

焼戻によつて脆化せるニッケル・クロム強靱鋼の 静的、動的並に衝撃的試験結果

(日本鉄鋼協會第 26 回講演大會講演 昭 16. 10. 東京)

關 口 次 郎^{*}・矢 野 勝^{*}

RESULT OF THE STATIC AND DYNAMIC IMPACT TEST OF THE NICKEL-CHROMIUM
STEEL MADE EMBRITTLED BY ANNEALING.

Zirô Sekiguti and Masaru Yano.

SYNOPSIS:—It is necessary to know the effect by different conditions in order to consider the purpose of applications of a material and to estimate the properties required thereof. As an example, the authors made the static tensile test, the torsional fatigue test, and the repeated, as well as the simple impact test, the results of which were compared with each other and considered with reference to the effect on the resistance to slip and to decomposition. It has been made clear that the mechanical properties are different according with forms and manners of loading, and that, in the phenomenon of temper-brittleness, the slip resistance has been increased by tempering and also the slip resistance enhanced with the increase of the slip velocity (due to the increase of stress velocity), and that both factors have come to check the slip deformation even at the stress velocity below that of the Charpy impact test. According to the idea of the transition velocity in relation to the impact, it is possible to consider that this transition velocity has been removed to the low-speed side by embrittlement. However, the effect on the static and fatigue test was very slight even in specimens which were presumed to have been embrittled considerably by the Charpy impact test.

目 次

- I. 緒 言
- II. 材料の脆性及延性
- III. 静的抗張試験
- IV. 疲労試験
- V. 繰返衝撃試験
- VI. 単一衝撃抗張試験に於ける衝撃速度の影響
- VII. 總 括

I. 緒 言

適當に焼入焼戻を行つた Ni・Cr 強靱鋼を 500°C 附近で長時間加熱するとシャルピー衝撃値が甚しく低下する。此の現象は鋼の焼戻脆性と同一視されるべきものであつて、既に之等の脆性現象に就ては詳細な研究や實驗が行はれ、

その結果も明かにされて居るので今再び之を論ずる考は無^い¹⁾、

唯此處で注意すべき事としては焼戻脆性或は加熱脆性の脆性と言ふ言葉である。思ふに之は主としてシャルピー或はアイゾット衝撃試験の結果その衝撃値の低下した事から判断して稱へられたのであらうと解せられる。然るにシャルピー或はアイゾット衝撃試験は特殊の條件に於て行はれる試験法であると考へられるから、その成績はその様な條件に於ける性質を判断する時は可成り役立つであらうが之と異つた場合にも果して適用されるか否かは疑問である。此の事は又普通行はれて居る單純引張試験に對しても同様

¹⁾ 例へば永澤清：鐵と鋼，19 (昭 8) 167-196 頁。

²⁾ " Scherer, Robert & Heinz Kiesler: Arch. Eisenhüttw 12 (1938/39), S. 381/385.

* 三菱重工業株式會社名古屋發動機製作所

に考へる事が出来る。

従つて材料を使用する立場に在る者は此の種の試験は誠に簡便であり且よく普及されて居る方法であるから先づ之を行つてよくその結果を解析吟味する事が必要であるが、同時に之と異なる種々の條件に於て各種の試験を併せ行ふ可きであると思考される。

本実験は以上の如き趣旨に基いて所謂焼戻脆性によつて脆化したと稱せられる *Ni-Cr* 強靱鋼に就いて種々の條件の下に機械試験を行ひ、その結果を考察して材料の機械的性質を評價する一助たらしめんとしたものである。

II. 材料の脆性及延性³⁾

脆性或は延性と言ふ言葉は材料の機械的性質を表現する方法の一つと考へられるが、之を適確に定義づける事は困難であらう。しかし一般的の觀念に従ふて脆性材料は變形少なくて破断し、延性材料は變形が大となつて後破断すると言ふ事が出来る。従つて普通は抗張試験に於ける伸、絞或は衝撃試験に於ける衝撃値等に依つて脆性、延性の程度が比較されて居る。

斯くの如く脆性或は延性と言ふことは材料の破損する時の型式を區別して名付けられたのであるから同一材料に於て若しその破損型式がその時の條件に依つて變るものとする、その材料は或時は脆性に或時は延性になり得るのであつて、實際に此の様な例は度々經驗される處である。

今普通の考へ方に従つて破損の型式を分離破損と迂り破損の二つに大別すると、分離破損の場合はその變形量が少く従つて破断に要する仕事量は小であり、又迂り破損の場合はその變形量は多く従つて破断に要する仕事量は大である。

破損の型式を以上の二つに大別すると破損に對する材料の抵抗も二つに大別して考へる事が出来る。一は迂り即ち剪断應力に對する迂り抵抗と他は二面向の分離即ち垂直應力に對する分離抵抗とである。一般の材料に於ては此の二つの抵抗は同時に保有されて居ると考へられるから、材料が破損する場合に若し迂り抵抗が分離抵抗に比して小さく二面間の分離が起らない中に迂りが起るとすると其れは迂り破損の型式を採り、又迂り抵抗が大きく迂りに先立つて分離が起るとすると其れは分離破損の型式を採る。即ち破損の型式は材料内の迂り抵抗と分離抵抗との相對的關係の

如何によつて迂りとなるか或は分離となるかが決まるわけである。

併しながら實在する材料に於ては此の二つの抵抗が劃然と區別され、何れかの破損型式が純粹の形で現れる事は稀であつて両者が同時に唯程度の差を以て現れる場合が多く見受けられる。之は以上の二抵抗が變形と共に變動し兩者の割合も亦一定値に止まつて居ない許りで無く内外の諸條件に依つても亦その現れ方が影響される爲であると考へられる。即ち四圍の條件が迂り抵抗を増加する方向に働く時は迂りは困難となつて破損は分離に傾き、之に反して迂り抵抗を減少する方向に働く時は迂りは容易となつて破損は迂りに傾く事となる。或は又分離を促進する方向に働くと破損は分離に傾き之に反して分離を抑制する方向に働くと破損は迂りに傾く事となる。

以上の如き考へ方に従ふと破損の型式は内部的の條件例へば材料の種類、成分、組織或は熱處理、冷間加工等の影響を受けると同時に外的條件例へば外界の温度、歪速度或は應力状態等の影響を蒙つて變動する事は明かである。此の後者に依る影響は破損型式が外界の情勢即ち使用状態(試験方法)及び部品(試験片)の形状、大きさ等によつて變化する事を示し、従つて或條件に於て得た使用上の經驗や試験成績などが他の場合に對して適用出来ない場合があるわけが背かれるのである。故に材料の使用目的を考慮した機械的性質を適確に判断する爲にはシャルピー衝撃試験及單純引張試験の如き檢定試験の外に更に使用條件に應じた試験を行ひ、其の結果を材料の迂り抵抗及分離抵抗に結びつけてよく吟味した後之等の諸條件が二抵抗に及ぼす影響を明かにする事が必要である。

今或材料が機械部品に使用される場合(此の場合温度、腐蝕及摩擦に關しては考慮を拂はないとする)、その材料の機械的性質を左右する外的條件として考へられるものはその部品の形状及大きさと荷重様式とである。形状及大きさは幾何學的に條件づけられた應力を生じ、此の應力が迂り抵抗及分離抵抗に對して夫々異つた作用を及ぼすと考へられ、更に此の幾何學的應力の作用は三次元的應力状態、不均一應力分布及大きさの三つに分けて考へる事が出来る。

次に荷重様式は靜的、振動的及衝撃的の三様の應力に大別されるが、之等も矢張り迂り抵抗及分離抵抗に對する作用が夫々異ると同時に前述の幾何學的應力の作用にも夫々別々な影響を與へて居ると考へられる。

此の様に考へると此の材料の機械的性質を判断し、使用

³⁾ 日本學術振興會編：金屬材料 I. 應力編 第1章

⁴⁾ Kuntze, W.: Arch. Eisenhüttw. 12 (1938/39) S. 329/334.

第1表 試料の化学成分及熱處理

鋼種	符號	番 號	化 學 組 成 %					熱 處 理				熱處理後の 硬度標準
			C	Ni	Cr	Mo	W	焼ならし	焼 鈍	焼 入	焼 戻	
イ 205	×	ED 27407	0.33	3.53	0.85	—	—	850°C-1h空	650°C-4h空	850°C-1h油	600°C-3h油	290 B.H.N.

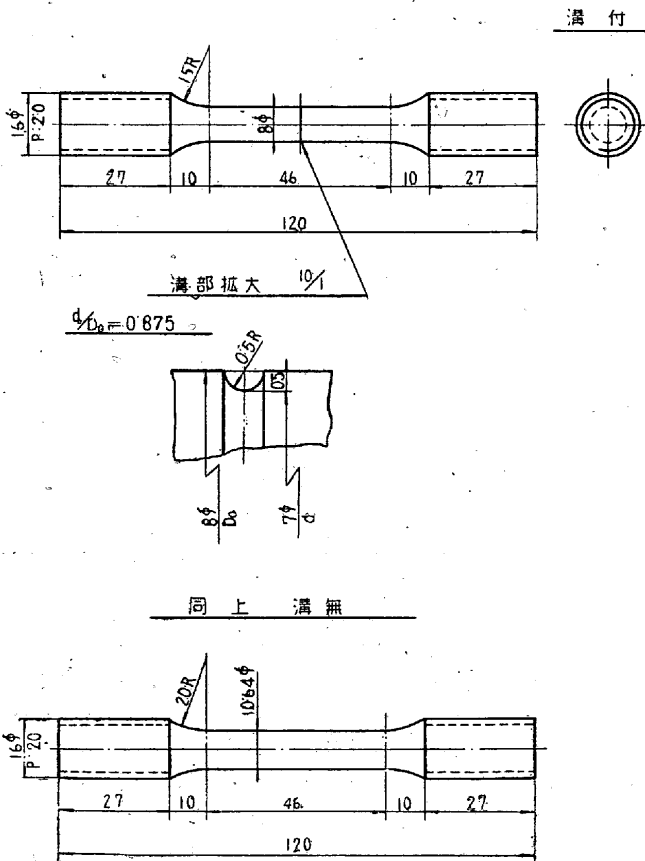
價値を評價する爲には以上に述べた諸影響を一つ一つ取上げて、夫々が迂り抵抗及分離抵抗に対する作用を調査する事が必要となるのであつて、實際には種々の條件に於ける試験が行はれて居るわけである。しかし特別の例としてはその一部のみを調査すれば足りる事もあつて、單に單純引張試験或はシャルピー衝撃試験の結果によつてほゞその目的を達する場合もある事は從來履行はれた處である。

扱實際の材料に於て日頃經驗する處の歪硬化や諸種の脆性現象は内部的の因子によつて迂り抵抗が増加し、之が其の時行つた試験條件に於て破損が分離へと傾いたために斯く呼ばれるに至つたものと解する事が出来る。之と同様にNi・Cr強靱鋼の焼戻脆性もその一つと考へると、焼戻による迂り抵抗の増大がシャルピー衝撃試験に於ける迂り變形を阻止し従つて衝撃値を低下したものであると云ふ事が出来る。しかしながら此の迂り抵抗の増大が此の鋼の機械的

性質にどの様に影響を及ぼすかと言ふ事は單にシャルピー衝撃試験のみに依つて判斷する事は無理である。そこで脆化したNi・Cr強靱鋼の機械的性質が、形状による影響と、荷重様式に依る影響とを考慮した時には如何に變化するかを、脆化しないものと比較する爲形状の異なる試験片に就いて夫々静的抗張試験、回轉曲げ疲勞試験及繰返・單一衝撃試験を行ひ、その結果を迂り抵抗と分離抵抗の二つに結びつけて考察を行つた處或程度の解決を得たので之を記す次第である。

III. 静的抗張試験

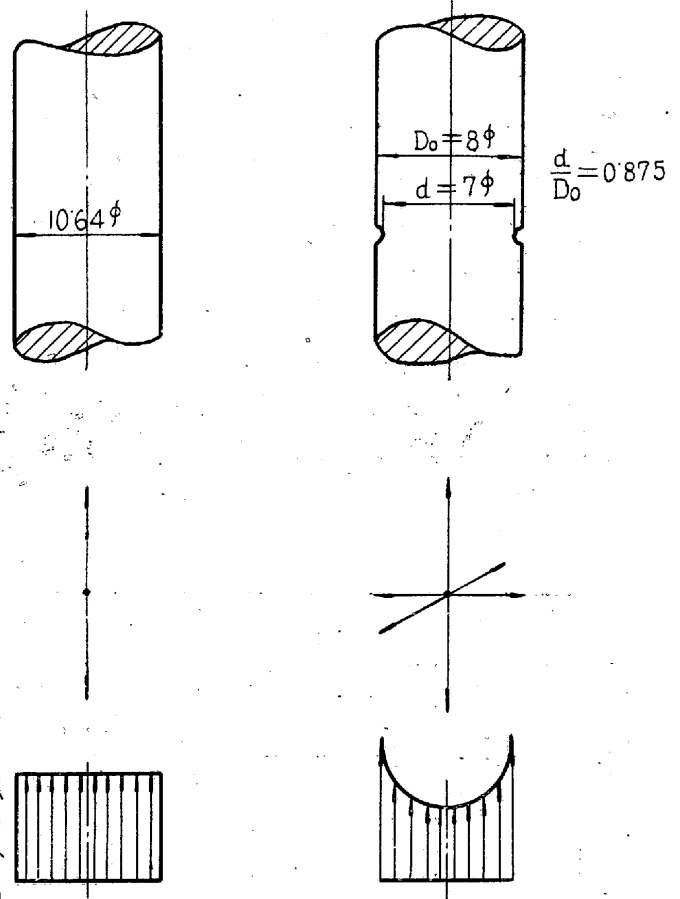
材料の機械的性質は先づ單純引張試験に依つて判斷する



第1圖 抗張試験片

溝無平行試験棒

溝付試験棒



第2圖 抗張試験に於ける應力状態略解図

のが普通である。此の場合は歪速度は殆んど0と見なされ且應力状態及應力分布は最も簡單で軸方向の引張力のみが均一に分布されて居ると考へられる。従つて最大主應力と最大剪斷應力との比は2であるから迂り抵抗が分離抵抗の1/2以下の材料に於ては破損は先づ迂りから始まるわけである。延性のある鋼に於ては迂りに伴つてその迂り抵抗は増加すると考へられるが未だ分離破損を起すに至らず、之に先だち局部收縮を起すのが普通である。局部收縮を起すとその箇所には應力状態は三次元的引張となるから最大主應力と最大剪斷應力との比は2より大となり従つてその時の迂り抵抗が分離抵抗の1/2以下であつても破損は分離に傾き遂に分離破斷とする。

切欠を持つ試験片の引張試験に於ては最初から三次元的引張應力が作用し且應力分布は不均一となつて切欠部に應力の集中を生ずる。此の三次元的引張應力は剪斷力を減少せしめ延性材料に於ては迂りを困難ならしめる。之は靜的抗張力の上昇を意味する。之に反して脆性材料に於ては迂り抵抗の増大とならず反つて分離作用を助長し且之に應力集中の作用を伴つて抗張力は上昇しない許りで無くむしろ低下するものさへある。故に靜的強度の試験は單純引張試験に加へて形狀を考慮した切欠引張試験を併せ行はなければならぬ。

試験に使用した材料は95kg Ni・Cr 鋼(イ 205)を20mmφに鍛伸した丸棒であつて、その化學成分及熱處理は第1表の如くである。焼入焼戻後の硬度数は約290 B.H.N., シャルピー衝撃値は13.9kgm/cm²である。之等はA, B及Cの三組に分けAはそのままとし、Bは500°C-10h 爐冷の脆化處理を行つた所シャルピー値は3.9kg-m/cm²と急激に低下した。Cは更に脆化する様に500°C-50h 爐冷を行つたのであるがシャルピー値はBと殆んど變りが無かつた爲更に550°C-5h 空冷してシャルピー値を5.0kg-m/cm²と

恢復せしめた(第2表参照)。試験片は第1圖の如き形狀作法を有し、引張時に掛る應力状態及應力分布を推定すると第2圖の如くである。即ち切欠試験片に於ては三次元的の引張應力と集中應力が作用して居ると考へられる。

引張試験の結果を一括して示すと第2表の如くである。同表には先づ脆化處理とシャルピー衝撃試験の結果を示し、次に抗張試験結果を溝無、溝付試験片の場合を夫々上下に並べて示した。表中特に破斷力と言ふのは試験片が破斷する瞬間に於ける荷重を最初の試験片斷面積で除したものであつて、破斷力/抗張力の比は最高荷重から破斷する迄の荷重の低下割合であつて材料の最後の執着の大小を示して居る。又一説に依ると此の値の大小は、その材料の切欠に對する感度の大小を示すとも言はれて居る。其の他の試験項目は從來の試験成績と變りはない。

先づ單純並に切欠抗張試験を通じ、脆化處理によつて蒙つた影響に就き、その概要を述べると次の如くである。

(イ) 抗張力、降伏點、伸は脆化處理によつて殆んど變りがない。

(ロ) 破斷力及破斷力/抗張力は脆化處理によつて増加する。特に切欠試験に於て著しくB及Cの破斷力はその抗張力と殆ど等しく従つて兩者の比は100%である。

(ハ) 絞は脆化處理によつて減少して居る。即ち局部收縮後破斷迄に呈する斷面の收縮割合が少ない事を示し、之も矢張り切欠試験に於て著しい。

(ニ) 抗張力/硬度は脆化處理によつて僅かに増加して居る。

次にA, B, Cを通じて切欠試験を單純試験と比較すると抗張力は凡べて1.2倍の上昇となり、降伏點、破斷力、破斷力/抗張力、絞、抗張力/硬度は切欠のため夫々増加して居る。

以上單純、切欠兩試験を通じ脆化處理による影響は最大

第2表 脆化處理後のシャルピー衝撃試験並靜的抗張試験成績

鋼種	符號	脆化處理	シャルピー 衝撃値 kgm/cm ²	破面粗 織	硬度 B.H.N.	抗張試片 形狀	抗張力 kg/mm ²	降伏點 kg/mm ²	破斷力 kg/mm ²	破斷力 抗張力%	伸%	絞%	硬度 B.H.N.	抗張力 硬 度 %	溝付抗張力 溝無抗張力
イ 205	x-A	行はず 焼入焼戻のまま	13.9	青灰色 無光澤	291	溝無 溝付	94.6 115.8	81.3 101.8	61.5 96.4	65.0 83.2	19.2 —	63.3 21.8	282 287	33.6 40.3	1.22
	x-B	500°C-10h 爐冷	3.9	粒狀金 屬光澤	290	溝無 溝付	95.8 115.3	82.3 99.3	65.4 115.3	68.3 100	20.0 —	48.0 14.2	274 278	35.0 41.5	1.20
	x-C	500°C-50h 爐冷 550°C-5h 空冷	5.0	〃	268	溝無 溝付	97.5 117.8	84.3 106.8	69.9 113.2	71.7 96.0	18.4 —	55.2 11.7	264 264	36.9 44.7	1.21

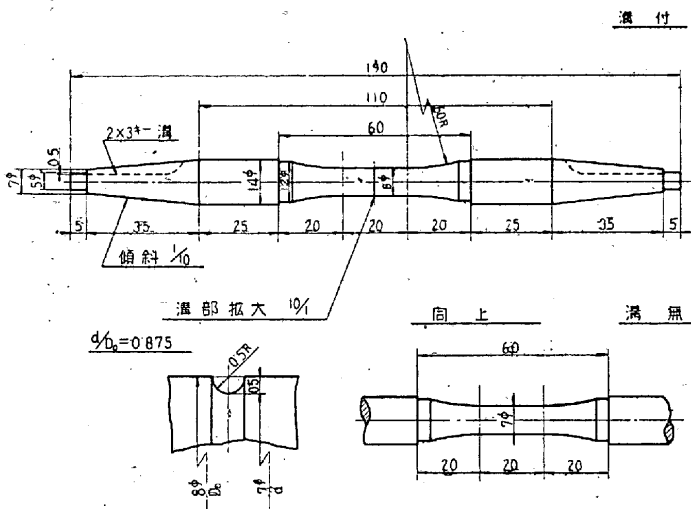
荷重迄は認められないが、それ以後破断迄の處では(ロ)及(ハ)に示した如くである。即ち本脆化處理は迂り抵抗を増大した事は明かであつて、その結果シャルピー衝撃値が甚だしく低下したのであるが、未だ静的強度に影響するに至らない。しかし破断間隙に於ける執着が減少して居る事は明かである。

IV. 疲 勞 試 験⁵⁾⁶⁾

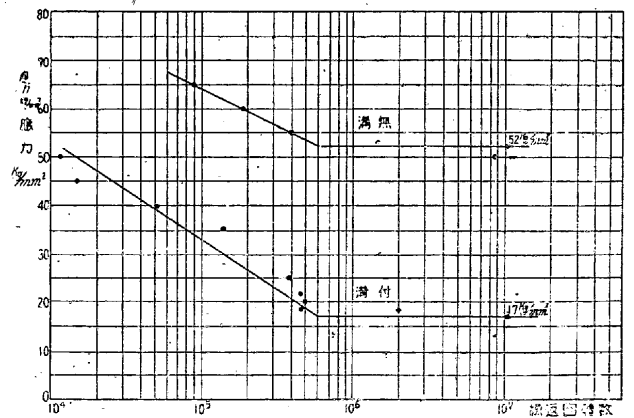
振動的應力を受ける部品に對する材料の性質は普通疲勞試験に依つて比較される。而して疲勞破損に於ける變形量は靜應力の場合に比較すると非常に僅少であるため延性材料と雖もその破面は一見脆性材料の如くである。しかしよく、之を觀察すると此の時の破損も主として迂り現象に依ると言はれ従つて、その破損機構は根本に於ては靜應力の場合と同様に考へられる。唯此の場合繰返應力は分離作用を助長する方向に働くと考へられるから、見掛けの迂り變

形は僅かであるに係らず破損は早期に分離に傾き、同様に切缺試験片に生ずる切缺作用は靜的試験の時の様に迂り抵抗を増大しない事は推定に難くない。即ち延性材料に於ける切缺作用は靜的強度を増大するが、疲勞強度を著しく低下する事は一般によく知られて居る通りである。此の様に疲勞試験に於て切缺作用は疲勞強度を著しく低下させるのであるが此の切缺作用は幾何學的な形狀と材料内の組織に起因するものとの二つに分けて考へる事が出来る。即ち前者を外部切缺作用、後者を内部切缺作用と呼ぶ事が出来る。故に平滑な試験片に對する疲勞試験は内部切缺作用を、又切缺試験片のそれは外部切缺作用による影響を判斷する事が出来る。

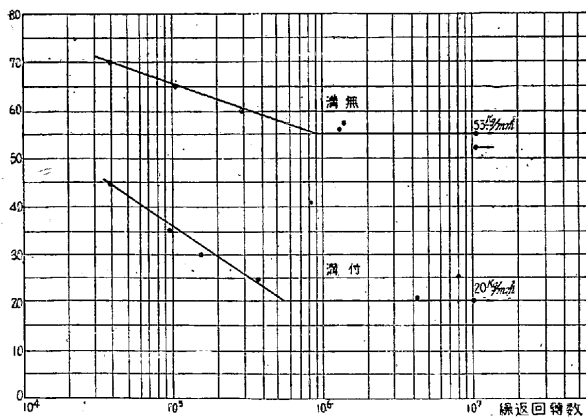
疲勞試験に使用した材料及脆化處理の方法は前項 III と全く同一のものであつて脆化の程度により A, B, C の三組に分けた事も同様である。試験機は小野式回轉曲げ疲勞試験機を使用し、試験片は第 3 圖に示す如く溝付及溝無の二通りを製作し、溝無の平滑な試験片は表面 000 ペーパー研きを行つて表面状態を一定とした。負荷應力と破断までの繰返數を示す S-N 曲線は、A, B, C 夫々第 4, 5, 6 圖の如くである。之より 10^7 繰返數に於ける疲勞限を求め、之と



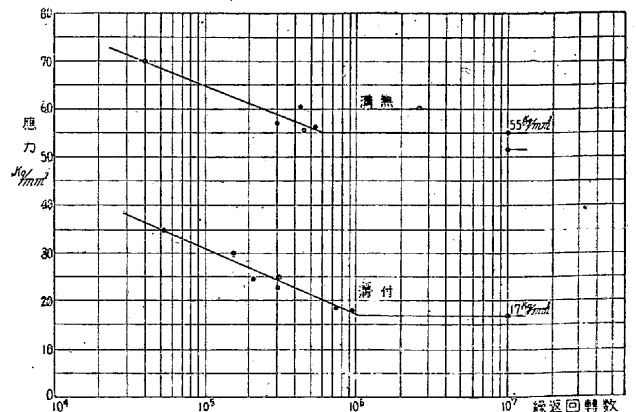
第 3 圖 小野式回轉曲げ疲勞試験片



第 5 圖 S-N 曲線 (其の二) イ 205 (X-B)



第 4 圖 S-N 曲線 (其の一) イ 205 (X-A)



第 6 圖 S-N 曲線 (其の三) イ 205 (X-C)

⁵⁾ 前掲⁴⁾及⁵⁾

⁶⁾ Kuntze, W.: Arch. Eisenhüttw 10 (1936/37) S. 369/373

第3表 脆化處理後の回轉曲疲勞試驗成績

鋼種	符號	脆化處理	シャルピ ー衝擊値 kg-m/Cm ²	試験片 形狀	抗張力 kg/mm ²	疲勞限 kg/mm ²	硬 度 V.P.H.	疲勞限		溝付疲勞限 溝無疲勞限	溝無疲勞限 溝付疲勞限
								抗張力%	硬 度%		
イ 205	X-A	行はず 焼入焼戻のまゝ	13.9	溝 無 溝 付	94.6	55	302	58.2	18.2	36.4	2.75
					115.8	20	282	17.3	7.1		
	X-B	500°C-10h 爐冷	3.9	溝 無 溝 付	95.8	52	287	54.2	18.1	32.7	3.06
					115.3	17	287	14.7	5.9		
	X-C	500°C-50h 爐冷 550°C- 5h 空冷	5.0	溝 無 溝 付	97.5	55	307	56.5	17.9	30.9	3.23
					117.8	17	292	14.4	5.8		

脆化處理、抗張力其の他必要事項との關係を一括して示すと第3表の如くである。從來の經驗によると疲勞限は此の抗張力或は硬度範圍内に於てはほぼ之等と一定の割合を持つて居るのが普通であるから、同表には疲勞限 / 抗張力及疲勞限 / 硬度の比を溝無及溝付の場合に就いて夫々記し参照に便ならしめた。又溝付試験片に對しては切欠作用は抗張力を上昇して居る事は前述の通りであるが、之によつて疲勞限は著しく低下して居るのでその割合を A, B 及 C の夫々に就いて比較し易くする爲溝付疲勞限 / 溝無疲勞限を求め同時に 溝無疲勞限 / 溝付疲勞限 即ち所謂切欠係數をも示した。

本疲勞試驗結果から脆化處理の影響を觀察すると多少の誤差は免かれ無いが、A, B, C に就いて溝無の場合の疲勞限を抗張力或は硬度に對する比を以て比較すると殆んどその差は認められない。又溝付の場合の疲勞限を溝付の抗張力(溝の形狀寸法は疲勞試験片と同一)に對する比を以て比較すると多少差が認められる。従つて 溝付疲勞限 / 溝無疲勞限 も脆化處理によつて少しく低下し、此の逆數で示される切欠係數は少しく増加して居る。しかしながらその程度は何れも僅少であると考へられる。即ち此の場合は脆化の原因は此の材料の内部切欠作用に對しても又外部切欠作用に對しても大きな影響を及ぼして居ないと言ふ事が出来る。之は先に第 III 項に於て述べた通り脆化處理によつて本鋼の迂り抵抗は増大して居るが、靜的抗張試験の時はわづかに破斷間近にその影響が現れた程度であつて、抗張力即ち最大荷重迄の強度に對しては少しも影響が現れて居ない事と考へ合せると、今回の疲勞試験に於ける疲勞限の如く破斷に至る迄の強さを云々する場合も矢張り同様であらう事は容易に理解される處である。しかしながら此の時は繰返應力によつて分離作用が助長されると考へられるから切欠作用に對しての影響が懸念されたのであるが之も割

合僅少である事が今回確められた次第である。

V. 繰返衝擊試験

此の試験は前記回轉曲げ疲勞試験の如く繰返して荷重を與へるのであるが荷重様式は前者が急激荷重であるのに反し今回は衝擊荷重であつて衝擊速度は有限の値を持つて居る事が特徴である。現在行はれて居る此の種試験は疲勞試験の如く疲勞限を求めず或打撃エネルギーを以て繰返衝擊を與へて破斷せしめ、それ迄に與へた打撃數の多寡を比較するに止めるのが普通である。従つて此の試験に於て比較すべき打撃數は破斷が開始する迄即ち龜裂が発生する迄に要した打撃數と、以後龜裂が進行して遂にその打撃エネルギーを以て一撃の下に破斷する迄に要した打撃數との和であるべきである。而して此の衝擊的の荷重は破損の機構を一層複雑なものとするに相違は無いが、少くとも龜裂發生迄は疲勞破損の場合に準じてみると見なされるから、龜裂發生迄に要する打撃數の多寡は靜的強度或は疲勞強度とほぼ同一傾向の關係に在ると考へて差支へ無いと思はれる。龜裂發生後はこれが非常に鋭い切欠作用となり、その進行速度は可成り急速であらう事は明かであり、又此の進行速度は衝擊荷重或は衝擊速度によつて變化する事も當然であるが同じ條件の下では矢張り龜裂發生迄と同様の傾向を持つて居て之と著しい差は無いと考へられる。しかるに龜裂がどの位迄進行した後に最後の一撃で破斷するに至るかは靜的強度や疲勞強度からは全然豫期する事は出来ないと考へられる。此の時は恰も單一衝擊試験の時と同様に破斷に要する仕事量が、その時の加へられる打撃エネルギー以下で無ければ一撃の元に破斷するに至らない筈であり、唯此の時既に繰返應力を受けて且龜裂が或程度進行して居る點が異なるのみで其の他の點は單一衝擊試験と全く同様の條件に在るわけである。従つて繰返衝擊試験に於ける龜裂

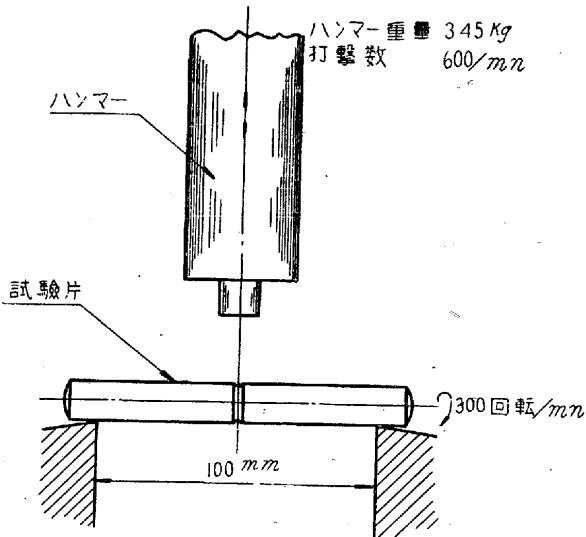
発生後の打撃繰返数が単一衝撃試験結果と密接な関係を持つてあらう事は豫想に難くない。

故に本試験に於ては或打撃エネルギーを繰返與へて破断迄に要する打撃回数を比較するのであるが、もしその材料の静的強度或は疲労強度が略等しい様な場合は、主として

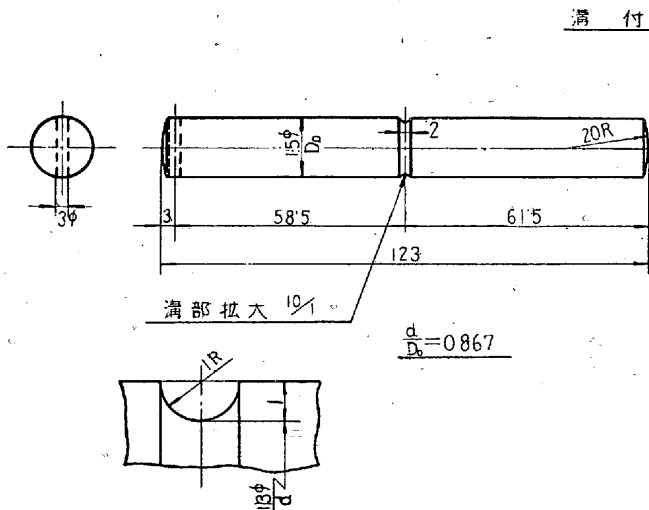
龜裂発生後破断迄に要した打撃数を比較する事となる。

本試験に使用した材料は矢張り前項 III 及 IV に於けるものと同一であつて、脆化處理を行つて A, B, C の三種の試料を作つた事も同様である。即ちほぼ同一硬度、抗張力を有しシャルピー衝撃値は A 最も高く、B は最も低く C は兩者の間であつて、その詳細は第 4 表に示す通りである。

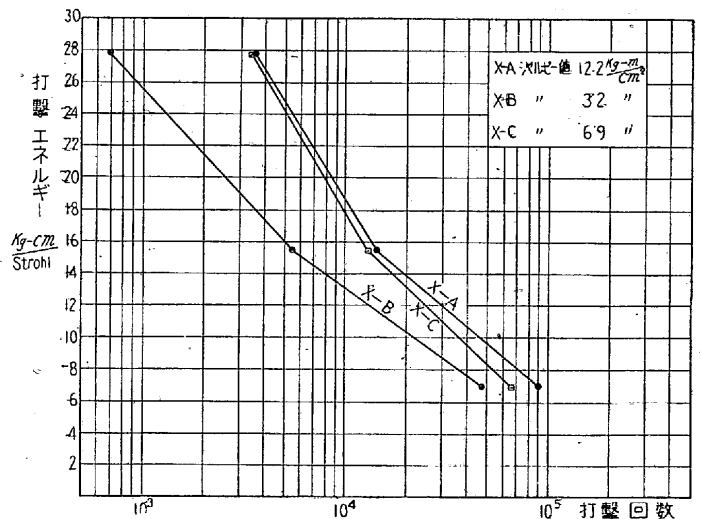
試験機はアムスラー式繰返衝撃試験機を使用し、その構造の大要を示すと第 7 圖の如くである。與へる打撃エネルギーはハンマーの重量及打撃數/mn はその儘とし衝程を變更する事により即ち打撃速度を變更して種々に選ぶ事が出来る。試験片は第 8 圖の如き中央に切缺を有する屈曲試験片を使用し、試験機のハンマーが此の中央を表裏から交互に打撃する様に試験片をハンマーの打撃數/mn の 1/2 で回轉した。一回の打撃エネルギーは大、中、小の三通りとし各三本宛に就き求めた破断迄の繰返数を各々平均した。此の時の脆化處理、シャルピー衝撃値、硬度、打撃エネルギー、打撃速度及破断までに要した打撃数は一括して第 4 表に



第 7 圖 アムスラー繰返衝撃試験機略解圖



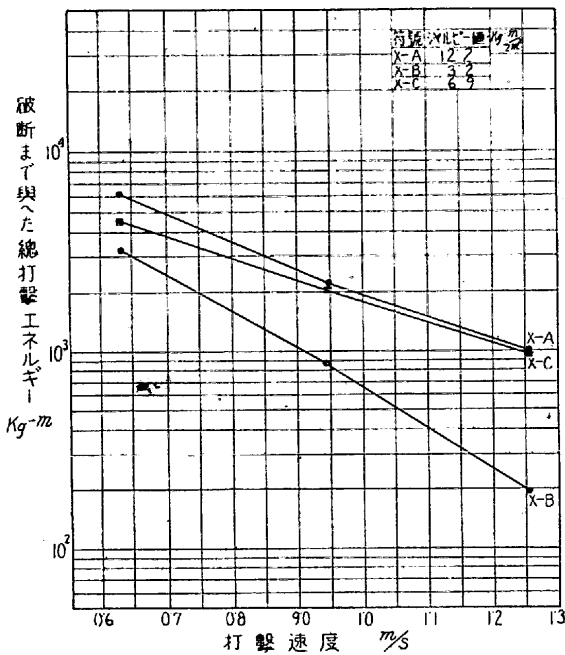
第 8 圖 アムスラー式繰返屈曲衝撃試験片



第 9 圖 アムスラー式繰返屈曲衝撃試験 イ 205

第 4 表 脆化處理後のアムスラー式繰返屈曲衝撃試験成績 (3本宛平均値)

鋼種	符號	脆化處理	硬度 V.P.H.	シャルピー衝撃値 kg-m/cm ²	打撃エネルギー kg-cm stroke	打撃速度 cm/s	破断打の打撃數	破断までに與へた總エネルギー kg-m
I 205	X-A	行はず焼入焼戻のまま	292	12.2	6'942 15'619 27'777	62.8 94.2 125.6	88560 13920 3520	6110 2172 978
	X-B	500°C-10h爐冷	282	3.2	6'942 15'619 27'777	62.8 94.2 125.6	47060 5410 690	3246 845 191.6
	X-C	500°C-50h爐冷 550°C-5h空冷	280	6.9	6'942 15'619 27'777	62.8 94.2 125.6	65080 12930 3450	4490 2020 958.5



第10圖 打撃速度との破断までの總打撃エネルギーとの關係

示した。之より一回に與へた打撃エネルギーと破断迄に要した打撃數との關係を圖示すると第9圖の如く、又破断までに與へた總エネルギー(一回の打撃エネルギー×打撃數)と打撃速度との關係を圖示すると第10圖の如くである。即ち脆化處理によつて最もシャルピー値の低下したBは打撃エネルギーの大なる時はA及Cに比して著しく劣り之

に反して打撃エネルギーの小なる時はその差は少い。即ちBは龜裂發生後一撃の下に破断する迄の打撃繰返が甚だ少い事を示し、A及Cに比較すると此の打撃エネルギーによつて早く破断するに至つた事を示して居る。之を打撃速度の側から觀ると速度大(約1.25m/s)なる時はその差が大きく、速度小(約0.63m/s)の時は大差がないと言ふ事が出来る。

以上の如くBが龜裂發生後最後の一撃で容易に破断した事はそれ等の破面に依つても知る事が出来る。即ち寫眞1に示す如く此の破面を外見上から外側の緻密な面と内側の粗雑な面との二つに分けると、前者は龜裂發生後之が進行した部分を示し、後者は最後の一撃に依つて破断した

部分を示して居る。此の破面から見ても打撃エネルギーが小さい時はA,B,Cの間には大なる差が表れて居ないが打撃エネルギーが大きくなるとA及CとBとの間に著しい差がある事が明かに觀取される。

此處で最も注意を惹く事はCはBに比較するとシャルピー値は少し大であるがAよりは甚だ少く、矢張り脆化處理を施した事は確かであるのに係らずCはむしろAと同様一見脆化して居ないものの如くである。しかし此の場合は打撃速度が破断の難易に關係があると考へる事によつて、即ち變形速度と迂り抵抗との關係を考へ入れる事によつて理解が容易である。

今試験片が最後の一撃で破断する爲にはその時の試験片を破断するに要するエネルギーが一回に與へる打撃エネルギー以下である事が必要である。従つて破断を容易にする爲には迂り抵抗は出来るだけ増大し、迂り變形を最小に止めて速かに分離破断へ持つて來る事が必要である。此處で脆化處理は内的に迂り抵抗を増大し、又打撃速度の大きい事は外的に迂り抵抗を増大させると考へると、此の兩者による迂り抵抗の増加が破断の難易を左右する事となる。従つて本試験に於てBは既に此の迂り抵抗の極限迄達したため容易に破断し、Cは未だ此處迄に達し得なかつたと考へる事が出来る、そして此の兩者の差はBとCとの脆化の程度が異り、之に依る迂り抵抗の増加割合が異つて居るため

符号	X-A	X-C	X-B
シャルピー値	12.9	6.9	3.2
打撃エネルギー	12.9 $\frac{kg-m}{cm^2}$	6.9 $\frac{kg-m}{cm^2}$	3.2 $\frac{kg-m}{cm^2}$
$6.942 \frac{kg-cm}{Stroke}$			
$15.619 \frac{kg-cm}{Stroke}$			
$22.777 \frac{kg-cm}{Stroke}$			

寫眞1. アムステール線返屈曲衝擊試験後の破面

である事を示して居る。故に此の様な考へ方に従ふとCに於て更に打撃速度を増加すれば脆化による迂り抵抗と速度による迂り抵抗が相和して遂に極限に迄達し、Bと同一の運命に陥るであらう事は明かである。

此の様に本試験に於ては脆代處理が破断迄でなく龜裂發生後最後の破断の難易に及ぼす影響は甚だ大であつて丁度衝撃速度を加味した單一衝撃試験と同一傾向を示すべき事が略明かとなつた。

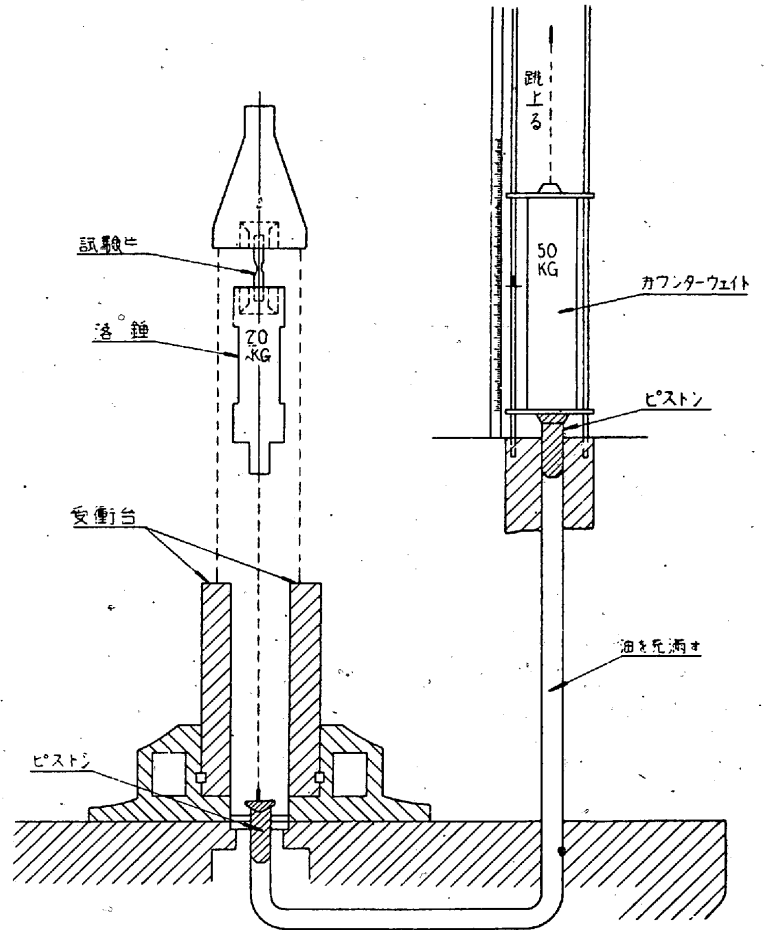
VI. 單一衝撃抗張試験に於ける 衝撃速度の影響

脆化の程度は衝撃速度によつて表れ方が異なる事が前項の試験結果から明かとなつたので單一衝撃試験は一定の速度で行ふ許りで無く之に速度を加味して行ふ事が必要となるのである。之は材料の迂り抵抗が變形速度の上昇と共に増大すると言ふ考へ方と一致し、従つて或變形速度以下に於て充分迂り變形を行ふ事が出来た材料も或速度以上に於ては最早迂り變形が停止し直ちに分離破断する様な事が有り得るから、此の速度以上に於ては急に脆性を呈する事となる。又或速度に於て脆性である材料も之より低い速度に於ては延性となる場合もある筈である。此の事はH. C. Mann¹⁾の唱へる變位速度(Transition Velocity)の觀念に通じて居る。

以上の如き考へ方に従ふと、前項の試験に使用した試料Bの如きは此の變位速度が非常に低速度の處にあり、Cはその時の試験速度に於ては未だ變位速度に達して居なかつたと言ふ事が出来る、従つてCも更に高速度に於て試験すれば變位速度に達しBと同一運命に陥るべき事は明かである。今回も矢張り焼戻脆性に依つて脆化したと言はれる、Ni・Cr鋼に就き種々の衝撃速度に於て衝撃抗張試験を行つた。

シャルピー或はアイゾット衝撃試験は一種の單一衝撃試験法であるが、一般に行はれて居る方法は衝撃屈曲であるから破壊徑路が複雑であり、種々の因子が入り混つて居て解析が困難であつて、その上衝撃速度は約5m/s程度であるのが普通である。そこで本試験の如く速度の影響を知る目的を持つ時は衝撃引張が可能であつて、衝撃速度も相當廣範圍に變更出来る試験機が望ましい。そして最高速度は出来るだけ大なるものがよいのであるが試験の目的がシャ

ルピー試験で分る程度の脆化處理の影響を見ればよいのであるし又高速の試験機は製作困難である爲め取敢へずアムスラー式の落錘型試験機を使用した。此の試験機の大略の構造を示すと第11圖の如く衝撃抗張試験を行ふときは試



第11圖 アムスラー式落錘型衝撃試験機略解圖

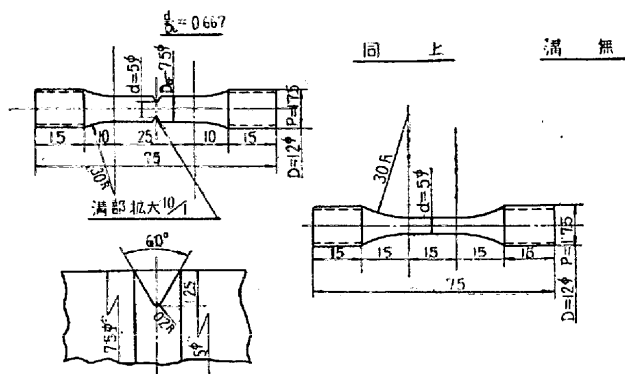
験片の下端に落錘(此の時は20kgを使用)を釣り下げ或る高さから落下させると試験片の上端を掴んで居る肩が下の受衝臺で止められると同時に落錘は慣性によつて試片を切斷し、床面にあるピストンの頭を押す。即ち試験片を切斷して餘つたエネルギーはピストンより油を傳はつてカウンターウェイトを押し上げるからのカウンターウェイトの重量(此の場合50kgを使用)とその跳上り量とを測定すれば此のエネルギーが求められる。従つて試験片を切斷するに要したエネルギーは最初に與へた位置のエネルギーより之を差引けば求められるわけである。唯此處で注意すべき事は此の差引かれた残りのエネルギーが全部試験片の切斷に消費されないで上端の掴みを通つて肩から受衝臺へ、それから地中へと逃げる事である。その上此の逃げるエネルギーは與へられたエネルギーの大小に依つて變化する事が分つたので之を無視出来る様に空試験を行つた。その空

¹⁾ H. C. Mann: Proc. Amer. Soc. T. M. 35. Part II. 36. Part II. 及 37 Part II. 等

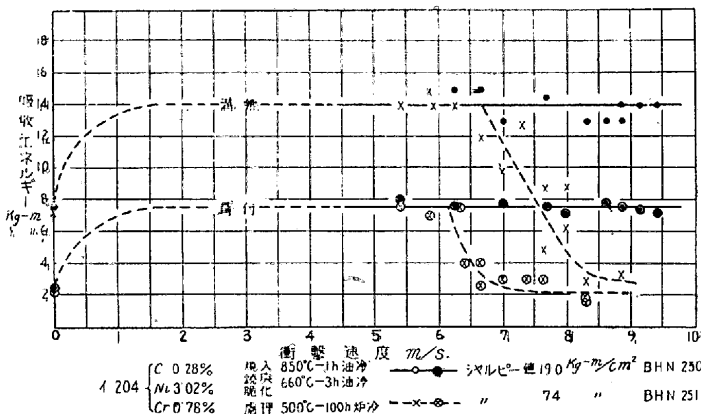
試験として採用した方法は試験片中の代りにその位置に極く細い(約0.8mmφ)鐵線を以て落錘を肩からつり下げて種々の高さから落下させ、その都度カウンターウエイトの跳上りから眞に試片に與へられるエネルギーを求めた。即ち之は鐵線が吸収するエネルギーが試験片が吸収するエネルギーに比して無視出来る事を前提としたものであつて使用する鐵線は落錘を保持し得る最小限のものでなくてはならない。そのため使用した鐵線は豫め静的引張試験を行つて、その吸収するエネルギーが無視し得る事を確かめたものである。

衝撃速度は落下の高さから算出し従つてその高さを種々變更する事に依つて種々の速度が得られるのであるが試験機の容量に限度があつて最高9.4m/sに止めた。

先づ空試験を行つた後豫備試験として半硬鋼(イ004)に就き行つて衝撃速度と吸収エネルギーとの關係を求めた所第12圖の如き結果を得た。試験片は切欠の無いもの及び



第13圖 アムストラ式落錘型抗張衝撃試験片

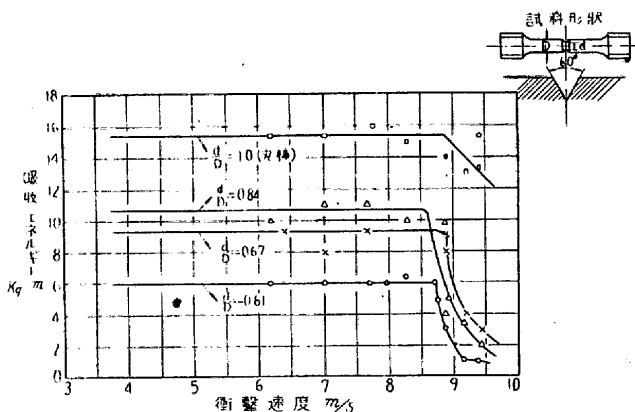


第14圖 衝撃速度と吸収エネルギーとの關係(イ204の例)

張試験を行つて、その荷重—伸曲線から求めたものであつて試験片の形狀が同一のものでは脆化の有無に係らず略相等しく、又溝付の場合より溝無の場合の方が吸収エネルギーが大きい事は當然である。

一般に衝撃の場合は静的の場合よりもその吸収エネルギーが大であつて、第14圖にも明かに表れて居るが、之は前者は断熱的變化に相當するから變形に伴ふ熱エネルギーも含まれて居るのに反し後者は等温變化に相當するから變形に伴ふ熱は空氣中に放散される之を含まないためであると考へられる。

扱第14回の試験結果に於て衝撃速度9.4m/s迄の吸収エネルギーを比較すると、脆化しないものは速度に無關係に略一直線で變化が無いのであるが脆化したものは6.5m/s附近迄は前者と重なり合つて之と殆んど等しい値を示して居るに係らず此の附近から急激に低下して居る。特に溝付試験片に於て急激である。之と同時に今まで迄り變形を行つて居た破斷部が分離破斷に變化して居て、之に相當する速度が此の程度に脆化されたものの變位速度と見る事が出来る。而して切欠あるものは無いものに比して吸収エネルギーは小であるに係らず變位速度には大きな差が無い。此の事は此の材料の迄り抵抗は切欠による影響よりも



第12圖 衝撃速度と吸収エネルギーとの關係(イ004半硬鋼の例)

切欠の深さの異なつたもの數種類を使用したのであつて切欠が深いもの程、吸収エネルギーが減少して居るが何れも衝撃速度が略8.5~9.0m/s附近に於て急激に減少して居る。此の速度が所謂變位速度に相當する處であらうと考へられる。

次に焼戻脆性によつてシャルピー衝撃値を低下したNi-Cr強靱鋼に就いて試みた。材料は85kg Ni-Cr強靱鋼(イ204)を使用し焼入焼戻後一組はそのままとし他は500°C~100h爐冷の脆化處理を行つた處シャルピー衝撃値は夫々19.0kg-m/cm²及7.4kg-m/cm²であつて硬変は兩者相等しいものである。試験片の形狀、寸法は第13圖の如く夫々溝無と溝付の二種類を使用した。試験結果を衝撃速度と吸収エネルギーとの關係に於て圖示すると第14圖の如くである。此處で衝撃速度0に於ける吸収エネルギーは静的引

遙かに變形速度によつて大きな影響を受けると考へられ、従つて迂り抵抗は衝撃速度によつて急激に増大し、脆化したものは遂に此の附近の速度に到つて迂り變形が阻止せられ分離破断した事を示して居る。即ち脆化したものは脆化處理によつて其れだけ迂り抵抗が増大して居つたと考へると脆化しないものも更に速度を上昇すれば何時かは同様な點に至るべき事は明かである。唯此の變位速度が使用範囲内に存在するか否かゞ實際材料を使用するに當つて大いに考慮を拂ふべき點であると考へられる。

以上の試験から焼戻脆性現象を考へて見ると、その迂り抵抗が焼戻によつて増大し、之が $Ni \cdot Cr$ 強靱鋼の變位速度を低速側に移動させた結果となつて遂にシャルピー衝撃試験に依つて見出されるに至つたものと解釋する事が出来る。従つてシャルピー衝撃試験の如く或一定の速度に於ける試験結果のみに依つてはその脆化の程度を知る爲には尙不充分であつて、之に依つて假令延性である材料も何處迄延性であるか、又脆性であるものも何處から脆性であるかと言ふ事は全く豫想出来ない場合があるわけである。

VII. 總 括

以上の實驗は焼戻脆性現象が $Ni \cdot Cr$ 強靱鋼の機械的性質に及ぼす影響を知る目的を以て之と密接な關係に在る形狀と荷重様式とを考慮して各種の試験を行つたものである。即ち脆化した $Ni \cdot Cr$ 鋼に於て切欠を有する試験片と、之を有しない平滑を試験片とに就いて静的抗張試験、回轉曲げ疲勞試験及繰返、單一衝撃試験を行つた處此の脆化の原因は之が迂り抵抗を若干増加したためである事が明かとなつた。そのためにシャルピー衝撃試験に於いて衝撃値の低下となつて表れたのであるが、試験様式が異ると此の脆化の影響も亦異なる事も明かとなつた。今各試験結果に就て、その大要を記すと次の如くである。

(1) 静的抗張試験に於ける脆化の影響は静的強度に對しては殆んど認められず僅かに破断間際の變形が稍困難となる程度である。

(2) 回轉曲げ疲勞試験に於ても疲勞限に對する影響は僅かであつて従つて脆化の原因が此の鋼の内的及外的切欠作用に對して著しい變化を與へて居ない。

(3) 繰返衝撃試験に於ては破断する迄に要する繰返數を比較したのであるが之によつて主として龜裂發生後最後の一撃で破断するに至る難易さを比較する事が出来る。之によつて最も脆化したと思はれる試料は最も容易に破断し、

しかも衝撃速度の大なる處(約 $1.25m/s$)に於て著しいのであるが、脆化してもその程度が少いと思はれるものは全然脆化しないものと殆ど變りが無い。即ち最後の一撃による破断の難易は材料の迂り抵抗の大小に加へて更に打撃速度が大いに關係する事が明かとなつた。

(4) 單一衝撃抗張試験に於ては脆化した試料の衝撃吸収エネルギー(衝撃抵抗と見なされる)は衝撃速度が或値以上に達すると急激に減少し、所謂變位速度(Transition Velocity)の存在を確かめる事が出来た。而して $9.4m/s$ 迄の衝撃速度に於ては脆化しないものは殆んど一定の吸収エネルギーを示して居るが、脆化したもの(シャルピー値 $7.4kg \cdot m/cm^2$)は $6.5m/s$ 附近に變位速度を有し、此の速度迄は前者と略同一吸収エネルギーを示して居たものが、此の速度以上に於ては迂り變形は阻止され急激に吸収エネルギーを減少した。即ち此の脆化現象は、焼戻によつて此の鋼の迂り抵抗が増大し之が變位速度を低速側へ移動した結果衝撃試験に依つて認められるに至つた事が明かである。

以上の試験結果を綜合すると脆化による迂り抵抗の増加は、衝撃試験を速度を考慮して行ふ事により著しく鮮明に現れ、同時に材料の迂り抵抗は迂り速度に對して急激に増大する事が明かである。従つてシャルピー衝撃試験は或程度迄は脆化の度合を推定する爲に役立つ事は確かであるが時には之だけでは全く豫想出来ない場合もあるわけである。即ちシャルピー衝撃試験の結果脆性であると言はれても變形速度が低い時は殆んど影響が無いと言ふ。例へば今回の實驗に示された如き結果となる事もあり、又シャルピー衝撃試験の結果延性であると言はれても變形速度が更に高い場合は延性を失ふ結果となる事も在るわけである。従つて場合によつては更に高速度の衝撃試験が必要となる。

以上に依つて、使用目的を考へに入れて、材料の機械的性質を判断しようとする時には、單に引張試験やシャルピー衝撃試験等の檢定試験等を行ふのみならず目的に應じた條件に於て試験を行ふ事が如何に肝要であると言ふ事が理解され、その一例を $Ni \cdot Cr$ 強靱鋼の焼戻脆性現象と結びつけて示す事が出来た。尙今回は大きさの影響に就いては明かにして居ないが、之も非常に重要な事であつて今後に残された問題の一つであると考へられる。