

文 献

- (1) 菅野 猛 鐵と鋼 30年(昭和19年)1月號, 3月號
 (2) 菅野 猛 鐵と鋼 30年(昭和19年)7月號
 (3) B. A. Grange & J. M. Kiefer. Trans. A.S.M.
 Vol. 29 (1941) P. 85
 (4) 菅野 猛 鐵と鋼 30年(昭和19年)7月號

- (5) G. Sach Z. Metallkunde 19 (1927) S. 352/57
 (6) 菅野 猛 鐵と鋼 30年(昭和19年)7月號
 (7) H. Bühler u. E. Scheil Arch. Eisenhüttenwes.,
 6 (1933) S. 285
 (8) H. Bühler H. Buchholtz u. E. H. Schulz. Arch.
 Eisenhüttenwes. 5 (1933) S. 414

繊維状組織鋼の研究 (I)

フェライト縞の現滅と機械的性質との關係

(昭. 23. 4月 日本鐵鋼協會講演大會講演)

内 山 道 良*

STUDY ON FIBROUS STRUCTURE OF STEEL (1)

Relation between Mechanical Properties and artificially Made Ferrite Banding

Michira Uchiyama

SYNOPSIS:—The author has investigated the ferrite banding of free cutting steel, and arrived at the following results.

- (1) The ferrite banding of hypo-eutectoid steel disappears by rapid cooling, whereas it appears by slow cooling. (2) As the cooling velocity changes from slow to rapid, the banded structure changes into granular structure, and "the cooling velocity" which is required for getting boundary structure is defined by the author as "Critical cooling velocity of ferrite banding". (3) The critical cooling velocity of ferrite banding goes downwards by the influence of heating temperature and time. (4) The existence of the banded structure of hypoeutectoid steel, does not affect its mechanical properties.

I. 緒 言

亜共析鋼のフェライト縞に基く縞状の組織に就ては其の特徴又は夫れが機械的性質に及ぼす影響等に關し既に少なからざる研究がある。

即ち Whiteley⁽¹⁾ は鍊鋼の縞状組織は 1200°C で長時間加熱すれば消滅出来ると言ひ、Carpenter^{(2)~(4)} 及び Robertson⁽⁵⁾ は亜共析鋼に就て比較的早い冷却は縞状組織を現さない事を見出し、Harvey⁽⁶⁾ 及び Stoughton⁽⁷⁾ は 925°C 以上に加熱した亜共析鋼を焼鈍以上の早さで冷却すれば縞状組織を除き得ると報じてあるが之等は或は焼鈍の効果を或は冷却速度の効果を述べたものである。而て Overhoffer⁽⁸⁾ は之等双方の効果を認め、縞状組織の 2 次的變化は A₂ 變態點以上の過熱と A₂~A₁ 變態點間の徐冷によつて發生し急冷は之を防げるが、1 次縞状組織を變へるには非常な高温での長時間に及ぶ焼鈍を必要と言つて、凝固組織に基くフェライト縞發生性の消滅は極めて困難である

と同時に見掛上の縞状組織の變化が容易である事を述べてゐる。

又縞状組織は從來齒線と同一視され、決定的ではない迄も Andrew⁽⁹⁾, Brearley⁽⁷⁾, Dickenson⁽⁸⁾, Overhoffer⁽⁸⁾, Whiteley⁽¹⁰⁾, Harvy⁽¹¹⁾, 及び Stoughton, 飯高博士⁽¹²⁾ 等により何れも機械的性質に現れる方向性の爲に有害であると認められてゐる。

然し乍ら之等は何れも縞状組織の特徴の一部、或は縞状組織を有する鋼の性質に就て述べられたものであつて、縞状組織そのもの又はその影響に就て述べたものではない。依て筆者は先づ縞状組織の發生に必要な限界冷却速度と其の特徴を説明した後 この變化を利用して縞状組織を現滅せしめた快削鋼に就てフェライト縞の現滅と機械的性質との關係を明らかにする事とした。

II. 縞状組織限界冷却速度の存在と其の特徴

(1) 試料及び実験法

* 三菱製鋼株式會社東京製作所

試料としては最も縞状組織が顕著に現れる快削鋼を選び、塩基性電弧爐で熔解した後過熱を避けて伸延比約180に熱間壓延した第1表の成分を有する徑16mmの丸棒を利用した。

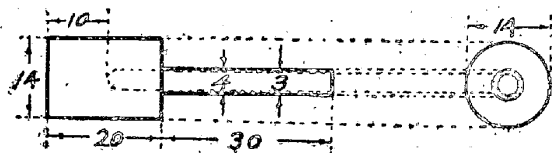
第1表 試料の成分

試料	化 學 成 分 (%)				
	C	Si	Mn	P	S
1	0.18	0.20	1.20	0.024	0.200

試料は長さ120mmに切断した後、壓延まゝのものゝ外之を850°C、1000°C、1200°C及び1400°Cに第2表の如く加熱して一旦放冷した後、第1圖の寸法の試片を削り出し、内部に熱電對を挿入する事により中心部分の温度の測定が出来る様にした。

第2表 試料の加熱條件

温 度	時 間	
	(壓延のまゝ)	
850°C	1 mn, 240 mn	及び 600 mn
1000°C	4 mn, 90 mn	" 300 mn
1200°C	7 mn, 45 mn	" 120 mn
1400°C	10 mn, 30 mn	" 60 mn



第1圖 試片の寸法

尙第2表に於て加熱温度の低いものは加熱保持時間が長く、加熱温度の高いものは加熱保持時間を短かくしてあるのは酸素の擴散による縞状組織の不鮮明化に應ずる爲であり、又最短保持時間が之と逆になつてゐるのは高温な程其の温度に達する迄の途中の温度の累積の影響が大きい爲にこれを避けたものであるが、以上は夫々豫備實驗の結果に基いたものである。

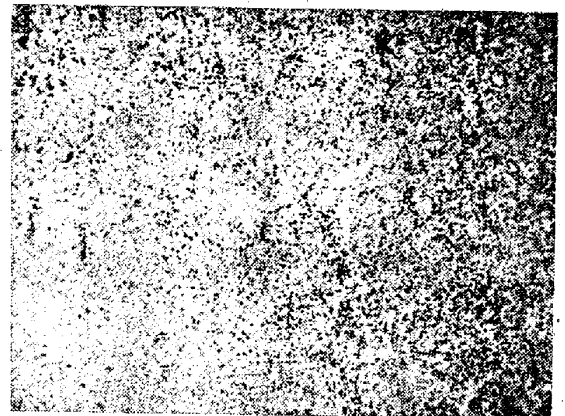
實驗に當つては第1圖の寸法の試片の内部に熱電對を挿入して其の温度の變化を測定出来る様にした後之を支持具に取付け、温度勾配が直線になる様に作つた管狀電氣爐内で850°Cに加熱し、續いて爐温の調節、爐内に於ける低温部への位置の移動、急冷用途風機の調節、瞬間的な油冷、等を適宜混合して行ひ試片に對し廣範圍な種々の冷却速度による直線的冷却を行つた。次に試片は中央部から縦斷した後中心部の組織を顯微鏡によつて調べ、其の變化に應じて適宜分類した。尙試片の冷却に慎重を期したのは850~500°Cの間であ

り、油冷による急冷の必要は殆んど生じなかつた。

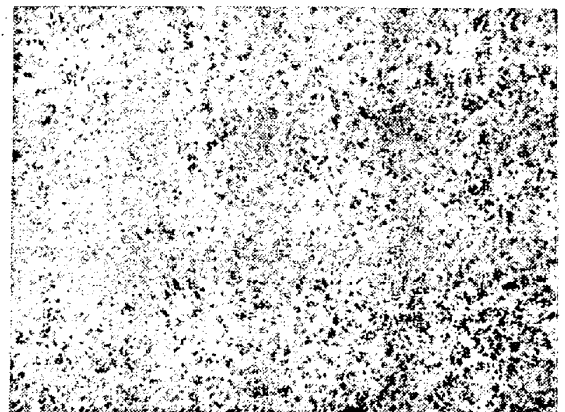
(2) 實驗結果

1. フェライト縞の現滅と冷却速度との關係

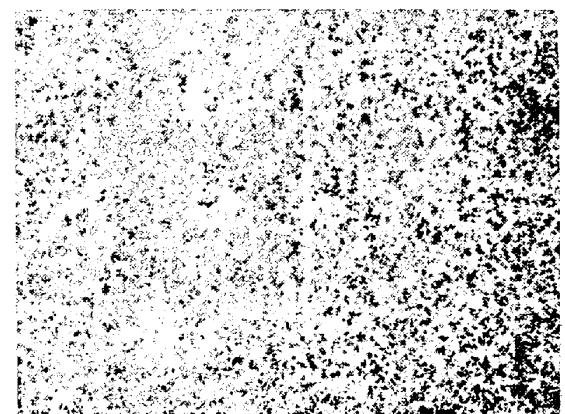
壓延まゝの試料から作つた多くの試片に就て、之を550°Cから直線的に冷却した場合の種々の冷却速度に應ずる組織を見ると、冷却速度の大なるものは粒状で冷却速度の小なるものは縞状である事が分るが、第2~第7圖はこの基本的變化を示したものである。



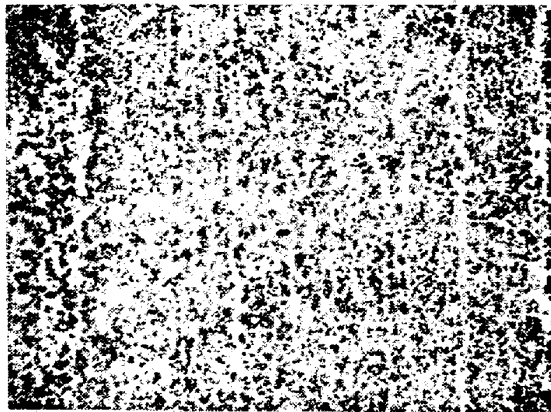
第2圖 ×100
冷却速度と組織との關係(1)
27.5°C/s



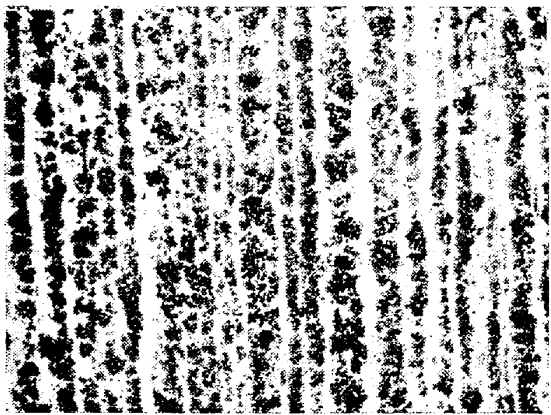
第3圖 ×100
冷却速度と組織との關係(2)
10.8°C/s



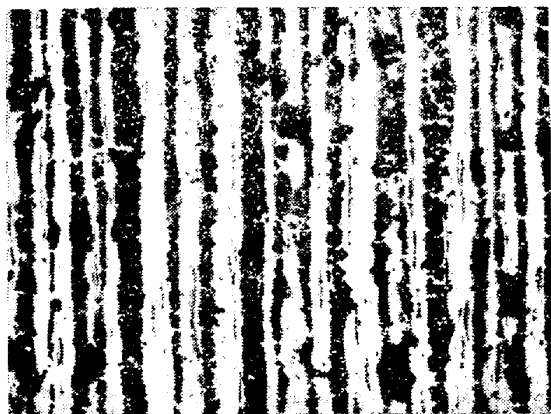
第4圖 ×100
冷却速度と組織との關係(3)
8.3°C/s



第5圖 ×100
冷却速度と組織との関係 (4)
5.5°C/s



第6圖 ×100
冷却速度と組織との関係 (5)
2.3°C/s



第7圖 ×100
冷却速度と組織との関係 (6)
1.3°C/s

粒状から繊維状への転位は組織としては徐々に變化してゐるのであるが、之を冷却速度の點から見れば跳入現象の起る約 400°C/s から 9°C/s 附近迄の廣い冷却範圍が粒状のパーライト組織となり、約 6°C/s 以下の廣い冷却範圍が繊維状のパーライト組織を示すから、兩者の中間組織を現す冷却速度の範圍は 9~6°C/s と言う極めて狭い部分に限られる事となる。

茲に於て筆者は第4圖が代表する遷渡的な組織を「繊維状限界組織」、又この様な組織を生じさせる冷却速度を「繊維状組織限界冷却速度」と稱することとし、後續實驗ではこの名稱を使用した。

2. 繊維状組織限界冷却速度の變化

850~1400°C に 1~600ma 加熱した第2表の試料から作つた多くの試片に就て、之を 850°C から直線的に冷却した場合に生ずる繊維状限界組織の軌跡を冷却速度と加熱条件とに就て求めれば第8圖が得られる。

即ち第8圖によれば各加熱温度共保持時間の延長は繊維状組織限界冷却速度を低下させるが、加熱温度の上昇によるこの限界點の低下は之より一層効果の大きい事が分る。而て以上は繊維状組織の現滅が A_3 ~ A_1 變態區域を中心とする冷却の速速によつて定まる事を示すと共に、繊維状組織の特徴を従來^{(2)~(4)}より一層明確にしたのではあるが、本圖に於ける各曲線は壓延加工の爲めの加熱により影響されてゐる事に留意すべきである。

III. 繊維状組織の現滅と機械的性質との關係

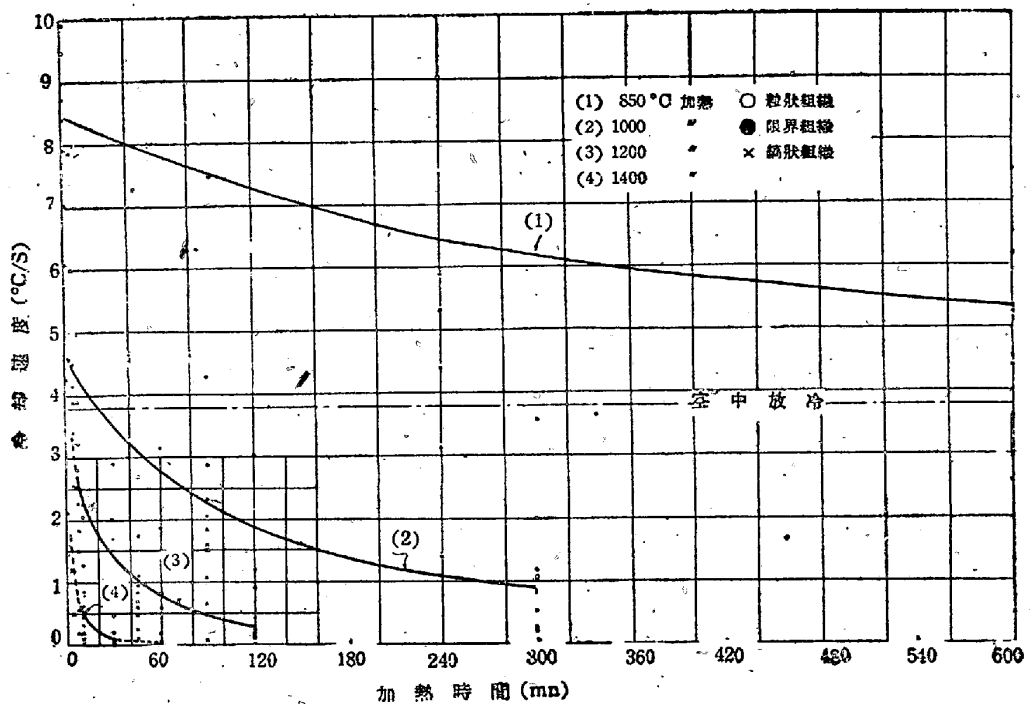
(1) 試料及び實驗法

前項同様第1表の成分の快削鋼を過熱を避けて 90×13mm の平板に熱間壓延したものから、加工方向に對して平行及び直角に 13×13×90mm の角棒を削り出し抗張及び衝擊試片用の試料とした。

各試料は冷却速度を同一にした場合に粒状及び繊維状の組織を明瞭に生じさせる爲に、縦横兩方向のものを含めて、1300°C に 20mn 加熱して繊維状組織限界冷却速度を低下させたものと壓延したまゝで此の限界速度が低下してゐないものゝ同数を準備した。次で之等の中に 1300°C 加熱したものに對しては 850°C に加熱後送風による急冷を 2 回反復、壓延まゝのものに對しては 850°C に加熱後放冷 1 回を施して兩者の見掛上のパーライト粒子を略々同一とした。

斯くして見掛上の粒子の大きさが略々等しく然も繊維状組織限界冷却速度を著しく異らしめた試料は縦及び横の方向別に組合せ、夫々に對して次の熱處理を施した

- a. 850°C に加熱後、1300°C に加熱したものと壓延まゝのものゝ雙方が粒状組織を呈する様な急速冷却の附與で、850°C から 500°C 迄の冷却時間 33s を選んだが之は送風冷却に屬する。
- b. 850°C に加熱後、1300°C に加熱したものは粒状組織となり壓延まゝのものは繊維状組織を呈する様な中間的冷却の附與で、850°C から 500°C 迄の冷却時間 8mn 4s を選んだが之は半爐中冷



第8圖 縞狀組織限界冷却速度曲線

却に屬する。

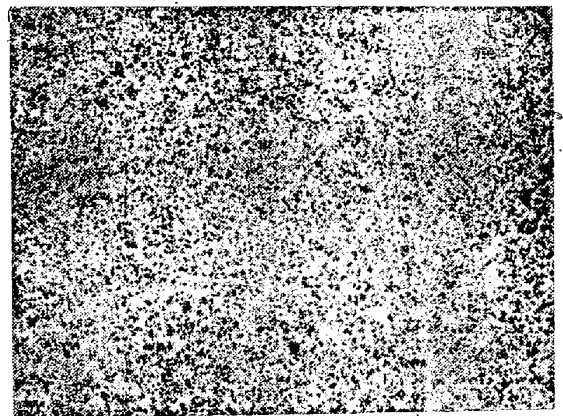
c. 850°C に加熱後、1300°C に加熱したものと壓延まゝのもの、双方が縞狀組織を呈する様な緩徐冷却の附與で、850°C から 500°C迄の冷却時間 14h 20 mn を選んだが之は特別に冷却速度を調節した爐中冷却に屬する。

a~c の處理を終つた各試料は、JES 第4號型試験片 (D=5 mm L=17.7 mm P=25 mm) 及びシャルピ-衝擊試験片 (全長55 mm 断面10×10 mm 切込の深さ 2 mm 切込の幅 2 mm 切込の先端 1r) を作り其の靜的機械的性質を調べた後破斷した試験片が所期の組織となつてゐるか否かを 1 個毎に調べた。

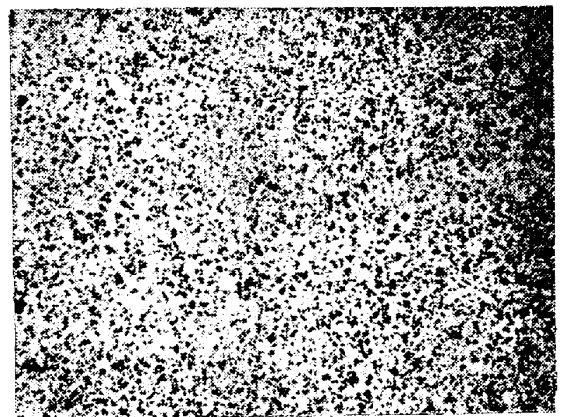
(2) 實驗結果

前記の熱處理を終つた試片の組織は第9~第14圖に示す如く、第11圖及び第12圖に相當する試片間では縞狀組織と粒狀組織とによる機械的性質の相違を比較する事が出來、第9圖及び第10圖に相當する試片間では縞狀組織限界冷却速度を低下させる爲の高温加熱の影響の有無を、又第13圖及び第14圖では焼鈍の効果による縞成長(後報に説明す)の影響の有無を夫々補助的な意味で知る事が出来る。

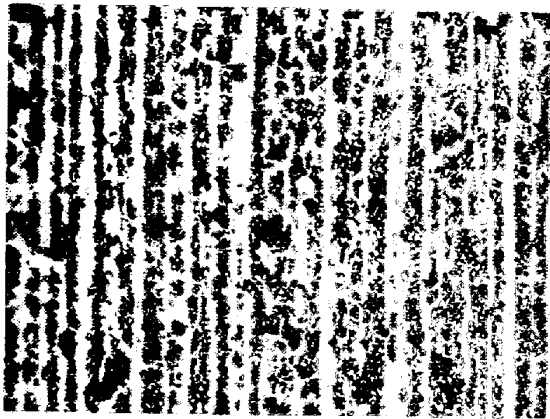
次に各試片の有する機械的性質は第3~第8表の如くであり、其の破斷面は第15圖及び第16圖に示す通りであるが、これによれば各機械的性質は冷却速度の附與區別及び加工方向に對する試片の取り方で明瞭な相違を見出し得るにも拘らず、縞狀組織の現滅によつては何等の相違を認め得ない。而て縞狀組織限界冷



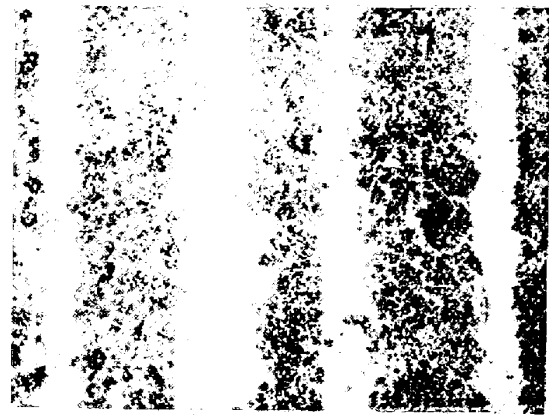
第9圖 ×100
壓延まゝの試料を微粒化した後 850~500°C を 33s で送風冷却



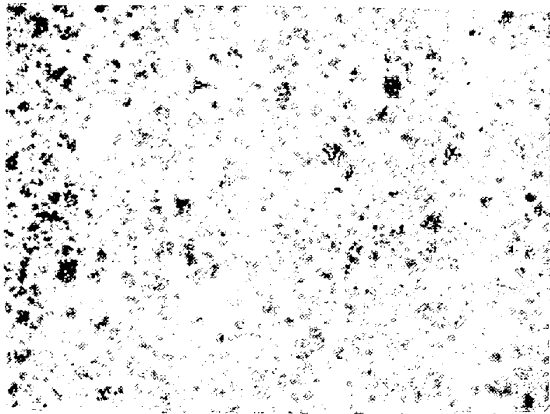
第10圖 ×100
壓延後 1300°C に 20mn 保持した試料に對し第9圖と同一の處理を施行



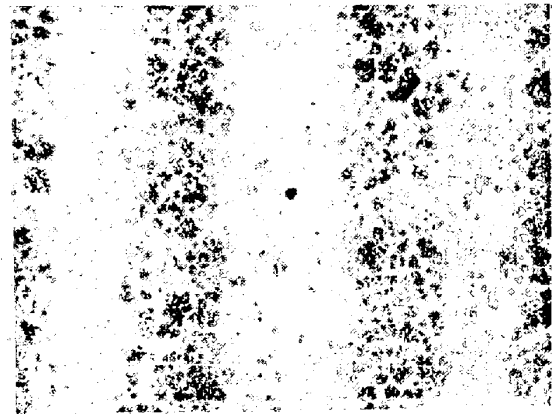
第11圖 ×100
 壓延まゝの試料を微粒化した後
 850~500°Cを8mn4sで半盤中冷却



第13圖 ×100
 壓延まゝの試料を微粒化した後
 850~500°Cを14h20mnで炉中冷却



第12圖 ×100
 壓延後1300°Cに20mn保持した試
 料に對し第11圖と同一の處理を施行



第14圖 ×100
 壓延後1300°Cに20mn保持した試料
 に對し第13圖と同一の處理を施行

却速度を低下させる爲に行つた高温加熱も、低下した
 縮状組織限界冷却速度を有する試料が尙且縮状組織を
 呈する様な極端な徐冷と此の爲に生じた縮成長も共に
 機械的性質に影響するものではない。尙この事は試片
 の破断面が殆んど變らない事によつても一端を知り得
 る。

IV, 結 言

以上の實驗により次の事を知り得た。

(1) 亜共析鋼の縮状組織は急冷によつて消滅し徐冷
 によつて生ずるが、この中間の冷却速度では過渡的な
 縮組織が現れる。而て筆者は之に對し縮状限界組織、又
 この様な組織を生じさせる冷却速度に對し縮状組織限
 界冷却速度の名稱を使用した。

(2) 縮状組織限界冷却速度は加熱温度並に加熱時間
 によつて低下する。

(3) 縮状組織の存在そのものは快削鋼の機械的性質
 に影響しないものと思はれる。

又この報告には快削鋼のみを取上げたのであるが、
 筆者は本協會第35回講演會の席上 C 0.24% Si 0.28%

Mn 0.47% P 0.019% S 0.017% の炭素鋼に就て同様の
 實驗を行ひ快削鋼と同様の結果を得た事を報告した。
 尙之と同時に説明した鋼の成分と縮状組織との關係に
 就ては後報に詳述するつもりである。

第3表 機械的性質1 (縱方向)

試片 處理	試片 No	抗張力 kg/mm ²	伸 %	縮 %	試片 衝擊性 kgm/cm ²	硬 度 BHN		
壓 延 の 後 ま ま 化 冷	503	62.7	26.9	59.0	504	11.6	162	
	505	61.5	25.7	55.9	506	8.9	156	
	507	58.2	27.6	48.0	508	6.7	144	
	509	57.6	29.4	60.1	510	10.2	162	
	511	61.0	25.7	48.0	512	9.9	158	
—	—	平均	60.2	27.1	54.2	平均	9.5	156
高 温 加 熱 後 化 冷	513	61.5	25.7	51.0	514	9.6	144	
	515	59.7	27.6	53.6	516	11.4	156	
	517	"	26.9	55.9	518	7.0	"	
	519	62.7	30.0	52.0	520	6.6	"	
	521	60.7	25.7	60.1	522	8.9	148	
—	—	平均	60.8	27.2	56.5	平均	8.7	152

第4表 機械的性質 2 (縱方向)

試片處理			試片 No	抗張力 kg/mm ²	伸 %	絞 %	試片 No	衝撃値 kgm/cm ²	硬度 BHN
壓延のまゝ	微粒	中	523	51.3	27.3	56.6	524	9.3	132
			525	"	32.1	55.7	526	10.7	144
			527	50.9	27.0	55.9	523	8.9	136
			529	52.6	30.0	53.6	535	9.6	128
			531	49.0	32.3	59.0	532	8.3	141
	冷	533	52.6	31.5	60.1	524	10.9	130	
		535	48.3	27.0	61.5	536	11.2	"	
		537	50.9	"	55.7	538	9.6	134	
		539	50.0	25.4	56.6	540	8.9	136	
		541	48.3	27.4	60.1	542	10.2	141	
—	—	—	平均	50.6	28.7	57.5	平均	9.8	135
高温加熱	微粒	中	543	50.0	32.1	60.1	544	11.2	141
			545	51.3	27.0	61.5	546	8.9	138
			547	48.3	27.3	55.9	548	10.9	128
			549	52.6	29.4	55.7	550	9.6	130
			551	"	31.1	57.4	552	9.9	132
	冷	553	"	27.0	58.2	554	7.9	141	
		555	53.7	25.4	59.0	556	8.3	132	
		557	48.3	30.0	57.4	558	9.6	141	
		559	49.0	31.5	60.1	560	10.9	136	
		561	"	28.8	61.5	562	9.2	132	
—	—	—	平均	50.6	29.0	58.7	平均	9.6	125

第5表 機械的性質 3 (縱方向)

試片處理			試片 No	抗張力 kg/mm ²	伸 %	絞 %	試片 No	衝撃値 kgm/cm ²	硬度 BHN
壓延のまゝ	徐粒	徐	563	48.3	27.3	55.7	564	8.1	134
			565	"	27.4	53.6	566	7.4	130
			567	49.0	32.3	60.1	568	10.4	128
	冷	569	50.0	27.0	53.6	570	9.1	141	
		571	51.3	"	59.0	572	9.3	128	
		—	—	—	平均	49.3	28.2	57.0	平均
高温加熱	徐粒	徐	573	49.0	32.1	60.1	574	11.6	130
			575	48.3	27.3	56.6	579	7.0	"
			577	50.0	31.1	"	578	10.4	128
	冷	579	"	25.4	58.2	580	8.1	124	
		581	52.6	31.5	55.7	582	8.3	146	
—	—	—	平均	50.0	29.5	56.4	平均	9.1	132

第6表 機械的性質 4 (横方向)

試片處理			試片 No	抗張力 kg/mm ²	伸 %	絞 %	試片 No	直角衝撃値 kgm/cm ²	硬度 BHN
壓延のまゝ	急粒	急	583	55.5	14.3	20.9	584	2.9	158
			586	53.1	10.6	24.6	587	3.3	162
			589	58.0	12.8	18.9	590	3.6	154
	冷	592	50.4	11.6	17.4	593	2.1	146	
		595	53.1	14.3	22.1	596	"	162	
		—	—	—	平均	54.0	12.7	20.8	平均

高温加熱	微粒化	急冷	598	50.4	11.2	22.6	599	2.7	600	2.1	154												
			601	48.9	11.6	21.8						602	2.3	603	3.6								
			604	56.1	14.7	17.4										605	2.1	606	3.1				
			607	57.8	12.1	19.9														608	2.9	609	2.1
			610	53.1	12.8	20.9																	
平均	53.3	12.5	20.5	平均	2.7	平均	2.8	154															

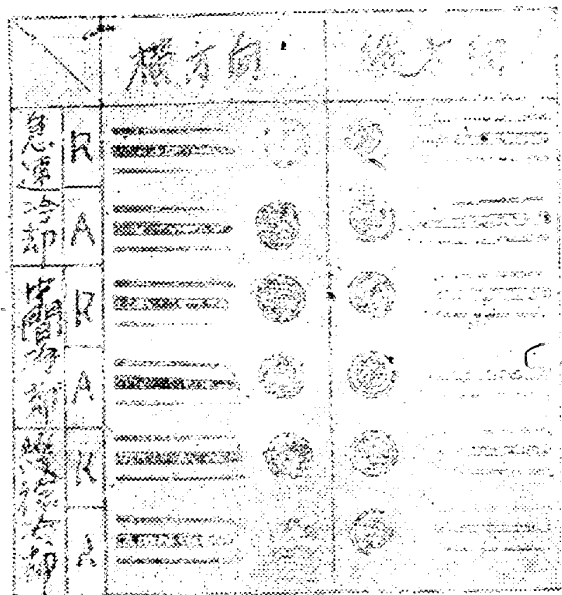
第7表 機械的性質 5 (横方向)

試片處理			試片 No	抗張力 kg/mm ²	伸 %	絞 %	試片 No	平行衝撃値 kgm/cm ²	試片 No	直角衝撃値 kgm/cm ²	硬 度 BHN
壓延のまゝ	微粒化	中冷	613	48.3	12.8	18.9	614	3.4	615	2.9	130
			616	41.6	11.6	16.4	617	3.6	618	3.6	134
			619	46.5	11.2	20.9	620	2.1	621	2.7	144
			622	40.8	13.5	22.6	623	2.7	624	3.3	134
			625	43.5	10.8	19.7	626	3.3	627	2.7	141
			628	40.0	12.1	23.2	629	2.9	630	3.6	138
			631	43.6	14.3	14.7	632	3.6	633	3.3	136
			634	43.5	16.3	23.5	635	2.1	636	2.9	132
			637	42.6	12.1	22.6	638	3.3	639	2.7	141
			640	45.5	13.1	21.8	641	2.9	642	3.6	138
—	—	—	平均	43.5	12.8	20.4	平均	3.0	平均	3.1	137
高温加熱	微粒化	中冷	643	40.0	15.8	19.7	644	2.7	645	2.7	136
			646	43.5	11.6	22.6	647	2.9	648	3.3	138
			649	46.5	12.8	18.9	650	2.7	651	3.6	138
			652	43.5	13.1	17.4	653	3.3	654	2.6	141
			655	41.6	12.8	19.7	656	3.6	657	3.1	146
			658	42.6	14.7	24.6	659	3.3	660	3.6	148
			661	45.5	14.3	21.8	662	2.9	663	3.1	132
			664	41.6	10.8	19.7	665	3.6	666	2.9	136
			667	40.8	12.1	23.2	668	2.9	669	2.7	136
			670	42.6	11.6	20.9	671	2.7	672	3.3	130
—	—	—	平均	42.8	13.0	20.9	平均	3.1	平均	3.1	138

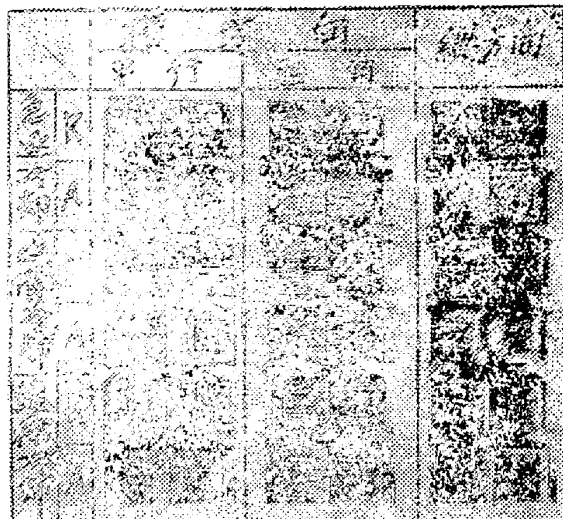
第8表 機械的性質 6 (横方向)

試片處理			試片 No	抗張力 kg/mm ²	伸 %	絞 %	試片 No	平行衝撃値 kgm/cm ²	試片 No	直角衝撃値 kgm/cm ²	硬 度 BHN
壓延のまゝ	微粒化	徐冷	673	43.5	12.8	17.4	674	2.9	675	2.9	134
			676	41.6	14.7	19.7	677	2.7	678	2.7	136
			679	42.6	11.6	21.8	680	3.6	681	3.6	128
			682	43.5	12.8	23.2	683	3.3	684	3.3	126
			685	40.0	13.5	19.7	686	3.1	687	2.7	140
—	—	—	平均	42.2	13.1	20.3	平均	3.1	平均	3.1	133
高温加熱	微粒化	徐冷	688	43.5	12.8	21.8	689	2.7	690	2.9	136
			691	40.0	12.1	23.2	692	2.9	693	2.7	126
			694	41.6	14.7	17.4	695	3.1	696	2.9	132
			697	43.5	14.3	19.7	698	3.3	699	3.3	144
			700	42.6	13.1	18.9	701	2.9	702	3.9	138
—	—	—	平均	42.2	13.4	20.2	平均	3.0	平均	3.1	135

- 註. 1. 第3~第8表中急冷, 中冷, 徐冷とは夫々冷却速度区分を示す。
 2. 第3~第8表中高温加熱とは 1300°C に 20 mn 保持した事を意味す。
 3. 第6~第8表中の衝撃値に於ける平行, 直角とは試料の壓延方向に對する試片の溝切面の位置を意味す。
 4. 第3~第5表及び第6~第8表は夫々試料の壓延方向に對する試片の採取方向が縦及び横である場合の機械的性質を表してゐる。



第15圖 ×約1
 抗張試片に於ける破面の比較
 (註 Rは圧延まゝ, Aは高温加熱)



第16圖 ×約0.7
 衝撃試片に於ける破面の比較
 註 1. Rは圧延まゝ, Aは高温加熱
 2. 平行, 直角とは圧延方向に對する切込みの付け方

文

- (1) J.H. Whinery: J. Iron steel Inst 1926 P213
- (2) H.C.H.Carpenter & J.M. Robertson: J. Iron steel Inst 1931 P345
- (3) H.C.H.Carpenter & J.M. Robertson: J. Iron steel Inst 1933 P259
- (4) W.E. Harvey & B. Stoughton: trans Am Sec steel treat 1932 P177
- (5) P. Overhoffer: Das Teahnische Eisen 1936 P448

獻

- (6) J.H. Andrew: Metallurgist 1926 P124
- (7) H. Brearly: Metallurgist 1926 P116
- (8) J.H.S. Dickenson: Metallurgist 1927 P127
- (9) P. Overhoffer: Metallurgist 1926 P126
- (10) J.H. Whinery: Metallurgist 1926 P125
- (11) W.E. Harvey & B. Stoughton: 前掲
- (12) 飯高一郎; 理論合金學 2596 145, 134頁 (23. 8. 3日寄稿)

銑鐵の性質に關する研究

前川 靜 彌*

STUDY ON THE NATURE OF PIG IRON

Shizuya Moekawa

Synopsis:— The author investigated the effects of repeated melting, addition of fresh material and melting temperature on graphitization of pig iron. The results obtained are as follows:—

- (1) The defects from the use of turning scraps are chiefly due to reduction of components by oxidizing; and the reduction of Si closely related with the structure and mechanical properties.
- (2) "Sand" increases rapidly just below 1350°C,
- (3) For graphitization, Si is one of the most important factors, "Sand" act as graphite nuclei, and FeO in molten iron hinders the growth of graphite.

(I) 緒 言

鑄鐵中の黒鉛組織がその機械的性質に密接な關係を有しその形状は抗張力, 耐摩耗性, 抗折力, 撓み量等に重大な影響を及ぼし鑄鐵の地肌改良には必ず黒鉛組

織の改良を必要とする。然し黒鉛組織は鑄鐵の化學的組成, 熔解方法, 冷却速度等によつて變化する許りでなく, 未だ不明な原因によつて著しく影響され意外な結果を招來することは屢々経験する處である。

* 日本製鐵所室蘭製作所研究部

筆者は先に鑄鐵中のサンド並に熔銑中の FeO 分析