋼塊軸方向に鍛伸を行ひ、鍛鍊度と纖維狀組織及び機械的性質の關係を見た。

1) 鋼塊の寸法及び成分 本試験に使用した鋼塊の寸

5

法を示すと第7表の如く、又其化學成分は第8表の如くである。

第3圖 鋼塊の形状



B 材の試料採取圖

第7表 鋼塊寸法

鋼塊重量	B ₁	B ₂	L
150 kg	222 mm	184 mm	610 mm
350	256	242	762
1200	400	375	990

第8表 分析成分

鋼塊番號	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
828	0.33	0.25	0.17	0.012	0.004	3.41	0.94

2) 鍛錬方法 各鋼塊は先づ第9表に示す如く鍛錬係數4に相當する角形鋼片に荒延べした。150 kg は長さ約500 mm の鋼片3箇(符號 A₁, A₂, A₃)に切斷し、350 kg は長さ約600 mm の鋼片3箇及長さ300 mm の鋼片3箇(B 材の試料採取圖参照)又1,200 kg は600 mm 長さの鋼片4箇及300 mm の鋼片4箇に切斷した。各鋼片には第9表に示す如く符號を附した。

第9表 試料荒延寸法及符號

鋼塊種類 (kg)	荒延鋼片一邊の長さ寸法 mm	鍛延機	各鋼片の符號 寸法 mm	
			長さ500又は600	長さ 300
150	100角(鍛錬係數: 4)	1.5t 汽鎚	A ₁ , A ₂ , A ₃	
350	125角(")	水壓機	B ₁ , B ₂ , B ₃	B ₄ , B ₅ , B ₆
1,200	190角(")	水壓機	C ₁ , C ₂ , C ₃ , C ₄	C ₅ , C ₆ , C ₇ , C ₈

此等鋼片の中符號 A₁ A₂ A₃ B₁ B₂ B₃ 及び C₁ C₂ C₃ C₄ をそれぞれ鍛錬温度を異にし、第4圖に示す如き階段状角棒に鍛伸した。A₁ A₂ A₃ は素材が100 mm 角であるから100 75 50 30 mm 角の4段に鍛造し B₁ B₂ B₃ は125 100 75 50 mm 角の4段に鍛造した。C₁ C₂ C₃ の鍛造寸法は第4圖に示す如くである。C₄ は原鋼塊軸方向に1/2 据込鍛錬を二回行つた後階段状に鍛伸した、各階段の長さは總べて200 mm 程度である。

以上の如く鍛伸せる各鋼片の鍛錬温度及鍛造寸法を示せば第10表の如くである。尙 B₄ B₅ B₆ 及 C₅ C₆ C₇ C₈ は据込鍛錬試験に使用した。

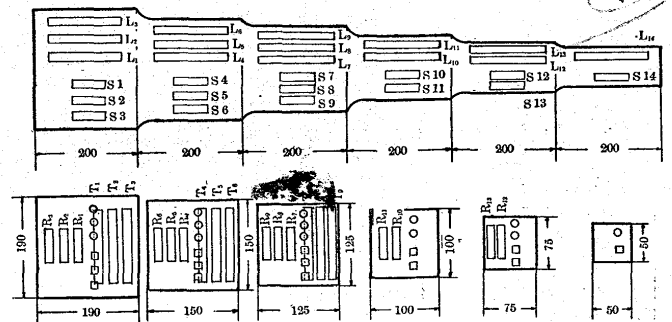
第10表 鍛錬温度と鍛造寸法

鋼塊大小 kg	記片符號	鍛錬温度		階段状試片寸法 單位 mm ()内數字は鍛錬係數	鍛錬機
		開始 °C	終了 °C		
150	A ₁	920	850	100-75-50-30 角 (4) (7) (16) (44)	1.5t 汽鎚
	A ₂	990	900	同 上	同上
	A ₃	1,150	930	同 上	同上
350	B ₁	930	830	125-100-75-50 角 (4) (6) (11) (25)	1,500t 水壓
	B ₂	1,000	850	同 上	同上
	B ₃	1,090	900	同 上	同上
1,200	C ₁	900	830	190-150-125-100-75-50 角 (4) (7) (10) (15) (27) (60)	同上
	C ₂	1,000	850	190-150-100-75-50 角	同上
	C ₃	1,080	850	190-150-125-100-75-50 角	同上
	C ₄	980	850	150-125-100-75-50 角	同上

3) 試験方法 前記の鍛錬を行つたものは、前回と同様鍛延方向と之に直角の方向の兩方向に切斷し、その斷面のマクロ組織を見た。機械試験片も前回と同様各斷面に沿ひ第4圖の如く中心自由品の部、外部柱状品の部及其中間部に相當する位置より採取した。100 mm 角以下は圖に示す如く寸法に應じ2本又は1本の試験片を採取した。熱處理は採取した試験片に就き850°C 油中焼入、600°C 焼戻水冷を施した。

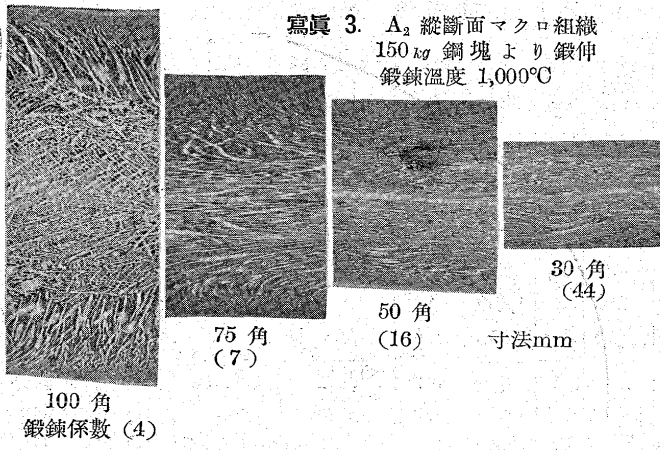
第4圖 鍛伸寸法及試験片採取位置示圖

(各鋼片共試験記號は共通)

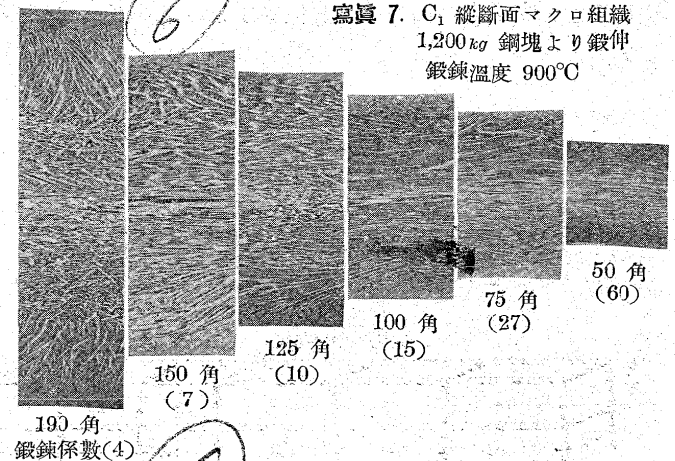


4) マクロ組織試験

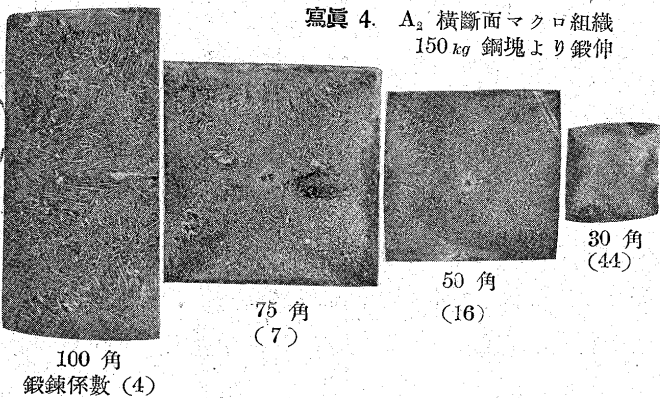
(i) 150 kg 鋼塊の場合 A₁ A₂ A₃ に就きマクロ組織を比較したが殆んど差異が認められず、鍛錬温度のマクロ組織に及ぼす影響は明瞭に現はれなかつた。寫眞3及び寫眞4は A₂ の縦斷面及横斷面のマクロ組織である。此の場合鍛錬度と樹枝状結晶との關係を見ると、鍛錬係數4に於ては内部に未だ樹枝状結晶が認められる、鍛錬係數7になると寫眞3に示す如く縦斷面は纖維状組織を示すが、寫眞4の横斷面は中心部に未だ樹枝状結晶を認めることが出来る。鍛錬係數16以上に於ては、縦斷面の纖維状組織は一層明瞭となり、横斷面は微細なる組織となつてゐる。



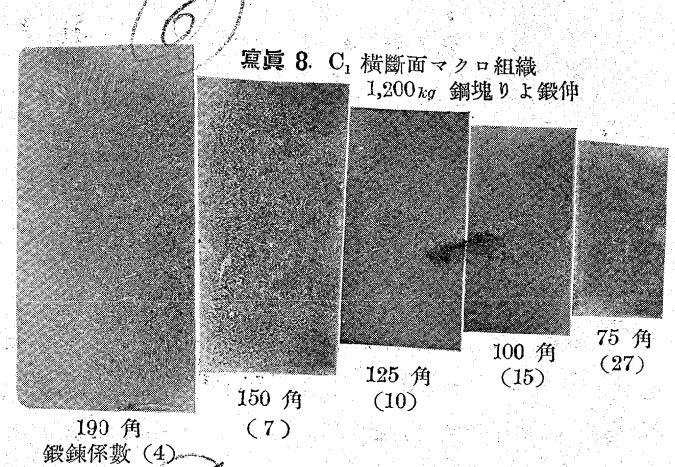
寫眞 3. A₂ 縱断面マクロ組織
150 kg 鋼塊より鍛伸
鍛鍊温度 1,000°C



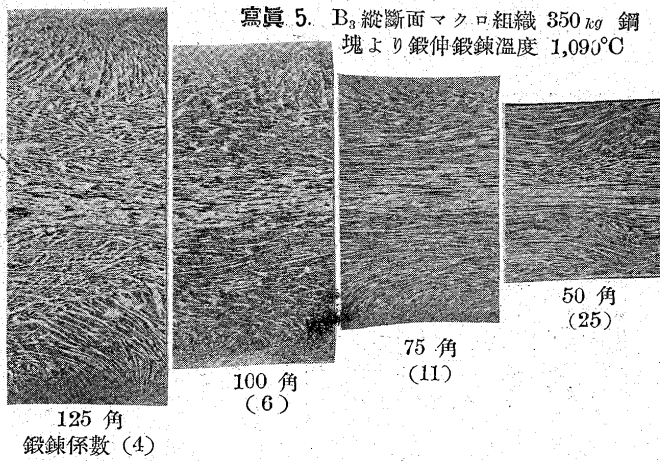
寫眞 7. C₁ 縱断面マクロ組織
1,200 kg 鋼塊より鍛伸
鍛鍊温度 900°C



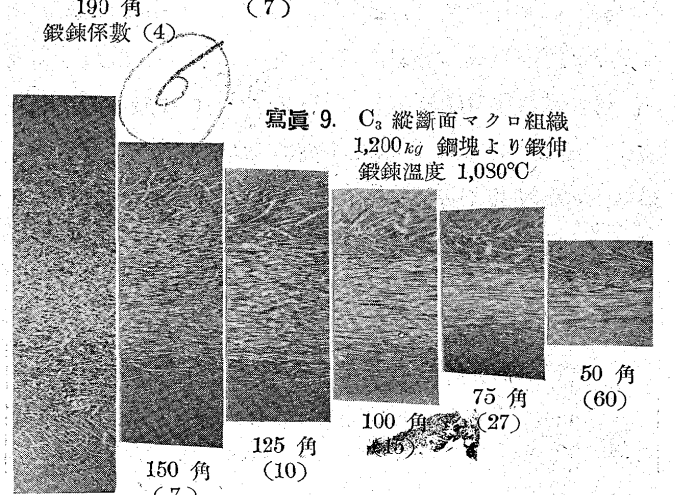
寫眞 4. A₂ 横断面マクロ組織
150 kg 鋼塊より鍛伸



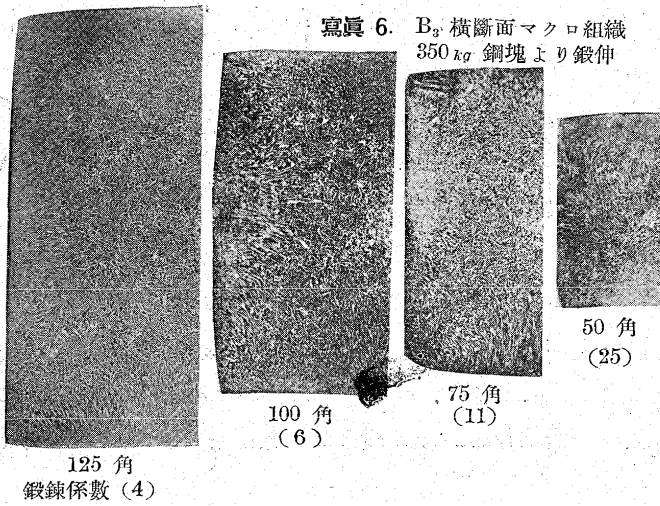
寫眞 8. C₁ 横断面マクロ組織
1,200 kg 鋼塊より鍛伸



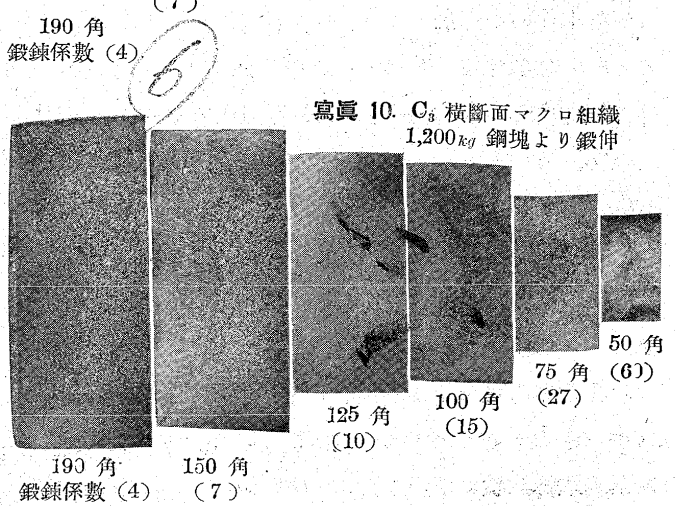
寫眞 5. B₃ 縱断面マクロ組織 350 kg 鋼塊より鍛伸鍛鍊温度 1,090°C



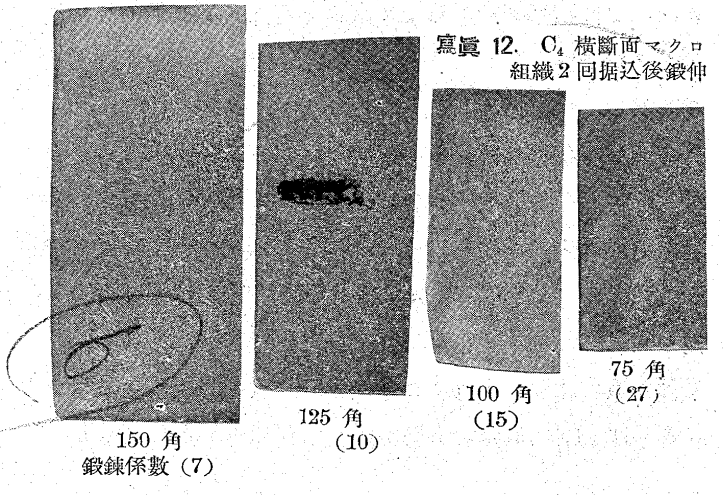
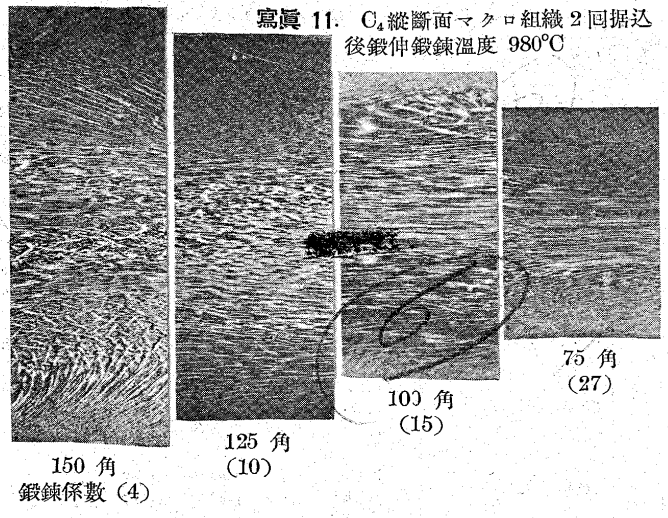
寫眞 9. C₃ 縱断面マクロ組織
1,200 kg 鋼塊より鍛伸
鍛鍊温度 1,030°C



寫眞 6. B₃ 横断面マクロ組織
350 kg 鋼塊より鍛伸



寫眞 10. C₃ 横断面マクロ組織
1,200 kg 鋼塊より鍛伸



(ii) 350 kg 鋼塊の場合 此場合もマクロ組織上に於ては B₁ B₂ B₃ の間に殆んど差異が認められず、鍛錬温度の影響は現はれなかつた。一例として B₃ のマクロ組織を示すと寫眞 5、寫眞 6 の如くである。此場合に於ても鍛錬係數 4 程度では未だ樹枝状結晶は残存するのが認められる。鍛錬度が進むに縦ひ繊維状組織は次第に明瞭に現はれてゐる。

(iii) 1,200 kg 鋼塊の場合 各試料の縦断面及横断面のマクロ組織は寫眞 7 から寫眞 12 迄に示す如くである。同一鍛錬方法で鍛錬温度を異にする C₁ C₂ C₃ に就き其のマクロ組織を比較するも著しい差異は認め難いが、大體に於て 900°C で鍛伸した C₁ は 1,000°C 以上で鍛伸した C₂ C₃ に比し内部樹枝状結晶が稍粗大なる傾向がある。2 回据込鍛錬を行つてから一方向に鍛伸した C₄ は、据込を行はなかつた C₁ C₂ C₃ に比較し、鍛錬係數 10 以下に於ける縦断面の繊維状組織發達状態は良好で鍛錬上据込の有効なることを示してゐる。又横断面の結晶組織も前者が後者より微細である。鍛錬係數 15 以上に於ては、兩者共殆んど同様のマクロ組織を呈し据込の影響は認めることが出来ない。

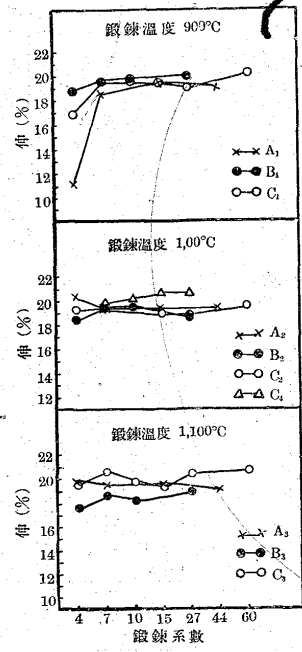
5) 機械的試験

(i) 抗張試験及衝撃試験 第11表から第 18 表迄は抗張試験及衝撃試験の結果を示したものである。此結果によると鍛錬係數 4 では伸、絞、衝撃値

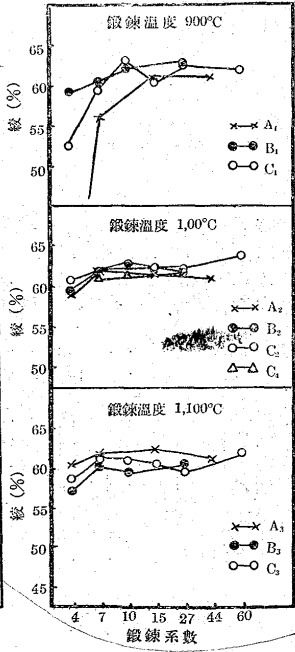
共に中心部は外部に比し著しく低い、これは樹枝状結晶の形状の差異によるものと思はれる、900°C にて鍛錬せるものは特に中心と外部との差異が甚しく、1,000 1,100°C の場合は此の差異は餘り著しくない。

次に同一鍛錬温度の場合に於ける各鋼塊試料に就き、内外部の機械的性質の平均値を取り鍛錬係數と伸、絞及衝撃値の關係を曲線にて示すと第 5 圖から第 7 圖迄に示す如くなる。此圖によると、鍛錬係數 7 以上に於ては縦方向の機械的試験値は略一定の値となり、鍛錬係數の影響とか鋼塊の大小による影響は比較的少となる。然し大體に於て鋼塊の大なる方が機械的性質は良好なる如くである。

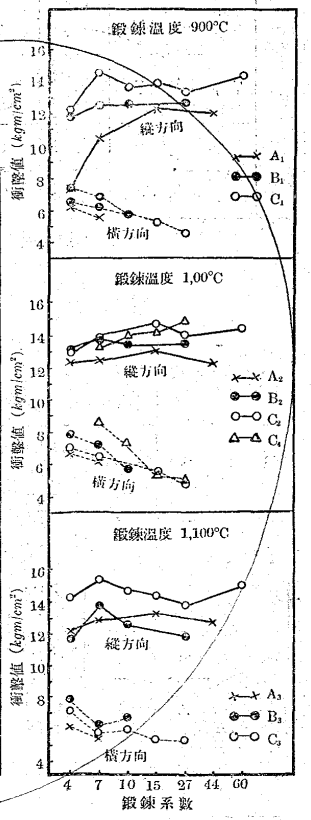
第 5 圖 鍛錬係數と伸の關係



第 6 圖 鍛錬係數と絞の關係



第 7 圖 鍛錬係數と衝撃値の關係



26 x 31 - 12 310

次に2回据込を行た後更に鍛伸を行た C₄ は他のものに比し一般に成績良好であつて、特に横方向の衝撃値は鍛錬係数 7 10 程度では据込を行はぬものに比し値が大である、鍛錬係数が更に増加し 15 27 以上となると C₂ と殆んど同一の値となる、此れは一方向に鍛伸する時は鍛伸方向のみ機械的性質が良くなり、此れに直角方向の機械的性質はかへつて低下するが、据込鍛錬を行ふ時は縦横兩方向の機械的性質を平等に良くするからである。C₄ に於て鍛錬係数の比較的小なる間は横方向の機械的性質の特に良好なるは、据込鍛錬の影響が未だ残存せることによるもの

第 11 表 A₁ A₂ A₃ の縦方向抗張試験成績

素材符號	鍛伸寸法 鍛錬係数	試片記號	降伏點 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸%	絞%	硬度
A ₁	100mm角(4)	L10	93.4	100.6	8.4	16.9	290
		L11	93.8	101.7	13.7	36.1	293
	75mm角(7)	L12	91.9	101.1	19.2	59.2	302
		L13	92.3	101.5	18.5	58.5	302
50mm角(16)	L14	91.2	101.6	19.5	61.1	302	
30mm角(44)	L15	95.0	104.6	19.0	61.1	311	
A ₂	100mm角(4)	L10	92.2	100.6	20.0	57.9	293
		L11	92.2	100.6	20.5	63.5	293
	75mm角(7)	L12	90.5	100.8	20.2	62.7	302
		L13	91.0	101.0	19.0	61.1	302
50mm角(16)	L14	89.8	100.9	19.5	61.7	302	
30mm角(44)	L15	92.6	103.2	19.5	61.1	302	
A ₃	100mm角(4)	L10	92.2	100.7	19.5	59.2	293
		L11	92.4	101.0	20.2	61.7	293
	75mm角(7)	L12	89.9	99.4	19.5	61.7	302
		L13	89.1	98.8	19.7	61.6	302
50mm角(16)	L14	88.9	100.1	19.6	62.2	302	
30mm角(44)	L15	95.1	103.6	19.2	61.1	302	

() 内は鍛錬係数

第 12 表 A₁ A₂ A₃ 衝撃試験成績

鍛伸寸法	試験方向	素材符號 試片記號	A ₁		A ₂		A ₃	
			衝撃値 kg/cm ²	硬度	衝撃値 kg/cm ²	硬度	衝撃値 kg/cm ²	硬度
100mm角(4)	縦方向	S10	7.67	250	12.78	285	12.43	290
		S11	7.21	285	11.86	285	11.93	290
75mm角(7)	"	S12	9.72	293	12.48	293	12.63	293
		S13	11.23	293	12.45	293	13.05	293
50mm角(16)	"	S14	11.93	285	13.43	285	13.43	285
		S15	12.70	285	13.26	285	13.03	285
30mm角(44)	"	S16	12.07	293	12.20	293	12.63	293
10mm角(4)	横方向	R10	5.90	285	6.68	285	5.89	285
		R11	6.60	285	6.68	285	6.36	285
75mm角(7)	"	R12	5.14	293	6.20	293	5.44	293
		R13	5.89	293	6.05	293	5.20	293

第 13 表 B₁ B₂ B₃ 抗張試験成績

素材符號	鍛伸寸法	試験方向	試片記號	降伏點 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸%	絞%	硬度
B ₁	125mm角(4)	縦方向	L 7	92.5	101.5	18.70	59.2	293
			L 8	95.7	103.7	18.20	59.2	302
			L 9	94.7	103.1	19.57	59.2	302
	100mm角(6)	"	L10	92.7	102.0	19.20	59.2	302
L11			92.6	101.5	19.80	61.7	302	
75mm角(11)	"	L12	94.4	103.1	19.20	61.7	293	
		L13	93.7	101.8	20.00	62.7	302	
50mm角(25)	"	L14	91.6	101.0	20.00	62.7	302	
B ₂	125mm角(4)	"	L 7	93.3	102.0	18.70	60.5	293
			L 8	91.8	100.7	19.20	60.5	293
			L 9	95.5	103.6	17.90	57.9	302
	100mm角(6)	"	L10	92.4	100.9	19.50	61.7	293
L11			91.2	100.3	20.00	61.7	293	
75mm角(11)	"	L12	92.2	100.7	19.50	62.7	293	
		L13	91.8	100.4	19.50	62.7	293	
50mm角(25)	"	L14	94.4	102.3	18.90	61.7	293	
B ₃	125mm角(4)	"	L 7	94.3	104.4	10.50	23.6	293
			L 8	94.3	104.0	18.20	56.7	293
			L 9	94.9	104.2	18.20	59.2	293
	100mm角(6)	"	L10	93.3	102.2	18.90	60.5	293
L11			95.5	104.0	18.20	60.0	293	
75mm角(11)	"	L12	94.1	103.2	18.70	61.7	293	
		L13	96.0	104.3	17.40	57.9	293	
50mm角(25)	"	L14	94.3	103.2	18.90	60.5	293	
B ₁	125mm角(4)	横方向	T 7	93.0	102.1	13.20	39.3	302
			T 8	94.1	102.0	16.30	42.2	302
			T 9	92.7	102.0	16.30	47.7	293
B ₂	同	上	T 7	92.7	100.5	15.50	44.9	293
			T 9	91.6	100.7	14.70	42.2	293
B ₃	同	上	T 7	90.5	97.2	7.10	16.9	293
			T 8	94.9	103.7	13.20	39.3	293
			T 9	94.3	104.2	13.90	42.2	293

第 14 表 B₁ B₂ B₃ 衝撃試験成績

鍛伸寸法	試験方向	試片記號	符號		
			B ₁	B ₂	B ₃
			衝撃値 kg/cm ²	衝撃値 kg/cm ²	衝撃値 kg/cm ²
125mm角(4)	縦方向	S 7	12.29	14.11	11.85
		S 8	11.77	13.33	11.21
		S 9	11.68	11.85	12.59
100mm角(6)	"	S10	12.61	13.63	12.74
		S11	12.42	13.68	14.70
75mm角(11)	"	S12	12.73	12.81	12.54
		S13	12.38	13.73	12.51
50mm角(25)	"	S14	12.33	14.20	12.11
		S15	12.75	13.68	11.83
125mm角(4)	横方向	R 7	6.05	7.45	6.95
		R 8	6.36	8.15	8.14
		R 9	7.54	7.90	8.47
100mm角(6)	"	R10	5.74	7.01	6.05
		R11	6.52	7.28	6.52
75mm角(11)	"	R12	5.74	5.44	6.52
		R13	6.05	5.74	6.52

第 15 表 C₁ C₂ C₃ C₄ 縦方向抗張試験成績

素材 符號	鍛伸寸法	試片 記號	降伏點 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸%	絞%	硬度	素材 符號	鍛伸寸法	試片 記號	降伏點 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸%	絞%	硬度	
C ₁	190mm角(4)	L 1	94.5	103.8	13.70	33.7	308	C ₂	190mm角(4)	L 1	85.8	97.2	19.70	59.2	289	
		L 2	93.1	103.9	18.30	57.9	306			L 2	90.0	100.6	20.10	58.5	302	
		L 3	95.0	105.0	18.70	60.5	311			L 3	90.1	100.8	19.50	58.7	"	
	150mm角(7)	L 4	91.6	101.6	20.00	59.2	302		150mm角(7)	L 4	86.2	96.9	20.80	61.7	285	
		L 5	91.6	102.0	18.90	60.5	"			L 5	89.1	99.5	20.50	60.5	293	
		L 6	90.9	101.3	20.00	58.7	"			L 6	91.1	101.7	20.20	61.7	302	
	125mm角(10)	L 7	92.7	101.8	19.20	62.7	"		125mm角(10)	L 7	88.4	97.8	19.80	61.7	"	
		L 8	92.1	102.5	20.00	62.7	"			L 8	91.9	101.7	19.80	60.5	"	
		L 9	93.3	102.7	18.90	62.7	"			L 9	89.7	100.7	20.00	61.7	295	
	100mm角(15)	L 10	92.7	102.5	18.90	60.5	"		100mm角(15)	L 10	89.8	99.4	18.70	59.2	293	
		L 11	92.5	102.2	20.00	60.5	"			L 11	91.1	101.9	20.00	61.7	302	
	75mm角(27)	L 12	92.6	101.9	18.90	62.7	"		75mm角(27)	L 12	88.4	99.8	20.50	59.2	295	
		L 13	93.3	102.8	19.20	61.7	"			L 13	90.7	100.8	19.80	60.5	302	
	50mm角(60)	L 14	94.4	102.9	20.20	61.7	"		50mm角(60)	L 14	90.8	101.2	20.50	61.7	"	
C ₂	190mm角(4)	L 1	89.9	100.3	19.47	61.1	293	C ₃	150mm角(7)	L 4	90.0	101.0	19.50	59.2	"	
		L 2	90.9	101.1	18.90	61.1	"			L 5	90.9	101.3	20.30	62.2	"	
		L 3	91.6	101.8	19.20	60.5	"			L 6	90.6	101.6	19.80	61.7	"	
	150mm角(7)	L 4	89.9	99.8	19.80	61.7	"		125mm角(10)	L 7	89.9	100.5	20.00	59.9	"	
		L 5	90.7	100.4	19.50	61.7	"			L 8	91.3	101.7	20.00	61.7	"	
		L 6	92.2	102.3	18.90	62.7	"			L 9	91.0	101.7	20.20	62.1	"	
	100mm角(15)	L 10	91.9	101.8	19.20	61.7	"		100mm角(15)	L 10	90.2	100.3	20.20	60.5	"	
		L 11	90.6	100.6	19.20	62.7	"			L 11	90.9	101.6	21.30	62.7	"	
	75mm角(27)	L 12	90.8	95.2	19.50	62.7	"		75mm角(27)	L 12	89.7	100.0	20.80	61.7	"	
		L 13	92.7	102.0	18.90	61.7	"			L 13	91.7	101.9	20.80	61.7	"	
	50mm角(60)	L 14	93.2	102.3	19.50	63.6	302									

第 16 表 C₁ C₂ C₃ C₄ 横方向抗張試験成績

素材 符號	鍛伸寸法	試片 記號	降伏點 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸%	絞%	硬度	備考
C ₁	190mm角(4)	T 1	91.0	96.6	8.0	20.4	302	破面疵あり
		T 2	92.1	100.5	15.3	40.7	"	
		T 3	92.1	101.2	15.3	43.5	"	
	150mm角(7)	T 4	93.3	101.8	14.5	37.8	"	
		T 5	92.4	101.9	13.2	33.2	"	
		T 6	93.3	102.2	15.3	39.3	"	
	125mm角(10)	T 7	91.6	102.2	15.3	40.7	"	
		T 8	93.3	102.8	13.7	34.7	"	
		T 9	94.4	102.8	14.5	42.2	"	
C ₂	190mm角(4)	T 1	90.1	99.4	12.1	27.0	"	
		T 2	90.4	100.3	13.9	39.0	293	
		T 3	90.1	100.0	15.5	46.2	"	
	150mm角(7)	T 4	88.7	98.9	12.4	30.2	"	
		T 5	92.1	101.7	12.6	33.2	"	
		T 6	92.1	101.5	11.8	31.6	302	
C ₃	190mm角(4)	T 1	86.4	96.7	12.6	25.3	285	破面疵あり
		T 2	87.7	98.5	13.0	29.8	293	
		T 3	92.1	101.6	15.3	43.5	302	
	150mm角(7)	T 4	86.4	96.9	8.7	13.1	239	
		T 5	90.8	101.0	12.6	25.3	302	
		T 6	90.6	100.5	15.3	33.2	293	
	125mm角(10)	T 7	87.8	98.6	13.4	27.0	302	
		T 8	90.7	101.2	14.7	30.2	293	
		T 9	89.6	100.7	15.3	39.3	302	
C ₄	150mm角(7)	T 4	90.0	100.4	12.6	21.9	"	標點外切断
		T 5	93.4	103.0	16.6	44.9	308	
		T 6	92.2	101.8	16.8	44.9	302	
	125mm角(10)	T 7	88.9	99.1	5.8	8.1	"	
		T 8	92.0	102.3	16.0	42.2	"	
		T 9	89.8	100.6	16.6	44.9	"	
	100mm角(15)	T 10	90.7	101.0	10.0	16.9	"	
		T 11	91.6	102.0	14.7	36.2	"	

第 17 表 C₁ C₂ C₃ C₄ 縦方向衝撃試験成績

鍛伸寸法	試片 記號	C ₁ C ₂ C ₃ C ₄ 縦方向衝撃試験成績			
		C ₁ 衝撃値 kgm/cm ²	C ₂ 衝撃値 kgm/cm ²	C ₃ 衝撃値 kgm/cm ²	C ₄ 衝撃値 kgm/cm ²
190mm角(4)	S 1	12.33	13.10	14.56	
	S 2	11.73	12.77	14.12	
	S 3	12.45	12.95	13.45	
150mm角(7)	S 4	14.24	14.38	15.92	13.98
	S 5	13.98	13.50	15.02	13.59
	S 6	15.10	13.80	14.73	12.16
125mm角(10)	S 7	13.43		15.03	15.37
	S 8	13.39		14.09	13.08
	S 9	14.11		14.92	13.43
100mm角(15)	S 10	13.55	14.33	14.39	14.65
	S 11	14.34	14.65	14.47	13.50
75mm角(27)	S 12	13.20	13.86	13.11	15.37
	S 13	13.36	14.10	14.25	14.16
50mm角(60)	S 14	14.39	14.38	14.90	

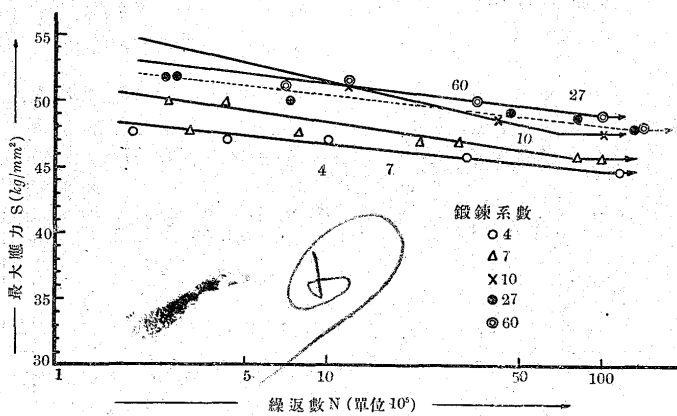
第 18 表 C₁ C₂ C₃ C₄ 横方向衝撃試験成績

鍛伸寸法	試片 記號	C ₁ C ₂ C ₃ C ₄ 横方向衝撃試験成績			
		C ₁ 衝撃値 kg/cm ²	C ₂ 衝撃値 kg/cm ²	C ₃ 衝撃値 kg/cm ²	C ₄ 衝撃値 kg/cm ²
190mm角(4)	R 1	6.89	5.89	6.44	
	R 2	7.46	7.25	7.00	
	R 3	8.03	7.61	7.65	
150mm角(7)	R 4	6.74	5.43	5.05	7.83
	R 5	6.20	5.73	5.75	8.64
	R 6	7.16	6.37	6.36	9.45
125mm角(10)	R 7	5.90		5.14	6.06
	R 8	6.12		5.75	7.25
	R 9	5.89		6.68	8.82
100mm角(15)	R 10	5.14	5.44	4.51	4.81
	R 11	5.29	5.44	6.10	5.44
75mm角(27)	R 12	4.51	4.86	4.36	4.65
	R 13	4.75	4.81	6.20	5.14

であつて、鍛錬係數が進むと此の据込の影響は次第に消失して遂には一方向に鍛伸したものと同一値となるものと考えられる。

(ii) 疲勞試験 C_1 より縦方向に採取せる試験片に就き、小野式繰返彎曲試験機を使用し、疲勞試験を行ひ鍛錬係數との關係を見た。鍛錬係數 4, 7 に於ては中心部試験片の値に著しき不同があり、破面に疵の現はれたものもあり且外部試験片に比し疲勞限界は著しく低い爲本試験には採用しなかつた。鍛錬係數 10 以上に於ては中心部も外部も殆んど同じ値となり、内外に於て何等差異が認められなかつた。第 8 圖は鍛錬係數と $S \sim N$ 曲線との關係を示したものであつて、鍛錬係數が 4, 7 と増加するに従ひ疲勞限界も高くなる、鍛錬係數 10 以上に於ては殆んど一定値となり鍛錬係數を増すも疲勞限界には殆んど影響無きことを示してゐる。

第 8 圖 鍛錬係數と $S \sim N$ 曲線との關係
(C_1 縦方向試片)



IV. 結 論

1) 鋼塊の樹枝狀結晶は、鍛錬加工を受けるに従て加工方向に延ばされ遂には纖維狀組織を呈するに至る。一方向に鍛伸した場合に就き鍛錬係數と纖維狀組織との關係を見た結果は、鍛錬係數 2, 4 程度に於ては未だ樹枝狀晶を殘存し完全に纖維狀組織を呈しない、鍛錬係數 8 以上となれば内外一様に纖維狀組織を呈し、鍛錬係數の増加と共に纖維狀組織は一層明瞭となる。

2) 機械的性質と纖維狀組織との關係を見ると、鍛錬係數 4 迄は鍛錬係數の進むに従ひ延伸率、断面收縮率、衝擊値、疲勞値等の機械的性質は次第に増加する、鍛錬係數 8 以上に於ては鍛伸方向の前記機械的諸性質は殆んど一定で著しい變化はないが、横方向の機械的性質は逆に鍛錬の進むに従ひ減少する傾向がある。結局鍛錬を充分効かせて明瞭なる纖維狀組織を現出せしめても、機械的性質は左程影響を受けなくて、適當の鍛錬を加へ（本實驗では約 8）適當の纖維狀組織を現出せしめた場合に、最高の機械的性質を保持するものと考えられる。

3) 鋼塊又は素材に於て据込鍛錬を行た後鍛伸を行ふ時は、横方向の機械的性質を著しく高めるに有效であつて、重要な鍛造物に對しては据込鍛錬は充分行ふ必要がある。然し据込後著しく一方向のみに鍛錬を行ふ時は、据込の効果は消失する恐れがあるから適度なる鍛錬に止むる必要がある。

尙種々なる据込鍛錬を行た場合の纖維狀組織と機械的性質の關係に就いては目下試験中であるからその結果は他日報告する考へである。

終りに臨み實際鍛錬作業に於て御援助を賜つた高橋隆氏山本眞之助氏小瀬俊六氏に深甚の謝意を表す。