

鋼板の加熱絞りの際に發生する表面龜裂に就て

(日本鐵鋼協會第 18 回講演大會講演 昭和 12 年 10 月)

森 寺 一 雄*

ON THE SURFACE CRACK OCCURRING IN HOT PRESSING OF STEEL PLATE.

Kazuo Moriiera.

SYNOPSIS:—In the case of hot pressing of thick or medium plates, such as end plates of boilers or disc plates for automobiles, numerous surface cracks may occur at the outer side of bends. In order to affirm the causes of such cracks, the actual working conditions and mechanism of the cracks produced were investigated, and the properties of steel plate, particularly under hot conditions, as well as the state of the variation of the properties due to oxidation when the material was heated in various gases were experimented. Further, specimens containing different percentages of copper, sulphur, oxygen, etc. were prepared, and the properties of such specimens under hot conditions and the effects of these elements upon the production of surface cracks were experimentally investigated. The results show that the principal cause for the surface cracks is the overheated working of the steel plate and is particularly the surface oxidation. Oxygen augments considerably the surface cracks and red-heat brittleness, whilst copper and sulphur increase red-heat brittleness in the existence of oxygen and also facilitate the surface cracks accompanied with the surface oxidation. Although copper and sulphur exist in certain amounts as impurities, the surface cracks do not occur when the oxidation is prevented.

目 次

- I 緒 言
- II 汽罐鏡板の表面龜裂
- III 自動車輪板の表面龜裂
- IV 鋼板の熱間屈曲と疵
- V 鋼板の熱間抗張試験及び衝撃試験
- VI 表面龜裂に及ぼす銅の影響
- VII 表面龜裂に及ぼす酸素の影響
- VIII 表面龜裂に及ぼす硫黄の影響

I 緒 言

厚板又は中板を強度に加熱絞る場合例へば汽罐鏡板又は自動車輪板の如きものを製作する時に彎曲部外側に小さな無数の表面龜裂を發生することがある。此の原因に就ては材料及び加工の兩方面から考へられ、先づ材料の缺點としては(1)銅 硫黄 酸素の如き赤熱脆性を起させる有害不純物の含量 (2)板の表面に孔 不純物 壓延疵の存在である。次に加工の缺點としては(1)加工温度不適當にして特に過熱せしこと (2)加熱の際に鋼板表面が酸化或は硫化せしこと (3)金型不適當にて無理に絞られしこと等である。之等の問題に關連して汽罐板及び 銅 酸素硫黄を含む種々の試料の熱間に於ける諸性質並にガス中に於ける酸化變質状態を試験し、尙實地の加工状態及び加工中

に發生せし疵の機構を調査して疵發生の原因を確めた。

II 汽罐鏡板の表面龜裂

1. 材 料 汽罐鏡板は鹽基性平爐にて製鋼し、鋼塊は主として1.5~5 噸の扁平型にしてその内小鋼塊は1回の加熱壓延に依り厚板とし、大鋼塊は分塊を経て再熱壓延し厚板とする。板の厚さは12~50mm 成分及び機械的性質は大約次の如くである。

C	Mn	Si	P	S	Cu	抗張力 kg/mm ²	延伸率% (200mm)
0.18~0.23	0.5~0.6	<0.2	<0.04	<0.04	<0.2	41~48	>23

2. 汽罐鏡板の加工概要 蒸汽ドラム或は水ドラムの鏡板を造るには厚板の外側検査を行て不良部分あればグラインダーで研磨し、所要寸法に弔書して圓形にガス切斷し、その斷面を仕上げ適當に加熱せられた爐に挿入して一定温度に加熱し、金型にてプレスして絞り作業を行ふのであるが此の作業中に表面龜裂に關係ある事項を摘録すれば

(1) 加熱爐及び燃料 所に依りて異り地火爐にてコークスを燃料とし酸化防止のためには薄鋼板を以て覆ふもの反射爐にて重油を燃料とするもの、石炭を燃料とする爐等がある。此の中 地火爐にてコークスが直接に板に觸れて加熱せらるれば表面に硫黄の滲透することがあり、重油を燃料とする反射爐では焰の直接に觸る部分が著しく過熱或は酸化することがある。

* 八幡製鐵所研究所

(2) 加熱及び加工溫度 500~800°C に豫熱せる爐内に板を挿入し 850~950°C に上昇し 15~30 分間保定したる後に爐より出して直に金型にて絞り、途中にて内部のスケールを掃き出し更に絞りにて 800°C 位までに仕上げる。板の厚いものは再熱して絞ることもある。此の作業に於て加熱溫度が高過ぎたり又は加熱時間が長過ぎて板の表面が酸化或は焼過ぎされると絞られた部分の外側表面に龜裂を生ずる。

(3) 絞り後に於ける表面の伸 絞り前に板の表面に中心より周縁まで一定間隔にマークを附し置き 絞り後常溫まで冷却せる後で前記マークの間隔を測りて絞り後の表面の伸を求むるに次の如くであった。

種類	最大彎曲半徑 mm	板の厚さ mm	標點距離 mm	最大伸率 %
蒸汽ドラム	100	33	30	24
同マンホール	43	33	10	40
水ドラム	75	19	30	20
同マンホール	37	19	30	24

之に依れば彎曲部表面の最も伸びる所は標點距離 30mm の時に 24%、10mm の時に 40% ありて此の最大伸の所に最も多く龜裂を生じ易い。然るに後に述ぶるが如く材料に缺點のないもの又は過熱酸化しない適當な状態に於ては 900°C 附近の熱間延伸率は 60% 以上もありて、破面附

近に疵を生ずることもなく又熱間屈曲試験及び熱間壓縮試験に於ても疵を生じないのであるが材料に缺點あるものや過熱し表面酸化した材料ならば 900°C 附近の熱間延伸率は 40% 以下 甚しきは 20% 以下にも下りて試片には龜裂を生ずるのである。故に鏡板に於て 40% も伸びる彎曲部表面にその表面が焼過ぎせられた場合に龜裂を生ずることが窺はれる。

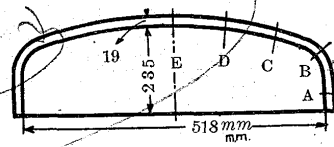
3. 加熱絞りの際に生じたる表面龜裂 前記の方法を以て加熱絞りした鏡板の外側表面に無数の龜裂を生じたものがあつたので、その疵の状態を調べたるに第 1 圖に示すが如くである。此の板は厚さ 19mm にして次の成分の如く銅含量が 0.23% もある。圖の如く鏡板の ABCDE の

C	Mn	Si	P	S	Cu
0.24	0.49	0.018	0.025	0.022	0.232

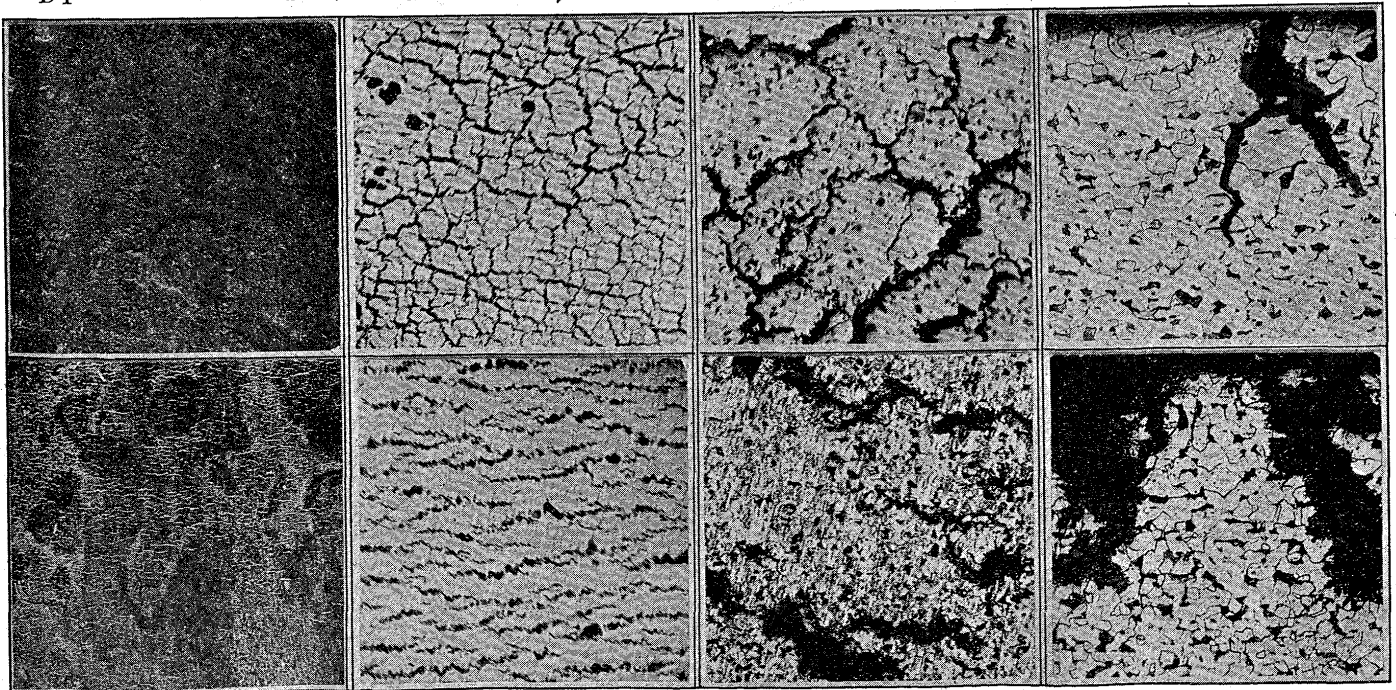
5 箇所について肉眼的に又は顯微鏡的に疵の状態を調べた圖の B1. D1 は絞りを終つたまゝの黒皮のついた外側表面にして白墨を塗り込みて龜裂を明かに示した寫眞である。最も多く屈曲せる B 附近には圓周に平行せる無数の割目ありて中心 E に至るほど疵は小さく D 附近にては肉眼にては認められない。然るに之を軽く研磨して 6 倍に擴大して見るに B2. D2 の如く中心の ED 部にも網狀の割目が

第 1 圖 汽罐鏡板の表面龜裂

57028-15.96



D1 × 1 D2 × 6 D3 × 50 D4 × 50



B1 × 1 B2 × 6 B3 × 50 B4 × 50

11

ある。更に之を腐蝕して顯微鏡組織を見るに B3 D3 の如く結晶境に沿ふ小さい割目が發見される、B4 D4 は各部の断面にして B が最も割目深く中心 E は浅い。尙此の疵を詳細に検査するに結晶境に沿ふ小割目ありてその中にスケールを含み稀に銅を含む所がある。此の原因を考察するに材料は含銅量が普通よりも多いのみならず加工の際に重油爐にて過熱酸化せられて板の表面に於ては網目状に結晶境に沿ひ酸化が進行しスケール及び銅を含み赤熱脆性となつてゐるため熱間絞りの際に割れたのである。

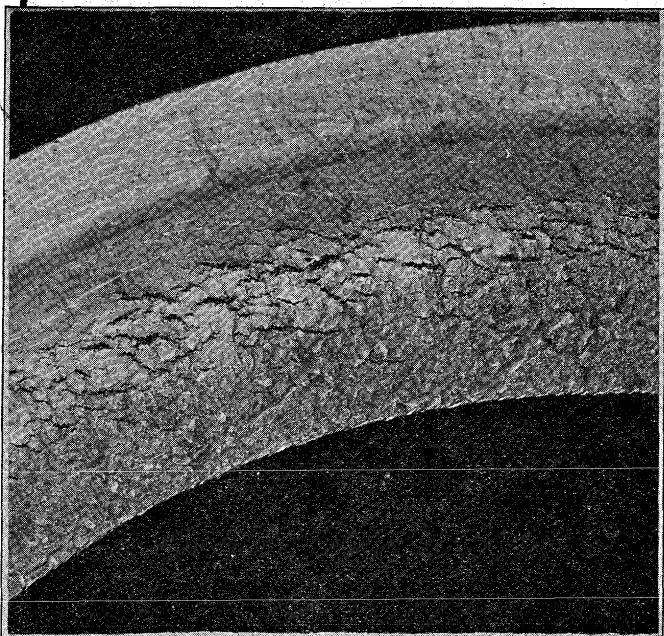
III 自動車輪板の表面龜裂

1. 材料 鹽基性平爐鋼にして板の厚さは 7.75mm 廣さ 510×510mm にして、標準材料及び疵を生じたる現品の成分及び機械的性質は次の如くである。

	C	Si	Mn	P	S	Cu	抗張力 kg/mm ²	延伸 率%	ブリ ネル 硬度
標準	0.18~ 0.3	—	0.3~ 0.6	<0.045	<0.05	—	>48	>22	—
現品	0.22	0.014	0.65	0.028	0.02	0.19	55.8	23	146

2. 加工 此の加工順序は (1) 角穴抜 (100t パンチプレスにて生のまゝ 50mm 角の穴を中心に抜く) (2) 丸切 (50t シヤーにて生のまゝ直径 510mm に切る) (3) テーパー付 (800°C 以上に加熱し 20 馬力電動機に依り毎分 45 回廻轉するローラーにかく) (4) 丸切 (600t 水壓プレスにて打抜く) (5) 絞り (加熱して 600t 水壓プレスにかける そのストローク 500mm)

第 2 圖 自動車デスクプレートの表面龜裂 ×1



3. 龜裂 疵は第 2 圖に示す如く彎曲部表面に生じ

その断面を擴大檢鏡するに表面近くに結晶境に沿ふ龜裂ありてその中に酸化鐵を含む。此の現品の一般組織はワイドマンステツテン組織にして粗く高温に加熱せられたるものである。その加熱温度を知るために此の材料を 1,200~800°C に加熱し空中冷却せるものと組織を比較對照するに疵を生じたる現品は 1,150~1,200°C に加熱せられたることが推察される。

以上の調査に依れば此の材料には赤熱脆性を起す如き惡條件なく、疵の生じたる直接原因はテーパー付又は絞り作業に於て過熱加工したためである。

IV 鋼板の熱間屈曲と疵

1. 試験法 汽罐鏡板や自動車輪板の加工は絞りにして單なる屈曲ではないが實驗の便宜上普通厚板試験に行はるる屈曲試験に基き種々の板について表面手入の影響 板の厚さ 加熱温度 加工時間等を變へた場合の屈曲表面に現はるる疵の程度を試験した。その方法は 100t アムスラー型靜壓屈曲試験機に依り屈曲半径を試験板の厚さの 3 倍として 180° 屈曲した。而して試験機ラムの速度は 1 秒間 3mm にして試片 1 個を屈曲し終る時間は約 23 秒である。加熱には電氣爐を用ひ所定温度に一定時間保定後爐より敏速に取出して屈曲した。疵の程度を現はすには大 (肉眼にて明かに多大に見ゆるもの) 中 (肉眼にて容易に見ゆるもの) 小 (肉眼にて僅かに見ゆるもの) 微 (蟲眼鏡にて見出し得るもの) に區分した。

2. 試料 試料は鹽基性平爐鋼を壓延せる厚板にして、その成分は第 1 表の如く。珪素含量少きリムド鋼質と珪素を含むキルド鋼質及び含銅量を異にする數種類を選んだ。

3. 表面手入の影響 熱壓延のまゝの板にはその表に

第 1 表 厚板試験材

試料 符號	化學成分(%)						鋼塊單重 kg
	C	Si	Mn	P	S	Cu	
1	0.25	0.008	0.60	0.024	0.034	0.070	2,700
2	0.27	0.006	0.57	0.033	0.021	0.070	2,700
3	0.22	0.009	0.59	0.028	0.020	0.092	3,800
4	0.21	0.010	0.52	0.027	0.017	0.111	4,500
5	0.18	0.020	0.46	0.020	0.026	0.127	2,400
6	0.25	0.033	0.63	0.037	0.017	0.160	1,800
7	0.24	0.018	0.49	0.025	0.022	0.232	1,700
8	0.22	0.194	0.61	0.038	0.013	0.090	2,800
9	0.24	0.198	0.70	0.035	0.017	0.160	2,500
10	0.17	0.200	0.68	0.040	0.028	0.161	5,000
11	0.22	0.215	0.58	0.031	0.018	0.172	1,800

脱炭せる部分や疵のある部分が無いと限らないので表面手

並表 ①

第2表 屈曲表面の龜裂

I. 表面手入の影響 試料 No. 7, 19mm 板

方向 手入 加熱屈曲 温度(°C)	壓延方向				壓延と直角の方向			
	黒皮の儘	研磨	1.5mm 削	3mm 削	黒皮の儘	研磨	1.5mm 削	3mm 削
700	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし
750	—	なし	—	—	—	なし	—	—
800	微	小	小	小	なし	小	小	なし
900	中	中	小	小	中	中	小	中
1,000	中	中	中	中	大	大	大	大

II. 表面手入の影響 試料 No. 3, 10mm 板

手入 加熱屈曲 温度(°C)	黒皮の儘		研 磨	1.5mm削
	表	裏		
700	なし	なし	なし	なし
750	なし	なし	なし	なし
800	微	なし	なし	微
900	小	微	微	微
1,000	中	小	小	微

III. 厚さ及びリムド鋼とキルド鋼の影響

試料 厚さ(mm) 加熱屈曲 温度(°C)	リムド鋼						キルド鋼					
	No. 1			No. 2			No. 9			No. 11		
	50	30	20	50	30	20	50	30	20	50	30	20
700	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし
800	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし
850	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし	なし
900	なし	なし	なし	微	なし	微	小	なし	微	微	なし	微
1,000	微	なし	なし	微	なし	微	中	微	中	小	なし	中

IV. 加熱時間, 加熱温度の影響

試料 厚さ(mm) 加熱時間(分) 加熱屈曲 温度(°C)	No. 1		No. 6		No. 9	
	20		19		20	
	0.5	4	0.5	4	0.5	4
700	なし	なし	なし	なし	なし	なし
800	なし	なし	なし	なし	なし	なし
900	なし	微	小	中	微	小
1,000	なし	微	中	大	小	中

V. 屈曲温度の影響

加熱時間(分) 加熱屈曲 温度(°C)	0.5			4		備 考
	800	900	1,000	900	1,000	
800	—	小	中	中	大	試料No.6
700	微	小	中	—	—	試料No.7

VI. 製鋼番號別比較

試料 厚さ(mm) 加熱屈曲 温度(°C)	No. 3		No. 4	No. 5	No. 10
	19mm		19	25	37
	黒皮の儘	酸洗			
700	なし	—	なし	なし	なし
750	—	—	なし	なし	なし
800	なし	なし	なし	なし	なし
850	—	—	なし	—	—
900	微	微	微	微	微
950	—	—	微	—	—
1,000	大	小	小	微	中
1,050	—	—	大	—	—
1,100	小	小	大	—	—

入することに依りてその効果があるか否かを試験した。即ち黒皮のままグラインダー研磨及び1.5~3.0mm 剪削したのについて熱間屈曲したるに第2表 I の結果となる。之に依れば試料 No.7 は鋼質劣り 900°C 以上の屈曲にては皆疵を生じ 800°C にても小疵を生じ表面手入の効果はなかつた。No.3 は第2表 II に示すが如く研磨及び剪削に依り多少良くなった。

4. 板の厚さの影響 第2表 III に示すが如くリムド鋼質とキルド鋼質について厚さ 50 30 20mm の板を黒皮のままにて熱間屈曲するに 900~1,000°C にて僅かに疵を生ずるものがあるのみで厚さの影響は認められず。

5. 加熱時間の影響 試料 No.1 No.6 No.9 の黒皮のままの板を 700~1,000°C に 30 分及び4時間加熱し熱間屈曲するに第2表 IV の如く長時間加熱した方が表面が多く酸化せられ龜裂を生ずる。

6. 屈曲温度の影響 試料を一旦 800~1,000°C に 30 分間或は4時間加熱し爐外に出し常温に冷却したる後に再び加熱して 800°C 及び 700°C にて熱間屈曲するに第2表 V の如く 800°C 以下で加熱したるものには疵を生じないが 900°C 以上で加熱したるものにはその加熱時間の長いほど疵を生じた。即ち一旦高温で加熱せられて表面の酸化したものは屈曲温度は適當なりとも疵を生ずる。その他 VI 種の試料について種々の温度で熱間屈曲試験するに第2表 VI の如く一般に 900°C 以上から微疵を生じ 1,000°C 以上にては可なり疵を生ずる。

以上の熱間屈曲と疵の関係を總括するに 900°C 以上の温度に長く加熱して焼過ぎたものは之を適當な温度で屈曲しても疵を生じ又 900°C 以上の高温で屈曲すれば疵を生じ。質の悪いものは 850°C にても疵を生ずることがある。

板の表面を研磨或は剪削すれば表面に缺點ありしものには有効であるが普通は疵が無いから手入の効果はない。尙鋼塊から板になるまでの壓延率は相當に大きいので鋼質は充分に熱鍊され板の厚さの影響はない。

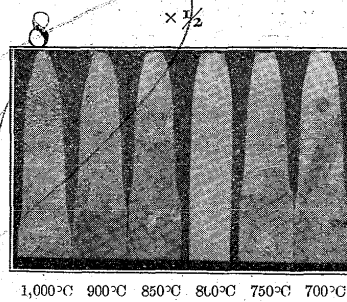
V 鋼板の熱間抗張試験及び衝撃試験

1. 試料 汽罐板向として作りたる鹽基性平爐鋼の16mm板にして下記のリムド鋼質とキルド鋼質2種を主材とし尙第1表に示せるものよりも適宜採用した。

試料	鋼質	鋼塊	板厚	C	Si	Mn	P	S	Cu	O
		kg	mm							
No. 12	リムド	2,800	16	0.23	0.01	0.55	0.033	0.039	0.090	0.015
No. 13	キルド	2,700	16	0.20	0.17	0.61	0.032	0.016	0.017	0.006

2. 熱間抗張試験 試験片は板の壓延方向に牽引する様に JES 第4號に作り特製の白金又はニクロム線巻電氣

第6圖 熱間牽引試験片の龜裂



試料 19mm 板
C Si Mn P S Cu
0.24 0.018 0.49 0.025 0.022 0.232

は著しかった。

之に依れば 900°C 以上の高温で加工することは有害である。

3. 熱間衝撃試験 熱間抗張試験に用ひたる試料 No.

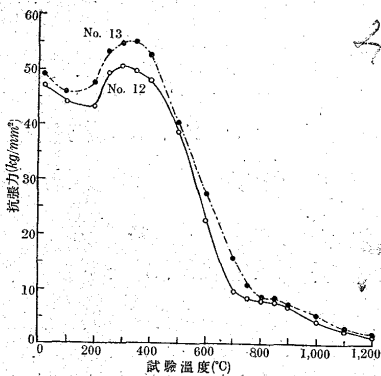
がある。

次に 900°C 以上の高温で牽引したものには破切部附近に第6圖に示すが如く無数の横割の生ずるものがある。此の疵の程度は試料に依りて異り試料 No. 12 No. 13 及び第1表の No. 1 2 3 には無いが No. 7 に

12 13 からメスネージャー型シャルピー一衝撃試験片を作り常温より 900°C までの種々の温度に加熱し 15 分間保定後に爐より取出し迅速にシャルピー試験機にて衝撃試験するに第7圖の如くである。常温よりも

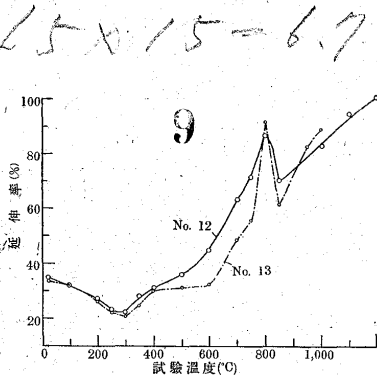
第3圖 汽罐板の熱間抗張力

	C	Si	O
No. 12 リムド鋼	0.23	0.01	0.015
No. 13 キルド鋼	0.20	0.17	0.006



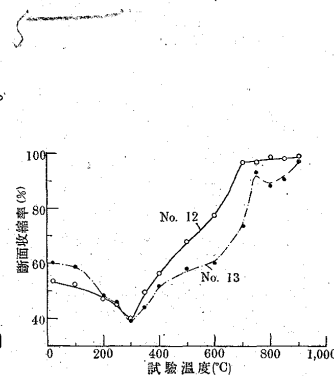
第4圖 汽罐板の熱間延伸率

	C	Si	O
No. 12 リムド鋼	0.23	0.01	0.015
No. 13 キルド鋼	0.20	0.17	0.006



第5圖 汽罐板の熱間断面収縮率

	C	Si	O
No. 12 リムド鋼	0.23	0.01	0.015
No. 13 キルド鋼	0.20	0.17	0.006



爐内にて試片の平行部を常に均等に加熱しながら所定温度にて抗張試験したるに試験温度と 抗張力 延伸率 断面収縮率 の関係は第3.

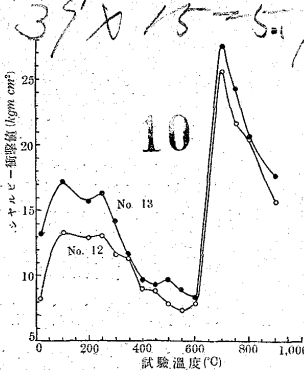
4. 5 圖の如くである。抗張力は 100~200°C 附近は常温よりも減じ 300~350°C 附近は最大となり、それより温度の上るに従ひ減少するが 850°C 附近に於ては次に述ぶる延伸率の激減する所で少しく力を増す 延伸率は 300°C 附近が最小となり

それより高温になるほど増大し 800°C にて最大となり 850°C にて激減しそれより再び高温になるほど増加す。

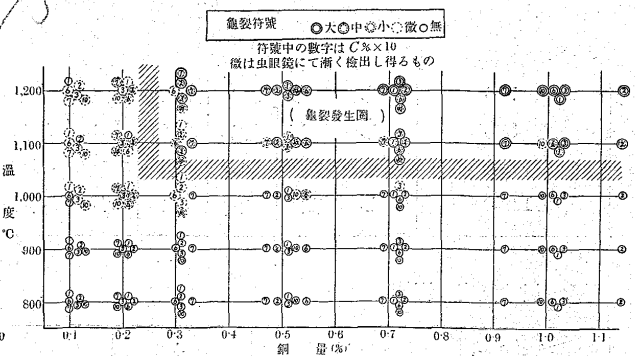
断面収縮率は 300°C 附近にて最小となりそれより温度の上るほど増加し 800°C 以上は増加せず却て減少する所

第7圖 汽罐板の熱間衝撃値

	C	Si	O
No. 12 リムド鋼	0.23	0.01	0.015
No. 13 キルド鋼	0.20	0.17	0.006



第8圖 鋼熱間屈曲試験に於ける加熱温度 銅量 炭素量と表面龜裂との關係



100°C 附近が靱性大にして 300°C 附近より高温になるほど減少し 550~600°C にて最小となり 700°C にて急に増大し之より高温になれば試料は破切せず曲がり抗力は減する。

VI 表面龜裂に及ぼす銅の影響

鋼の熱間加工に依る表面龜裂及び赤熱脆性に對する銅の影響については多くの研究があるが要するに鋼に銅が0.2%以上含まれれば熱間加工の際に表面龜裂を生じ4.0%以上含まれれば赤熱脆性を起し鍛錬が困難となる。而して表面龜裂の原因は含銅鋼が酸化性ガス中で加熱される場合に銅は鐵よりも酸化し難いから鐵のみ酸化鐵となり、銅は酸化せずに残り、鋼の表面は酸化の進むに従ひ銅に富んだ固溶體となり遂には金屬銅がスケール下の地金面に現はれ、之が銅の熔融點以上に於て鐵の結晶境に透入して薄い膜を作り結晶間の粘性を弱めるからである。従て鍛錬、壓延、屈曲、絞り等の加工に際し加工温度が銅或は銅鐵合金の熔融點以上であれば一層龜裂を生ずることになる。

そこで熱間屈曲試験に依りて表面龜裂に及ぼす銅の影響を試験して見た。即ち C 0.06~1.1%、Cu 0.1~1.0%

第3表 試料成分

試料番號	成分%		試料番號	成分%	
	C	Cu		C	Cu
14	0.06	0.10	32	0.57	0.13
15	0.07	0.21	33	0.63	0.21
16	0.09	0.31	34	0.56	0.30
17	0.08	0.51	35	0.51	0.54
18	0.15	0.71	36	0.51	0.72
19	0.12	1.02	37	0.61	1.01
20	0.19	0.12	38	0.74	0.10
21	0.19	0.22	39	0.77	0.19
22	0.20	0.31	40	0.69	0.33
23	0.22	0.49	41	0.66	0.47
24	0.19	0.73	42	0.75	0.69
25	0.20	0.94	43	0.73	0.92
26	0.30	0.11	44	1.11	0.13
27	0.18	0.20	45	1.14	0.19
29	0.34	0.31	46	1.08	0.31
28	0.29	0.51	47	1.04	0.53
30	0.35	0.72	48	1.03	0.72
31	0.35	1.03	49	0.86	0.99

Mn 0.2~0.3% Si 0.1% 以下 S 及び P は 0.04% 以下の範圍で第3表に示すが如く炭素鋼の含量を種々の割合に組合せたる試料を作り(電熱坩堝爐にて8kg鋼塊を作り鍛造剪削して30×120×10mm試片とす)。空气中及び還元氣中にて800~1,200°Cに加熱してIV章に述べたる方法で熱間屈曲して表面龜裂の状態を検査した。還元氣中の加熱法は目塗せる爐内にコークスガスを一定速度で通してその中で試料を加熱するもので爐を通過前後のガスの成分は下の如くである。

	CO ₂	O ₂	CnHm	CO	CH ₄	H ₂	N ₂
通過前	3.8	0.7	3.5	5.8	27.58	47.67	11.55
通過後	3.6	0	2.4	7.0	26.10	46.98	13.92

此の屈曲試験結果は空气中にて加熱屈曲せる場合には屈曲温度と銅含量及び疵の關係は第8圖に示すが如くなりて屈曲温度が900°C以下であれば銅1.0%に至るも疵を生ぜず、1,000°C以上は疵を生ずるが銅含量に依り異り銅0.1%では微疵、0.2%では小疵、0.3%では中疵、0.7%以上では大疵を生じ、銅含量の多いほど又屈曲温度の高いほど疵は顯著となる。然るに還元氣中にて加熱屈曲せる場合には、屈曲温度、銅含量、炭素量の如何に拘らず全く疵を生ぜず。

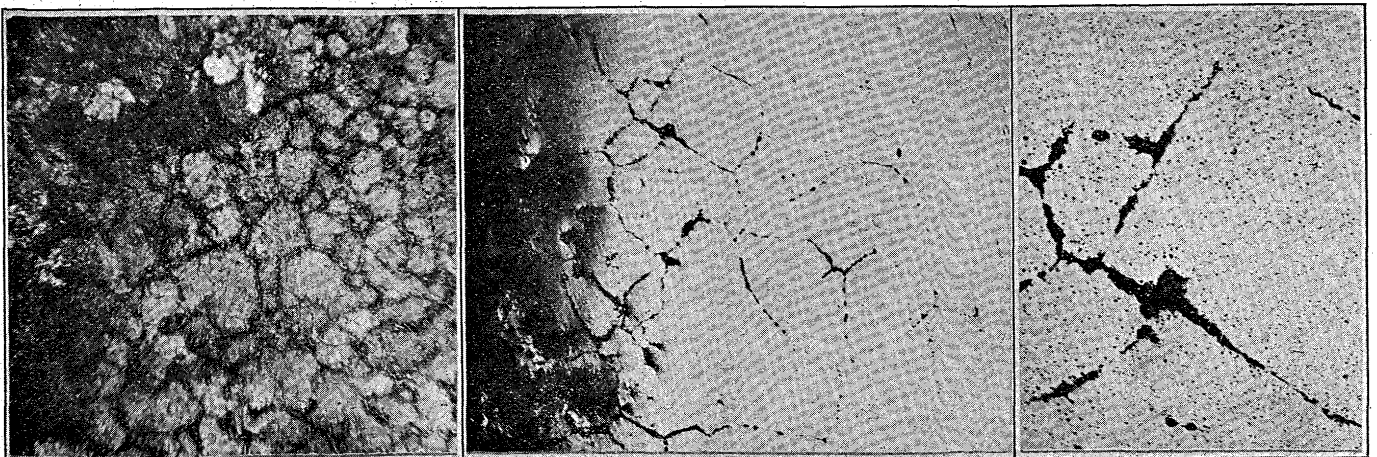
次に炭素含量は龜裂の發生に對して影響を認められなかつた。

VII 表面龜裂に及ぼす酸素の影響

1. 酸化試験 第1表に示すNo.1試料より30×30×19mm試片を作り各面を研磨して大氣中及び還元氣(コークスガス)中にて800~1,100°Cに30分及び3時間加熱して表面の酸化状態を見るに1,100°Cで3時間大氣

第9圖 汽罐厚板を研磨し大氣中にて1,100°C 3hr 加熱したる表面の酸化状態

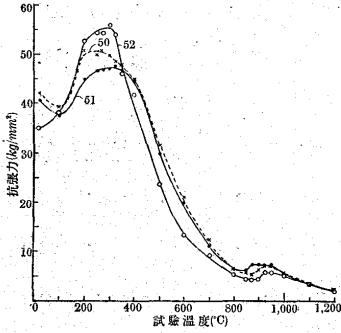
(1) 酸化せる表面 ×50 (2) 酸化後斜に研磨せるもの ×50 (3) (2)の一部 ×200



57 x 19 = 10.83

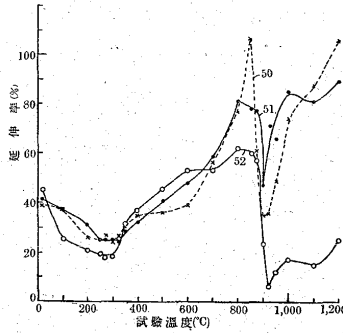
第 10 圖 熱間抗張力 (酸素の影響)

No.	C	Si	O
50	0.08	0.085	0.004
51	0.10	0.027	0.007
52	0.03	0.007	0.037



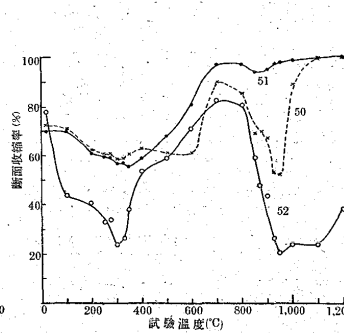
第 11 圖 熱間延伸率 (酸素の影響)

No.	C	Si	O
50	0.08	0.085	0.004
51	0.10	0.027	0.007
52	0.03	0.007	0.037



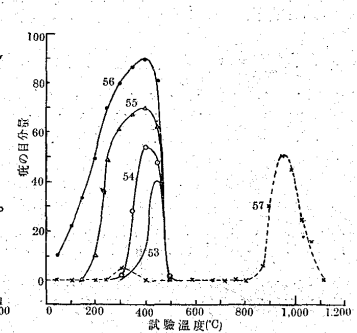
第 12 圖 熱間断面収縮率 (酸素の影響)

No.	C	Si	O
50	0.08	0.085	0.004
51	0.10	0.027	0.007
52	0.03	0.007	0.037



第 13 圖 熱間壓縮試験

No.	C	Si	O	抗張力 kg/mm ²	延伸率 %
53	1番鋼	0.12	0.033	—	37.3
54	2	0.19	0.034	—	40.8
55	4	0.38	0.179	—	56.4
56	6	0.61	0.100	—	74.0
57	アームコ鐵	0.02	0.038	0.075	32.6



中で加熱したものは第 9 圖に示すが如く酸化が進行してゐる。即ち(1)は加熱せるまゝの試料の表面にして網状の酸化模様現はる、(2)は斜に研磨して見たる組織にして結晶境に沿ひ酸化が進行し、之を更に擴大して見るに(3)の如く網状に酸化物が在り、尙他にも微粒の酸化鐵が點在する還元氣中で加熱したものにはかゝる組織は認められない。

かくの如く酸化氣中で鋼を高温加熱すれば表面が網状に酸化し、之を屈曲或は絞れば龜裂を生ずるであらう。

2. 熱間抗張試験 酸素含量を異にする次の 3 個の極軟鋼について熱間抗張試験を行ひ 抗張力 延伸率 断面収縮率及び破切部附近に現はるる龜裂状態を比較した。

試料番號	C	Si	Mn	P	S	Cu	O	鋼質
50	0.08	0.085	0.32	0.054	0.034	0.238	0.004	キルド
51	0.10	0.024	0.42	0.027	0.040	—	0.007	リムド
52	0.03	0.007	0.04	0.001	0.018	0.120	0.037	過酸化

試料 No. 50 は鹽基性平爐鋼にして黑板向のキルド鋼 No. 51 はタルボット爐鋼にして、極軟線材向のリムド鋼 No. 52 は電氣爐鋼にして特別に造た過酸化鋼である。何れも鋼塊から鋼片を経て 19mm 丸に壓延したものである。試験片は JES4 號とし、電氣爐内にて試験片の平行部は常に完全に均熱される様に設備し所定温度に保定しながら牽引した。その結果は第 10 11 12 圖の如し。抗張力は 3 個の試料とも 250~350°C で最大となり 850°C 附近まで漸減し、900~950°C で少しく増し夫れより高温になるほど漸減する。試料 No. 52 の酸素の多いものが温度に依る變化が大である。

延伸率は抗張力と反對に 300°C 附近に最小となり 800°C まで増加し、900°C にて急に減じ夫れより高温になるほど増加するのであるがその程度は酸素含量に依りて異なり、酸素の多い No.52 は常温及び 400~600°C の伸ば

他の試料に比し大なるに拘らず 100~300°C 及び 800°C 以上にては著しく少い。

断面収縮率は延伸率と同様に 300°C 附近にて減じ、700~800°C で増し、900°C で減少するが酸素の多い No. 52 は 100~300°C 及び 900°C 以上の高温に於ける減少が著しい。

以上の試験に依り明かなる如く酸素の多い試料は高温では切斷し易くて壓延加工が困難である。

3. 熱間屈曲試験 酸素の多い試料 No. 52 から直径 15mm に旋盤仕上した試片を作り空氣中で 500~1,200°C の各温度で屈曲して表面龜裂の状態を見るに下の如し。

試験温度 °C	500	600	700	800	900	1,000	1,100	1,200	1,250
疵	なし	なし	なし	なし	小	中	小	なし	なし

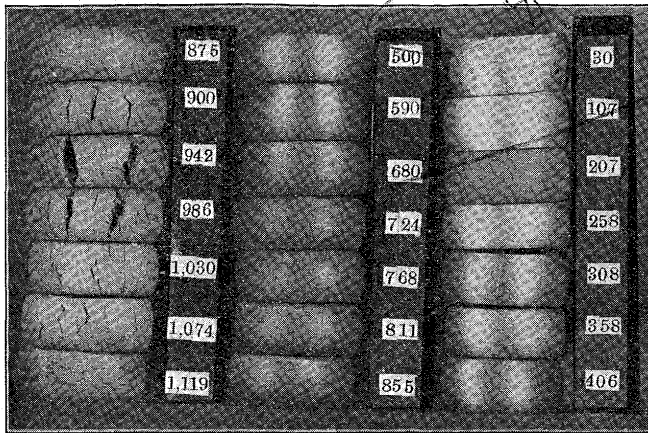
之に依れば 900~1,100°C 間にて屈曲したものに表面龜裂を生じた。普通の鋼材ではかゝる龜裂を生じないので此の場合は酸素に基く龜裂である。

4. 熱間壓縮試験 下表に示す材料即ち鹽基性平爐鋼の極軟鋼より硬鋼までの 4 種及びアームコ鐵の熱壓延せる丸棒から直径 13mm 高さ 26mm の試片を旋盤仕上して實驗用電氣爐内にて常温より 1,100°C までの各温度に加熱し 15 分間保定後速かに取出し 0.5t 蒸汽槌にて元の高さの 1/3 まで壓縮し試片側面に現はれし疵を検査し温度と疵の目分量との關係を示せば第 13 圖の如し。之に依れば疵の出る温度範圍は極軟鋼では 300~450°C 中軟鋼では 200~450°C 硬鋼では常温 ~450°C である。然るにアームコ鐵では不純物は少いが酸化物の微滓が多量に含まれ 400°C 附近には殆んど疵を生じないが 900~1,050°C に於ては第 14 圖に示すが如く龜裂を生ずる。

以上種々の試験に依り酸素を含む鋼は 900°C 以上の高

第 14 圖 アームコ鐵の熱間壓縮疵

(12×24mm 丸仕上片を 1/3 の高さまで所定温度にて打縮す)



試料	C	Si	Mn	P	S	Cu	O	降伏點 kgf/mm ²	抗張力 kgf/mm ²	延伸率 %	鋼質
53	0.12	0.033	0.38	0.011	0.021	0.21	—	27.0	34.3	31.5	1 番鋼
54	0.19	0.034	0.40	0.017	0.031	0.22	—	28.7	40.8	31.0	2 番鋼
55	0.38	0.179	0.53	0.032	0.024	0.29	—	36.3	56.4	25.0	4 番鋼
56	0.61	0.100	0.41	0.020	0.025	0.27	—	42.5	74.0	14.5	6 番鋼
57	0.02	0.008	0.07	0.013	0.017	0.11	0.075	—	32.6	34.5	アームコ鐵

温度にては著しく脆く加工の際に疵を生じ易いことは明であるから鋼板の熱間絞りに於て表面龜裂を生ずるのは表面の酸化が重大なる原因となる。

VIII 表面龜裂に及ぼす硫黄の影響

1. 硫化試験 下記成分の如く不純物の少い坩堝鋼鍛造材より 10×10×55mm シャルピー式メヌネーチャー型試験片を作り SO₂ ガス及び H₂S ガス中にて温度と時間を色々に變へて加熱し表面の組織の變化を見るに第 15 圖の如し。

試料	C	Si	Mn	P	S
58	0.08	0.05	0.07	痕跡	0.013
59	0.87	—	0.75	—	—

實驗に用いたる SO₂ ガスは銅に硫酸を注ぎ加熱して發

生し、H₂S ガスは硫化鐵に鹽酸を注ぎ發生したものである之等のガスを試料を装入せる石英管内に通じつゝ試料の部分を電氣爐内にて所定温度に熱した。

16 此の結果に依れば SO₂ ガス中にて加熱する場合に 830°C 4 時間にて少量の硫化鐵 (FeO と FeS の共晶) の皮を生じ 850°C 3 時間にて FeO と FeS の共晶が地鐵結晶境に沿ひ網狀に生じ表面には硫化物のスケールが厚く附着する。900°C 1.5 時間にて表面のスケールは半熔融状態となる。加熱温度が高いほど FeO が増し FeS が減する H₂S ガス中にて加熱する場合には表面に多量の硫黄を含むスケールを生ずるが地金の表面は第 15 圖 2 の如く滑かて結晶境に沿ふ共晶は生じない。

次に鍛冶床にて硫黄含量 0.3% の粉炭を燃料とし風を送りて 1,000°C に 1 時間熱し表面組織を見るに第 15 圖 3 の如く SO₂ ガス中にて加熱せる場合と等しく結晶境に FeS と FeO の共晶を認む。

かくの如く SO₂ ガスの多い氣圍中にて或は SO₂ ガスを發生する様な燃料に接して鋼材を加熱する時は鋼の表面に FeS と FeO の共晶が結晶境に沿ひ網狀に生じ此の共晶の溶解點は 940°C であるから之が原因となりて高温加工の際に表面龜裂を生ずるに至る。

2. 含硫黄鋼の赤熱脆性 電熱坩堝爐にて電解鐵を基材とし S Si Mn を色々の割合に含む 8kg 鋼塊を造り鍛造して 19mm 丸棒とし JES 4 號試験片に仕上げ熱間抗張試験して断面收縮率を測るに第 16 圖の如くである、之に依れば試料 No. 60 は C Mn Si が少く硫黄の外に酸素を多量に含む故に 1,000°C 以上の温度にて断面收縮率は著しく少い。試料 No. 61 は 60 よりも Mn を含むから 1,000°C に於て断面收縮が少いが 1,100°C 以上にて

第 15 圖 表面硫化状態

(1) 900°C 2hr SO₂ ガス中にて加熱

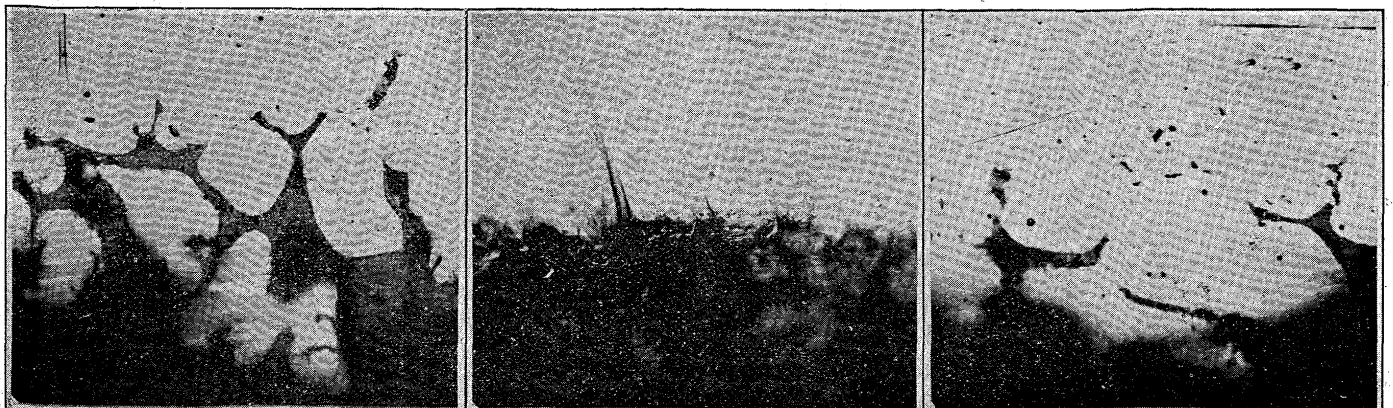
× 200

(2) 800°C 3hr H₂S ガス中にて加熱

× 200

(3) 鍛冶床にて加熱

× 200



57 × 17 = 9.6%

は増す。試料 No. 62 は 61 よりも硫黄が多いから 1,000°C 以上にて著しく断面収縮率少し。試料 No. 63 は 61 と比較して S Mn は同量であるが珪素を含み酸素が少いから 1,000°C 以上の温度にて断面収縮率あり。試料 No. 64 は Mn を多量に含む故に 700°C 以上にて断面収縮率が多い。

第 16 圖

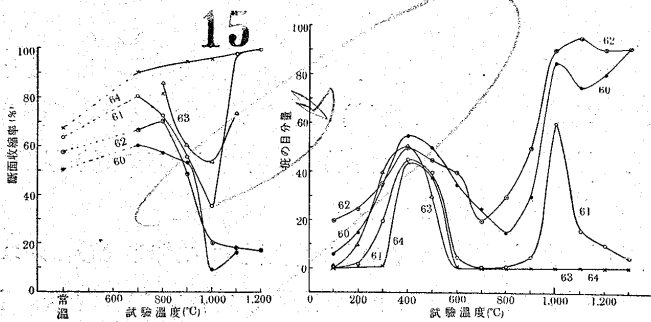
含硫黄鋼の熱間断面収縮率

試料	C	Mn	S	Si	O
60	0.07	0.08	0.181	0.020	0.087
61	0.10	0.32	0.196	0.016	0.060
62	0.07	0.38	0.453	0.020	0.056
63	0.11	0.48	0.185	0.131	0.009
64	0.10	1.25	0.173	0.020	0.016

第 17 圖

含硫黄鋼の熱間壓縮試験

試料	C	Mn	S	Si	O
60	0.07	0.08	0.181	0.020	0.087
61	0.10	0.32	0.196	0.016	0.060
62	0.07	0.38	0.453	0.020	0.056
63	0.11	0.48	0.185	0.131	0.004
64	0.10	1.25	0.173	0.020	0.016



次に之等の試料について VII の 4 項に述べたると同方法で熱間壓縮試験して加工温度と脆性の関係を求めたるに第 17 圖の如くである。試料 No. 60 は 200°C 以下には小疵 400°C 中疵, 800°C 小疵, 1,000°C 以上は大疵を生ず。

試料 No. 61 は 200°C 以下は無疵, 400°C 中疵, 700~800°C 無疵, 1,000°C 大疵, 1,100°C 以上は疵を減す, 試料 No. 62 は 200°C 以下は小疵, 400°C 中疵, 700°C 小疵 1,000°C 以上大疵を生ず, 試料 No. 63 は 100°C 以下は無疵, 400°C 中疵, 600°C 以上は無疵である。試料 No. 64 は 300°C 以下は無疵, 400°C 中疵, 600°C 以上無疵である。

以上の試験に依れば硫黄 0.2% 位を含み C Mn Si の極めて少量にして酸素を含むものは何れの温度にて加工困難にして殊に 1,000°C 以上にては赤熱脆性著し。之に少量の Mn を添加せば 1,000°C 附近にて赤熱脆性あるも 700~800°C 及び 1,200°C 以上にては加工するを得。

Mn を更に多く含むものは 600°C 以上にて疵を生ぜず赤熱脆性なし。要するに含硫黄鋼に對し Mn は赤熱脆性を防ぎ酸素は著しく助長する。故に鋼材の熱間加工に際し表面の硫化及び酸化は表面龜裂の重大原因となる。

IV 總括

1. 汽罐鏡板の加工作業と表面龜裂の状態を調査したるに表面龜裂の主なる原因は表面酸化又は焼過加工に依ることを認めたと材質としても含銅量 0.2% 以上は表面の酸化に伴ひ龜裂を生じ易い。

2. 自動車輪板の加工作業と表面龜裂の状態を調査したるに表面龜裂の原因は焼過加工に依ることを認めた。

3. 汽罐鏡板の熱間屈曲と疵の関係を實驗せるに表面の酸化を防がないで加熱し 900°C 以上の高温度で屈曲すれば疵を生じ, 又 900°C 以上の高温度で加熱し焼過ぎ或は酸化せしめたものは之を適當な温度で屈曲しても疵を生じ易い。

4. 汽罐鏡板の熱間に於ける機械的性質を實驗した。

5. 表面龜裂に及ぼす銅の影響を實驗したるに大氣中にては屈曲温度が 900°C 以下であれば含銅量 1% までには疵を生ぜず。屈曲温度 1,000°C 以上は含銅量 0.1% にも疵を生じ含銅量の多いほど屈曲温度の高いほど疵は顯著となる。然るに還元氣中にて加熱し表面の酸化を防げば含銅量 1% 屈曲温度 1,200°C に至るも疵を生ぜず。即ち酸化せしめざれば 1% 位の含銅量にても加工疵を生ぜず。

6. 酸素含量を異にする種々の鋼材に就て熱間の機械的諸性質を比較實驗するに酸素を多く含む鋼は 900~1,100°C に於て甚だ脆く熱間加工に際し疵を生じ易い。鋼材を大氣中にて加熱すれば結晶境に沿ひ網狀に酸化が進行し表面龜裂を助長する。

7. 硫黄を含む種々の鋼材に就て熱間の機械的諸性質を比較試驗するに含硫黄鋼に對し Mn は赤熱脆性を防ぎ酸素は著しく之を助長する。而して鋼材の熱間加工に際して表面の硫化及び酸化が同時に行はるれば著しく表面龜裂を生じ易い。