

鐵 と 鋼 第十年 第十一號

大正十三年十一月二十五日發行

鋼の焼戻脆性に就て

(大正十三年七月二十七日吳市に於ける機械學會日本鐵鋼協會火兵學會聯合講演會に於て講演)

吉川晴十

一、合金鋼の利用と共に熱處理の必要を生ず

器具機械の構成材料として單なる炭素鋼を使用し居たる場合には工具鋼の如き高炭素のもの以外は火作り放し或は焼鈍の儘にて別に不都合を感じざりき、只砲身材料の如き特に大なる強度を要求するものに於て油焼を施し其儘別に焼戻を行はずして使用したる事ある位のものなり。

機械の効率が機構に於て殆んど其最高に近づき殊に最近各種兵器以外自動車飛行機等に重量軽くして強度大なる金屬材料を要求せらるゝに及び合金鋼の用途著しく擴張せられたり構成材料として合金鋼の最も古くより用ゐられたるはニッケル鋼なれ共最近強度並に靱性の大きなることを要求せらるゝ場合に最も多く用ゐらるゝはニッケルクローム鋼及び之れに多少の稀金屬例へばモリブデン、バナヂウム等を加へたる合金鋼なり。

之れ等合金鋼は軟鋼と異なり熱處理によりて著しく其機械的性質を異にする事は周知の事實にしてニッケルクローム鋼

の一二の例を擧ぐれば次の如し。

第一表 ニッケルクローム鋼焼鈍の儘と焼戻焼戻を施したるものととの比較例

第一例	熱處理後	燒鈍の儘	熱處理後	弾性限		破斷界		延伸	断面收縮	断面状態	ブリアイツツネルド衝擊試驗	試片平均
				kg/mm ²	kg/mm ²	%	%					
第一例	388	460	360	375	330	330	330	330	330	330	330	330
第二例	300	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360	360

故に合金鋼を利用する場合には必ず適當なる熱處理を行はざるべからず、單に焼鈍のみにては甚だ良好なる材料試験成績を得る事あれども若し加熱溫度冷却方法等適當ならざれば著しく硬くなり或は脆くなる恐れあるを以て合金鋼は其利用に當りて必ず合理的の熱處理を施す必要あり。

熱處理とは一般に焼戻焼戻を意味し焼戻方法に就ては古來種々に研究せられ居たれ共焼戻に關しては單に焼戻溫度の高低を云々するのみにして其溫度よりの冷却方法に就ては殆ん

ど注意を拂はれ居らざりき。

元來焼戻の目的は焼入によりて硬くせられたる組織を適當に軟かにする外に焼入の際生じたる歪力ストレインを或程度迄取除かんとするに在るを以て焼戻温度よりの冷却方法は成るべく徐々なるをよしとする如く考へらる、従つて從來の焼戻作業は焼戻温度に上昇して一定時間保熱後爐中に於て徐冷するを常とし、時に或は爐を長く塞ぐことを厭ふ場合爐より引出して大氣中にて冷却したるものなり。

二、熱處理を施せる合金鋼に對しては特殊の

材料試験を行ふを要す

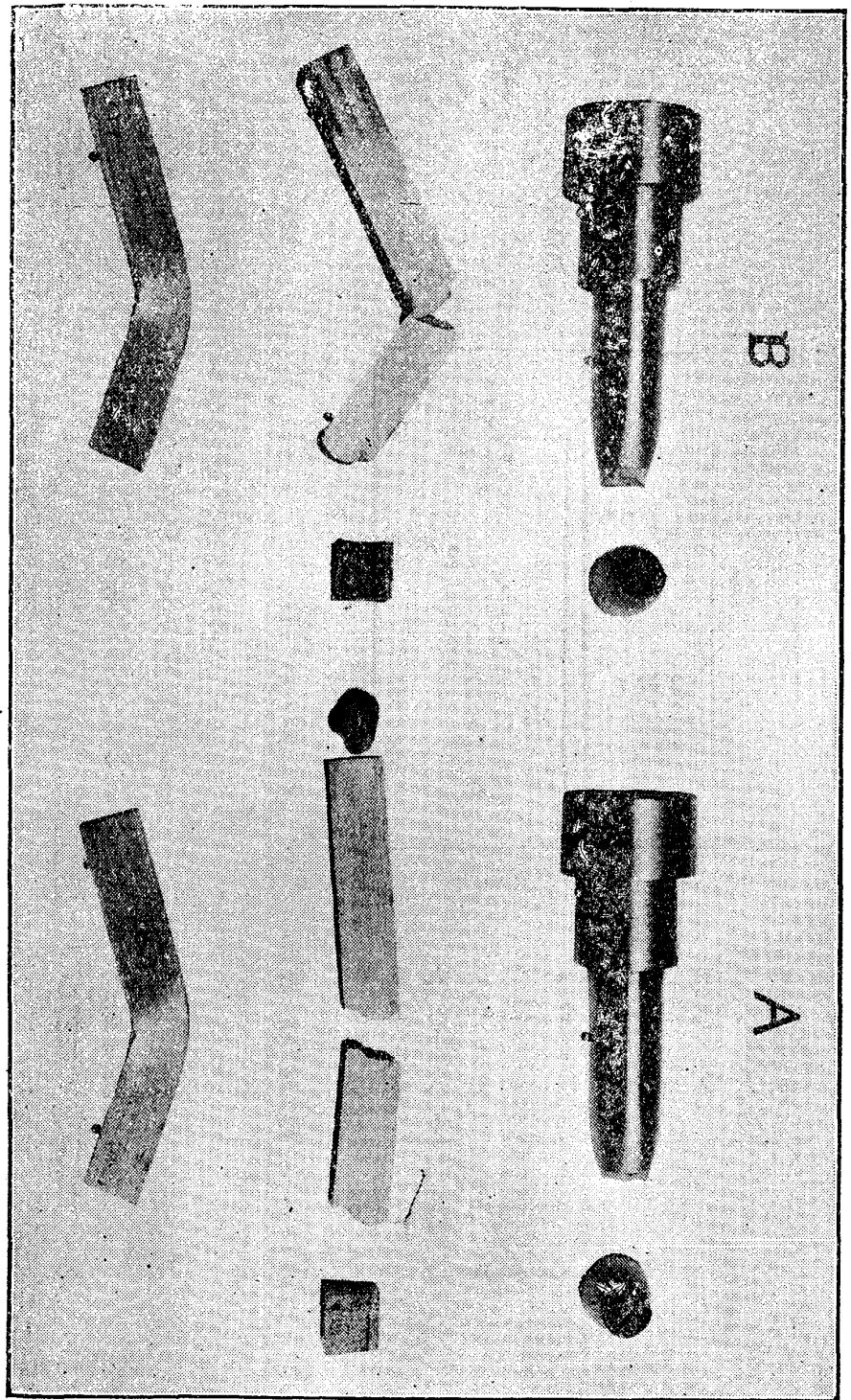
砲身魚雷氣室其他各種の合金鋼材料に對し數年前迄は帝國海軍に於ても材料試験規格として牽引試験屈曲試験を指定し硬度試験を參考とし場合によりて剪斷試験を加へ居たり。抑々材料試験なるものは單に其材料の一二の性質を知り得るのみにして之れを以て實用の場合如何なる安全を期し得べきかと云ふ事は甚だ曖昧なるものなり、例へば牽引試験にて何種の強度ありと云ふも牽引試験片と同形のものにて同様の應力を受くる場合は夫れ丈けの割合に抗張力を有すべけれども、或は細い所太い所を作り或は螺糸を切る等形狀を異にし或は應力の加へ方を急激に加ふる場合徐々に加ふる場合等によりて強度も變化するを免かれず、従つて單なる炭素鋼の場合に於ては牽引試験丈けにて實用上支障なかりし品物にても性質を異にする合金鋼の場合には牽引試験丈けには合格したりとて其品物として實用上の應力を受くる時必ずしも差支なしとは云ひ難し、故に此場合に於ては成る可く實用上の應力に類似せる應力を加へて試験を行ひ以て實用上差支なきや否や

を判定せざるべからず。

三、牽引試験にて發見せられざりし脆性

單なる炭素鋼或は他の元素を少量に含有する合金鋼に於ては、過熱オーバーヒートせられたる等特別の場合の外牽引試験の延伸率を以て脆さ粘さを判定して殆んど誤なし然れども熱處理を施したる合金鋼殊にニツケルクローム鋼に於ては時として牽引試験にては充分なる延伸を現はし乍ら或種の衝撃を加ふる時は恰かも別個の材料の如き脆弱性を示すことあり、第一圖の寫眞に掲げたる二組の試験片は即ち其一例にして之れは一一〇度ニツケルクローム鋼塊より鍛造したる材料を八二〇度にて焼鈍し八四〇度にて油焼後六三〇度にて五時間半焼戻し其温度より爐中にて四時間かゝりて五〇〇度迄冷却し其後は温度を測らずに冷却したるものより採りたる試験片なれどもAは上記處理を施したる儘、Bは其一部分を切斷し六〇〇度にて一〇分間加熱し其温度より油中に急冷したる後製作したる試験片なり。

次の寫眞に於て見る如くAは牽引試験に於ては最も優秀なる成績を現はし延伸も充分あり斷面も纖維狀なれども衝撃試験片は殆んど何等の抵抗力も無く破斷したる者の如く斷面に於ても粒狀結晶を認むる事を得Bは牽引試験に於てはAと異ならざれども衝撃試験片は全然別物の如き狀況を呈し試験片は著しく屈曲し斷面も纖維狀なるを以て衝撃抗力として現はれたる數字も著しく大なり、而して牽引試験の抗張力は單に六〇〇度にて一〇分間加熱したるのみなるを以て殆んど變化なき事第二表に掲ぐるが如し。



第二表 脆きものと粘きものとの強度比較

種 類	弾性限 kg/mm ²	破断界 kg/mm ²	延伸 %	断面 収縮 %	断面 状態	ブライ アイズ 試験 吹聴	硬度
脆きもの (焼戻後爐中冷 却)	六、〇	六、三	三、四	五、八	纖維狀	三三	二、五〇
粘きもの (右を六〇〇度 にて一〇分間 加熱油中冷却)	六、五	六、〇	三、三	五、八	同	三三	五、〇

即ち本材料は衝撃試験を加へざる材料試験規格に於ては立

鋼の焼戻脆性に就て

ゐたるに起原す蓋し此脆性は焼戻温度より急冷する事によりて除去することを得べく尙又逆に之れを再加熱して除冷することによりて脆性を發生せしむる事を得るを以てなり。

(註) (1) Dickenson, Journal of the Institution of Automobile

Engineers, 1917-1. Vol. xii. p. 342.

獨逸のクルップ社にては此性質を知りてか知らずにか甲鉄及び砲身用等のニッケルクローム鋼に焼戻後急冷を行ひ居た

派に合格すべきものにして牽引試験屈曲試験等にては到底其脆弱なることを想像し得ざるものなり。

此脆性は事實として久しき以前より認められ居たる所なれども其原因等に就きて詳しく研究したる者なく之れに對する名稱も一九一七年英國グイツカース社ヂッケンソン氏(1)が初めて焼戻脆性 (temper-brittleness) なる語を用

るを以て英國にて獨逸の砲材を研究して此脆性をクルツプ病 (Krupp Krankheit) と呼ぶものあれ共獨逸自身にてはかゝる名稱を用ゐたるを聞かず。

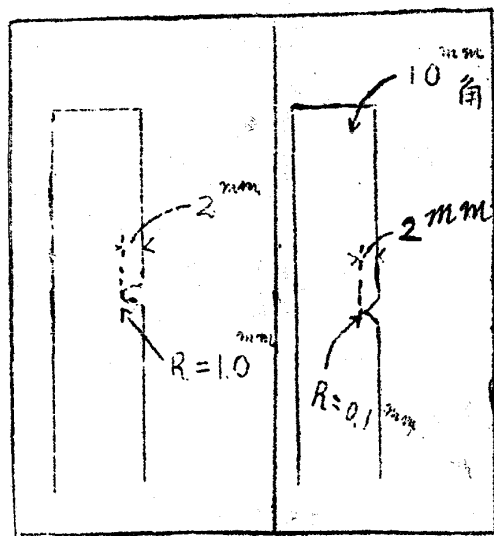
四、燒戻脆性は何式の衝擊試験にて最もよく發見し得るか

各種型式の衝擊試験中燒戻脆性を最も善く現はすは切込入りの試験片に對し屈曲衝擊を與ふるものなり、即ちフレモン式或はアイゾット式は最も之れに適したるものにして英國ハドフキールド氏はフレモン式を推奨すれ共一般にはアイゾット式の方廣く使用せらる。

吳製鋼部にてフレモン式をも試験したれ共甚だ脆きものに在りては數字あまりに小にして脆さを比較するに困難なり。

第三表 切込形状による衝擊抗力の變化

種類 試験片切込形状



衝擊試驗	アイゾット式	平均
五、五—五、二	九、八—八、七	平均六、八
七、〇—五、二	八、三—一、〇、二	
八、七—四、九		
三三、〇—二九、六		
一五、三—一五、六		
五、五—二六、三		
一二、八—六、〇		
五、四—一三、〇		
	一八、二	

切込の底鋭きもの脆性を發見し易し

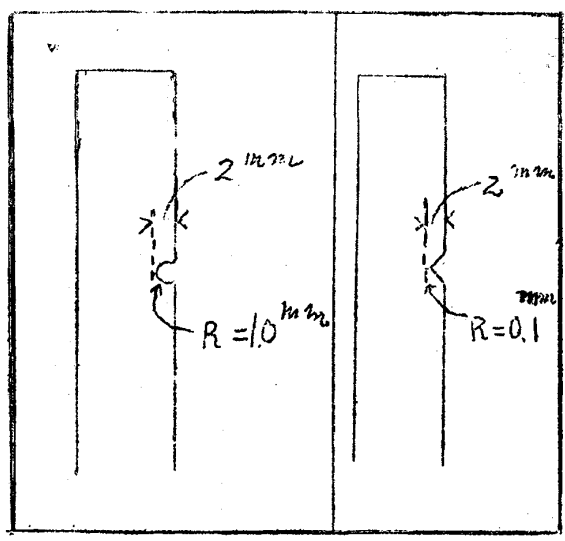
シャープピー式或はギレリー式に於ても同じく屈曲衝擊を與ふる装置になり居れども制式切込の底の半径が大なるを以て判然と脆性を顯はさず、同様にアイゾット式に於ても切込の底を丸くすれば制式のものに比して脆性を現はすこと稍困難なり(第三表參照)従つて切込を全然附せざるものは全く脆性を示すこと能はず第一圖寫眞の切込なき衝擊試験片は制規の如く衝ちたるも少しも疵を生ぜず脆きAも粘きBと同様に屈曲せるを示すものなり。

切込の深さが如何程に進めば脆性を顯はすものなりやを試験したる結果は第四表に示す如くにして深さ〇・五耗にて既に著しく衝擊抗力を減ず。

脆きもの
(六三〇度五時間半燒戻
後爐中にて五〇〇度迄四
時間かゝりて冷却其後大
氣中冷却)

衝擊試驗 アイゾット式 吸听 記事

粘きもの
(六一五度二時間焼戻油
中冷却)



四六、〇 — 四二、五	四三、二	$\frac{43.2}{6.8} = 6.4$
四四、〇 — 四四、二	四三、二	
五〇、五 — 五五、六	五四、九	$\frac{54.9}{18.2} = 3.1$
五八、〇 — 五五、二	五四、九	
五七、三 — 五四、〇	五四、九	

第四表 切込の深さによる衝撃抗力の變化

種類	率		引		断面	制	アイゾッド式衝撃試験、吸听		切込の深さ	切込の深さ	切込の深さ	切込の深さ	記事
	弾性限	破断界	延伸%	断面収縮%			規格試片	切込の深さ					
脆きもの (焼戻後徐冷)	六三、二	七八、七	一七、五	四二、六	同	四、七	均平	七、九	均平	四、〇	均平	同	切込の深さ 五〇、五 に於ては既述の通りなるが衝撃牽引試験に於ては如何なりやと云ふ
	六二、二	七七、六	一八、五	四三、四	同	六、八	均平	七、九	均平	一〇、〇	均平	同	
粘きもの (焼戻後急冷)	五七、〇	七三、〇	一九、四	四三、二	同	四、七	均平	七、九	均平	四、〇	均平	同	切込の深さ 五八、〇 に於ては既述の通りなるが衝撃牽引試験に於ては如何なりやと云ふ
	五四、〇	七六、〇	二二、〇	五〇、三	同	四、七	均平	七、九	均平	四、〇	均平	同	

即ち斯かる脆性を帯べる材料は極めて微細なる切込の存在も實用上大なる影響を有するものなるを以て甚だ不安心のものなりと云はざるべからず。

普通の牽引試験に於ては焼戻脆性を発見すること能はざるは既述の通りなるが衝撃牽引試験に於ては如何なりやと云ふ

にシャトピー式及びフレモン式にて試験せる結果第五表の如く何れにても大なる延伸度あり脆性を発見すること能はず、殊にフレモン式にては切込を入れたる試験片に就きても試験したれど夫れさへ殆んど此脆性を顯はさず。

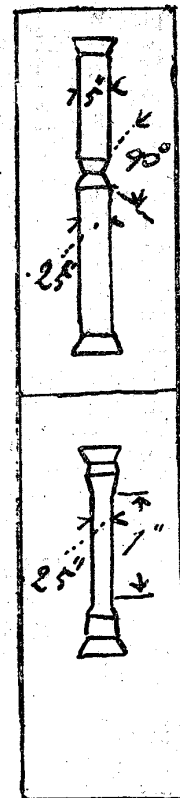
鋼の焼戻脆性に就て

第五表 脆きものと粘きものとの牽引衝擊試験

シャービー式牽引衝擊試験

鋼種
アイゾツド式衝
撃試験、呟听

抵抗力
kgm
延伸%
收縮%
断面



切込入

切込なし

フレモン式四〇厘米牽引衝擊試験抵抗力 kgm

脆きもの	四、七—八、八	一六一、〇	一四、四	四三、二	纖維狀
	七、二—八、二	九〇、八	八、一	九、二	粒狀
平均	七、二	一一五、九	一一、二	二六、二	
粘きもの(1)	四〇、〇—四一、〇	二〇一、四	一七、三	五二、一	纖維狀
	三五、五—三九、〇	二〇二、二	一八、三	五四、一	同
平均	三八、九	二〇一、八	一七、八	五三、一	
粘きもの(2)	三四、八—四七、〇	—	—	—	
	四一、三—四一、五	—	—	—	
平均	四一、二	—	—	—	

線返打撃試験即ち松村式スタントン式等の試験に於ても完全に焼戻脆性を顯はざる事あり、第六表に數例を擧ぐ。

第六表 スタントン式線返打撃試験(鋸高六厘)

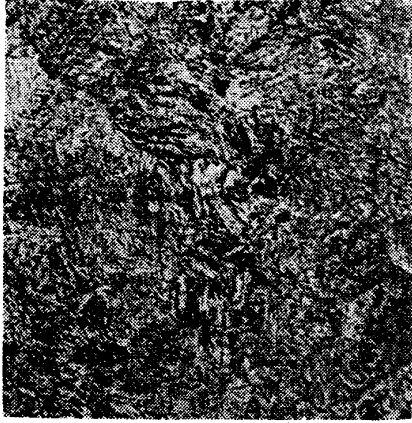
鋼種	弾性限 kg/mm ²	破斷界 kg/mm ²	延伸 %	斷面收 縮%	衝擊試験 呟听	スタントン 式線返 打撃回数
ニツケルクローム 鋼A甚だ粘きもの	七〇、〇	八四、〇	二、〇	四九、二	五三、〇—五三、〇	二九九
同B 粘きもの	八三、〇	九一、〇	一八、四	四九、二	二七、〇—二八、〇	一七九五
同C 脆きもの底端	八三、〇	九四、五	一七、五	四三、二	一八、三—二〇、六	三六二六
同D 脆きもの底端	八六、〇	九七、六	一六、二	四一、〇	八、三—一三、九	六八八
同E 脆きもの底端	八二、〇	九一、〇	一八、六	四七、六	四、六—六、九	一五九〇
同D頂端	八二、五	九三、五	一八、三	五三、八	二、五—一〇、一	九六六
同E甚だ脆きもの	八四、〇	九四、五	一七、〇	四三、二	四、八—六、四	三〇九四

同F甚だ脆きもの 六三、六 七七、六 一八、五 四三、四 六、八 (2)(1) 二二六
 同G甚だ脆きもの 七三、〇 八八、四 一九、〇 四六、七 四、一—四、六 三三七
 同D頂端 六、〇 八七、〇 二〇、〇 四六、四 三、四—四、一 三三四

前表に見るが如くアイゾツド衝擊試験悪しきものは一般にスタントン回数も小なれども中にはD底端及びEの如く衝撃成績は甚だ悪しきにも拘はらずスタントン回数大なることあり蓋し線返打撃回数は弾性限の高度に關係すること大なるを以て弾性限高きものは縦令脆性を帯び居るも大なる打撃回数を示すものなるべし、従つて鋸の高さを一定にして打撃試験を行ふ丈けにては充分に脆性を摘發すること能はざるなり。

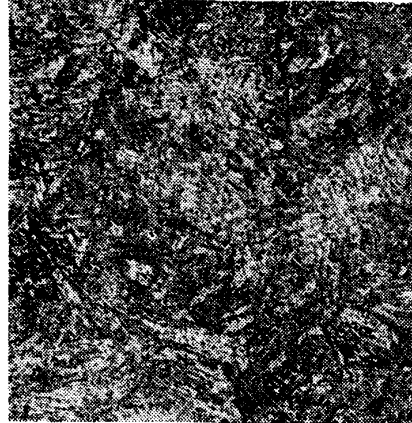
五、焼戻脆性は顯微鏡にて判定し得ず

A × 100



脆

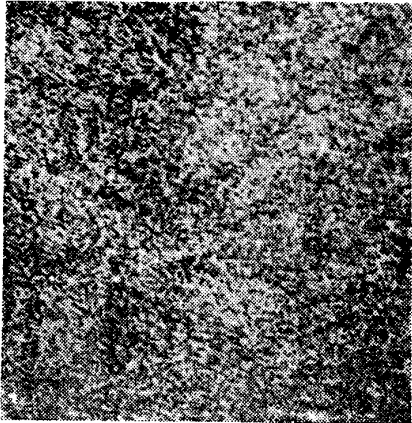
B × 100



韌

第二圖

A × 400



脆

B × 400



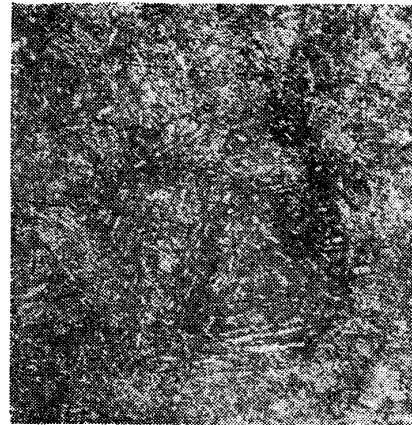
韌

第一



脆粒大

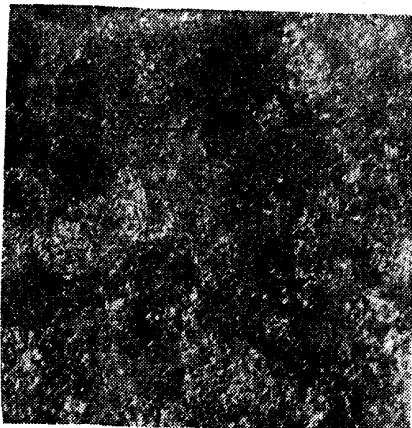
第三



韌粒大

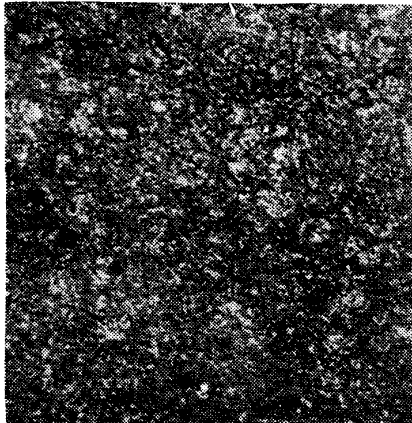
第三圖

第二



脆粒小

第四



韌粒小

燒戻脆性を起したる鋼の衝撃試験片断面は粒状を呈し一見結晶間に何物か脆き物質存在し其爲めに結晶間より破断せるが如き觀あるを以て顯微鏡にて之れを判別し得らるゝものならずやと思はるれども多數實驗の結果到底普通の檢鏡方法にては脆弱なる物質を發見すること能はず、第二圖は第一圖寫眞に掲げたる脆きものAと粘きものBとの顯微鏡寫眞なるが全く相異の點を見出すこと能はず、結晶粒の大なるものは其小なるものに比して脆さを普通とすれども前述の例の如く單に六〇〇度にて一〇分間加熱する丈にて脆きものが粘くなるは結晶粒の變化に起因せざる事明かなり、現に脆きものに結晶粒の小なるものあり粘きものにも結晶粒の甚だ大なるもの往々あり、第三圖の顯微鏡寫眞は其實例にして其材料試験成績は左記の如く第一第二は脆く第三第四は粘けれども脆き第一と粘き第三とは共に結晶大にて脆き第二と粘き第四とが結晶小なるを見る。

第七表 衝撃試験と結晶粒との關係

鋼種	弾性限 kg/mm ²	破断界 kg/mm ²	延伸 %	断面收 縮 %	衝撃試験、 呎听	結晶粒
脆きもの 第一	八〇、〇	九三、六	一八、一	四、二	六四—九、二	大
第二	八、〇	九五、五	一七、八	四、三	六六—五、三	小
第三	七九、〇	九三、〇	一九、〇	四、五	五六—五、八	大
第四	七六、〇	九一、四	一七、〇	三、二	三八—三、三	小
粘きもの 第一	八〇、〇	九三、六	一八、一	四、二	六四—九、二	大
第二	八、〇	九五、五	一七、八	四、三	六六—五、三	小
第三	七九、〇	九三、〇	一九、〇	四、五	五六—五、八	大
第四	七六、〇	九一、四	一七、〇	三、二	三八—三、三	小

六、燒戻脆性を起す程度は鋼種熔鋼作業狀

況等によりて異なり

前掲第二表の例は燒戻脆性の最も著しきものゝ一にして斯くの如き場合は極めて稀に起るのみ、燒鈍温度より徐冷するも急冷するも殆んど衝撃試験に變化なき場合も多々あり、即

鋼の燒戻脆性に就て

ち燒戻温度より急冷せる場合と徐冷せる場合との衝撃試験成績の比(サスセプテビリチー)は一より前記例の如き七以上に及ぶことあり此比は燒戻温度の高低及び急冷徐冷の程度に因りて變化ある事勿論なれ共鋼種及び熔鋼作業狀況即ち其鋼の出來榮等を等によりて大に其趣異にす。

製鋼方法による鋼種の區分に就きて云へばグリーンブス氏の實驗によれば平爐鋼は最も燒戻脆性を起し易く即ち急冷徐冷の比大なり、電気爐鋼は之れに亞ぎ坩堝鋼は脆性を起すこと最も小なり(2)轉爐鋼に就きては未だ研究を聞かざれど後に述ぶるが如く燒戻脆性の原因が酸素と關係あるものとすれば轉爐鋼は最も燒戻脆性を起し易きものなりと考へざるべからず電気爐鋼及び坩堝鋼に對する實驗は未だ多からざれども電気爐製ニツケルクローム鋼にて次の如き例あり。

(註) (2) Groves, Journal of the Iron and Steel Institute, 1920, II, p. 217.

第八表 電気爐製ニツケルクローム鋼燒戻脆性の例

燒戻方法 (八五度二〇分間油燒入の後)	硬度	衝擊	平冷	徐冷	記事
六) 度三〇分油中急冷の後(〇〇度三〇分爐中徐冷)	二二三	一七、六	三、二		爐中徐冷は一分間に一度の割合にて四〇〇度迄冷却
〃 爐中徐冷の後	三〇三	三九、一			
五) 度三〇分油中急冷の後(五〇度三〇分爐中徐冷)	三三三	二七、四	一、三		
〃 爐中徐冷の後	三三一	三六、七			
五) 度三〇分油中急冷の後(五〇度三〇分爐中徐冷)	三三三	二六、三			
〃 爐中徐冷の後	三三三	四二、〇	一、六		

分析成分による鋼種につきて考ふれば、ニツケルクローム鋼は最も燒戻脆性を起し易くクローム鋼ニツケル鋼炭素鋼と順次其程度少なくモリブデン、バナヂエムの如き稀金屬を加へたるものは燒戻脆性を起すこと極めて少なきが如し。

不純物として混入する燐は元來鋼の脆性を増すものとせられ居り焼戻脆性に於ても大に疑を懸けられ種々論議せられ居れども未だ判然たる結論に達せず。

酸性平爐製ニツケルクローム鋼の燒戻脆性は如何なる程度のものなるかは第九表によりて略々推知することを得べし。

第九表 酸性平爐製ニツケルクローム鋼の衝擊試験

鋼番號	燒戻	試片位置	彈性限 kg/mm ²	破斷界 kg/mm ²	延伸 %	衝擊 呎	燒戻	試片位置	彈性限 kg/mm ²	破斷界 kg/mm ²	延伸 %	衝擊 呎	冷卻の比 急徐(平均)
一	六五〇 中	* BT	七五〇	九一〇	一三、八	六、四	六四〇 中	BT	七四〇	八八〇	一八、三	二〇、一	二、七
二	六三〇 中	BT	七三〇	九〇〇	一八、〇	三、〇	六二五 中	BT	六三〇	八七五	一八、八	二九、四	三、〇
三	六〇〇 中	BT	六三〇	七九〇	一八、五	三、七	六〇〇 中	BT	八一〇	九三三	一九、五	三七、六	一、一
四	六四〇 中	BT	八〇〇	九二〇	一五、五	二、七	六五〇 中	BT	七七〇	八八〇	一九、七	二七、〇	一、二
五	五三〇 中	BT	八七〇	九七〇	一五、二	六、三	五四〇 中	BT	八四〇	九五五	一七、四	四三、七	四、三
六	六六五 中	BT	七九〇	九三〇	一六、二	八、三	六七五 中	BT	七四〇	八八〇	一九、〇	二一、八	二、五
七	六三〇 中	BT	七七八	九〇〇	一五、〇	二、九	六四〇 中	BT	七五〇	八七五	一九、五	三三、五	一、二
八	六二〇 中	BT	七八〇	九八〇	一七、〇	九、九	六三〇 中	BT	七九〇	九三〇	一八、四	四〇、八	三、五
九	六一〇 中	BT	七三〇	八七五	一四、七	五、〇	六〇〇 中	BT	七六〇	八八二	一七、〇	三七、二	四、五
〇	六三五 中	BT	七四二	八七八	一三、三	二、六	六三五 中	BT	七七一	八六〇	一七、三	二九、六	一、一
一	五六〇 中	BT	八三〇	九四〇	一六、八	八、三	五九〇 中	BT	七九〇	九二〇	一七、五	一七、八	一、六
二	六三〇 中	BT	七五〇	八八三	一七、〇	五、五	六三〇 中	BT	七〇〇	八五六	一七、二	二二、九	二、九
三	六三〇 中	BT	七七五	九一〇	一七、五	四、九	六三〇 中	BT	七二二	八五八	一七、〇	二二、九	二、六
四	六二〇 中	BT	七四〇	八八五	一六、七	三、五	六〇〇 中	BT	七四〇	八七〇	一九、四	四四、〇	一、五
空中平均			七八、六	九一、一	一六、二	一七、三	空中平均と比較		七五、三	八九、二	一八、一	三三、五	二、四

*BTは鋼塊の頂端(を底)を示す

(鋼番號一は爐中冷却なるを以て平均より除く)

前表に於て見る如く徐冷の場合には衝撃試験甚だしく悪きもの往々あり、之れは急冷によりて概ね良好のものとなすこと得れども稀には前表中鋼番號一一の如く油鈍を行ふも充分靱性を得ること能はざるものあり、又徐冷にても鋼番號三或は一〇等の如く油中冷却せるものに劣らざる場合あり同一鋼種にて斯く不同あるは主として製鋼の際の出來榮えに因るものと云はざるべからず。

前表に於ては空中冷却の場合の平均と油中冷却の場合の平均と破斷力等完全に一致し居らざるを以て嚴密なる比較は不可能なれども概して急冷すれば弾性限少しく減じ衝撃試験抵抗力二倍以上となるものなりと云ふ事を得べし、此弾性限の低下するは急冷による内部應力に原因するものにして二〇〇度位の低温度にて再熱すれば恢復することを得べしと云ふ(3)。

ニッケル鋼に對しては實用品物としての比較成績なし、ニッケル約三、五%の酸性平爐製ニッケル鋼より作りたる一〇〇度乃至六〇〇度にて一〇分間焼戻し一は水中に急冷し他は三〇〇度迄を一分間に一度の割合にて爐中にて徐冷し衝撃試験を行ひたる結果第十表の如くにして本材料は少しも焼戻脆性を起さず、因に本材料の燐含有量は〇、〇二六%なり。

(註) (3) Groves, Journal of the Iron and Steel Institute, 1920, II. p. 213.

第十表 ニッケル鋼の衝撃試験

試片符號	燒戻°C	冷却	衝擊試驗、呎听	水中	中	比
A	四〇〇	水	中	一八、五	二〇、〇	平均一九、三
A'	四〇〇	爐	中	一三、五	一三、五	一三、五

鋼の焼戻脆性に就て

材料符號	燒戻°C	冷却	彈性能	破斷界	延伸%	斷面	衝擊試驗、呎听	硫黃%
B	五〇〇	水	中	三五、五	三三、五	〇、八		
B'	五〇〇	爐	中	三九、〇	四一、五	四〇、三		
C	六〇〇	水	中	五四、三	五二、七	一、一		
C'	六〇〇	爐	中	四五、〇	四五、〇	四七、五		
D	六五〇	水	中	四七、八	四八、四	〇、九		
D'	六五〇	爐	中	四七、〇	五六、四	五一、七		

炭素鋼には焼戻脆性を起すこと少なしとの事なるを以て試験を繰返す必要を認めざりしが、外國製高張力鋼板の中にストリートニングローラーにて加工中破れ目を生じたるものありしを以て此鋼板は焼入焼戻作業は受け居らざるも冷却状態によりて焼戻脆性の如き脆性を帯びたるものには非ざるかと試験したる事あり。

第十一表 高張力鋼板分析成分及材料試験

成分	炭素%	硅素%	滿俺%	燐%	硫黃%
	〇、三八	〇、〇七	〇、八四	〇、〇五二	〇、〇四四

材料試験
二八、四 五〇、九 二六、六 纖維狀
(1) 一六、八一 一六、〇
(2) 二一、二 二一、五
(3) 二七、〇 二五、七

右衝撃試験の成績は甚だ不同なり、其悪しきは何に原因せるかを試験する爲め五〇〇度及び六〇〇度より急冷及び徐冷を行ひ衝撃抗力を比較せり其結果次表の如し。

第十二表 高張力鋼板の衝撃試験

試片符號	加熱	冷却	プリネル硬度	衝擊試驗、呎听
A	五〇〇×一〇分	水	中	一四八
B	五〇〇×一〇分	爐	中	一二九

符號	燒入	燒	炭	冷却	彈性限 kg/mm ²
C	六〇〇×一〇分	水	中	一四一	二五、五—二二、三
D	六〇〇×一〇分	爐	中	一二七	二八、〇—二八、八
E	八五〇×一〇分	爐	中	一四〇	二六、七—二九、五
F	其儘のもの	不	明	一二九	一九、七(六個平均)

右は焼入を施したるものならざるを以て適切な例には非ざるも本鋼板の脆性は五〇〇度附近の冷却状況によりて起りたるに非ずして他に何等かの原因ありて普通の高張力鋼板の衝撃抗力約四〇呎听よりも小なる衝撃抗力を示すものなりと云ふ事を得、従つて斯くの如き衝撃抗力小なるものも急冷によりて恢復することを得ずとすれば、ザニター氏(4)は炭素〇、二乃至〇、四%の炭素鋼に於て焼戻脆性を見たりと唱ふるも一般に炭素鋼は焼戻脆性を起さざるものなりと推定すること難からず。

(註) (4) Saniter, Journal of the Iron and Steel Institute,

第十三表 モリブデナムを含むニッケルクロム鋼の衝撃試験

符號	燒入	燒	炭	冷却	彈性限 kg/mm ²	破斷界 kg/mm ²	延伸%	斷面收縮%	ブリネル 硬度	衝撃試験、呎听
A	九五〇×二時間	六二〇×三時間	油	中	七三、五	八八、二	一八、二	四五、四	二六九	三八、四—四二、五
B	八〇〇×一時間	六八〇×一時間	空	中	七三、〇	八五、五	一九、〇	四九、〇	二六九	四六、九—四六、六
C	八〇〇×一時間	六八〇×一時間	爐	中	七三、五	八六、三	一九、〇	五四、四	二六二	四七、〇—四七、五

即ち本材料は油中空中或は爐中冷却に於て殆んど衝撃試験に差異を生ぜず。

第十四表 同じくモリブデナムを含む平爐製ニッケルクロム鋼及びバナヂウムを含む同種の鋼の例にして之は熱處理を済ましたるものより試片を採り五〇〇度乃至六五〇度に一〇分間加熱し爐中或は油中にて冷却し衝撃試験を比較せるものなり、之れに依りて見るもモリブデナムを含むものは全く焼戻脆性を起さず、バナヂウムを含むものも極めて僅かに

に差異を生ぜず。

グリーブス氏の實驗によるも燐硫黄等の少なき場合には炭素鋼は焼戻脆性を起さずと云ふ(5)。

(註) (5) Graves, Journal of the Iron and Steel Institute, 1920, II, p. 198.

モリブデナムを加へたる鋼は焼戻脆性を起さずと云ふ事は同じくグリーブス氏の實驗したる所にして英國アイムス・ロング社にては既にモリブデナムヲ加へたるニッケルクロム鋼に特にバイブラック鋼(Vibrae)なる名稱を附して廣告し居る由なり。

電氣爐或は坩堝鋼にては焼戻脆性の試験明瞭ならざるを以て酸性平爐製のニッケルクロムモリブデナム鋼に就きての試験成績を次表に掲ぐ。

加熱溫度	冷却方法	ニッケルクロム モリブデナム鋼	ニッケルクロム バナヂウム鋼
五〇〇	爐	六八、〇—六五、〇呎听	六六、〇—六三、五
五〇〇	油	六五、四—六五、五	六九、〇—六六、五
五五〇	油	六七、七—七〇、二	六七、二—六三、八
六〇〇	爐	七〇、〇—七〇、六	六七、八—六二、五

第十四表 同じくモリブデナム或はバナヂウムを含むニッケルクロム鋼の衝撃試験

六〇〇	油 中	六八、三—六八、七	七〇、四—六八、〇
六五〇	油 中	六七、六—六六、九	七二、二—六七、〇

七、焼戻脆性は局部的なりや

鍛錬材の一端が焼戻脆性を起し居る場合には其品物全部が脆きや否やと云ふに、大氣中冷却の場合等に於て長さ物の一端が急冷し他端は徐冷せる爲めに一端粘く一端脆きことも稀には起れども一端悪き位のもは他端及び其中間も概ね相似たるものなり、而してかなり長大のものと雖も両端悪き場合には其中間も亦悪し、實例第十五表の如し。

第十五表 全體に脆き大鍛材の兩端及中間に於ける

試片の衝撃試験

處理	試片位置	衝擊試驗、呎听
六三〇度燒戻後爐中冷却	底 端	(1) 五、一—六、二 四、六—五、八 三、九—五、五 三、九—五、五
	頂 端	(2) 三、七—五、五 四、一—六、九 六、〇—五、三 六、六—五、五
	中間の一	(3) 六、四—五、五 四、八—六、二 四、六—五、三 五、八—六、九
	中間の二	(4) 二、三—三、〇 三、二—二、八 四、一—三、四 二、〇—二、三

燒戻後空中冷却を行ひたる爲め直徑小なる端が粘くなり大なる端は脆きものを更に六三五度にて四時間加熱し油中冷却を行ひたるに兩端共粘くなりたる例を第十六表を掲ぐ。

第十六表 一端粘く一端脆き大鍛材衝擊試験

處理	試片位置	彈性限 kg/mm ²	破斷界 kg/mm ²	延伸%	斷面 收縮	斷面 狀態	衝擊試驗 呎听
六三五度 燒戻後空 中冷却	直徑大なる 端 (1)	五、〇	七、〇	三〇、一	四、七	纖維狀	二、〇
	同 (2)	五、五	七、五	一九、四	四、五	同	一五、〇
直徑小なる 端 (1)	同 (1)	三、〇	六、七	一九、一	五、八	同	三、三
	同 (2)	三、〇	六、〇	一八、〇	五、九	同	四、七

鋼の燒戻脆性に就て

右を六三	直徑大なる 端 (1)	五、〇	七、六	三〇、六	同	三、五—四、二
五度に加	同 (2)	五、〇	七、七	三〇、五	同	三、〇—三、六
熱し油中	同 (3)	六、〇	七、〇	三〇、〇	同	三、三—四、〇
冷却を行	直徑小なる 端 (1)	五、〇	七、五	三〇、〇	同	四、〇—四、三
同 (2)	同 (2)	五、〇	七、〇	二七、二	同	三、三—三、三
同 (3)	同 (3)	五、〇	七、〇	二九、二	同	四、三—五、〇

右材料の油中冷却速度は直徑大なる端に於て一分間二〇度位直徑小なる端に於て一分間六〇度位なり。

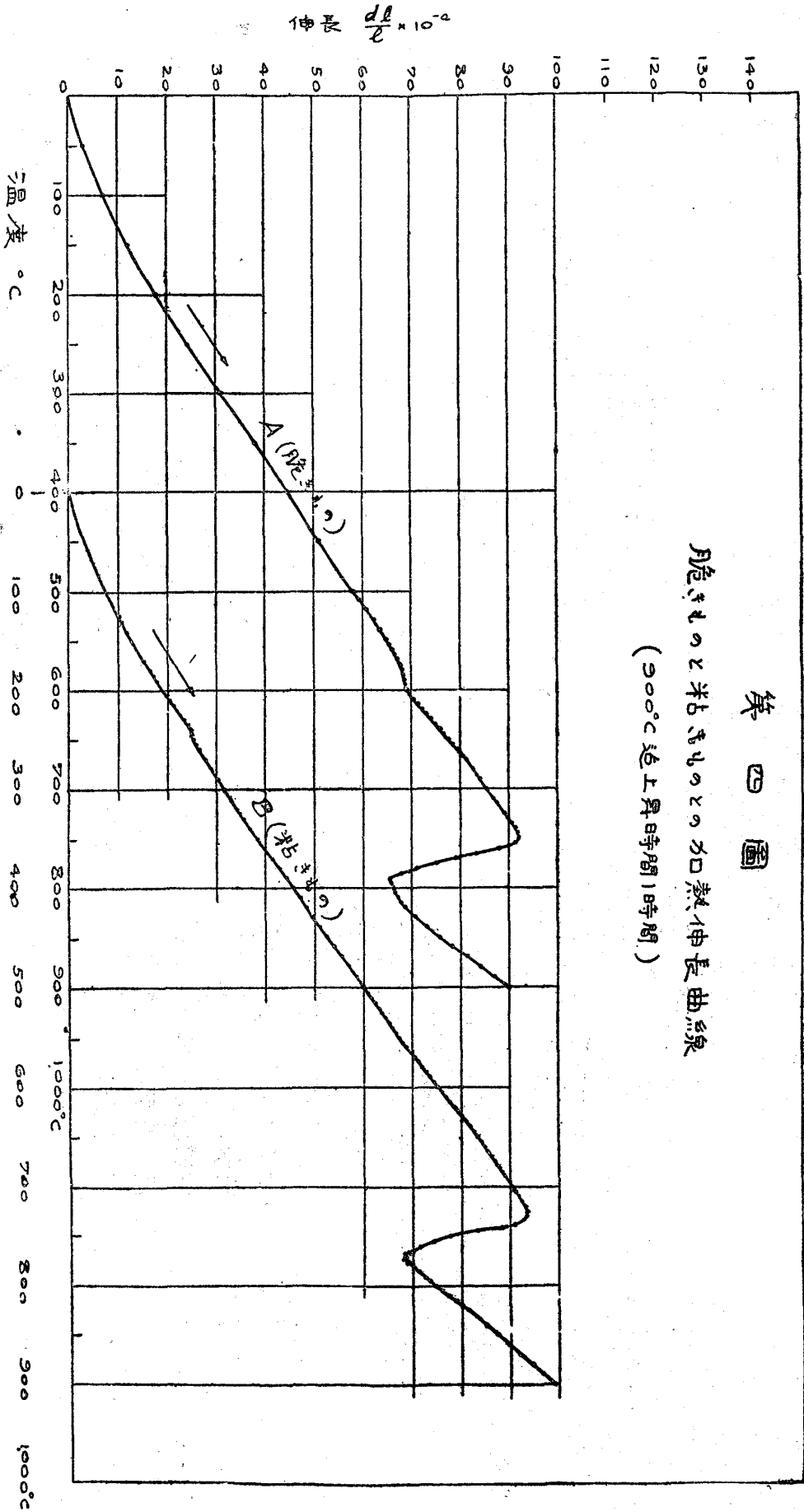
前表の例の如く一端脆く他端粘きことは極めて稀の場合にして鍛材が大きくなりたりとて必ずしも燒戻脆性を起すものに非ず、空中或は爐中冷却を行ひたる大小多數のニッケルクロム鋼鍛材の衝撃試験成績を比較したるに小なるものと大なるものと其平均は殆んど同様なりき。

八、燒戻脆性の原因は不明なれども之れを除くには燒戻後急冷すれば可なり

燒戻脆性は前述の如く特殊の材料が燒戻後徐冷する場合に起る現象にして、一旦脆くなりたるものも之れを六〇〇度附近に再熱して急冷すれば粘くなり、粘きものも同様再熱して徐冷すれば脆くなるを以て、此脆性は鋼の分子其物が五五〇度附近を徐冷する場合に變化を起すか或は鋼の結晶間に或る特殊の脆き物質が発生するかに原因す、燒戻脆性を起したる鋼の衝撃試験片破斷面はザク／＼したる状態を呈し一見結晶間より破斷したる如く思はる、ヂッケンソン氏は砲鋼棒を熔解せる半田鐵中に漬くれば非常に脆くなり其割れ目は結晶間に半田鐵が浸入したる所より起り居る例を挙げ、燒戻脆性も亦爐中徐冷中結晶間に何物か浸入し其部分が脆くなり結晶間

第四圖

脆き鉄の七米占き山の方口熱伸長曲線
(300°C迄上昇時間1時間)



破断を起すならんと唱ふれどもエイチソン氏(6)は多數試験の結果結晶間破壊に非ずと論じ、ローゼンハイン氏も亦結晶間破壊説を信用せず、即ち結晶其物が破断すると云ふ事になるを以て五五〇度附近徐冷中に鋼の結晶其物が或る變化を起すなり此變化は前述の如く顯微鏡にて判別する事を得ず、只ピクリン酸にて腐蝕する際脆さものは多少腐蝕が遅き感ある丈け位なり熱膨脹測定に於ては第四圖の如く脆さものは六〇〇度附近に於て少しく收縮する氣味あり温度も此點に於て少時上昇止まる傾向あり何等かの變化を起すには非ずやとも想像せらる、但し本試験は未だ多數の實驗を行ひたるものに非ざるを以て容易に其變化を斷言すること能はず磁器分析法の應用は或は其研究に有効ならんかと思はるゝも未だ試験したることなし。

(註) (6) Aitchison, Journal of the Iron and Steel Institute, 1919, II, p. 389.

燒戻脆性は燐の多きものに起るとの説をなすものあり(7)、同時代に作りたる同種の酸性平爐製ニツケルクローム鋼中燐の量を異にするものに就きて比較をなしたる結果次表の如く燐の多きものゝ方燒戻脆性を起し易し。

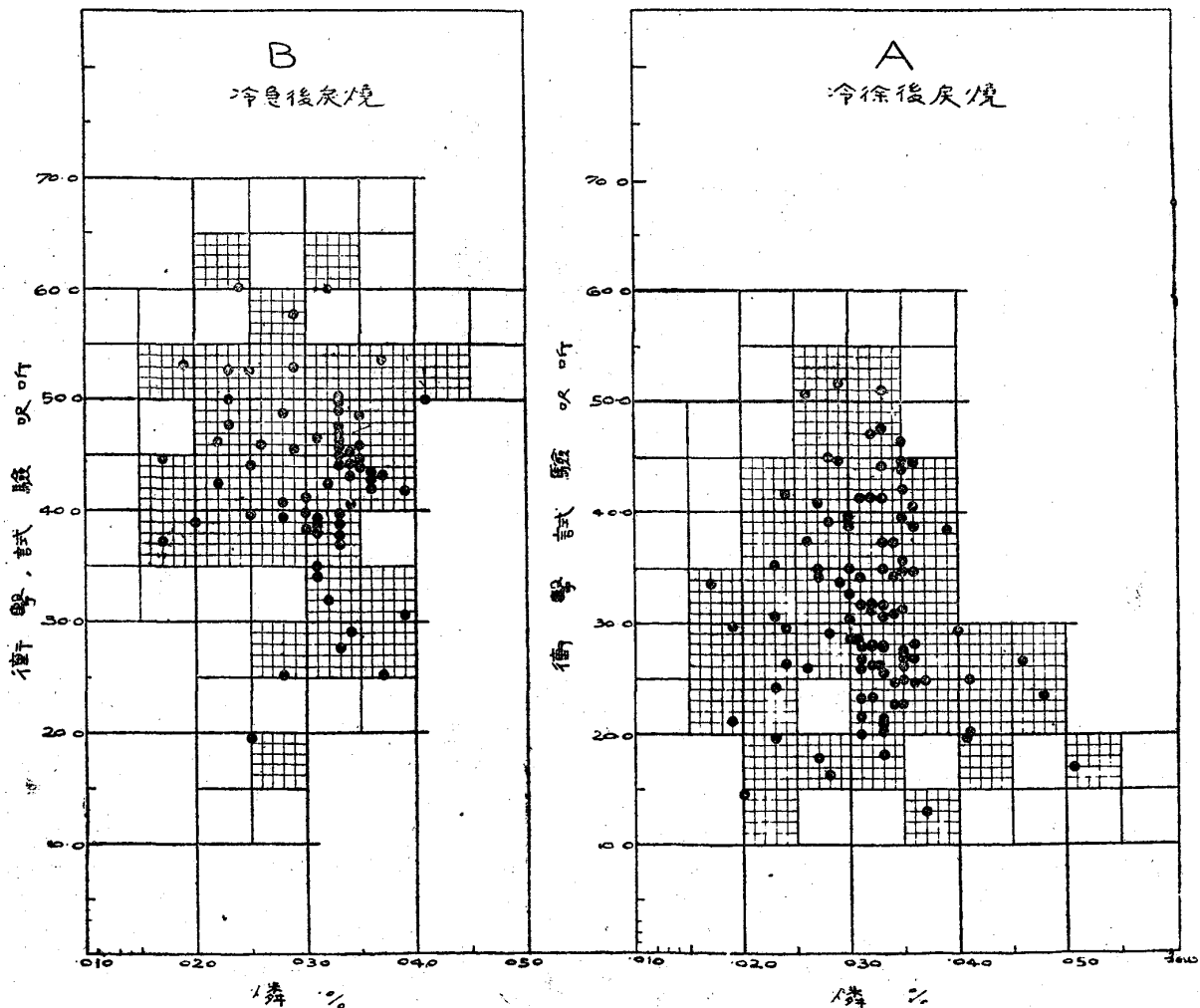
(註) (7) Grenet, Journal of the Iron and

Steel Institute, 1919, II, p. 392,

Ashokova, Ibid., 1920, II, p. 219.

鋼の燒戻脆性に就て

圖五 第 鋼の燒戻脆性に就て
係關の試驗擊衝量有含燐



第十七表 燐含有量と焼戻脆性との關係

試片符號	燐 %	焼戻後冷却方法	ブリネ硬度	衝擊試驗、呎呷	急冷と徐冷との衝擊試驗の比	記事
A	〇、〇二二	油中急冷	二九九	二七、〇—三八、五	二、三	何れも九〇〇度にて油焼後六二〇度にて二時間焼戻
A'	同	爐中徐冷	二九八	一五、三一—二、九		徐冷のもの
B	〇、〇三五	油中急冷	三〇九	三三、〇—三六、八		迄の間を一分間に一度の割合にて冷却す
B'	同	爐中徐冷	三〇八	七、三—七、六	四、七	

尙多數の同種ニツケルクローム鋼を徐冷せるものと急冷せるものとに分ち燐含有量と衝擊試驗との關係を調査したる結果は第五圖に圖表として示す如くにして、燐含有量進むに従ひて衝擊抗力の減少する程度は徐冷のもの、方急冷のものよりも急激なる傾向あり、即ち燐多きもの、方焼戻脆性を起し易しと云ふ事となる、但し此調査は單に燐のみに就きて考へたるものなるを以て此外に滿俺其他の元素の影響もあるべく確然たるものとは言ひ難し。

(註) (8) Graves, Journal of the Iron and Steel Institute

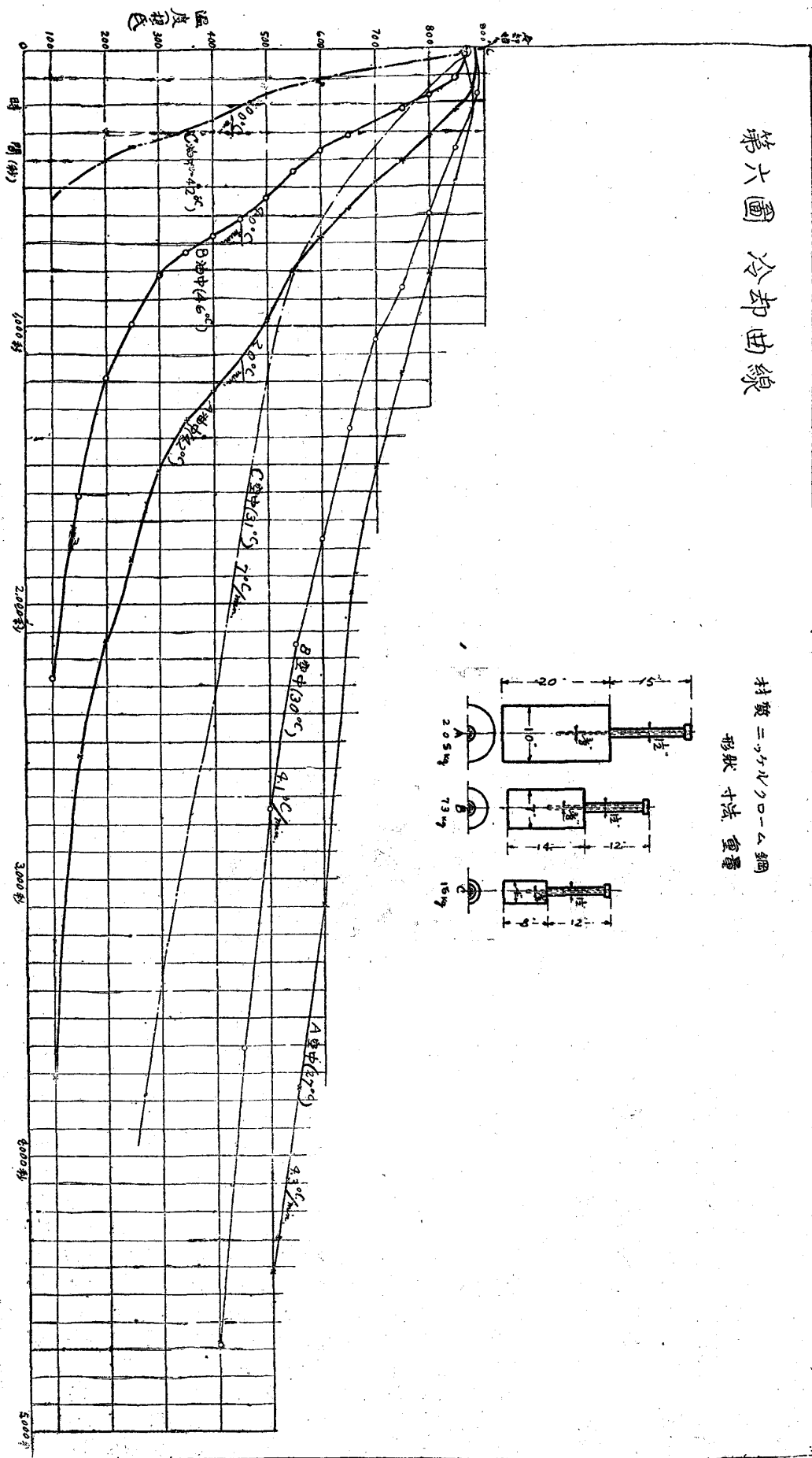
1920, II, p. 216.

グリーブス氏(8)は多數の鋼種に就きて研究せる結果、焼戻脆性はクロミウムを含む鋼に最も多く起る事實と焼戻脆性の起る程度は平爐鋼が最も多く電気爐鋼之れに亞ぎ坩堝鋼は殆んど焼戻脆性を起さざる事實とを綜合し、焼戻脆性はクロミウムの酸化物に原因するならんとの假定説を唱へたり、即ちクロミウムの酸化物が六〇〇度以上の溫度にては鋼の結晶中に溶解し居り五五〇度附近に於て析出すれ共溫度低き故結晶の周圍迄析出すること能はず極めて微小なる夾雜物と

して結晶粒中に存在す、此物が常溫に於ては脆き故切込を入れたる衝擊試験に於て應力が急に集中すれば破斷の起點となり終に全試験片を破斷に導くなり、而して平爐は最も空氣に觸るゝこと多きを以て酸化クロミウムの生成する機會多く電気爐は之れより少なく坩堝爐は空氣を遮斷するを以て酸化クロミウムの生成すること極めて少なく従つて焼戻脆性を起すこと稀なりと云ふに在り、右グリーブス氏の説は最も適切なるものと認めらるゝも前述燐の影響等も全然無視すること能はず、單なる硫化クロミウムのみが焼戻脆性の原因なりとは思はれず、焼戻脆性の原因は上述の如く未だ判然と確定するに至らざれども之れを除く方法は極めて簡單にして、焼戻後六〇〇度より四〇〇度の間を油中或は水中に急冷すれば可なり、冷却速度は一分間に一〇度以上位ならば相當良好なるを以て小なる品物は空氣中にて冷却するも可なり、參考の爲め空氣中及び油中に於て鋼材を冷却する場合其溫度が如何なる割合に下降するかを試験したる結果を第六圖に掲ぐ。

鋼材を高溫度より冷却する時は内部應力を生ず、此應力の強さはハイン氏の實驗の如く順次表面を削りて精密に長さを測定することによりて計算し得るやも知れざれど未だ實驗なし、グリーブス氏が急冷によりて粘くしたる者と徐冷によりて脆くしたるものとの比重を測定したるに粘きものは脆きものよりも〇、〇〇〇三乃至〇、〇〇〇八比重小なりしが此差は粘きものを二〇〇度にて再熱する事によりて大部分恢復することを得たるを以て粘きもの、比重小なるは内部應力に原因するものと推定したり、斯くの如き内部應力は鋼材の實用上支障なきや否やと云ふに之れは試験片に於て單に彈性限を少

第六圖 冷却曲线



しく低下する位の程度にて破斷界には影響を及ぼさぬ位なるを以て實用上先づ差支なきものと認む、現に多數の重要材料に油中或は水中焼戻を施したる結果に於ても未だ一回も其爲めに故障を起したる事なし。但し四〇〇度以下は徐冷するも焼戻脆性を起さざる事確かなるを以て此温度以下迄油中或は水中に漬け置く必要なく適宜引揚げて大氣中に放冷すれば前記の内部應力も多少緩和することを得べし。

九、焼戻脆性を防ぐには熔鋼作業中過度の酸化を防ぎ或は特殊の元素を合金せしむれば可なり

焼戻脆性を起し易き鋼に脆性を起さぬ様にするには前節に述べたる如く焼戻後急冷すれば可なれども、徐冷するも脆くならぬ様にするには如何にすべきやと云ふに、焼戻脆性の原因が判然たらざるを以て其豫防方法も亦確定せざる譯なれども、酸化クロミウム説が最も信用すべきものなりとすれば成るべく酸化クロミウムの生成を防ぐ方法を講ずるは亦最も適切なる對策なりと云はざるべからず、クロミウムは合金元素として最も必要なるものにて之れを使用せざる譯には行かざるを以て成るべく酸素の侵入を防ぐ手段を採らざるべからず、酸素の害は單に焼戻脆性に關してのみならず他の性質にも關係甚だ大なるものなるを以て是非共熔鋼作業中最も大なる注意を拂はざるべからず。

酸素は熔鋼作業中の注意によりて除かるゝのみならず又種々の脱酸劑の使用によりて除くことを得、硅素アルミニウム等は一般に使用せられ居るものなれ共モリブデンム及びバナチウム等を使用することも合金として混入するの外に脱酸

作用を伴ふと云ふ點より考ふるも前記之れ等合金鋼の焼戻脆性を起さざる事實と符合す。

十、合金鋼の用途擴張を望む而して合金鋼を使用する際は衝撃試験を行ふを要す

強力なる材料を使用することは飛行機潜水艦各種兵器等特殊の條件を要求するものゝ外に一般器具機械類に於ても其効率を高むること著しき場合多し、例へば汽車の車軸の如きものに在りても炭素鋼に代ふるにニツケルクロム鋼を以てすれば同強度を有せしむるには遙かに小なる重量を以て足るべく又重量は現在通りのものを必要とするならば同大のものにて著しく耐久力大なるものとなすことを得べし、價格は多少増大すれ共其價格の如き耐久力より得らるべき利益に比すれば極めて輕少なるものなりと信ず、而して合金鋼を使用する場合には既に最初に於て述べたる如く必ず熱處理を行ふを要し熱處理を行ふ場合には焼戻脆性を起す恐れあるを以て其有無を試験する爲め是非共切込付試験片の衝撃試験を行ふを要す、衝撃試験中最もよく焼戻脆性を摘發し得るはアイゾツド式衝撃試験なり勿論試験に於ても完全に發見し得ざる如き脆性あるやも計られざれ共之れにて相當の衝撃抗力あるものは先づ大抵の實用上故障を起すことは無きものと見て可なり何となれば實用上アイゾツド式衝撃試験片の切込以上に鋭き切込を作ること稀なればなり尤も繰返應力を受くる場合には所謂疲れ (Fatigue) を起すを以て特殊の破斷をなせども彈性限同等の材料に於てはアイゾツド式衝撃抗力の大なるものが疲れを起し難しと想像せらる。

鋼材製造者としては合金鋼に對し如何なる注意を拂ふべき

かと云ふに、第一は焼戻脆性を起さぬ如き材料を作ること即ち有害なる元素の入り来るを防ぐこと殊に酸素を除くことに注意し、次に焼戻温度より冷却する場合六〇〇度より四〇〇度迄の間は必ず急冷すること、し尙成るべく六〇〇度以上の温度にて焼戻して所要の強度を得る如き分析成分の鋼を選定するを要す。焼戻後曲りを直す爲め加熱する場合には決して五五〇度附近に昇すべからず此温度に加熱したるものは冷却

鋸銑爐構造並に操業に關する理論的研究

(其一)

平岡正哉

方法の如何に拘はらず脆くなる恐れあるを以てなり。終りに本研究に對し種々指示を與へられ且其發表を許可せられたる吳海軍工廠製鋼部長横田技師の厚意を謝し尙本研究の資料は佐藤技師、室井技師、神戸技師、宇留野技師、其他製鋼部部員諸氏より提供せられたるものなることを附言し、茲に感謝の意を表す。

(終)

緒言

此の論文を書く最初の目的は鋸銑爐に於ける燃料經濟の問題を取扱ふのであつて之れを實際の操業に應用し今日では鋸銑爐に於ける骸炭の使用率を米國其他で擧げて居る所謂最高標準操業と一致することが出來た。

然し此地金熔解に要する骸炭使用量なるものは

- 一、裝入原料(銑鐵、屑鐵即ち scrap) 鋼板 (steel-plate) 及び骸炭) の物理的並に化學的性質
 - 二、鑄造物の種類及び熔解過熱溫度
 - 三、使用爐の大きさ及び操業方法
- 等に依るものが多いので一概に言ふことは出來ぬ。

假令ば裝入する地金の形狀が大きければ大きい程、又地金に附着する鑄物砂黑鉛等が多ければ多い程、之が熔解に際し

て多量の熱と熱の透徹の時間とを要し従つて多量の骸炭が燃焼せられる。

又塊の小なる氣孔率の高い骸炭は質密にして塊の大なる骸炭に比して燃焼早き故多量の骸炭が消費せられる。

Gas engine cylinder, Turbin casing の如き形狀複雑にして鋼板の裝入量多きものの鑄造は浮標の重く火格子の如き形狀簡單にして肉厚きものの鑄造に比して高き過熱溫度を要し又多量の骸炭を使用せらる。

又餘り小なる爐は熱損失多く、空氣の浸徹及び送風量の割合が適當を缺き共に骸炭の消費を増加するのが普通である。操業時間の長短送風量送風壓の如何は床積骸炭或は裝入骸炭の消費の割合に影響する。

故に嚴密に言ふと各爐の操業狀態に依つて骸炭使用率なる