

反 淬 鋼 の 研 究

(大正十四年十月十八日日本鐵鋼協會創立第十週年紀念大會講演)

松 下 徳 次 郎

反淬鋼の性質につき色々研究しておるうちに、各種鋼材に特有な降伏温度があることを見出した此温度は炭素鋼では約 500 °C, Ni-Cr 鋼では約 550 °C と云ふ程度で、 A_1 變態點以下ではあるが僅の力の爲めにも其鋼材が粘性變形を起し得るに到る温度即ち僅のストレスも結晶内に保留することの出来なくなる温度である、夫故反淬温度を高めてゆくと此温度に到る迄に焼入のストレスは全部とり去られ所謂焼戻作用が終るものであることが分つた、殊に焼入のストレスの消去せられる温度範囲は此温度に達する前約 200 °C 位から始まるもので、此の温度區域(300°~500°C)に於て色々面白き現象が起ることも分つた。其内焼戻温度と磁氣的硬度の變化に関する實驗の結果では、此温度範囲内に於て磁氣的硬度に異常變化あり、Ni-Cr 鋼に於ては其の焼戻脆性と密接な關係があることを見出したのである。

此結果は焼戻鋼の種々の性質を説明する論據を與へるのみならず、焼戻脆性を解決する手懸りを與へるものと考へるから以下之を發表する。

實驗は大體に於て二つに分れる、第一は高温捻廻装置による實驗で、第二は焼戻に依る磁氣的硬度の變化及び焼戻脆性に關する二三の實驗である。

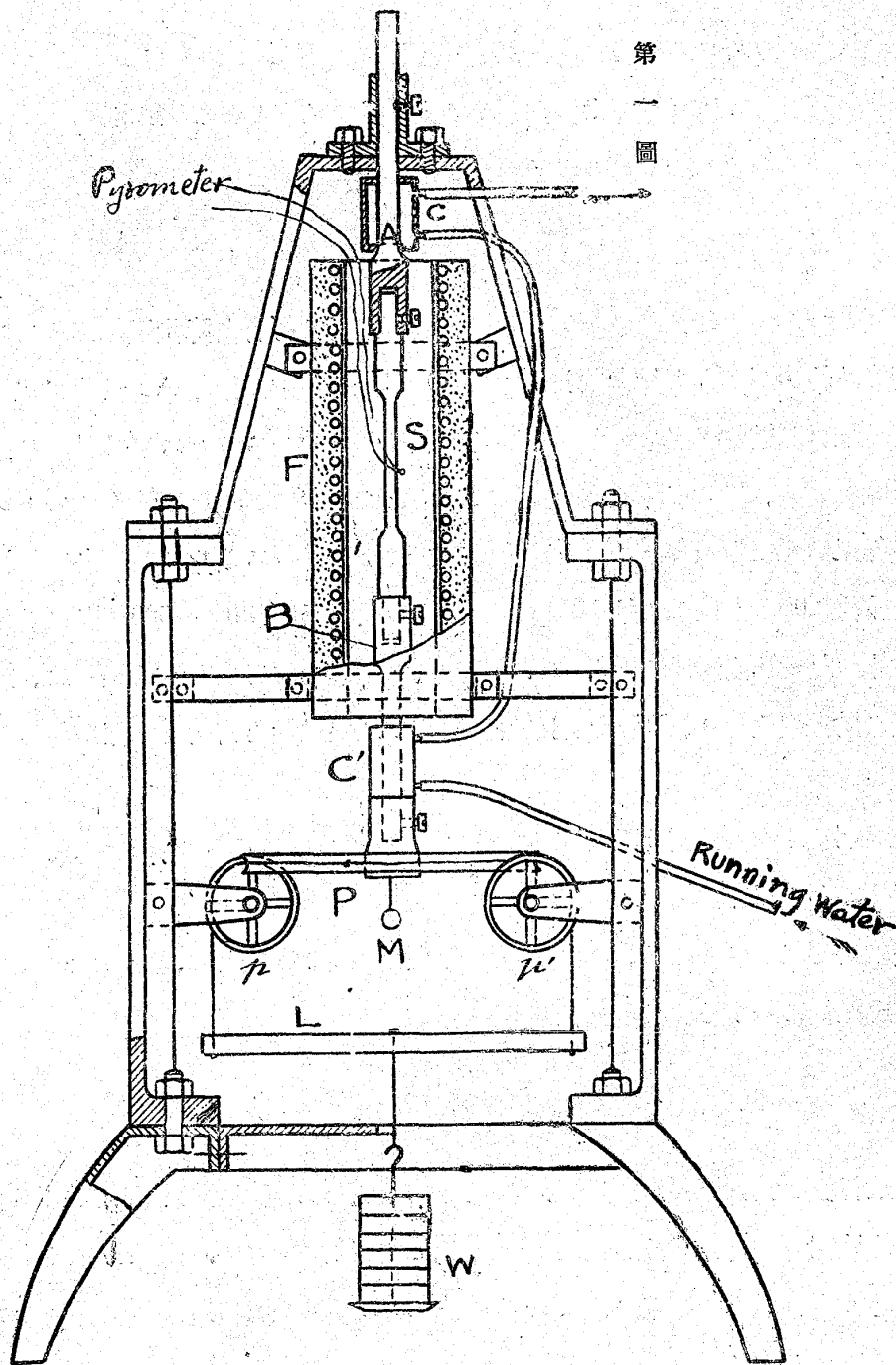
高温捻廻装置に依る實驗

此の實驗は飛行機の發動機に用ふるヴァルブ鋼の高温度に於ける性質を比較するために行つたもので、焼入鋼及焼鈍鋼の二つの場合からなつておる、茲には種々のヴァルブ鋼に就ての實驗結果の比較を述べることをやめ、單に其現象の代表的結果を主として炭素鋼に就て説明することとする。

實驗装置と實驗法

第一圖に示す装置を作つて實驗した。

S は試料で、太さ 20 耗長さ 300 耗の棒を其の中央部 100 耗の間丈けを徑 10 耗に細くしたものである、上部で装置に固定され、下部に滑車 P を水平に取付けて之に廻轉偶力を作用せしめて捻るようにした、其方法は、P を捻るべき 2 本の相反する方向の絲を二つの小さき垂直滑車 p, p' に懸け、之を L なる棒の兩端に結びつけて L の中央に錘 W を吊すのである、M は其の捻れを觀測するための平面鏡で、P の中心から垂直下方に突出せる棒の先端に固定されておる、此鏡の廻轉角度を望遠鏡と尺



度とで観測するのである、F は加熱用のニクロム線電気抵抗爐であり、C、C' は流水冷却装置であつて、加熱中に熱が A、B 以外の装置に逸出することに依り起る實驗誤差を避けるためにつけたのである、S の中央にパイロメーターの接合点を結付けて其温度を測定する、又別に簡単な挺子があつて、望遠鏡をのぞき乍ら自由に W の懸け下しが出来ようになつておる。

實驗の方法は、F に流れる電流を適當に加減して任意の速度で加熱冷却を行ひ、一定荷重 W を吊した儘での撻廻角度の變化を觀測するのである、又途中種々の温度で W を懸け下しして撻れの變化を測定することもある、何れにしても温度と撻れの角度との關係が 1 本の棒に就て連續的に測定される

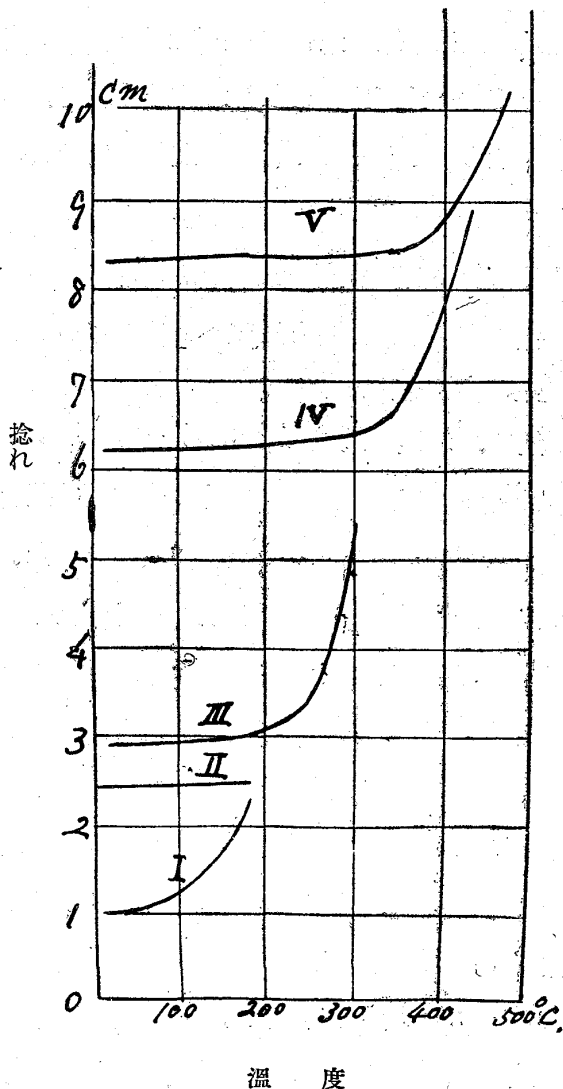
から、温度の影響を調べるには都合がよいのである。

是と同じことは棒に廻轉偶力を加へる代りに張力を加へても出来る筈だが、捻る場合のように僅の力の影響を正確に出すことは困難である。

焼入鋼に一定偶力を働かせ乍ら加熱した實驗

0.9%炭素鋼を 780°C から水中に焼入して充分硬化した試料を作り、之れに 20 珎厘の一定偶力を

第二圖
焼入炭素鋼
(0.9%C)
780°C水焼入



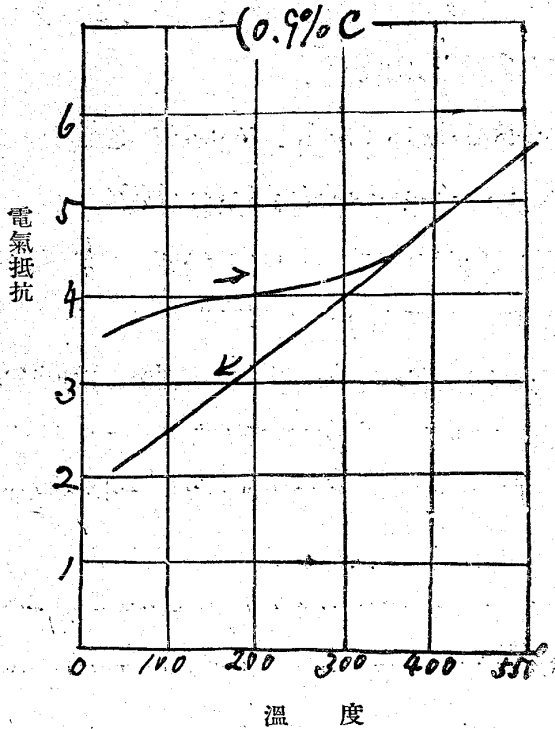
働かせた儘徐々に加熱冷却を行つた結果は第二圖に示す通りである、横軸で温度を表はし縦軸で尺度の読み即ち捻れを表す。

曲線 I は焼入れした儘の試料を先づ 180°C迄加熱した曲線で、温度と共に捻れが著しく進行してゐる、之に反し曲線 II は之を冷却後再び 180°C迄加熱冷却したものであるが、此場合は殆ど捻れの變化を認めない、即ち一度 180°C迄焼戻した焼入鋼は 180°C以下の温度では最早變形を起さないことが分る、曲線 III は之を更に 300°C迄加熱したものであるが、200°Cまでは變化なく 200° と 300° との間で新に捻れを増してゐる之を冷却し 430°C迄加熱した曲線が IV で、是れ又前加熱温度 300°以上に於ての捻れが進行してゐる而して此等の實驗に於て捻れの量は加熱が緩慢なる程又偶力が強ひ程大きくなるものである。

今此理を考へるに、焼入鋼のマルテンサイト組織は焼戻によりて次第にセメントイトを折出するもので其様子は第三圖で之を示してゐる、即第三圖の加熱曲線は上の炭素鋼を焼入したものが、焼戻の進行に伴つて其電気抵抗を變化する有様であつて、焼戻温度が高くなる程セメントイトの折出が進行して電気抵抗が軟化状態の値即ち冷却の曲線に近よることが分る、此現象

は常温から約 350°C迄の間に起つてゐる、而して此際折出したセメントイトは時間と共に又温度と共に次第に集合するのである、従て其間は材質は柔軟的で歪を受くれば其方向に變形することが可能なわけである、夫故上の實驗での捻廻角度の著しき増加を生ずるものである、従つて加熱速度が緩慢な程又働く偶力が大なる程捻廻角量の大きなることも分り、又斯の如きセメントイトの折出移動は第

第三圖
焼入鋼の電気抵抗の變化



一回加熱で殆ど完了するから、夫れよりも低い温度に再熱しても殆ど變形の起らぬこともよく分る、曲線 II 及 III の 200°C 以下及び曲線 IV の 300°C 以下で捻れの不變であることが之れである。

上の結果から次の事が分る。

(一) 焼入した儘の鋼を歪を加へて高温度に熱すると、常温のときと同じ發條作用はなくなり、與へられた變形の儘固定する、之を應用して焼入に依る曲りを直すことが出来る。

(二) 此現象は焼戻の進行する間に起るものであるから、一度先づ或温度に加熱して充分焼戻を行ひおけば、夫れより低い温度での使用に對しては此欠點はなくなる。

然し上の實驗は左程長時間の加熱でないから充分長い時間でも安全であるとは云へないのである、前に焼入鋼の自發變化に關する研究に就て本誌大正11

年第7月號——に述べた結果に依ると、焼入した儘の鋼は、常温に放置しても α マルテンサイト の自然分解に伴つて時間と共に徐々に長さの變化を起す、而して此變化を除去し充分安定な状態をとらしめるためには、100°C に數時間保ちて熱成熟 (Thermal Aging) を行ふことが必要であつた、此結果と對照して考へると、高温で使用する鋼材は焼入の儘では使用されないは勿論少くも使用温度よりも 50°C 乃至 100°C 高い温度に數時間加熱しておくことが必要である。

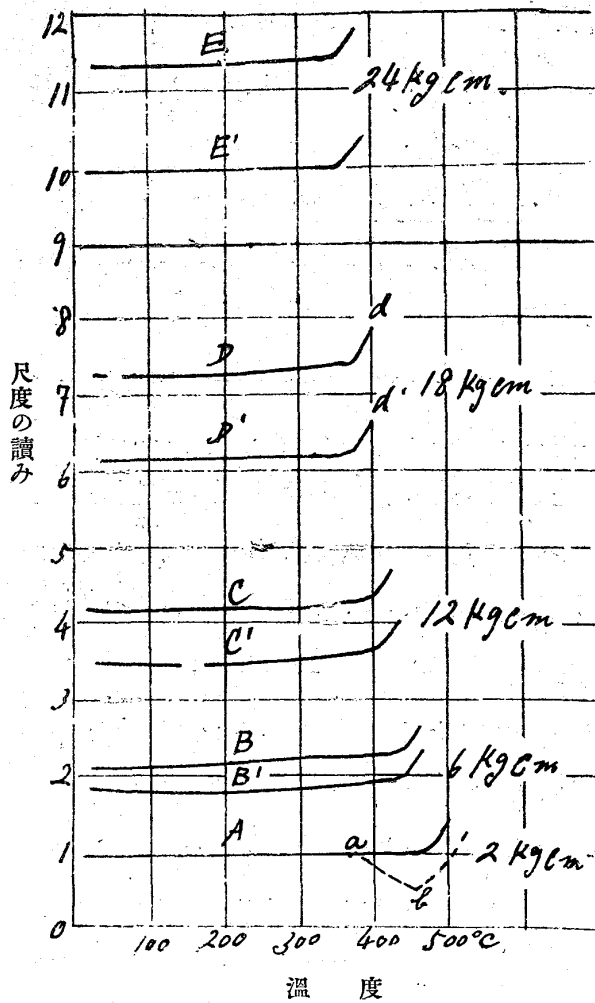
例へば發動機の排氣弁の如きは、使用中 600°C 以上に熱せられる故、焼入の儘では使用されない、強ひて焼入後使用するならば、 A_{c1} の點に近い 700° 乃至 650°C 迄焼戻しなければならぬ。成るべくは焼鈍した状態で使用すべきである。又活塞子環 (Piston ring) の場合に於ては、特に發條作用を保留さすべきものであるから、鋼を使用するならば、焼入の儘でなく使用中達すべき最高温度よりも 50° 乃至 100°C 高い温度に充分焼戻しておくことが必要である。

次に第二圖の曲線 V を説明する、此曲線は曲線 IV で 430°C 迄焼戻したものを冷却後更に加熱したのであるが、此場合には前の場合のように前加熱温度 430°C 迄不變に保つことは不可能で、380° 邊で捻れの進行を示した。これは焼戻に伴ふセメントイトの析出集合と云ふ上の現象のみでは説明出来ない別の事柄であつて、焼鈍鋼にも起ることが分つた。

即ち之れは 380°C に於ては、現在加へられておる 20 珎厘の偶力に相當するストレスが、この鋼材に降伏 (Yielding) を起す即ち粘性變形を起すことである。つまり温度を 380°C に保つておいて偶

力を零から段々増して行くと、20 疋纏で降伏点 (Yield point) に達することである。現在の實驗は偶力を 20 疋纏に一定しておいて温度を高めてゆき 380°C で降伏したのであるから、20 疋纏の偶力に對應して 380°C の降伏温度があるといふことになる。勿論此温度は、ストレスに依つて變るべきであるから、其關係を調べるために、次に焼鈍鋼に就て荷重を變して實驗した。

第四圖
焼鈍鋼の偶力と降伏温度との關係



焼鈍鋼に種々の偶力を働かせ乍ら加熱して降伏温度の變化を見た實驗

焼鈍した上記炭素鋼をとり、荷重を變して降伏温度を觀測した。此場合には加熱を特に徐々にし、途中各温度で荷重を懸け下して温度と共に捻廻弾性即ち剛性率(Rigidity)が如何に變るかをも見たので、一加熱に 8 時間乃至 10 時間を費した。其結果は第四圖である。

曲線 A は、第一圖の装置に於て特に荷重を加へることなく單に L なる棒のみを懸けた場合の尺度の讀みで、2 疋纏の偶力に相當しておる。線 B, C, D, E は夫々 6, 12, 18, 24 疋纏の偶力を加へたときの尺度の讀みであつて、夫れ等の場合に懸けた荷重を下して 2 疋纏丈けにしたときの讀みが B' C' D' E である、従て此等の後の線は A 線上に重なるべきであるが、説明の都合上ずらして記入したのである。

此結果によると、先づ B と B' C と C'……は共に殆ど平行であるから、剛性率は温度と共に殆ど不變であることが分る。又 B, C, D E 線で、捻れの

増し初める温度即ち降伏温度が偶力増加に従つて低下することがよく分る。今便宜の爲め加へた偶力と降伏温度とを表示すると次の通りである。

偶力 疋 纏	2	6	12	18	24
降伏温度 °C	480	440	400	380	360

而して此實驗は何度繰返しても同じ偶力では同じ温度で降伏が始まるものである。つまり一鋼材に就ては、一つのストレスに對して一つの降伏温度があり、ストレスが強ければ降伏温度が低いことを示すものである。

此の實驗の結果から偶力零に對應する降伏温度を見出すことが出来る。これを其鋼材の降伏温度と

言ふならば此炭素鋼では約 500°C になる、又 Ni-Cr 鋼では約 550°C になつた。

次に曲線 A 中で 380°C 以上に點線で示した ab 部の下降を説明する、之は此實驗の前に D 線の實驗を行ひ、しかも其降伏溫度 380°C 以上の d 點まで捻つたとき、他の場合には荷重を下して d' 點に戻してから冷却したのに反し、此場合には荷重を懸けた儘冷却したのである。即ち 18 疋纏の偶力と釣合ふストレスを受けた儘冷却したのである。斯様な状態にあつたものが、今回は夫れよりも弱い 2 疋纏の偶力を受け乍ら前の 380°C 以上に熱せられたのであるから、前に d' へ戻るべき分が今回戻つたのである。つまり 18 疋纏のストレスは、 380°C 降伏溫度とするのであるから、 380°C 以下である間は結晶間に弾性的に支へ得たのであるが、 380°C 以上になると最早夫れを支へ得ないで前の捻れが戻り曲線 a b 部を生したのである。

此現象は他の鋼材に就ても度々經驗した。之は非常に重要な意味を持つて居るので、此の結果から後に述べる結晶の分裂が誘導せられ、夫れに伴ふ種々の現象が説明せられる。又簡単な例では、冷間で曲りを直しても加熱すれば元の方向に幾分戻ることが解る。

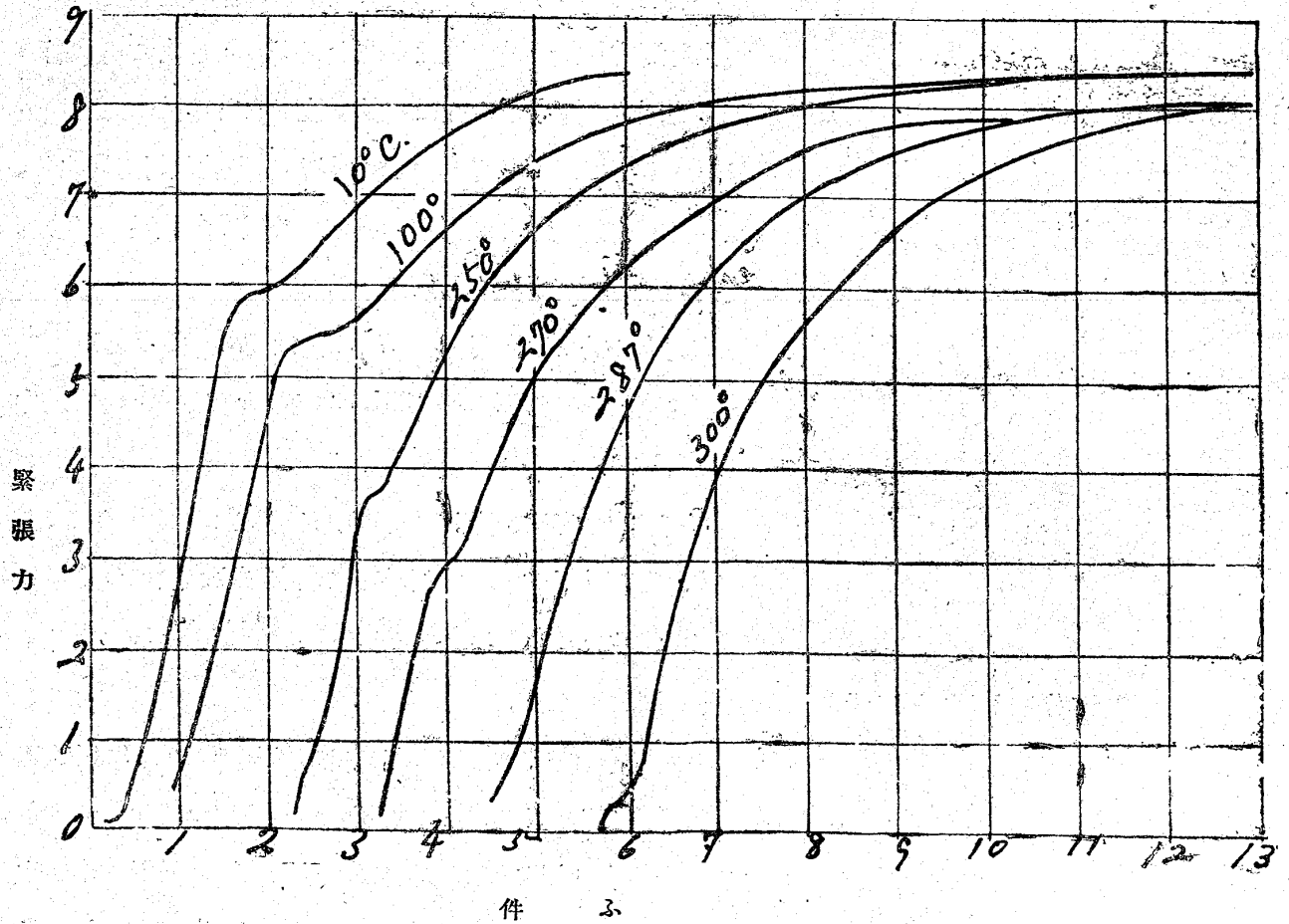
更に上の實驗の結果として鋼材内に残つておるストレスを考へると、 480°C 以上では最早 2 疋纏しか無い筈である。 480°C が 2 疋纏の偶力に對應する降伏溫度であるから、 480°C に達すれば 2 疋纏以上のストレスは弛んでしまふことになる。同様に考へると、例へば C 曲線では 12 疋纏の偶力に對應して 400°C が降伏溫度であるから、どんなストレスを持つてゐたとしても 400°C 迄加熱すれば 12 疋纏以上のストレスがとれることが解る。茲にはストレスを偶力で働かせたから偶力のみで就て説明したが、どんな種類のストレスでも同様である夫れ故一般的に

冷間加工や焼入のストレスは或溫度迄の加熱に依つて其溫度を降伏溫度とするストレス迄弛むことが解る、従て上記のストレス零に對應する降伏溫度に於ては總てのストレスが取去られる筈である。

ストレス零に對應する降伏溫度以下の低い溫度でも幾分軟化は行はれ其溫度を降伏溫度とするストレス迄弛むことは前にも述べた通りであるが、此現象の起り得る溫度範圍は餘り低溫度迄擴つては居ない。夫れは第四圖に於て偶力を増しても降伏溫度の降下が少いことから分るが、尙次の實驗で約 300°C が最低限であることが立證せられる。

第五圖は 0.4% 炭素鋼の焼鈍したものを色々の溫度で緊張試験をなしたストレス、ストレーンカーブで、第六圖は此等の結果を溫度に對して書き連ねた曲線圖である。之を見ると最大緊張力と延伸率は 300°C 迄は殆ど不變であるが、降伏點は 250°C 迄徐々に低下し、此溫度から急に降下し始め 270°C までは觀測されるが 287° 以上は最早觀測されない程弱くなつておる。之が前記の最低降伏溫度である。 287°C 及 300°C の曲線で張力弱きところにうねりを示せども之は他の曲線に見ゆる降伏點とは別のもの、試験機の缺點から來るものなのである。

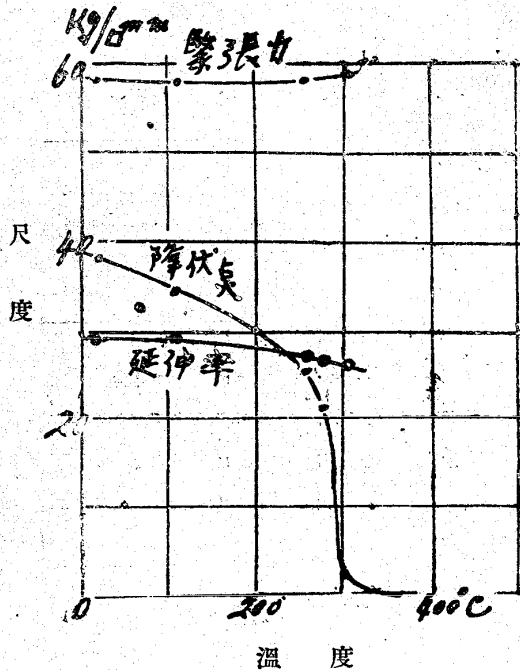
第 五 圖
高温度に於ける牽引試験曲線



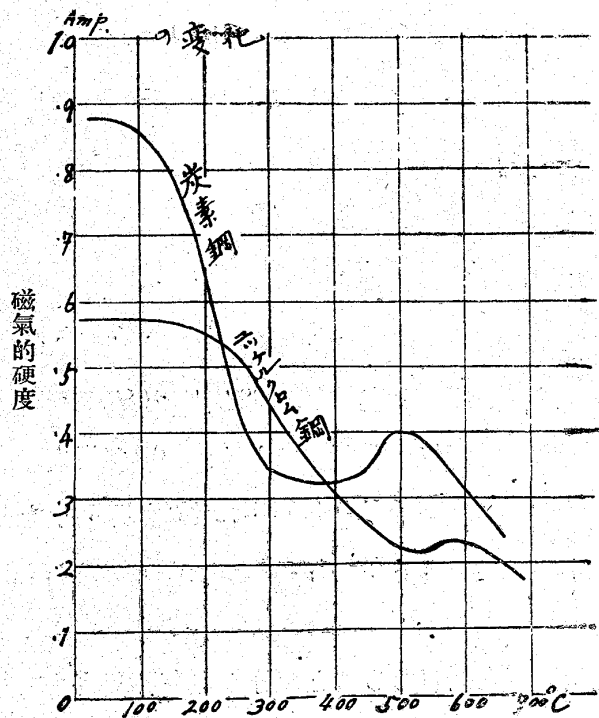
此種の實驗は從來澤山なされておる、最近には井口武英氏（金屬の研究、II. 1924. P. 1087.）の各種炭素鋼に就てのものがある、其抗張力試験成績表中摘要欄には降伏點を示してあるが、0.1%炭素鋼を除き皆 200°, 210°C, 以下の場合に限つておる、之れ 280°C 及夫以上は降伏點現れず觀測不可能なりし結果と考へる、本實驗は主として降伏點の温度に依る變化を見る目的の下に行つたのであるから 300°C 以上は略したのである。

是に依て炭素鋼では約 300° 乃至 500°C 間に前記の降伏温度範圍があることが分る。勿論炭素含有量によつて幾分相違はあるが以下之を降伏温度域と言ふ。降伏温度域内に於ては主として冷間加工のストレスは取去られ、焼入鋼の焼戻作用が進行することが解る。従つて焼戻鋼の性質を攻究するには、上記の降伏温度及び降伏温度域は極めて大切な温度であつて、恰も焼入に關して Ac 點及び Ac₁ と Ac₃.

第六圖
高溫度に於ける牽引試験成績



第七圖
焼戻に伴ふ磁氣的硬度の變化



焼戻温度に保つ時間と磁氣的硬度の變化

前と同じ試料について色々の溫度に於て焼戻を繼續し時々取出して磁氣的硬度を測定して見た結果

との間の溫度が重要視せられると同程度のものであると考へる。

焼戻に伴ふ磁氣的硬度の變化

炭素鋼と Ni-Cr 鋼とに就て焼戻しに伴ふ磁氣的硬度の變化を測定した。其方法は本誌大正 11 年 9 月號に健淬鋼の磁氣的硬度に關する研究に就て述べたと同様の注意の下に行ふもので、1 本のロールした棒から多數試料を切り取り、此等を適當な溫度で焼入した後種々の溫度に焼戻して冷却後其磁氣的硬度を測定したのである。

此實驗に於ては炭素鋼 (0.7% C) は 780°C で水中に、Ni-Cr 鋼 (0.32% C, 2.81% Ni, 0.90% Cr) は 850°C で油中に焼入したのである。

又磁氣的硬度は、附磁コイル中に通した電流で示してある故、之を磁氣的硬度即頑磁力に直すには、之にコイルの常數を乗すればよい。以下磁氣的硬度に就ては凡て同じである。

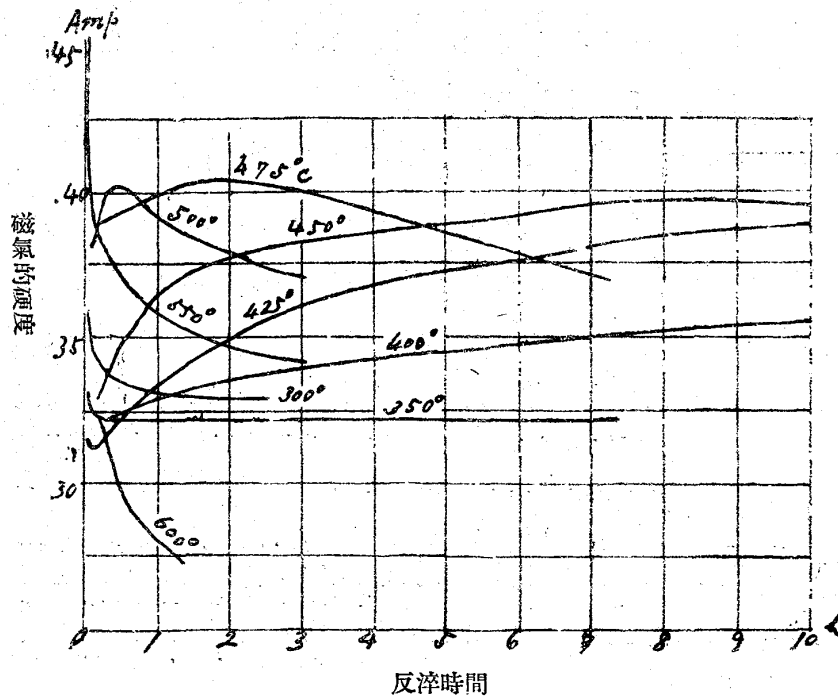
實驗の結果は第七圖に見る通りである。300°C 以下に起る著しい磁氣的硬度の減少はマルテンサイト分解の結果であるが、夫れ以上の溫度に對する變化を見るに、炭素鋼に於ては約 400°C から増加し始め 500°C の極大點を経て後低下し、Ni-Cr 鋼では同様の極大點が約 580°C に現れておる。此現象は一見變則にして、鋼材は焼戻溫度の上昇と共に次第に軟化して磁氣的硬度も漸次低下すべきに拘らず、却て硬化したことを示すのである。而して此硬化が降伏溫域内に於て起り此等の極大點が丁度前の降伏溫度と殆んど一致して居ることが面白い依つて更に次の實驗をした。

は次表の通りで、其内 300°C 以上の變化を圖示したものが第八圖である。

焼戻時間と磁氣的硬度の變化

		炭 素 鋼 0.7% C.									
時間	温度	0	10分	20分	30分	1時	2時	3時	5時	7時	10時
	100°C	0.882	0.870	—	0.862	0.849	0.836	0.380	—	—	—
	200	0.856	—	—	0.667	0.640	0.618	0.598	0.581	—	—
	250	0.855	—	—	0.413	0.377	0.360	0.356	0.313	—	—
	300	0.868	0.341	—	0.334	0.330	0.330	—	—	—	—
	350	0.863	0.324	—	0.322	0.323	0.322	0.322	0.322	0.323	—
	400	0.853	0.322	0.324	0.326	0.329	0.336	0.340	0.345	0.350	0.355
	425	0.873	0.314	—	0.324	0.336	0.350	0.361	0.373	0.381	0.389
	450	0.862	0.330	0.341	0.349	0.366	0.377	0.381	0.390	0.396	0.396
	475	0.870	0.390	—	0.393	0.400	0.405	0.400	0.384	0.372	—
	500	0.866	0.383	0.400	0.401	0.390	0.379	0.370	—	—	—
	550	0.866	0.384	0.375	0.370	0.358	0.346	0.342	—	—	—
	600	0.862	0.326	0.308	0.294	0.280	—	—	—	—	—
	650	0.863	0.274	0.260	0.249	0.230	—	—	—	—	—

第八圖
反淬時間と磁氣的硬度
0.7%炭素鋼
7.80°C水硬淬



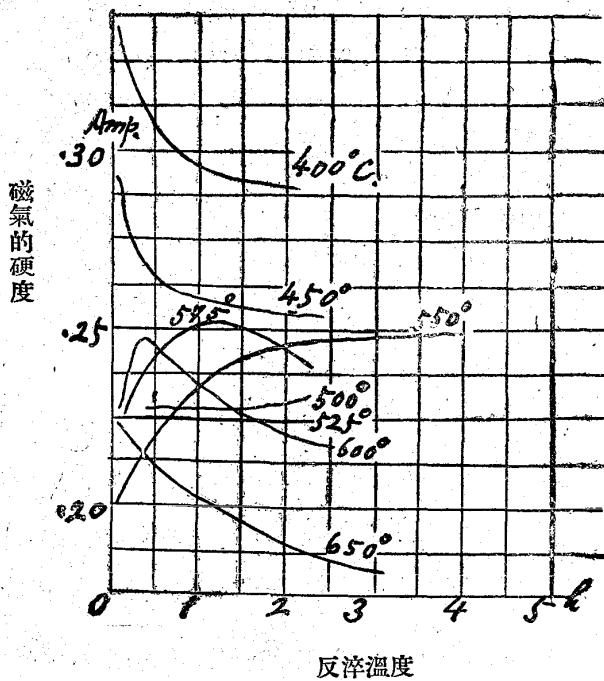
此結果から見ると磁氣的硬度は焼戻の低い間は焼戻時間と共に低下する。是は當然の結果である。然るに焼戻温度が降伏温域に入りて 350°C になると、最初の 10 分間で 0.863 の値から 0.324 急落したのみで其後變化なく、400°C 450°C 間では却て増加し、475°C 500°C に於ては一時的増加の後減少するが如く變則な現象を呈した。550°C 以上では再び時間と共に減少する單調な曲線となる。更に此等の曲線をよく見ると、500°C の曲線は僅に 20 分間で極大値をとるが、475°C では 2 時間で極大値に達し、450°C では殆ど 10 時間で極大値となる、425°C 400°C の曲線では更に長い時間の後極大値に達する傾向を示すことが分る。350°C 及 300°C 曲線も其極端な場合と見られる。之れで見ると明かに 300°C 乃至 500°C の間即ち降伏温域内に於て磁氣的硬度を増加する現象が加はつたことが解る。而して此の現象は温度の低い 350°C では極めて緩漫であるが、温度

とるが、475°C では 2 時間で極大値に達し、450°C では殆ど 10 時間で極大値となる、425°C 400°C の曲線では更に長い時間の後極大値に達する傾向を示すことが分る。350°C 及 300°C 曲線も其極端な場合と見られる。之れで見ると明かに 300°C 乃至 500°C の間即ち降伏温域内に於て磁氣的硬度を増加する現象が加はつたことが解る。而して此の現象は温度の低い 350°C では極めて緩漫であるが、温度

が高くなると速くなり 500°C に於ては僅に20分で終るものである。抑も是は如何なる現象であらふか。

磁氣的硬度は機械的硬度(ブリネル、ショア一等)に比例し同時に又結晶數にも比例するものであるから、機械的硬度が増すか結晶數を増すかに因らねばならない。處が普通に經驗する如く又後の實驗でも證明せられる通り此種の實驗では機械的硬度は増加せないのであるから結晶數増加と考へねはならぬのである。

第九圖
反淬時間と磁氣的硬度
ニッケルクロム鋼



前に冷間加工や焼入のストレスか或温度迄の加熱によつて其温度を降伏温度にもつストレス迄弛むことを證明した。而して炭素鋼では此降伏温域は300°C乃至500°Cである。500°Cは其降伏温度で保留して居たストレスが全部消失する温度である。300°C500°C間では温度が高まる程結晶内に保留してゐたストレスが弱くならねばならぬのであるから、ストレスの強い處から降伏即結晶内に沁りが起つて結晶が分裂すると見なければならぬ、即ち結晶數の増加である。

斯様な譯で結晶數増加が磁氣的硬度の異常變化の原因をなしたとすれば、總ての現象が容易に説明せられる。

同様の實驗を Ni-Cr 鋼に就てもやつて見たが、炭素鋼で 300°C 乃至 500°C に現れた上記の異常變化が、此場合には 500°C 乃至 600°C に現れる

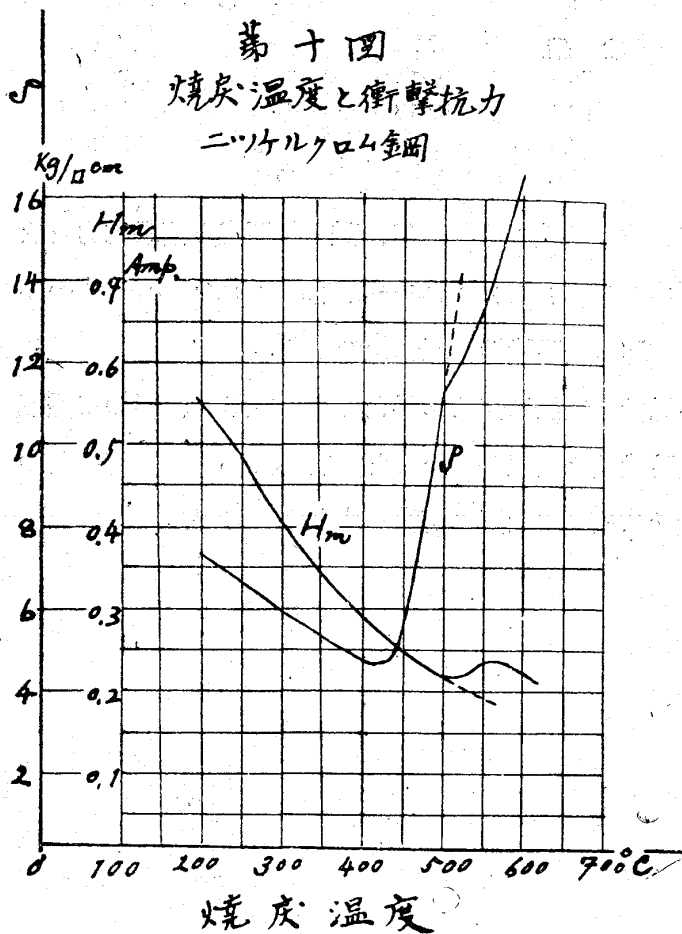
のみで現象は全く同様である。第九圖参照。

此異常變化と Ni-Cr 鋼に現れる焼戻脆性との間には密接な關係があるものと考へたので次に夫れを確めて見た。

焼戻温度と衝擊抗力の變化

Ni-Cr 鋼に就て衝擊抗力 ρ の焼戻温度に依る變化を測定した。衝擊試験片 2 本續の儘熱處理をなし、先づ其磁氣的硬度 H_m を測定した後 2 分して衝擊試験に用ひた。其結果は次表及第十圖に示す通りである。

焼戻温度	200	300	400	450	500	525	550	575	600
H_m	0.550	0.400	0.285	0.253	0.221	0.217	0.238	0.236	0.220
ρ_1	7.12	6.13	4.63	7.69	10.72	12.18	13.52	15.15	16.65
ρ_2	7.12	5.72	4.63	7.62	11.84	12.18	12.86	14.66	16.90
ρ	7.12	5.93	4.63	7.66	11.28	12.18	13.19	14.91	16.7



是に依ると Hm 曲線と衝撃抗力の平均値 ρ の曲線とは共に 500°C 乃至 600°C に於て異常變化を現し、何れも 500°C より始まるところを見れば其原因を一にすることが解る。

更に Hm 曲線の極大點に相當する 550°C に於て焼戻時間を変じて ρ が如何に變化するかを見たのに次の如く明瞭に焼戻脆性の現象を呈した。

焼戻法	550°C, 10 分間保熟		550°C, 5 時間保熟	
	爐中冷却	水中冷却	爐中冷却	水中冷却
衝撃力	11.57	11.82	6.74	9.08
衝撃抗	11.26	11.88	6.68	9.20

即ち 10 分間の焼戻では 11 以上の高い値をもつに關らず、5 時間焼戻後には爐中冷却では 6,7 の値となり、水中急冷却すれば幾分回復して 9 以上の値となつた。

本實驗に用ひた衝撃試験機は Charpy 機 30 瓦米のもので試験片形状は Mesnager 式を採用

した。又冷却は爐中冷却の場合も稍速き冷却であつたから ρ の減少は著しくないが、之を Izod 機で試験し爐中冷却の速度を更に緩にすれば一層著しい ρ の減少を見るは想像に難くないのである。

更に又焼戻温度に保つ時間に依つて、Hm 及 ρ と共に牽引諸性質が如何に變化するかを検するため、10 分間と 5 時間の焼戻に依る相違を見た。其結果は次表の通りである。

500°C 焼 戻

焼戻時間	緊 張 力 試 験					衝 撃 試 験		
	破 斷 kg/mm	弾 性 kg/mm	延 伸 100mm%	收 縮 %	Hm	ρ kgm/cm	Hm	
10 分 間	126.3	125.0	15.6	54.3	0.245	8.04	0.222	
"	126.6	124.8	16.0	54.2	0.251	7.86	0.220	
5 時 間	107.1	100.4	20.0	53.7	0.212	10.30	0.210	
"	110.0	101.5	20.0	54.4	0.215	10.30	0.204	

550°C 焼 戻

焼戻時間	緊 張 力 試 験					衝 撃 試 験		
	破 斷	弾 性	延 伸	收 縮	Hm	ρ	Hm	
10 分 間	117.2	109.2	14.5	44.9	0.221	12.4	0.204	
"	117.1	108.9	15.5	46.1	0.220	12.8	0.210	
5 時 間	102.1	91.4	20.5	52.2	0.231	8.5	0.225	
"	99.2	92.3	19.5	51.4	0.236	8.8	0.230	

焼戻時間	600°C 焼 戻					衝擊試験	
	破 断	弾 性	延 伸	收 縮	Hm	ρ	Hm
10 分 間	102.1	93.2	22.2	56.6	0.211	16.0	0.225
"	99.4	90.2	22.0	59.4	0.213	15.3	"
5 時 間	90.4	78.4	25.4	62.4	0.200	18.8	0.212
"	88.2	76.8	25.4	62.6	0.202	18.4	"

即ち焼戻時間を長くすると何れの場合でも強度を減じて軟かくなるが、磁氣的硬度と衝擊抗力とは然らず、500°C と 600°C の場合には磁氣的硬度を減じ衝擊抗力を増す一般傾向を示すが、550°C のみは異例にして磁氣的硬度を増し衝擊抗力を減ずる。即ち焼戻脆性が現れたのである。

註、其の後の研究に依ると、上記の現象は焼戻脆性を完全に表はし得たものでは無く、従つて磁氣的硬度曲線が異常變化を起すことも直接焼戻脆性を表現しておるとは言へないことも明になつた。然し全然無關係でも無いらしい焼戻脆性に関しては更に研究の歩を進めて居る。

總 括

以上の結果を總括すると次の通りである。

1. 高温捻廻装置を造つて焼戻の状況を調べた結果

- 焼戻の進行中は結晶間に弾性無く變形が可能である。
- 一度或溫度に焼戻した後は夫れ以下の溫度では安定である。但し長時間充分安定を期する爲めには夫れよりも 50°C 乃至 100°C 高い溫度に焼戻する必要がある。

2. 同じ装置で焼鈍鋼の降伏溫度を測定し

- 一つのストレスに對應して一つの降伏溫度がある。ストレス弱ければ降伏溫度は高い。
- ストレス零に對應する降伏溫度を其材質の降伏溫度と稱すれば、炭素鋼では約 500°C、Ni-Cr 鋼では約 550°C になる。此溫度に達すると結晶内は殆どストレス無しの状態になるが必ずしも完全な軟化状態ではない。
- 上の如き降伏溫域は炭素鋼では約 300°C から 500°C 迄である。
- 冷間加工又は焼入に依つてストレスを與へられておる鋼を降伏溫域内迄熱すると其溫度に對應するストレス迄弛むことが分つた。

3. 焼戻溫度に依る磁氣的硬度の變化を測定して降伏溫域内で異常變化あるを見出した。又焼戻時間に依る磁氣的硬度の變化を觀測して降伏溫域内では時間と共に磁氣的硬度の増加する原因あることを知つた。此等の原因はストレスが弛む結果として結晶が分裂するに因ると考へる。

4. Ni-Cr 鋼に就て降伏溫域附近で焼戻に依る衝擊抗力の變化を測定した結果是れにも亦異常變化あり之れと焼戻脆性の現象とは何等かの關係を有することを認めた。

終りに臨み本論文の研究と發表の機會を與へられた日本特殊鋼合資會社社長工學博士渡邊三郎氏に對し深甚の謝意を表す。又終始實驗の衝に當り多大の援助を與へられた同社技師永澤清君の勞を多とする。