

各種工具鋼の焼戻による硬度と靱性の變化

(昭和 25 年 4 月本會講演大會にて講演)

出口 喜勇爾* 須 賀 利 一*

CHANGE OF HARDNESS AND TOUGHNESS OF SEVERAL TOOL STEELS BY TEMPERING

Kiyoji Deguchi and Riichi Suga

Synopsis: Superior tools must have, not only high hardness, but also considerable toughness.

Hardness of the tools must be generally higher than about 55 (Rockwell C 150kg), to show the good cutting ability. It is, therefore, difficult to study the little differences of the toughness of these hard steels by the Charpy impact test or by the tensile test.

Thus the authors measured the change of the impact torsion values by different tempering temperatures. At the same time, they made the crushing (bending) tests and measured the crushing (bending) strength, the deformation amount and the energy consumed until their failure.

The tool steels studied were: ① Two series of carbon steels and 1% chromium steels, both containing about 0.6~1.5%C ② Special tool steels, that is, Cr-W and Cr-W-V steels and ③ High speed steels.

From these results, the authors discussed the change of the hardness and the toughness of the tool steels by different tempering temperatures, comparing them with that of their microstructures.

I. 緒 言

優秀なる工具は高い硬度と同時に或る程度の靱性を必要とする。一般に刃物として硬物質を切るにはロツクウェルC硬度で約 55 以上が必要であるが、この程度の硬い鋼に於ける僅かの粘りの差異は有溝試験片を使用するシャルピー衝撃試験によつては到底比較測定する事は出来ない。又抗張試験に於ける伸、絞による比較は、axial loading が難しく實際問題としてこの様に硬度の高いものは殆どすべてチャック切れとなり、或は荷重がその材料の抗張力に達しない中に引張り切れ、これ又比較は困難である。

扱て同一材料に於て引張り破壊よりも振り破壊の方が破壊する迄に變形を多く伴い易い事は理論的に市原博士¹⁾が説明されて居る所であつて、引張り應力によつては完全脆性破壊、即降伏點なしの破壊を示すものでも、振り應力によつては半脆性破壊を示す事があるのである。

市原博士は衝撃振り試験機によつて 2, 3 の高C工具鋼に就き、焼入後焼戻温度を變えた場合の振り衝撃値を求め²⁾更に 10 種類の工具鋼に就ても同様にして焼戻温度による粘りの變化を求められた³⁾。然しこれらの報告

に於てはCその他主要合金元素の含有量を系統的に變えた場合の影響に就ては言及されて居ないので、著者は先ず Cr 約 0.4% と約 1.0% との兩系に就きCを約 0.6~1.5% に變化させた試料に就き、次に特殊工具鋼及高速度鋼に就き、焼戻温度による振り衝撃値の變化を求めた。又かかる硬度高き工具鋼の靱性を他の方法によつて検討する爲に、上記衝撃振り試験に用いた材料に同一熱處理を施したものに就き壓折試験を行つた。そしてこれらの諸試験結果により各種工具鋼の焼戻温度による硬度と靱性との變化を考察した。

II. 試験方法

衝撃振り試験は市原式衝撃振り試験機を使用した。先ず、はずみ車の廻轉數が幾何の時にクラツチを引いて試験片を振り切つたならば、試験片の切斷による廻轉數の降下を最も精確に読み取り得るかを豫備的に試験した所この場合には 700 r.p.m. の時が最も読み取り易かつた。今ははずみ車の廻轉數が 700 r.p.m. の時に試験片を振り切り、その爲に廻轉數が n r.p.m. に降下したとすれば、

* 日本特殊鋼株式會社

振り衝撃値 = $0.00548 I (700^2 - n^2)$ kg-m

となる、但し I は、はずみ車の慣性能率である。

次に壓折(彎曲)試験はシャルピー衝撃試験片と同一寸法即角 10mm×長さ 55mm を切欠なしで、シャルピー衝撃試験の場合と同様に枕に渡し(兩支點間の距離 40mm)、その支點間の中央に於て尖端丸み $R=1\text{mm}$ のステムで靜的に加壓し、(1) 壓折するに到る迄の最大荷重即破斷に對する抵抗力(壓折力、抗曲力)、(2) 試片の變形量即中央部の最大撓み、(3) 荷重-撓み線圖に於ける曲線と「撓み」軸間の面積即破斷する迄に要した仕事を測定した。但し本報告に於ては破斷に對する抵抗に重點を置いたので、前記變形量や仕事量は代表的試料に就てのみ述べるに止めた。

III. 試料

試料は實驗室用高周波電氣爐によつて熔製した 8kg 鋼塊を鍛伸した。試料の化學成分及變態溫度を第 1, 2 表に示す。第 1 表の C 鋼及 Cr 鋼の焼入はすべて A_c1 變態溫度以上約 50° より油冷した。尙最初 Cr を殆ど含有しない C 鋼も熔製したが、これは油冷では硬化不十分であり水冷では焼割が多くて使用出来ないし、又現在 0.3% 程度の Cr はとかく工場製品に於てはスクラップより混入するので、本試験に於ける C 鋼には Cr を故意

に 0.3~0.5% 配合したのである。

IV. C 鋼及 Cr 鋼に就ての試験結果

1) 衝撃振り試験

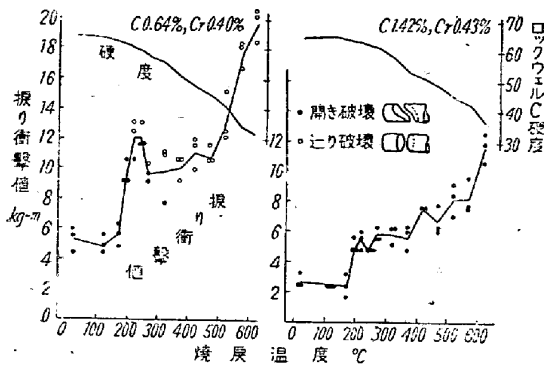
衝撃振り試験によれば、同一材料を同一熱処理したものに於ても振り衝撃値の不同が可成りあるので、なるべく多數試験する事にした。然し尙且これらの試験値を結ぶ曲線は滑かでない場合が多い。又本試験殘材の破面を見ると明瞭に開き破壞と迂り破壞の 2 種を示し、燒戻溫度低く硬度の高い脆い場合には開き破壞で、燒戻溫度高く硬度の低い粘い場合には迂り破壞を示して居る。前者は分離抗力が剪斷抗力に比べて低いもので降伏點に達しない中に 45° のスパイラルの面で切斷し、後者はこれとは逆に剪斷抗力が弱く分離抗力が強くて所謂降伏現象を起して後迂つた面から破壞したものである。

i) 燒戻溫度の影響

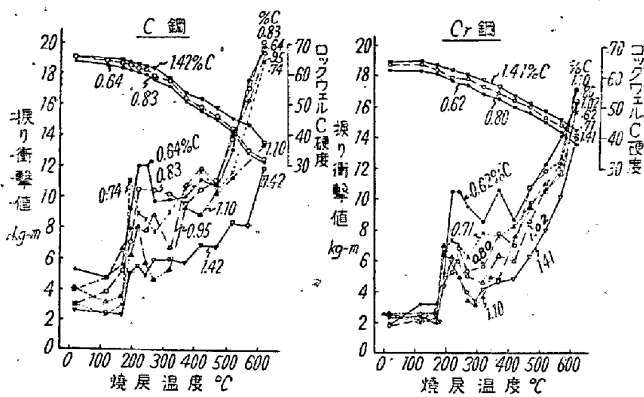
第 1 圖は C 鋼の中で C の最も低い 0.64% 試料と最も高い 1.42% 試料の燒戻溫度による振り衝撃値の變化を示す。0.64% 試料に於ては、燒戻溫度約 200° 以下ではすべて開き破壞、 370° 以上ではすべて迂り破壞を示す。然してその間に於ては同一燒戻溫度の場合でも振り衝撃値の低い試片は開き破壞で、高い試片は迂り破壞を示して居る。之に對し 1.42% C 試片に於ては何れの燒戻

第 1 表 C 鋼及 Cr 鋼の化學成分及變態溫度

系別	C%	試験種別	化學成分 %								變態溫度 $^\circ\text{C}$	
			C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Ac	Ar
低 Cr 系	0.6	壓折	0.63	0.20	0.27	0.008	0.037	0.46	0.16	0.19	748~770	680~700
		衝撃振り	0.64	0.18	0.33	0.021	0.021	0.40	0.32	0.24		
	0.7	壓折	0.74	0.27	0.29	0.011	0.041	0.42	0.27	0.19	748~770	675~685
		衝撃振り	0.73	0.27	0.41	0.017	0.020	0.53	0.39	0.25		
	0.8	壓折	0.81	0.26	0.28	0.012	0.044	0.44	0.21	0.20	750~770	680~690
		衝撃振り	0.83	0.26	0.29	0.011	0.037	0.44	0.16	0.16		
	0.95	壓折	0.97	0.18	0.28	0.017	0.038	0.42	0.26	0.21	747~770	670~690
		衝撃振り	0.95	0.21	0.27	0.011	0.034	0.43	0.13	0.09		
	1.1	壓折	1.08	0.29	0.27	0.012	0.038	0.44	0.18	0.12	747~770	680~695
		衝撃振り	1.10	0.21	0.38	0.023	0.026	0.41	0.33	0.28		
	1.4	壓折	1.46	0.28	0.29	0.020	0.037	0.41	0.21	0.21	744~760	680~692
		衝撃振り	1.42	0.26	0.36	0.024	0.028	0.43	0.33	0.23		
高 Cr 系	0.6	壓折	0.63	0.23	0.50	0.034	0.029	1.03	0.41	0.19	760~790	690~705
		衝撃振り	0.62	0.21	0.50	0.035	0.029	1.05	0.38	0.21		
	0.7	壓折	0.70	0.19	0.44	0.035	0.024	1.06	0.45	0.16	755~785	690~705
		衝撃振り	0.71	0.22	0.53	0.040	0.024	0.98	0.42	0.22		
	0.8	壓折	0.78	0.23	0.53	0.034	0.026	1.01	0.54	0.21	755~785	687~700
		衝撃振り	0.80	0.27	0.51	0.036	0.030	0.98	0.44	0.10		
	0.95	壓折	0.93	0.22	0.48	0.034	0.034	0.93	0.44	0.20	750~778	675~695
		衝撃振り	1.02	0.24	0.45	0.032	0.032	0.88	0.41	0.23		
	1.1	壓折	1.15	0.25	0.47	0.042	0.033	0.85	0.50	0.22	750~775	685~700
		衝撃振り	1.10	0.23	0.47	0.033	0.025	1.00	0.48	0.22		
	1.4	壓折	1.45	0.28	0.47	0.033	0.010	0.90	0.42	0.24	747~778	674~697
		衝撃振り	1.41	0.23	0.41	0.029	0.022	0.77	0.45	0.20		



第 1 圖



第 2 圖

温度に於てもすべての試片が開き破壊である。

第2圖はC鋼(低Cr)及びCr鋼の、各種C含有試料の焼戻温度による振り衝撃値の變化を纏めて圖示したものである。試験値に増減の變化が多いので各試料間の比較に困難を感じる點もあるが、概略の變化傾向は次の如くである。

先ずC鋼に於ては、焼戻温度約 175° 迄は概して何れの試料も振り衝撃値は低く且その焼戻温度による變化が少い。焼戻温度がこれより 200~225° に上昇する時には殆どすべての試料の振り衝撃値は急激に増加し、その増加割合は概してCの低いもの程大なる様である。例えば C0.65% 試料は 175° 焼戻では 5.6kg-m, 225° 焼戻では 12.1kg-m, C1.42% 試料は 175° 焼戻では 2.3kg-m, 225° 焼戻では 5.4kg-m を示す。焼戻温度がこれ以上上昇した場合の振り衝撃値の變化は試料により必ずしも一定して居ないが、概して 200~450° 間の變化には次の2通りがある。(i) 225° 附近で極大を、次に 300° 附近に於て極小を示し、更に焼戻温度が上昇すると再び 400° 附近に於て小さき極大を、450° 附近に於て小さき極小を示すものと(ii)若干の起伏はあるが、焼戻温度上昇と共に振り衝撃値が概して増加するものがある。(i)の變化は C1.1% 以下の試料に現われ、C0.65,

0.74%試料に於て明瞭であり、(ii)の變化は C1.42% 試料に見られる。而してこれらの何れの試料も 450~500° 以上では焼戻温度上昇と共に振り衝撃値は急激に増加する。かゝる振り衝撃値の變化に比し硬度は何れの試料でも 150° 位迄は殆ど變化せず、それからは焼戻温度上昇と共に急激な變化はなく概して滑かに低下する。

次に Cr 鋼に於ては、焼戻温度上昇により振り衝撃値は約 175° 迄は變化なく、これより 200~225° に上昇する時に急激に増加する點はC鋼の場合と同様であり、又 200~400° に於ては C0.62% 試料を除けば大體同様で、Cの點い 1.41% 試料は 300° 以上に於て大きな起伏がない。而して 400° 以上ではC鋼の場合と同様に急激に増加して居る。

ii) Cの影響

焼戻温度による振り衝撃値の變化に及ぼすC含有量の影響は次の通りである(第2圖参照);即C鋼に於ては焼戻温度約 175° 以下ではC量による一元的の影響は認められず、この温度から約 450° 迄の間は各試料の振り衝撃値の山や谷が輻湊して居るので比較が困難ではあるが、概してC量による差異がないか或はC量高いものが少しく小さな値を示す傾向が認められる。次に約 450° 以上では C0.65~0.95% では振り衝撃値には殆ど變化なく、これ以上Cが増すと明瞭に低下して居る、即 600° 焼戻に於て、C0.65~0.95% では約 19~20kg-m, 1.10% では約 13kg-m, 1.42% では約 12kg-m を示す。尚Cが最も高い 1.42% 試料の値は概して何れの焼戻温度に於ても他よりは離れて低く、且焼戻温度 200° 以上は山や谷が小さくて焼戻温度上昇により徐々に増加する一方に見られる。硬度はCが高い程大なる傾向があるが必ずしもそうとは限らない。

次に Cr 鋼に於ては、焼戻温度約 175° 以下ではC量による影響が殆ど認められない事はC鋼の場合と同様であるが、この温度以上約 400° 迄はC量の多い程振り衝撃値が低下して居り、特にCが比較的低いものゝ間ではその差が著しい。而して焼戻温度がこれ以上に上昇する時は C0.62~1.1% の間ではC量による一元的の影響は認められず、C1.41% のみが他よりも低い値を示して居る、即 600° 焼戻に於て C0.62~1.1% では大約 16~17kg-m, 1.41% では約 14kg-m を示す。硬度に關してはC鋼の場合と同様の事が云える。

iii) Crの影響

第3圖(圖省略)は各C含有量毎にC鋼(低Cr)及Cr鋼の振り衝撃値及硬度を比較圖示したものである。概略的に見ればC量が等しいものゝ間では何れの焼戻温度に

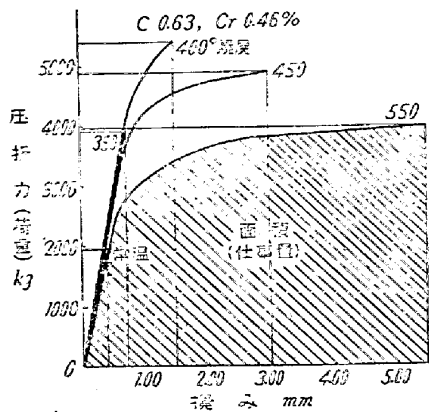
於てもC鋼の方がCr鋼よりも振り衝撃値が高く、而してこの差は低C試料(0.6%)や高C試料(1.4%)に於ては寧ろ少くて、その中間のC0.8~0.9%程度の共析鋼に於て大である。但しCの高い1.1~1.4%試料に於ては焼戻温度が500~550°以上になると逆にCr鋼の方が大となる。又焼戻温度による振り衝撃値の變化する有様はC鋼でもCr鋼でもC量の等しいものでは概して近似した傾向を示す事が認められる。

硬度は焼戻温度が大約300°以下の場合にはCr量により殆ど差がないか或はC鋼の方が僅かに高い傾向を示すものもあるが、これ以上の温度に焼戻するとCr鋼の方が硬度が大となる。

2) 壓折試験

i) 壓折力、撓み及破斷に要する仕事量

壓折試験に於て、代表的にC0.63%試料に就ての荷重と撓みとの關係を第4圖に示す。これによれば撓みは焼戻温度低い場合は、荷重の増加と共に直線的に増加するのみであるが、大約350°以上に焼戻された試料に於ては、荷重が大となれば撓みの増加割合が急激に増加する。而してこの荷重撓み曲線と撓み軸間の面積(影線部)が變形に要した仕事量を表わす譯である。

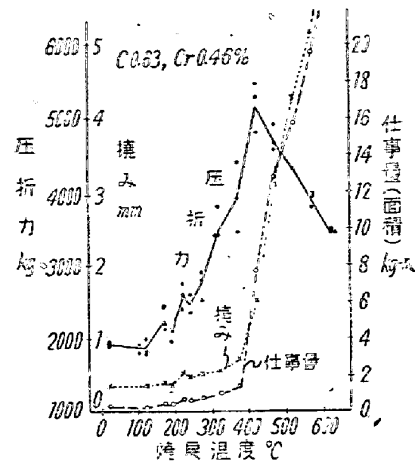


第4圖

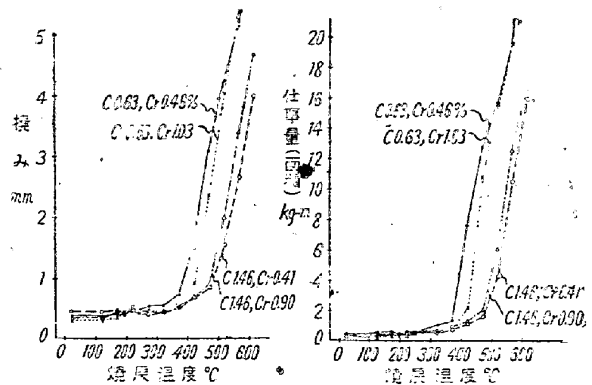
今焼戻温度を横軸として、この試料の最大荷重、最大撓み及破斷に要する仕事量を圖示すれば第5圖の通りである。壓折試験に於ても又、同一材料に同一熱處理を施したもの、間で壓折力が可成り散り、これらの試験値を結ぶ曲線は滑かではないが、然し振り衝撃値程甚だしくはない。

ii) 焼戻温度の影響

C鋼及Cr鋼に於けるC量の最も少い0.63%と最も多い1.46%の4試料の、焼戻温度に対する壓折力、最大撓み及破斷に要する仕事量の變化をそれぞれ第6、7圖に示す(第6圖省略、その代りに第8圖参照)。

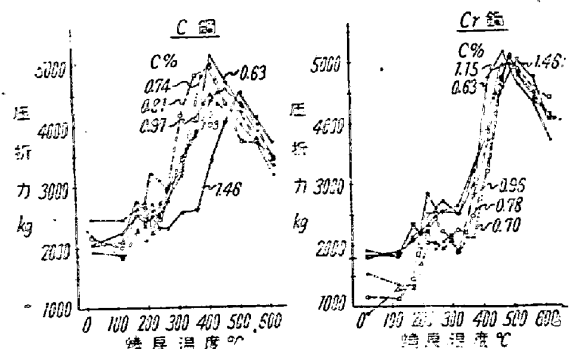


第5圖



第7圖

これによつて見れば、壓折力は、焼戻温度上昇により約100°迄は殆ど變化がなく、それから少しく増加があるが概して始めは徐々に續いて急激に増加して、約400~500°で極大を示し、それから却つて減少して居る。所が最大撓みの方は、焼戻温度上昇により、約350~450°迄は値が低く且殆ど變化がないか或は少しく増加するに過ぎず、この温度以上では急速に直線的に増加して居る。而して破斷に要する仕事量も又撓みと殆ど同一變化傾向を示す。



第8圖

次に破断に対する抵抗を更に詳細に比較する爲に、第8圖にC鋼及びCr鋼の各種C含有試料の焼戻温度による壓折力の變化を纏めて圖示した。これらによつて見れば焼戻温度による壓折力の變化は振り衝撃値の場合に比し次の2つの點で著しく異なる。(1)振り衝撃値は焼戻温度175~225°に於て一般に著しく増加したが、壓折力はそれ程著しくは増加せず、200°前後に於て小さな極大を、200~300°に於て更に小さな極小を作るものが多いが、試料によつてはこれも判然とししない。(2)振り衝撃値は焼戻温度400~450°以上では急激に増加する一方であつた。然し壓折力は250~305°以上では焼戻温度上昇により最初は可成り急激に増加するが、400~500°に於て大きな極大を作り、これ以上では減少する一方となる。

iii) Cの影響

C鋼に於ては、焼戻温度約150~200°以下では何れの試料も壓折力が2,000~2,500kgの様に小さく、C含有量による一元的の影響は認められない。焼戻温度が更に上昇するのは前述の如く大約400~500°に於て壓折力の山を作り、この山の頂點即極大値はCが増す程少しく低下する様に見えるがC0.61~0.81及0.97~1.46%間では大差がなく、前者では大約5000kg程度、後者では大約4500kg程度である。又壓折力極大を示す焼戻温度は概略的に見ればCが高くなる程高温側にずれる傾向がある様で、C0.63~0.97%では約400°、1.08%では約450°、1.46%では約500°である。

所がCr鋼に於てはCの一元的影響というものが殆ど認められず、唯壓折力極大を示す焼戻温度がC量高い試料程僅かに高温側にずれる傾向が認められる程度である。

次に最大撓み及破断に要する仕事量に於ては、C鋼に於てもCr鋼に於ても、焼戻温度が大約350°迄はC量による影響が殆ど認められないが、概して400°以上即壓折力が極大を示しそれから逆に低下して居る温度附近に於ては、焼戻温度同一ならばC量増す程小なる値を示し、C0.63%に比し1.46%では大約1/2~1/3程度に低下して居る。換言すれば焼戻温度に対する撓みの變化曲線が高温側にずれて居る。

iv) Crの影響

第9圖(圖省略)は各C含有量別にC鋼及Cr鋼の壓折力と硬度を比較圖示したものである。これによると、C量の最も高い1.4%試料を除き、Cr鋼の壓折力はC鋼のそれに比し概して焼戻温度400~450°以下に於ては低いがこれ以上の焼戻温度に於ては高い。又壓折力が

400~500°に於て極大を示す温度は高温側に若干ずれて居り、その極大値の大きさもCr鋼の方が大である。C1.3~1.5%試料のみは何れの焼戻温度に於てもCr鋼の方が壓折力が大で(100°以下では殆ど差がない)極大を示す温度も兩者殆ど差がない。次に硬度はCr鋼の方が一般には高いが、焼戻温度の低い所ではその差の認められない試料もある。

次に最大撓み及破断に要する仕事量に對しては、全般的に見て、Crの一元的影響は認められない様である。

V. 試験結果に對する考察

焼入したC鋼を焼戻する場合、焼戻温度の上昇と共に次の如き組織の變化をなす。(1)100°附近から α マルテンサイト $\rightarrow\beta$ マルテンサイト(2)250°附近から残留オーステナイト $\rightarrow\beta$ マルテンサイト(3)300°附近から β マルテンサイト \rightarrow トルースタイトとなる。 β マルテンサイトは250°附近から α 鐵とセメントタイトとに分離し始め、350°では殆ど完全に分離してしまう(4)370~400°附近から分離したセメントタイトの凝集が起り、温度が上るに従い凝集してソルバイトとなる(5)400°附近から α 鐵の再結晶が起る。

扱つかゝる組織の變化に對應して各種の物理的機械的諸性質が變化する譯で、第10圖(圖省略)は各試料の熱膨脹の變化を示す。今こゝで問題として居る工具鋼の硬度及靱性を見ると、硬度はかゝる組織の變化に従つて段階的に變化する筈であるが明瞭に現われ難く、大體200°附近迄は殆ど不變でそれから著しき變化なく徐々に低下する。又靱性はシャルピー衝撃値や抗張試験の伸、絞ではかゝる硬度高きものゝ間の差異を試別し難い事は既に述べた所である。そこで先ず前掲焼戻温度による振り衝撃値の變化を見ると、焼戻温度約175°迄は振り衝撃値が殆ど變化せず且低い値を示すのは焼入によつて生じた脆い α マルテンサイトの爲であり、これが更に焼戻温度上昇によりこれよりも靱い β マルテンサイトに變化する時に振り衝撃値も急激に増加するのである。尙概してCの低い試料程振り衝撃値の大きいのは低C程 β マルテンサイトのC量が少い爲である。又C鋼とCr鋼とを比較した場合、C鋼の方が振り衝撃値の大きいのは β マルテンサイトのCr量の差によると考えられる。

次に約250°附近から残留オーステナイトのマルテンサイト化が始まるのであるが、これに相對應して振り衝撃値も一般に低下し、300°附近で極小を示して居るものが多い。残留オーステナイトは焼入温度同一ならばその温度に於けるCの飽和限度は高C鋼程多いのであるが

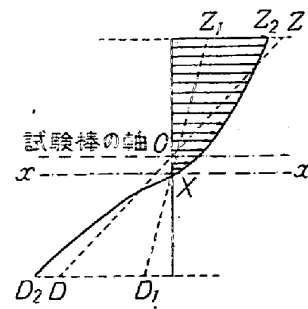
飽和限以上の高C鋼に於てはオーステナイトに溶解しない炭化物がある爲 Ar_1 變態が起り易く残留オーステナイトが減少する筈である。従つてその分解に基因する振り衝撃値の低下も或る程度迄は高C鋼程著しいが一層C量の高いものはその低下が減るのである。

更に焼戻温度が上昇すると、 300° 附近から β マルテンサイトが分解してドルースタイトに變化し始めるので振り衝撃値は再び増加し、低Cr低C鋼では概略 350° で α 鐵とセメントイトの分解が完了するが、 $370\sim 400^\circ$ から分離したセメントイトの凝集が起るので振り衝撃値は再び増加する筈であるが α 鐵の再結晶による低下が起る爲その間に極小が生ずるのであると考えられる。その後は炭化物の凝集により振り衝撃値は急速に増加するのである。振り衝撃値のこの第2の谷の變化は不明瞭なるものが多く又認められるものでもその變化する割合は僅小であるのは、 α 鐵の再結晶の影響は少くセメントイトの凝集による振り衝撃値の増加が著しい爲である。

次に焼戻温度による壓折力の變化は必ずしも振り衝撃値の變化と相對應して居ない、例えば α マルテンサイト $\rightarrow\beta$ マルテンサイト或は残留オーステナイト $\rightarrow\beta$ マルテンサイト等の變化に相對應して壓折力は振り衝撃値程著して變化を伴はないのは、應力の作用が複雑なる爲(一面は壓縮力他面は張力)十分この差を検出し得ないのである。特に壓折試験に於ける最大撓み及破斷に要する仕事はその材料の靱性そのものを表わす譯であるがこれらの諸性質は上記焼戻温度範圍に於ては著しく低い値を示し且温度による變化を殆ど示さない。

焼戻温度が更に上昇し、 β マルテンサイトの分解によつて生じたセメントイトが凝集してマルバイトとなるに従い、最大撓み及破斷に要する仕事量は急激に増加して靱性の著しく大となる事を示す。而してこれら組織の變化する温度は成分によつて若干異なる故に、靱性の急激に増加し始める温度も又成分によつて異なる。

扱て壓折力は焼戻温度上昇により $400\sim 500^\circ$ 迄は急激に増加するが、これ以上では却つて減少する理由は次の様に考えられる。壓折試験に於て、試片の斷面が常に平面であると假定すれば、斷面に於ける歪力と歪との分布は一般に第11圖の通りである。圖中Oを通る横線を棒の軸方向とし、これに直角の縦線を歪力及歪の基線とする。彈性率の變化を考慮に入れないならば歪力の分布はZODの如くなるが、若し彈性限以上の變形即塑性變形を受ける場合には中性軸は理論的のOを通る屈曲軸とは一致せず、歪は大體直線の $Z_1 X D_1$ 、歪力は彎曲



第11圖

した $Z_2 X D_2$ の様に分布する。今試料の焼戻温度が上昇すると、第4圖に示す様に、材料の最大撓みは増加する、即ち歪分布線 $Z_1 X D_1$ は基線に對し段々と著しく傾斜して行く。所が破斷する際の歪力分布曲線 $Z_2 X D_2$ の方は基線に對する彎曲度を増し、又表面の最大歪力は増加するが遂には彈性理論式より算出したものよりも却つて減少して行く點がある筈である。従つて基線と歪力分布曲線間の面積に對應する壓折力は或る焼戻温度に於て極大を示す事が定性的に推論出来る譯である。然しこの現象に對しては寧ろ次の様に説明した方が了解し易い、即約 350° 以上に於ては、析出炭化物の凝集の爲に焼戻温度の上昇に従い變形に對する滑り抵抗は減少するが一方に於て撓み變形が大となりその爲に加工硬化が増大する。この相反する2因子の爲に焼戻温度によつて壓折力に極大を生ずると考えるのである。實驗結果から見ても壓折力の變化は、焼戻温度上昇による硬度の減少と最大撓みの増加という相反する2つの性質に依存するものゝ示す變化に等しい。

以上の諸結果によつて要するに、高硬度を主眼とする場合には振り衝撃値が第1の極大を示す温度に焼戻し、硬度と共に靱性をも十分に考慮しなければならない場合には壓折力が大きく極大を形成する温度に焼戻するがよしい。

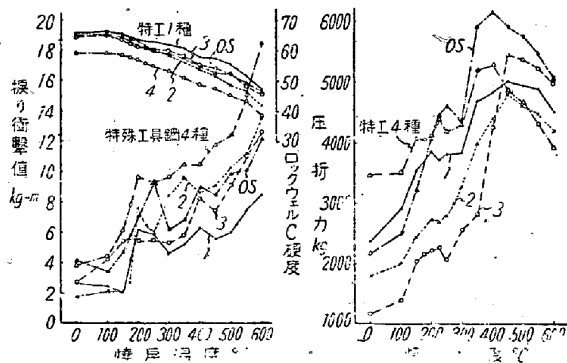
VI. 特殊工具鋼に就ての試験結果

第2表に次の成分を示した特殊工具鋼1~4種及Cr-W-V工具鋼OSの計5種類に就き、焼入後 600° 迄焼戻した場合の硬度、振り衝撃値及壓折力の變化を第12圖に示す。これによれば、振り衝撃値は4種が最大、1種が最小で、試料により大小の差(概して硬度と反對の順位)はあるが、焼戻温度によるその變化は前節に於て述べたと同様に組織の變化とよく相對應して居る。

次に壓折力の大小は必ずしも振り衝撃値の順位と一致しない。又これら特殊工具鋼に於ては、 α マルテンサイト $\rightarrow\beta$ マルテンサイト及残留オーステナイト $\rightarrow\beta$ マルテ

第2表 特殊工具鋼及高速度鋼の化學成分及變態溫度

種別	化學成分 %										變態溫度 °C		焼入溫度 °C (油)
	C	Si	Mn	P	S	Cr	W	V	Co	Ac	Ar		
特殊工具鋼 1種	1.33	0.55	0.46	0.019	0.024	1.69	4.14				770~805	710~730	840
	1.37	0.47	0.47	0.020	0.040	1.68	3.86						
" 2 "	0.97	0.29	0.24	0.038	0.022	1.09	1.00				760~780	700~709	820
	1.05	0.27	0.27	0.020	0.017	0.98	1.26						
" 3 "	0.90	0.38	0.38	0.021	0.022	0.85	0.60				745~765	660~680	800
	0.90	0.36	0.36	0.019	0.033	0.87	0.61						
" 4 "	0.46	0.20	0.20	0.016	0.032	0.77	0.55				770~810	690~730	850
	0.48	0.31	0.31	0.021	0.046	0.85	0.67						
" OS	0.85	0.30	0.30	0.013	0.033	0.44	1.72	0.30			760~795	700~730	840
	0.82	0.32	0.32	0.015	0.024	0.39	1.64	0.28					
高速度鋼 1種	0.81	0.41	0.38	0.016	0.030	3.86	12.15				815~855	725~750	1250
	0.78	0.37	0.44	0.020	0.026	4.18	13.85						
" 2 "	0.76	0.45	0.60	0.020	0.027	4.17	16.35	0.78			810~850	680~730	1275
	0.81	0.49	0.55	0.021	0.029	4.25	15.15	0.75					
" 3 "	0.82	0.46	0.60	0.018	0.021	4.24	15.15	0.75	4.11		830~860	700~740	1300
	0.80	0.43	0.44	0.015	0.018	4.24	15.80	0.76	4.41				
" 4 "	0.75	0.40	0.54	0.018	0.034	4.32	17.85	1.07	8.25		845~880	710~765	1300
	0.77	0.26	0.50	0.017	0.020	4.14	17.85	1.03	9.88				
" 6 "	0.79	0.37	0.45	0.011	0.017	4.18	10.02	1.55			850~890	320~880	1275
	0.76	0.41	0.41	0.021	0.029	4.20	10.55	1.10					



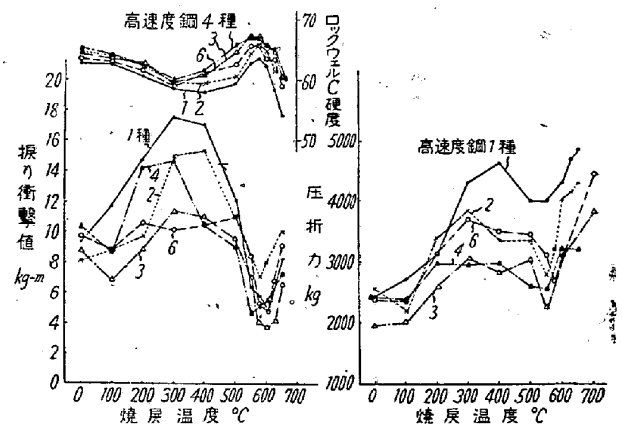
第12圖

ンサイトに對應する變化が前節のC鋼及Cr鋼の場合よりも判然と表われて居り、従つて200~250°に於ける極大、250~300°に於ける極小を明瞭に認める事が出来る。400~450°に於て大きく極大を示す事は前同様でOSの極大値が他に比し大きい。

VII. 高速度鋼に就ての試験結果

第2表にその成分を示した高速度鋼1~4及6種の計5種類に就き前記同様に試験した。

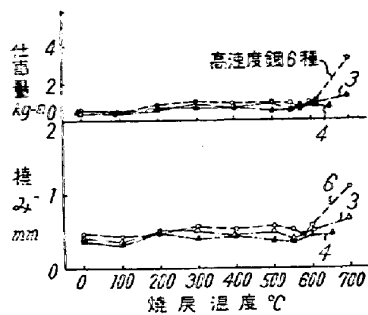
先ず第13圖によると、焼戻温度の上昇により振り衝撃値は硬度と實によく相對應した變化を示して居る。即焼戻温度が上昇するに従い、約300°はマルテンサイトの焼戻によつて硬度は低下し振り衝撃値は増加し、次に550~600°に熱すると残留オーステナイトのマルテンサイト化及炭化物の析出によつて硬度は増加し振り衝撃値は急激に著しく低下する。更にこれ以上温度が上昇する



第13圖

とマルテンサイトの分解によつて硬は急速に低下し振り衝撃値は上昇して居る。試料によつてはかゝる變化量の少いものもあるが、何れにしても二次硬化を示す550~600°の狭い温度範圍に於て振り衝撃値が急激に1/2~1/3に減少して著しく脆くなつて居る點は十分留意すべきである。

次に壓折力は、これ迄に述べた諸試料に於ては残留オーステナイトのマルテンサイト化に對應しては餘り著しい壓折力の低下を示さなかつたが、高速度鋼に於てはこれが明瞭に表われて居る。もつともこの二次硬化に於ては炭化物の析出が大いに與つて居る爲もあらうと考えられる。尙壓折試験に於ける最大撓み及破斷に要する仕事量は、第14圖に示す如く、上述の變化に相對應する傾向が僅かにうかがわれるが、それらの絶對量が小さい爲



第 14 圖

に判然としない。

最後に高速度鋼の各試料を比較すると、二次硬化の最も少ない1種は壓折力に於ては最も大、二次硬化の最も大なる高 Co 鋼 3, 4 種は壓折力に於ては最も小なる値を示すが、600° 附近の振り衝撃値に於ては各試料間に大差がない。然し焼戻温度の低い側に於ては、1種は最も大なる値を示し、6種は焼戻温度による變化が少い。

何れにしても高速度鋼に於ては、焼戻温度による組織従つて硬度の變化に相對應して振り衝撃値及壓折力が實に明瞭に變化している事は興味深い事である。

VIII. 總 括

以上述べた所を總括すれば次の如くである。

1) Cr 約 0.4 及 1.0% の兩系に就き C を約 0.6~1.5% に變化させた低合金工具鋼を油焼入後約 600°迄焼戻し、衝撃振り及壓折試験を行つて硬度と靱性ととの變化を研究した。

2) 振り衝撃値は焼戻温度の上昇に従い、約 100~150° から α マルテンサイト \rightarrow β マルテンサイトの變化により急激に増加し、300° 附近に於て残留オーステナイトのマルテンサイト化により一旦減少するが、この温度以上では β マルテンサイト \rightarrow トルースタイト \rightarrow ソルバイトの變化により炭化物の凝集に伴い最初は徐々に後急激に増加する。但し 400~450° に於て α 鐵の再結晶により若干減少の傾向を示すものもある。

3) 振り衝撃値に及ぼす C 量の影響は、C 鋼 (低 Cr) でも Cr 鋼でも、焼戻温度約 175° 以下に於ては認められないが、これ以上に於ては概して高 C 試料程低い値を示す傾向が認められる。又 Cr の影響は概略的に見れば C 量が等しいもの、間では低 Cr 試料の方が振り衝撃値が大きく、その差は C 0.9% 程度の場合が最も大である。尙焼戻温度による振り衝撃値の變化する有様は C 量の等しいもの、間では概して同様の傾向を示す。

4) 壓折力は焼戻温度の上昇により約 150~200° に於て著しく増加、約 200~300° に於て少しく減少する

が、概してこの温度以上では急激に増加し、400~500° に於て大きな極大を示した後再び減少する。然るに壓折試験に於ける最大撓み及破斷に要する仕事量は 350~450° 迄は焼戻温度により殆ど變化せず且低い値を示すが、これよりは急激に増加する。

5) 壓折力に及ぼす C の影響は、C 鋼に於ては焼戻温度低き場合には殆ど認められないが、400~500° 附近に於ける壓折力の極大は C が高い程概して焼戻温度の高い方に移動し且その値は低くなる傾向がある。然し Cr 鋼に於てはかかる差異は餘り認められない。次に Cr の影響は、Cr が多くなると壓折力は概して焼戻温度 400~450° 以下に於ては低くなるか或は殆ど等しいがこれ以上に於ては高く、400~500° に於ける壓折力の極大値も大で且かかる極大を示す焼戻温度は高温側に若干ずれるものが多い。又最大撓み及破斷に要する仕事量は、C 量が増すと焼戻温度 350~450° 以上に於ては高温側にずれ、Cr 量によつては殆ど變化しない。

6) 硬度は焼戻温度 150~200° 位から徐々に低下するが、一般に C 或は Cr の高い程大で、その差は焼戻温度が高い程著しくなる。

7) 焼戻温度による振り衝撃値の變化は、組織の變化による靱性の變化としてよく説明されるが、壓折力の變化は組織の變化と餘り相對應しないものも多く、特に 400~500° 附近に於ける壓折力の極大は試片斷面の歪力分布圖の考察とか、或は變形に對する滑り抵抗と加工硬化との相關々係によつて説明される。

8) これらの試料に於ては工具として硬度を主目的とし靱性の大きなものを得んが爲には、振り衝撃値が極大を示す温度即 200° 位に焼戻するがよい。又硬度と共に靱性を十分に考慮しなければならない場合には壓折力が大きく極大を示す温度に焼戻するがよいと思われる。

9) 特殊工具鋼 1~4 種及 Cr-W-V 鋼の 5 種類に就ても同一要領で試験した結果、上述したと同じ變化傾向を示し、焼戻温度 200~250° に於ける極大、250~300° に於ける極小が明瞭に表われる。

10) 高速度鋼 1~4 及 6 種に就いても同様に試験した所、焼戻温度による組織従つて硬度の變化特に二次硬化に對應して振り衝撃値及壓折力が實に明瞭に變化して居る。

終りに臨み、終始御鞭撻を賜りし渡邊社長、色々と御指導下さいました玉置研究部長及村上武次郎先生に對し深甚の謝意を表する次第であります。

(昭和 26 年 3 月寄稿)

文 献

- 1) 市原通敏：機械學會論文集，2 (1936)，195
- 2) "：日本金屬學會誌，2 (1938)，552
- 3) 市原通敏：日本金屬學會誌，5 (1941)，188
- 4) D. Bach, R. Baumann, Elastizität u. Festigkeits (1924), 271, 288.