

◎軟鋼に於ける硫黄の影響

(By. Carle R. Hayward, S. B., Cambridge, Mass.)

T K 生

硫黄は多年間製鋼業者其他により有害なる一元素として取扱はれ随て製出せらるゝ鋼材中には可及的此成分をして少からしめんとて常に多大の努力と費用とを消費し居れり。斯く硫黄の製鋼業者間に嫌惡せらるゝ理由は一般に鋼材の破損原因の多くが右元素の存立によるものと信せられ居るか爲めなり。然るに近年に至りては一概に之を排斥するに及ばすとなし以て在來の見解を打破せんとするの傾向を生せり。

析出(セグレージョン)の場合に於ても硫黄は他の不純物に随伴して現出し其量を増加すれとも之れか析出の主なる原因には非るなり。銑鐵中に多量の硫黄分を留むるは爐の構造又は操業上より來れる缺陷によるものにして此場合硫黄は單に銑鐵か適當に還元されさりしことを表示するに過ぎず。又平爐にて酸化状態の下に灼熱する結果假令硫黄分を甚たしく消失せしめ得るともこれにより一般に金質は救治せらるゝものにあらず。換言すれば不良なる鋼を生ずる原因は往々原の銑鐵の性質不良なるに由來し硫黄分は單に其銑鐵の不良なりしことを表示するに過ぎざるなり。著者最近或る製鋼所を訪ひたるに此の事實の眞なるを語るに足るべき多くの例證を看たり。又同製鋼所の監督者某は鋼か硫黄分の多量を含有するとも差して其性質を害せず。又 Blast Furnace に於ける還元不充分による缺陷も右と同様なりと力説せり。

鑄て鋼を機械にて加工する側に在りては一般に適量の硫黄分を希望し居れり。何となれば硫黄分少量に過ぐる鋼は之れを削る際表面に粘着性の抵抗を感じ仕上面をして充分に平滑ならしむるのと甚た困難なるに反し僅かに硫黄分増加せは右の如き困難なくして立派に滑らかなる表面を削製し得らるゝなり。

これにより多大の鋼材を機械に掛くるに當り硫黄分の存在か大なる利便を與ふるものとせは之れに關して最早や論するを要せず。尙進んで若し之れの存在か鋼に甚たしき害を及ぼさることを證し得らるゝならば強いて之れを排するに及はさるへし。

最近鋼に於ける硫黄の影響に關して發表せられたる論說の中「カーネギー製鋼會社の Central Research Bureau に於ける監督者たる Dr. G. S. Unger 氏の說を推すべし」(Iron Age, No. 97, pp 146—150, 1916)氏は之れに關する周到なる試験成績を挙げ其結論として曰く「余は鋼の含有する硫黄分に意をとめさることに就て余自身を辯護するものに非るも〇・一〇〇%以下の硫黄分を含有する鋼は必ずしも不良ならざるべきを固く信するものにして又硫黄分のみ遙かに低き同種の鋼と比較せば其品位を異にするのみにして他の總ての性状は殆んど同一なり」と。

本研究に就きて試料の提供並に其加工等につきては専ら Rhode Island Tool Co., A. H. Annon 氏の援助を受けたるのみならず。又同氏よりは種々なる提案を得たり。

茲に實驗の結果を叙し一般の研究に資せんとす。

試験に用ひし鋼材の種類

試料は成る可く硫黄以外の諸元素の量相等しくして硫黄含有量の相異なるもの三種を選へり。滿俺は概して MnS となりて遊離し唯其殘餘か鐵中に溶解し居るものなり。而して滿俺の含有量は異なると雖も硫化滿俺の殘餘として有する量は各鋼材共略同一なり。

撰出せる試料は何れも四分三吋九にして各種より二個宛とれり。其化學成分を示すこと次の如し

第一 表

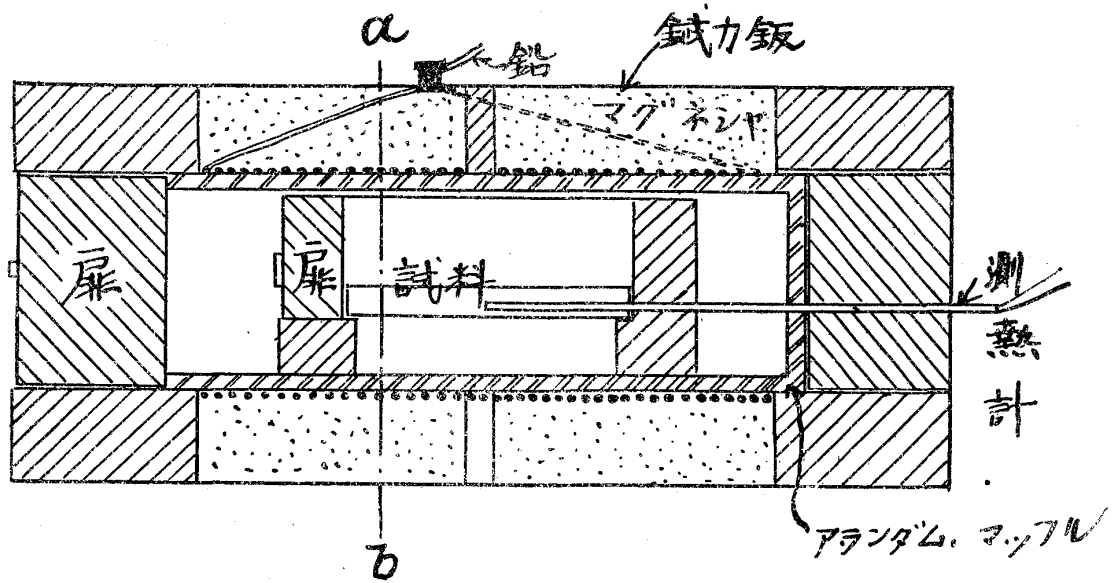
符號	炭素(%)	全滿俺(%)	硫黃と化合せる滿俺(%)	磷(%)	硅素(%)	硫黃(%)
一	〇・一八	〇・五五	〇・四八	〇・〇〇七	〇・〇一	〇・〇三八
一A	〇・一八	〇・五七	〇・五〇	〇・〇〇九	〇・〇二	〇・〇四一
二	〇・一七	〇・六七	〇・五二	〇・〇〇八	〇・〇一	〇・〇八六
二A	〇・一八	〇・七〇	〇・五五	〇・〇一〇	〇・〇三	〇・〇八七
三	〇・一八	〇・八〇	〇・五四	〇・〇〇六	〇・〇二	〇・一五二
三A	〇・一七	〇・八〇	〇・五五	〇・〇一一	〇・〇三	〇・一四八

試験片の熱處理法

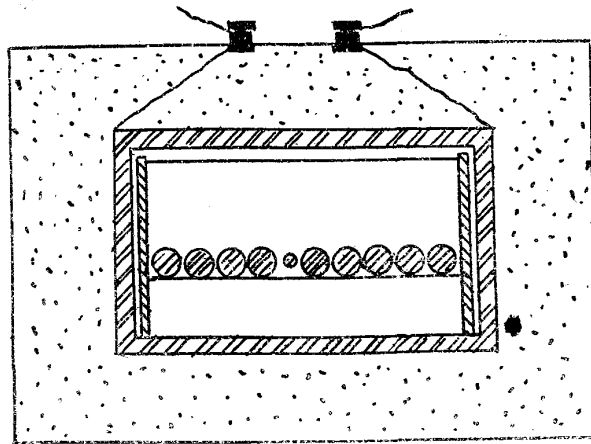
種々なる狀況の下にて鋼材を比較せんとする目的にて各試料は次の如き熱處理法を施せり。即ち何れもクリチカル、ポイントより少許高き温度に熱し水中冷却を施せる後夫々攝氏三百度、四百度、五百度及六百度の各温度にて再熱せり。而して試料の長さは抗張試験片並に檢鏡片を採る爲めに便宜上七吋とせり。加熱に用ひし爐は第一圖に示せる如き構造にして高さ二吋、幅九吋長、さ十六吋なるアランダム製マッフルには十五番 Exello resistance wire を捲付けたリ。

爐中なる試料をして全部に亘り等温を保たしめんか爲め同圖に示せるか如くアスベストの臺にて支へ是等の側部及端部も亦アスベストにて被覆せるにより試料は二重のマッフル内に挿入せらるゝ感あり。

第 壹 圖
加 熱 爐 の 構 造
縱 斷 面



「アランダム・マッフル」ヲ除ケル他ノ断面線
ヲ施シタル部分ハ概テ「アスベスト」ニテ作ル



横断面(a,b)

次に熱處理の手順を述べん。先づ爐を熱して攝氏八百八十度に達せしめ九個の試料を裝入せしに之か爲め一時溫度下降して五百五十度となれるか四十分にして再び八百八十度に達せり。此の溫度

に十五分間一定に保てる後取り出し水中に冷却せしめ次の九個を爐内に装入せり。斯くして次に記する十八個を餘すまで順次此作業を繼續せり。十八個よりは硫黄含有量最も多きもの、中位のもの、及夫れの最も少きものの三種より各三個宛總計九個を爐より出し空氣中にて放冷し残りの九個も亦右と同様三種三個宛にして是等は爐中にて其儘緩冷せしめたり。

右の熱處理を終へたるもの、中或るものに施せる再熱法を述べんに先づ爐を攝氏六百度に熱し九個(三種の硫黄含有量のものより三個宛)を一團として装入せり。装入の際一時温度下降したるか三十分にして復歸せり、而して同温度に十分間保たしめたる後取り出して水中にて冷却せしめたり。次に爐の温度を五百度に下げ他の九個を装入し温度か復歸せし後又十分を保たしめて水中に冷却せしめたり。斯くて順次に四百度及三百度の再熱を施せり。

抗張試験

熱處理を終りたる各試料より檢鏡に充つべき四分三吋の小片を切り去り殘部は標點距離二吋、直徑〇・五〇五吋にして其兩端に螺旋を施せる抗張試験片となせり。抗張試験は Massachusetts Institute of Technology の試験室に備へられたるオルセン材料試験機によりて行ひたるか其成績は第二表に示せり。

第二表

番號	符號	熱處理法	彈性界 (每平方吋に付封度)	抗張強 (每平方吋に付封度)	伸張率 (二吋に付%)	收縮率 (%)
一	A	攝氏八八〇度に熱し零度の水に急冷す	五八・五〇〇	八六・二五〇	二二・〇	六四・七
二	同	同	五八・〇〇〇	八五・二五〇	二二・五	六二・四
三	同	同	五七・二五〇	八五・五〇〇	二二・五	六二・四
平均			五七・九〇〇	八五・六〇〇	二二・三	六二・一

四	二A	同	五三・〇〇〇	七九・七五〇	二六・〇	六九・三
五	同	同	五六・二五〇	七七・〇〇〇	二九・五	七一・四
六	同	同	五一・五〇〇	七六・二五〇	二七・五	六九・三
平均			五三・六〇〇	七七・七〇〇	二七・七	七〇・〇
七	三A	同	五六・五〇〇	八四・二五〇	二二・〇	五九・九
八	同	同	七九・二五〇	八九・二五〇	二二・五	五九・九
九	同	同	五七・三〇〇	八四・五〇〇	二二・〇	六二・四
平均			五六・九〇〇	八六・〇〇〇	二二・二	六〇・七
一〇	一A	攝氏八八〇度に熱し空氣中に て冷却す	四一・〇〇〇	五八・五〇〇	四一・〇	六七・〇
一一	同		四六・七五〇	五八・五〇〇	四一・五	六九・三
一二	同		四一・七五〇	五八・二五〇	四一・五	六七・〇
平均			四三・一五〇	五八・四〇〇	四一・三	六七・八
一三	同		四五・七五〇	五八・〇〇〇	四一・〇	六七・〇
一四	同		四六・二五〇	五八・〇〇〇	四〇・五	六九・三
一五	同		三九・七五〇	五八・〇〇〇	四一・五	六九・三
平均			四六・〇〇〇	五八・〇〇〇	四一・三	六八・五
一六	同		四〇・〇〇〇	五九・五〇〇	三八・〇	六二・四
一七	同		四一・五〇〇	五九・五〇〇	三九・五	六四・七
一八	同		四六・二五〇	五九・二五〇	三九・五	六四・七
平均			四二・六〇〇	五九・四〇〇	三九・〇	六三・九

一九

二〇

二一

平均

二二

二三

二四

平均

二五

二六

二七

平均

三〇一

三〇二

三〇三

平均

三〇四

三〇五

三〇六

平均

攝氏八八〇度に熱し爐中に
て緩冷す

同

同

同

同

同

同

同

同

同

同

攝氏八八〇度にて急冷し
攝氏三〇〇度に再熱せるもの

同

同

同

同

同

同

三八・〇〇〇

三七・七五〇

三三・七五〇

三六・五〇〇

三七・〇〇〇

三八・七五〇

三四・五〇〇

三六・七五〇

三七・五〇〇

三五・五〇〇

三二・二五〇

三五・〇八〇

五三・七五〇

五八・〇〇〇

五六・〇〇〇

五五・九〇〇

五七・五〇〇

六一・二五〇

五九・七五〇

五九・五〇〇

五二・五〇〇

五二・七五〇

五二・五〇〇

五二・六〇〇

五三・〇〇〇

五三・〇〇〇

五三・〇〇〇

五三・〇〇〇

五五・〇〇〇

五五・〇〇〇

五五・〇〇〇

五五・〇〇〇

七六・〇〇〇

七六・〇〇〇

七五・〇〇〇

七五・五〇〇

七三・二五〇

七八・〇〇〇

七三・七五〇

七五・〇〇〇

四〇・五

四〇・五

四〇・〇

四〇・三

四〇・〇

四〇・〇

四一・〇

四〇・三

三七・五

三八・五

三八・〇

三八・〇

二五・五

二六・〇

二八・〇

二六・五

二八・五

二六・五

二五・〇

二六・七

六二・四

六四・七

六二・四

六三・二

六二・四

六二・四

五九・九

六一・六

五九・九

五九・九

六九・三

六三・〇

六九・三

六九・三

七一・四

七〇・〇

七一・四

七一・四

七一・四

七一・四

三〇七	同	五七〇〇〇	八〇・二五〇	二三・五	六二・四
三〇八	同	五六・五〇〇	八三・〇〇〇	二二・五	五九・九
三〇九	同	五九・〇〇〇	八五・〇〇〇	一九・五	五九・九
平均		五七・五〇〇	八二・七五〇	二一・五	六〇・七
四〇一	同攝氏四〇〇〇度に再熱せるもの	六三・七五〇	七六・五〇〇	二八・五	七一・四
四〇二	同	五八・五〇〇	七六・〇〇〇	二九・五	七三・五
四〇三	同	五八・七五〇	七六・四五〇	二八・五	七一・四
平均		六〇・三〇〇	七六・三〇〇	二八・八	七二・一
四〇四	同	六二・七五〇	七五・〇〇〇	二六・五	六九・三
四〇五	同	六三・七五〇	八〇・〇〇〇	二四・〇	六九・三
四〇六	同	六一・二五〇	七四・七五〇	二八・五	七一・四
平均		六二・六〇〇	七六・六〇〇	二六・三	七〇・〇
四〇七	同	六四・〇〇〇	八四・〇〇〇	二二・五	六二・四
四〇八	同	六二・〇〇〇	八二・七五〇	二二・五	六二・四
四〇九	同	六一・二五〇	八二・七五〇	二四・〇	六二・四
平均		六二・四〇〇	八三・一五〇	二二・三	六二・四
五〇一	同攝氏五〇〇〇度に再熱せるもの	五五・二五〇	七〇・七五〇	二三・五	七三・五
五〇二	同	五八・二五〇	七三・二五〇	三一・五	七三・五
五〇三	同	五七・五〇〇	七四・〇〇〇	三一・〇	七三・五
平均		五七・〇〇〇	七二・六五〇	三二・〇	七三・五

拔

萃

軟鋼に於ける硫黄の影響

平均	六〇九	六〇八	六〇七	平均	六〇六	六〇五	六〇四	平均	六〇三	六〇二	六〇一	平均	五〇九	五〇八	五〇七	平均	五〇六	五〇五	五〇四
同	同	同		同	同	同		同	同	同	同氏六〇〇度に再熱せるもの	同	同	同	同	同	同	同	同
五五・一五〇	五五・五〇〇	五五・〇〇〇	五五・〇〇〇	五三・五五〇	五三・七五〇	五二・五〇〇	五四・五〇〇	五二・一五〇	五二・〇〇〇	五一・〇〇〇	五三・五〇〇	六〇・九〇〇	六〇・七五〇	六〇・五〇〇	六一・五〇〇	五九・六五〇	五七・〇〇〇	六一・二五〇	六〇・七五〇
七四・六〇〇	七五・七五〇	七三・七五〇	七四・二五〇	七一・一〇〇	七〇・七五〇	七二・〇〇〇	七〇・五〇〇	六八・八五〇	六九・五〇〇	六七・七五〇	六九・二五〇	七八・〇〇〇	七七・七五〇	七七・五〇〇	七八・七五〇	七三・二五〇	七二・五〇〇	七四・〇〇〇	七三・二五〇
三〇・五	三〇・〇	三〇・五	三一・〇	三三・〇	三一・〇	三二・五	三五・五	三四・二	三二・五	三五・〇	三五・〇	二六・〇	二六・〇	二六・〇	二六・〇	二九・〇	二六・〇	三二・〇	二九・〇
七〇・七	六九・三	七一・四	七一・四	七三・五	七三・五	七三・五	七三・五	七五・五	七五・五	七五・五	七五・三	六七・〇	六七・〇	六七・〇	六七・〇	七一・四	七一・四	七一・四	七一・四

八八

尙ほ各種の比較をして容易ならしめんか爲め各平均數を纏めて之れを第三表に示せり。表中L M 及Jなる符號は硫黃量の少量中位及多量なるを表示するものなり。

第三表

熱處理法

L	H	M	L	H	M	L	H	M	L	H	M	L
五〇〇度まで再熱せるもの	同	同	四〇〇度まで再熱せるもの	同	同	攝氏八六〇度に熱し零度の水にて冷したる後 攝氏三〇〇度まで再熱せるもの	同	同	攝氏八六〇度に熱し爐中に緩冷せるもの	同	同	攝氏八六〇度に熱し空氣中に冷せるもの
五七・〇〇〇	六二・四〇〇	六二・六〇〇	六〇・三〇〇	五七・五〇〇	五九・五〇〇	五五・九〇〇	三五・一〇〇	三六・八〇〇	三六・五〇〇	四二・六〇〇	四六・〇〇〇	四三・二〇〇
七二・七〇〇	八三・二〇〇	七六・六〇〇	七六・三〇〇	八二・七五〇	七五・〇〇〇	七五・七〇〇	五五・〇〇〇	五三・〇〇〇	五二・六〇〇	五九・四〇〇	五八・〇〇〇	五八・四〇〇
三二・〇	二二・三	二六・三	二八・八	二二・五	二六・七	二六・五	三八・〇	四〇・三	四〇・五	三九・〇	四一・三	四一・五
七三・五	六二・四	七〇・〇	七二・一	六〇・七	七一・四	七〇・〇	六三・〇	六一・六	六三・二	六三・九	六八・五	六七・八

以上の諸表を看るに各數字に著しき懸隔なきにより比較上繁雜にして困難を感すへし、仍て是等の成績により等級を定むること第四表の如し。

第四表

熱處理法	彈 性 界			抗 張 強			伸 張 率			收 縮 率		
	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H
零度の水に急冷せるもの	一	三	二	二	三	一	三	一	二	三	一	二
空氣中に冷却せるもの	二	一	三	二	三	一	一	二	三	二	一	三
爐中にて緩冷せるもの	二	一	三	三	二	一	一	二	三	二	三	一
三〇〇度に再熱せるもの	三	一	二	二	三	一	三	一	二	三	一	二
四〇〇度に再熱せるもの	三	一	二	三	二	一	一	二	三	二	三	一
五〇〇度に再熱せるもの	三	二	一	三	二	一	一	二	三	二	三	一
六〇〇度に再熱せるもの	三	二	一	三	二	一	一	二	三	二	三	一
總 計	一七	一一	一四	一八	一七	七	一一	一二	一九	一三	一二	一七
等級(結局の)	三	一	二	三	二	一	一	二	三	二	一	三

六〇〇度まで再熱せるもの

H	M	L	H	M
同	同	六〇〇度まで再熱せるもの	同	同
五九・七〇〇	七三・三〇〇	二九・〇	七一・八	
六〇・九〇〇	七八・〇〇〇	二六・〇	六七・〇	
五二・二〇〇	六八・八〇〇	三四・二	七五・五	
五三・六〇〇	七一・一〇〇	三三・〇	七三・五	
五五・二〇〇	七四・六〇〇	三〇・五	七〇・七	

檢 鏡

檢鏡試料は之れを良く磨きたる上一〇%なる硝酸のアルコール溶液を以て腐蝕し檢鏡せるか夫

拔 萃 軟鋼に於ける硫黄の影響

等の組織は寫眞(三〇〇倍にて示せるか如し、實驗の際の廓大倍數は之れより更に大なりしか三百倍の時と先つ大差なく、且つ倍數の小なる方却て大體の觀念を得るに便なるより茲に前記倍數にて代表的のもの數種を掲けたり。

擊衝試驗

抗張試驗を試みたる後尙ほ硫黃分の差異か擊衝の抵抗力に及す影響を知るの必要を感じたれば之れをも併せ試験せり。而して本試験には Watertown Arsenal の試験所の厚意により同所に備へられたるシャービー試験機を用ひたり。

四分三吋九棒の残りに1、2、及3なる符號を附し長さ二吋に切り三個宛三組を採りて抗張試験片に於けると全く同一なる熱處理法を施し擊衝試験片を製作せり。而して其寸法及形狀は長さ五十五耗斷面十耗角にして長さの中央の一側面に刃先の半徑三分二耗なる刃物にて幅一耗の溝を横に穿てり。

シャービー試験機による試験は其重き振子を一定の高さより落下せしめ兩端を支持せられたる試験片の中央を打ち其溝部より破折せしむるなり。而して振子は餘力を以て反對の方向に上昇し其最高位を自記す、振子の重量及落下の前後に於ける高さより簡單なる計算によりて試験片を破折するに要せし力量を測定し得らる本試験成績は第五表に示せり。

第五表

熱處理法

攝氏四八〇度に熱し冷水にて急冷せるもの

番號	符號	平均
一	A	四九四
二	同	五四五
三	同	五四〇

折斷に要せし
力量毎平方吋
に付呎封度

攝氏四八〇度に熱し空氣中にて冷却せるもの

同 同 同 同 同 同 同

同 同

同

同

同

同

同

同

拔 萃 軟鋼に於ける硫黄の影響

四

二A

五二三

五二六

五

同

四八八

六

同

五四二

五一八

七

三A

四三二

八

同

五〇七

九

同

四七〇

四七〇

一〇

一A

三五六

一一

同

四六〇

一二

同

四五二

四五六

一三

二A

五二二

一四

同

五二一

一五

同

五二四

五一九

一六

三A

四一八

一七

同

三九八

一八

同

四三三

攝氏四八〇度にて熱し爐中にて緩冷せるもの

同 同

一九

一A

二五八

四一六

二〇

同

二八四

二七九

二一

同

二九五

同

二二

二A

三五三

同

二三

同

三五七

同

二四

同

*二五九

三五五

同

二五

三A

二八三

同

二六

同

二五六

同

二七

同

二七九

二七三

攝氏四八〇度にて急冷し、三〇〇度に再熱せるもの

同

三〇一

一A

六三三

同

三〇二

同

*四四七

六〇五

三〇三

同

五七八

同

三〇四

二A

五六二

同

三〇五

同

五三七

同

三〇六

同

五三〇

同 同 同

攝氏四八〇度にて急冷し、四〇〇度に再熱せるもの

同 同

同 同 同

同 同 同

攝氏四八〇度にて急冷し、五〇〇度に再熱せるもの

同 同

拔 萃 軟鋼に於ける硫黄の影響

五四三

三〇七

三A

四六二

三〇八

同

四二三

三〇九

同

四三四

四三九

四〇一

一A

六一三

四〇二

同

五九七

四〇三

同

五八二

五九七

四〇四

二A

五四〇

四〇五

同

五四一

四〇六

同

五五六

五四六

四〇七

三A

四七四

四〇八

同

四四七

四〇九

同

四二九

四五〇

五〇一

一A

四三九

五〇二

同

六九四

五〇三

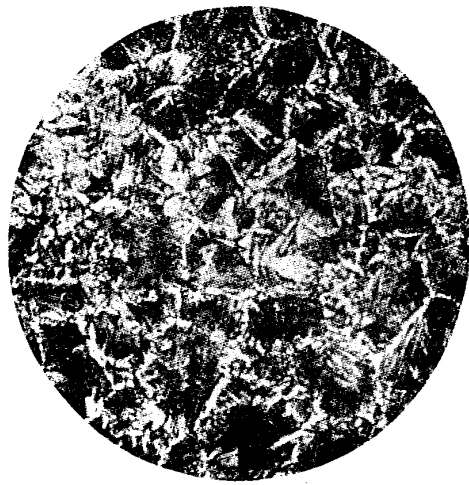
同

六七〇

の も る せ 却 冷 て に 水 の 度 零

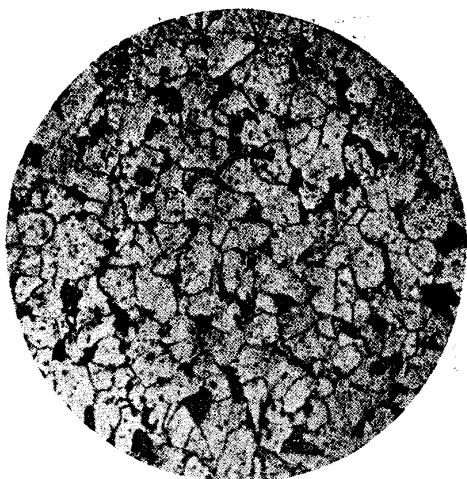


鋼るな量多分黄硫 a



鋼るな量少分黄硫 b

の も る せ 却 冷 て に 中 氣 空



鋼るな量多分黄硫 c



鋼るな量少分黄硫 d

の も る せ 冷 緩 て に 中 爐

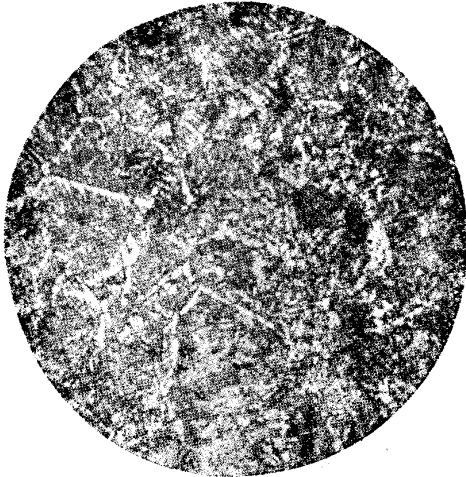


鋼るな量多分黄硫 e

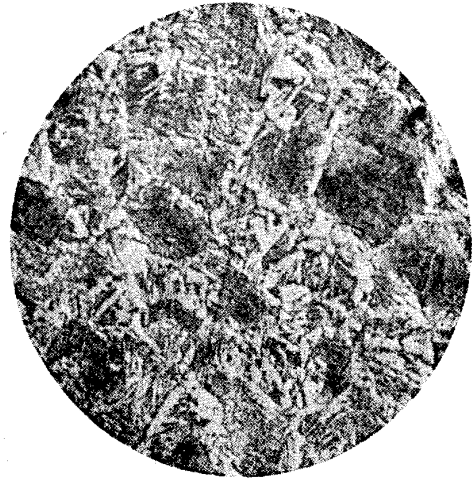


鋼るな量少分黄硫 f

の も る せ 熱 再 に 度 百 三 氏 攝



鋼るな量多分黄硫 a



鋼るな量少分黄硫 b

の も る せ 熱 再 に 度 百 五 氏 攝



鋼るな量多分黄硫 c



鋼るな量少分黄硫 d

結 論

第四表は抗張試験の結果を總括せるものなるか硫黄分に富める鋼は各種熱處理法を通して抗張強は何れも他より大なるか然し弾性界を看るに二種の熱處理法にては第一位又三種の熱處理法にては第二位を占め其他の二種に在りては最下位に在り故に此結果より硫黄は抗張力を減退せしめざるものと云ふを得へし。

次て伸張率及收縮率を看るに硫黄の少量のものと中位のものとは其差極めて僅少なれとも多量の有するものは前二者に比し概して低少なり。

撃衝試験に於ける平均強度に在りては空氣中冷却並に爐中冷却の分を除き、たる他の各種に於ては硫黄が最少量のものか最も優にして最多量のものか劣等なる結果を示せり。而して急冷後再熱を施せるものに於ては其差概ね著し。

以上の試験成績によりて未だ斷乎たる判定を下すこと困難なり。何となれば撃衝試験法なるものは新しき試にして且つ其價值に就きては技術者間に種々異論あればなり。又抗張試験は硫黄分の普通量を有する鋼に對して何等の不都合なけれども撃衝試験に於ては硫黄分の増加するに隨ひて強度に著しき差異を生ずることあり。故にシャーパー試験機によれる成績は尙ほ充分の經驗を積める上這般の事由に對する見解を定めたる後に非れば重要な判斷を下し得ざるへし。

尙ほ交番應力試験をも併せ行はし一層有力なる結果を得たるを信す。兎に角抗張試験若くは撃衝試験の何れか此の目的に副ひ得へきものなるやは尙研究を要すへし。遺憾なから本試験に用ひしと同一材料は已に使用し盡し最早や同一條件の下に交番應力試験を行ふを得す。本研究の結論としては不備なるを免れず。(終)