

その傾向は少くなる様で珪素量の多いものも熱処理に依て鍛錬の影響を助けて居るものと考へられる。

第 19 圖、第 20 圖は鍛錬比 4:1 と 2:6 との試験成績の差を示すものであつて焼鈍状態及熱処理状態のものの内鍛伸方向の縦試験片はその差が殆んどないが横試験片に於ては一般に鍛錬比の増加した方が成績良好であるが珪素量の増加に伴ひ鍛錬比の増加は抗張力、弾性界、衝撃抗力、打撃回数を増加し屈曲角は減少する、即珪素量の多いものは鍛錬比の増加に依りその成績は向上する。

V. 總 括

異な鑄流番號であるが、珪素の外同一成分と認めらるる同一條件の炭素鋼塊を同一條件にて比較した結果を總括するに次の如くなる。

- (1) 珪素量の増加に依り弾性界、抗張力、屈曲角度大となり断面收縮、伸、衝撃抗力、打撃回数は低下する、換言すれば靱性は低下する。
- (2) (1)の結果は靜的試験より動的試験の方に著しい

様である。

(3) 珪素量の増加する程一次結晶の破壊困難で鍛錬効果の徹底が不十分となる。

(4) (1)(2)の結果は熱処理状態より焼鈍状態に於て著しく現はれる。

(5) (3)(4)の結果より珪素量の多いものも鍛錬比を増加し熱処理を行ふ事に依て靱性の低下を回復する事が出来る。

(6) 熱処理を行たものは珪素量の増加に依り疲労試験結果は著しく向上する。

以上の結果となるが珪素量の多い場合に於ても普通の目的に使用する場合は珪素量 0.6%迄のものも差支へなく使用出来る程度である。然し本研究の目的たる珪素量に強いて限度を設くるならば以上の結果に依り 0.4%以下としたい考へである、尙本研究は炭素鋼に就て行たものであつて 0.3%以下の珪素量のものには比較研究を行て居ないことを附言する。

航空發動機用曲軸鋼の撰定並其の將來に就て (其の 2)

(第 3 回工學大會講演 昭和 11 年 4 月)

高 瀬 孝 次*

ON THE SELECTION OF CRANKSHAFT STEEL FOR AERO-ENGINE AND ITS FUTURE REQUIREMENTS.

K. Takase.

SYNOPSIS—: In the course of this paper an additional study to the former papers (TETSU TO HAGANE, XIX, No. 4 and XX, No. 2) is reported and the results are summerized as follows.

Judging from endurance strength obtained by notched bar fatigue tests, ductile steels have no inferior value to that of hard and brittle ones, while the latters show much sensitiveness for notch-effect proportional to their hardness in spite of the endurance superiority for round and smooth specimen.

The hard steels, on the other hand, decrease their endurance strength very suddenly when some local stress be induced by any reason, the consequence is often proved by occurrence of a crack. It is to be beared in mind, therefor, that the surface finishing of a machine part made of such hard and brittle steel, should especially be fine and complete.

As the most reliable material for crankshaft, 100kg Ni-Cr steel and Ni-Cr-W steel are recommended, because the sensitiveness for notch-effect of these steels show as similar value when tempered at 500°C as that of at 600°C, while the other materials show very much difference between both tempering temperatures.

It is also suggested that almost all crankshaft steels should rather be tempered at about 500°C than at about 600°C in view of endurance properties.

緒 言

前回に於ける「航空發動機用曲軸鋼の撰定、並其の將來に就て」の研究に依て將來の曲軸鋼に對する要件の主要

を示し、就中如何なる成分の特殊鋼でも耐久度の比較上では、焼入後焼戻温度 650°~700°C 附近のものは何れも共通に劣てゐる事と、焼戻温度を若干低下し 500°C 附近として衝撃値の低い状態でも耐久度は劣ることなく却て増大する事が明となつた、之と同時に Notch の影響を一部分

* 陸軍航空技術研究所

の鋼種に就き研究した結果を發表した。

今回の研究は前述の結果を基礎として更に實驗を追加し特に焼戻温度を 500°C 及 600°C の2種類に限定し、曲軸として使用され得ると認められた9種の鋼に就き溝を付けた試験片の耐久試験を行った。試験機は Amsler Hammer Machine であつて破断に至る迄の回数を比較する事とした。

I. 研究の概要

航空發動機用曲軸鋼の撰定の良否並適否を決定する事は様々の條件に支配されて非常に重大であり困難な問題である。筆者の見解に依れば強度的耐久度の信頼性の點から主として次の如き各條件を考慮の上決定さるべきものと思ふ即ち

1. 鋼材の化學的成分
2. 熱處理に基く物理的試験結果
3. 火造鍛造の方式
4. 機械的加工及仕上の狀況

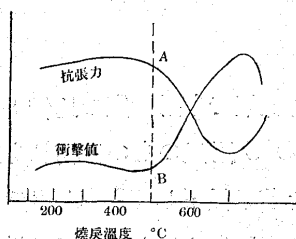
之等各項目に互り稍詳細に前論文中に説述したが、今回の研究は主に上記4項の機械的加工及仕上に最關係の深い切溝の影響 (Notch effect) と材料の耐久性との關係に就き實施し、適當な成分の鋼材と熱處理温度とを決定したものである。

本試験に於ては熱處理の種類は何れの特種鋼に對しても焼入後焼戻を行ひ、其焼戻温度を 500°C と 600°C (持續時間 30 分) とに一定し比較した。

此の兩温度を指定した理由は次の通りである。即ち 600°C の焼戻温度は從來の特種鋼には概ね適當として實施された温度であつて、特種鋼としては硬度と靱性とを兼備してゐると稱せられたものである。之に對し焼戻温度 500°C は筆者の見解に従へば、將來曲軸の様な用途の特種鋼の焼戻の際には適當であると見做される温度である、即ち何れの特種鋼でも共通に其耐久性強度を重視した場合適當であると認めるものである

左圖は空氣焼入特種鋼の一例を焼入した後焼戻温度を種々に變へた場合の機械的試験

就中抗張力と衝擊値との變化を代表的に示した曲線であつて 500°C の點から以上 (A. B 點が示す) で兩曲線の著



て 500°C の點から以上 (A. B 點が示す) で兩曲線の著

しい性質上の急變を認められ、600°C では其最激しい途中であるに拘らず、從來の熱處理では實地の焼戻温度として多くの場合に採用される習慣になつてゐる。

本試験では兩焼戻温度の適否を特に研究したものである次に曲軸用鋼材としての耐久性強度を主眼として研究する際に其最適當なる疲労試験機を決定する爲に、發動機の曲軸が直接回轉中其軸受部に絶えず爆發壓力を受けてゐる事から見て之に最狀況の酷似してゐる様な疲労試験として Amsler Hammer Machine を撰んだものである。

此の試験機により丸棒試験片だけに就て行つた耐久試験結果に就て要約すれば、各種特殊鋼共に焼戻温度を一定とし硬度に差があれば耐久度は硬度に正比例し、又同一鋼種であつて焼戻温度を異にし硬度を異にする場合でも耐久度は硬度に概ね正比例してゐる。(前論文參照)

然るに曲軸の様な實物に於ては其形状と機械的仕上狀況が常に一定でなく、局部的に精細に觀察する時は刃具の切疵があつたり、其程度が様々であつたりして、著しく切溝の影響を受ける事は免れない。耐久度は之等の程度に著しく影響を受ける事明であるので切溝の影響を主とした耐久試験を研究しなくてはならない事は當然である。

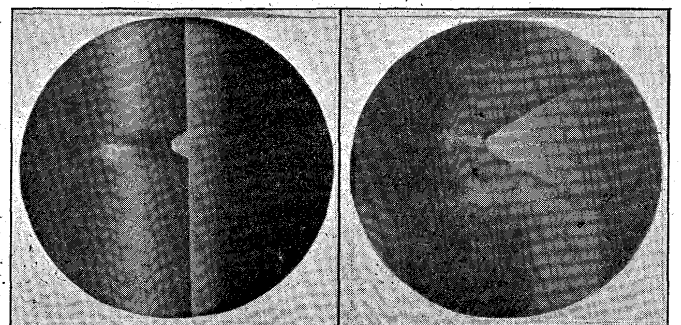
以上の理由の下に、Amsler Hammer Machine に依る耐久試験に於て切溝を付けた試験片の疲労試験を行つて各鋼種毎に數值的に耐久度の低下程度を比較する事とした尙前述の理由に基き焼戻温度を 500°C 及 600°C の兩狀態に限定して比較研究する事とした。

II. 試験に供せられた鋼材

1. 鋼材の諸性質: 一 試験前に豫め選定せられた鋼材の種類、成分、並測定された機械的諸性質は第1表の通りである。
2. 熱處理と試験片の形状: 一本試験に供する爲に豫め施された鋼材の熱處理、並試験片の形状は第2表の通りで

第 1 圖 ×36

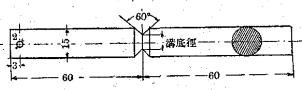
第 2 圖 ×44



第 1 表

鋼 種	化 學 成 分 %								機 械 的 諸 性 質						熱 處 理 °C
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	その他	降伏點 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸 %	絞り %	衝擊値 kg.m/cm ²	ブリネ ル硬度 3,000 kg	
マクロン鋼	0.28	0.25	1.28	0.016	0.022	—	1.32	—	—	—	—	—	—	—	} 焼入 850 油冷 焼戻 600 水冷
86 kg Ni-Cr 鋼	0.27	0.28	0.45	0.010	0.008	3.35	0.89	88.7	95.9	23.1	67.0	18.9	285		
94 kg Ni-Cr 鋼	0.37	0.32	0.46	0.015	0.011	3.17	0.84	90.3	100.7	22.3	61.1	13.8	285	} 焼入 850 油冷 焼戻 600 油冷	
102 kg Ni-Cr 鋼	0.27	0.38	0.42	0.016	0.012	2.96	1.20	—	109.2	20.7	66.6	15.5	306		
Ni-Cr-W 鋼	0.18	0.18	0.50	0.017	0.016	4.12	1.45	Mo 0.41 W 0.78 Mo 0.18 V 0.10	—	—	—	—	—	} 焼入 850 空冷 焼戻 580 空冷	
タハード鋼	0.26	0.19	0.80	0.031	0.011	3.17	1.62	Mo 0.53	102.9	115.5	18.6	56.8	352		
Cr-Mo 鋼	0.50	0.33	0.46	0.012	0.012	—	1.27	Mo 0.32	112.1	122.8	17.8	51.6	341	} 焼入 850 油冷 焼戻 600 空冷	
CN 12 鋼	0.27	0.20	0.45	0.015	0.011	2.90	2.96	Mo 0.59	104	117	19.6	65.4	331		
6% Cr 鋼	0.34	0.27	0.42	0.020	0.015	—	5.66	Mo 0.48	—	—	—	—	—	} 焼入 600 空冷 焼戻 600 油冷	

第 2 表

鋼 種	熱 處 理		試験片の形状 単位 mm
	焼入 °C	焼戻 °C	
マクロン鋼	850 油冷	500 600 水冷	 <p>丸棒試験片は径を 15 mm とし、 溝付試験片は溝底径を 14, 13, 12, 11, 10, 9 mm の 6 種とした</p>
86 kg Ni-Cr 鋼	850 油冷	500 600 水冷	
94 kg Ni-Cr 鋼	850 油冷	500 600 水冷	
102 kg Ni-Cr 鋼	850 油冷	500 600 油冷	
Ni-Cr-W 鋼	870 空冷	500 600 油冷	
タハード鋼	850 油冷	500 600 空冷	
Cr-Mo 鋼	850 水冷	500 600 空冷	
CN 12 鋼	950 空冷	500 600 油冷	
6% Cr 鋼	830 油冷	500 600 空冷	

ある。試験片の溝底の仕上の一例は左表に示す通りである第 1 圖は溝底径 14 mm, 第 2 圖は溝底径 9 mm のものの擴大寫眞であつて溝底は幾分丸味 (半径 0.3 mm 以下) を有してゐる。

試験機は Amsler Hammer Machine で試験機の構造に従ひ衝擊荷重を與へる爲の曲率半径を 5 cm に一定した。

II. 試験結果

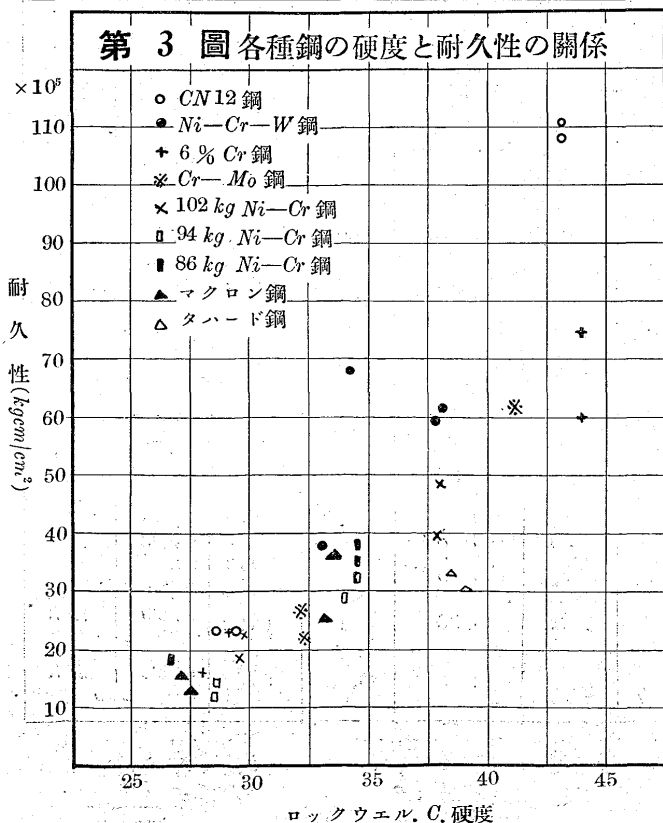
1. 硬度和耐久度との關係:— 全體の試験片に就き硬度を測定し、其の平均値を比較對照して次の様に焼戻温度毎に一定範圍の硬度別に鋼種を分類する事が出来る。

第 3 表

焼戻 500°C の場合			焼戻 600°C の場合		
ロックウェル C 硬度			ロックウェル C 硬度		
約 34	約 38	41~44	27~28	29~30	約 34
マクロン鋼	102 kg Ni-Cr 鋼	Cr-Mo 鋼	マクロン鋼	102 kg Ni-Cr 鋼	Cr-Mo 鋼
86 kg Ni-Cr 鋼	タハード鋼	CN 12 鋼	86 kg Ni-Cr 鋼	タハード鋼	Ni-Cr-W 鋼
94 kg Ni-Cr 鋼	Ni-Cr-W 鋼	6% Cr 鋼	94 kg Ni-Cr 鋼	CN 12 鋼	
				6% Cr 鋼	
A	B	C	A'	B'	C'

焼戻温度 500°C に於けるものの硬度の相互差は 600°C のものよりも著しい。

第 3 圖は硬度和丸棒試験片から求めた Amsler Hammer Machine に依て測定した耐久度 (吸収エネルギー kg.cm/cm²) との關係を圖示したものである。



第4表 切溝の耐久性に及ぼす影響 マクロン鋼 (R=5cm)

焼入温度 850°C 油冷 焼戻温度 500°C 水冷						焼入温度 850°C 油冷 焼戻温度 600°C 水冷							
番 號	溝底徑 cm	溝底徑と平 行部徑との 面積の比 %	破斷回数 N	吸收エネ ルギー kgcm/cm ² (×10 ⁵)	ロックウェル C 硬 度		番 號	溝底徑 cm	溝底徑と平 行部徑との 面積の比 %	破斷回数 N	吸收エネ ルギー kgcm/cm ² (×10 ⁵)	ロックウェル C 硬 度	
					最 小	最 大						最 小	最 大
1	1.501	丸棒試験片	94320	26.1300	32.9	33.9	1	1.502	丸棒試験片	50180	13.8750	26.7	28.0
2	1.501		130930	36.3000	33.3	34.1	2	1.502		57110	15.8000	27.0	28.0
平均			112625		33.3		平均			53645		27.3	
3	1.402	86.8	7560	2.4000	32.9	34.1	3	1.399	86.5	3810	1.2150	26.0	26.9
4	1.394	86.0	7380	2.3750	33.7	34.2	4	1.397	86.4	4570	1.4620	26.8	27.5
平均		86.4	7470		33.9		平均		86.5	4190		26.8	
5	1.305	76.0	3190	1.1690	34.5	33.7	5	1.302	75.7	2240	0.8252	26.5	27.2
6	1.307	75.7	3590	1.1312	33.2	34.5	6	1.304	75.4	2510	0.9220	26.2	27.2
平均		75.9	3390		34.0		平均		75.6	2375		26.8	
7	1.205	64.3	1570	0.6754	32.9	33.7	7	1.205	64.2	1030	0.4431	26.4	28.1
8	1.204	64.0	1460	0.6294	33.8	34.8	8	1.203	63.8	970	0.4187	26.7	27.0
平均		64.2	1515		33.6		平均		64.0	1000		26.9	
9	1.103	54.0	700	0.3595	33.0	34.5	9	1.110	54.4	450	0.2281	26.9	27.9
10	1.104	54.0	560	0.2870	32.9	34.3	10	1.104	54.3	450	0.2308	26.9	27.9
平均		54.0	630		33.6		平均		54.4	450		27.2	
11	1.003	44.6	140	0.0870	33.3	34.0	11	1.005	44.8	150	0.0928	26.9	27.3
					33.6							27.1	
12	0.905	36.5	90	0.0687	33.1	34.3	12	0.909	36.8	50	0.0378	26.5	27.8
					33.5							27.2	

第5表 切溝の耐久性に及ぼす影響 86 kg Ni-Cr 鋼、(R=5cm)

焼入温度 850°C 油冷 焼戻温度 500°C 水冷						焼入温度 850°C 油冷 焼戻温度 600°C 水冷							
番 號	溝底徑 cm	溝底徑と平 行部徑との 面積の比 %	破斷回数 N	吸收エネ ルギー kgcm/cm ² (×10 ⁵)	ロックウェル C 硬 度		番 號	溝底徑 cm	溝底徑と平 行部徑との 面積の比 %	破斷回数 N	吸收エネ ルギー kgcm/cm ² (×10 ⁵)	ロックウェル C 硬 度	
					最 小	最 大						最 小	最 大
1	1.499	丸棒試験片	128520	35.7400	34.1	34.9	1	1.499	丸棒試験片	67860	18.8650	26.8	27.0
2	1.494		138610	38.7700	34.1	34.9	2	1.499		67860	18.8650	26.8	27.0
平均			133565		34.5		平均					26.8	
3	1.397	86.8	7960	2.5930	33.8	34.4	3	1.398	86.6	4940	1.5780	26.2	27.0
4	1.399	87.3	7840	2.5010	32.3	34.0	4	1.405	87.4	5070	1.6040	26.8	28.1
平均		87.1	7900		33.7		平均		87.0	5050		27.0	
5	1.298	74.8	3520	1.3040	33.2	34.0	5	1.306	76.6	2250	0.8230	26.2	26.5
6	1.303	75.7	3846	1.4125	33.5	34.1	6	1.303	75.4	2530	0.9310	26.8	27.1
平均		75.3	3680		33.8		平均		76.0	2390		26.7	
7	1.198	63.4	1520	0.6615	34.1	35.0	7	1.205	64.6	1110	0.4775	26.9	27.8
8	1.203	63.9	1480	0.6390	34.1	35.0	8	1.205	64.6	1060	0.4561	26.0	26.7
平均		63.7	1500		34.4		平均		64.0	1085		26.9	
9	1.100	53.9	620	0.3200	33.8	35.0	9	1.103	54.0	470	0.2414	26.3	27.0
10	1.103	54.2	640	0.3286	33.8	34.7	10	1.102	53.8	490	0.2542	26.3	27.1
平均		54.1	630		34.3		平均		53.9	480		26.8	
11	1.002	44.5	210	0.1305	34.0	34.9	11	1.003	44.6	160	0.0994	26.9	27.3
					34.4							27.1	
12	0.903	36.0	60	0.0460	34.3	35.1	12	0.900	36.0	60	0.0463	26.6	27.3
					34.8							26.9	

第 6 表 切溝の耐久性に及ぼす影響 94 kg Ni-Cr 鋼 (R=5 cm)

焼入温度 850°C 油冷 焼戻温度 500°C 水冷							焼入温度 850°C 油冷 焼戻温度 600°C 水冷						
番 號	溝底徑 cm	溝底徑と平 行部徑との 斷面積の比 %	破斷回數 N	吸收エネ ルギー kgcm/cm ² (×10 ⁵)	ロックウェル C 硬 度		番 號	溝底徑 cm	溝底徑と平 行部徑との 斷面積の比 %	破斷回數 N	吸收エネ ルギー kgcm/cm ² (×10 ⁵)	ロックウェル C 硬 度	
					最 小	最 大						最 小	最 大
1	1.499	丸棒試験片	104970	29.1700	33.7	34.7	1	1.499	丸棒試験片	53160	14.7700	29.1	28.3
2	1.499	〃	116880	32.9300	33.9	34.9	2	1.499	〃	64510	17.9350	28.0	28.7
平均			116925			34.3	平均			58835			28.6
3	1.397	86.5	6060	1.9380	32.9	34.2	3	1.402	87.2	4740	1.5500	28.1	28.7
4	1.404	87.4	6250	1.9810	33.3	34.1	4	1.401	87.1	4650	1.4780	27.0	28.5
平均		87.0	6155			33.7	平均		87.2	4695			27.9
5	1.299	75.0	2630	0.9737	32.0	34.2	5	1.299	74.9	1990	0.7368	27.9	29.0
6	1.300	76.3	2860	1.0565	34.1	34.8	6	1.303	76.2	1940	0.7140	27.4	28.7
平均		75.7	2745			34.2	平均		76.1	1965			28.4
7	1.198	63.7	1130	0.4917	33.0	34.4	7	1.199	63.7	880	0.3821	27.9	28.8
8	1.198	63.6	1140	0.4960	33.1	34.4	8	1.203	64.2	900	0.3884	27.8	29.0
平均		63.7	1135			33.9	平均		64.0	890			28.4
9	1.101	53.8	420	0.2165	33.4	34.2	9	1.102	53.8	370	0.1904	27.6	29.0
10	1.102	53.8	440	0.2264	33.4	35.0	10	1.101	63.6	370	0.1907	28.1	29.2
平均		53.8	430			34.2			53.7	370			28.5
11	1.002	44.4	130	0.0809	32.9	34.1	11	1.003	44.5	140	0.0870	28.2	29.1
						33.8						28.6	
12	0.902	36.2	50	0.0384	33.0	34.0	12	0.903	36.2	50	0.0383	28.0	29.1
						33.6						28.5	

第 7 表 切溝の耐久性に及ぼす影響 102 kg Ni-Cr 鋼 (R=5 cm)

焼入温度 850°C 油冷 焼戻温度 500°C 水冷							焼入温度 850°C 油冷 焼戻温度 600°C 水冷						
番 號	溝底徑 cm	溝底徑と平 行部徑との 斷面積の比 %	破斷回數 N	吸收エネ ルギー kgcm/cm ² (×10 ⁵)	ロックウェル C 硬 度		番 號	溝底徑 cm	溝底徑と平 行部徑との 斷面積の比 %	破斷回數 N	吸收エネ ルギー kgcm/cm ² (×10 ⁵)	ロックウェル C 硬 度	
					最 小	最 大						最 小	最 大
1	1.498	丸棒試験片	141590	39.4100	37.7	38.4	1	1.499	丸棒試験片	68070	18.9250	29.1	30.0
2	1.498	〃	174360	48.5000	37.8	38.8	2	1.498	〃	85170	23.6900	28.9	30.1
平均			157975			38.0	平均			76630			29.7
3	1.399	86.6	6710	2.1400	37.9	39.5	3	1.400	87.2	5530	1.7615	28.8	30.1
4	1.395	87.4	6800	2.1810	38.5	39.5	4	1.398	87.0	5960	1.9035	28.8	30.1
平均		87.0	6755			38.9	平均		87.1	5745			29.6
5	1.305	75.7	2460	0.9030	37.0	38.6	5	1.301	75.7	2920	1.0725	28.8	31.0
6	1.301	75.4	2320	0.8557	37.2	38.8	6	1.303	76.1	2330	1.0405	29.2	30.3
平均		75.6	2390			38.0	平均		75.9	2875			29.9
7	1.206	64.3	1020	0.4378	37.9	39.1	7	1.200	63.8	1300	0.5640	29.6	30.2
8	1.203	64.1	830	0.3583	37.9	38.8	8	1.206	64.5	1240	0.5322	29.2	29.9
平均		64.2	925			38.3	平均		64.2	2170			29.8
9	1.105	54.3	320	0.1636	37.9	39.0	9	1.098	53.6	480	0.2485	29.0	30.3
10	1.105	54.3	290	0.1483	37.9	38.7	10	1.102	54.1	550	0.2859	20.7	30.1
平均		54.3	305			38.2	平均		53.9	515			29.2
11	0.995	43.9	130	0.0821	37.9	38.9	11	1.003	44.6	180	0.1118	28.5	29.0
						38.4						28.8	
12	0.898	35.8	50	0.0388	38.3	39.0	12	0.898	35.7	60	0.0466	28.9	30.3
						38.8						29.3	

第8表 切溝の耐久性に及ぼす影響 Ni-Cr-W 鋼 (R=5cm)

焼入温度 870°C 空冷 焼戻温度 500°C 油冷							焼入温度 870°C 空冷 焼戻温度 600°C 油冷						
番 號	溝底徑 cm	溝底徑と平 行部徑との 斷面積の比 %	破斷回數 N	吸收エネ ルギー kgcm/cm ² (×10 ⁵)	ロックウェル C 硬 度		番 號	溝底徑 cm	溝底徑と平 行部徑との 斷面積の比 %	破斷回數 N	吸收エネ ルギー kgcm/cm ² (×10 ⁵)	ロックウェル C 硬 度	
					最 小	最 大						最 小	最 大
1	1.498	丸棒試験片	212860	59.2000	37.0	38.2	1	1.497	丸棒試験片	133800	37.2800	32.9	33.7
2	1.499	〃	220730	61.3700	37.0	38.6	2	1.499	〃	244380	67.9400	32.9	34.5
平均			216795		37.9		平均			189090		33.7	
3	1.403	86.8	6270	1.9890	37.0	38.2	3	1.400	86.7	6080	1.9375	33.3	33.9
4	1.400	86.4	6630	1.9200	37.2	38.2	4	1.399	86.6	5950	1.3975	32.8	34.0
平均		86.6	6150		37.7		平均		86.7	6015		33.5	
5	1.303	74.6	2710	0.9970	36.0	36.9	5	1.300	75.4	2710	1.0020	33.8	34.1
6	1.301	75.0	2520	0.9290	37.3	38.8	6	1.302	75.4	2670	0.9840	32.8	33.4
平均		74.8	2615		37.0		平均		75.4	2690		33.5	
7	1.201	63.7	1000	0.4335	37.4	38.2	7	1.203	63.9	1220	0.5270	33.2	34.9
8	1.109	64.0	990	0.4282	37.0	38.5	8	—	—	—	—	—	—
平均		63.9	995		37.8		平均		—			34.1	
9	1.109	54.1	400	0.2029	37.5	39.0	9	1.100	54.1	430	0.2220	32.9	33.5
10	1.103	53.8	370	0.1900	37.5	38.7	10	1.100	53.4	560	0.2890	32.8	33.8
平均		54.0	385		38.2				53.8	495		33.1	
11	1.001	44.5	130	0.0809	37.4	38.5	11	1.006	44.8	170	0.1054	32.5	34.0
					38.0							33.1	
12	0.902	36.0	50	0.0384	37.0	38.6	12	0.897	35.5	70	0.0545	32.5	33.4
					37.6							33.0	

第9表 切溝の耐久性に及ぼす影響 マハド鋼、(R=5cm)

焼入温度 850°C 油冷 焼戻温度 500°C 空冷							焼入温度 850°C 油冷 焼戻温度 600°C 空冷						
番 號	溝底徑 cm	溝底徑と平 行部徑との 斷面積の比 %	破斷回數 N	吸收エネ ルギー kgcm/cm ² (×10 ⁵)	ロックウェル C 硬 度		番 號	溝底徑 cm	溝底徑と平 行部徑との 斷面積の比 %	破斷回數 N	吸收エネ ルギー kgcm/cm ² (×10 ⁵)	ロックウェル C 硬 度	
					最 小	最 大						最 小	最 大
1	1.497	丸棒試験片	115920	32.3000	38.1	38.7	1	1.498	丸棒試験片	—	—	—	—
2	1.498	〃	162260	45.2000	38.9	39.2	2	1.498	〃	83430	23.2000	28.5	29.1
平均			139090		28.8		平均					28.8	
3	1.400	87.3	4820	1.5360	38.5	39.9	3	1.401	86.8	5490	1.7450	28.9	29.4
4	1.397	86.5	4790	1.5330	38.6	40.0	4	1.400	87.4	5410	1.7240	28.8	30.1
平均		86.9	4805		39.3		平均		87.1	5450		29.3	
5	1.305	75.4	1430	0.5245	38.9	39.8	5	1.306	75.8	2620	0.9582	29.0	30.2
6	1.298	75.0	1690	0.6270	38.9	40.0	6	1.304	76.0	2410	0.8857	28.5	29.7
平均		75.2	1560		39.4		平均		75.9	2515		29.4	
7	1.206	64.1	690	0.2961	38.5	40.0	7	1.206	64.2	1040	0.4465	29.9	30.3
8	1.200	63.8	660	0.2861	38.0	39.8	8	1.204	64.2	1060	0.4571	29.6	30.5
平均		64.0	675		39.1		平均		64.2	1050		29.9	
9	1.108	54.6	180	0.0916	38.3	40.0	9	1.107	54.7	420	0.2141	29.4	30.0
10	1.100	53.6	190	0.0981	38.4	40.0	10	1.111	54.8	440	0.2225	30.1	30.4
平均		53.8	185		39.2		平均		54.8	430		29.9	
11	1.007	44.9	80	0.0493	78.8	40.0	11	0.996	44.5	130	0.0818	29.6	30.0
					39.4							29.5	
12	0.904	36.1	30	0.0229	38.3	39.9	12	0.908	36.7	70	0.0530	29.2	30.2
					39.3							29.8	

第 10 表 切溝の耐久性に及ぼす影響 Cr-Mo 鋼 (R=5cm)

焼入温度 850°C 水冷 焼戻温度 500°C 空冷						焼入温度 850°C 水冷 焼戻温度 600°C 空冷							
番 號	溝底徑 cm	溝底徑と平 行部徑との 斷面積の比 %	破斷回數 N	吸收エネ ルギー kgcm/cm ² (×10 ⁵)	ロックウェル C 硬 度		番 號	溝底徑 cm	溝底徑と平 行部徑との 斷面積の比 %	破斷回數 N	吸收エネ ルギー kgcm/cm ² (×10 ⁵)	ロックウェル C 硬 度	
					最 小	最 大						最 小	最 大
1	1.500	丸棒試験片	74610	—	39.9	41.3	1	1.500	丸棒試験片	77320	214400	31.9	32.2
2	1.500	〃	223410	62.1000	40.9	41.6	2	1.500	〃	96610	268500	31.9	32.8
平均					41.1		平均			86965		32.3	
3	1.400	86.6	3430	1.0925	39.7	41.5	3	1.400	87.8	5490	1.7490	33.1	34.1
4	1.407	87.8	4450	1.4030	41.9	42.5	4	1.400	87.2	5020	1.5990	33.0	34.0
平均		87.2	3940		41.7		平均		87.5	5255		33.4	
5	1.303	75.8	1000	0.3678	40.5	41.8	5	1.303	75.7	2130	0.7840	31.9	32.8
6	1.300	74.6	1160	0.4290	40.4	41.5	6	1.297	75.2	2060	0.7648	31.9	32.9
平均		75.2	1080		41.2		平均		75.5	2095		32.4	
7	1.203	64.6	340	0.1468	40.9	42.0	7	1.207	64.4	910	0.3901	32.1	34.1
8	1.201	63.7	380	0.1644	40.8	41.2	8	1.201	64.3	830	0.3591	31.9	33.0
平均		64.1	360		41.2		平均		64.4	870		32.9	
9	1.097	53.3	130	0.0638	41.0	41.7	9	1.102	54.0	320	0.1646	31.8	32.7
10	1.001	53.6	140	0.0722	41.1	42.3	10	1.106	54.5	300	0.1531	32.7	34.2
平均		53.5	135		41.6		平均		54.3	310		32.8	
11	1.003	44.6	40	0.0248	40.9	41.9	11	1.010	45.5	100	0.0612	31.9	33.0
					41.3							32.4	
12	0.902	36.2	20	0.0154	41.3	41.8	12	0.908	36.7	40	0.0306	32.9	34.1
					41.5							33.4	

第 11 表 切溝の耐久性に及ぼす影響 CN 12 鋼 (R=5cm)

焼入温度 950°C 空冷 焼戻温度 500°C 油冷						焼入温度 950°C 空冷 焼戻温度 600°C 油冷							
番 號	溝底徑 cm	溝底徑と平 行部徑との 斷面積の比 %	破斷回數 N	吸收エネ ルギー kgcm/cm ² (×10 ⁵)	ロックウェル C 硬 度		番 號	溝底徑 cm	溝底徑と平 行部徑との 斷面積の比 %	破斷回數 N	吸收エネ ルギー kgcm/cm ² (×10 ⁵)	ロックウェル C 硬 度	
					最 小	最 大						最 小	最 大
1	1.499	比棒試験片	390330	108.4000	42.8	43.3	1	1.498	丸棒試験片	84650	23.6000	28.8	29.9
2	1.499	〃	397610	110.5000	42.9	43.8	2	1.499	〃	85080	23.1700	28.0	29.1
平均			393970		43.2		平均			84865		29.0	
3	1.407	88.2	4390	1.3840	42.6	43.8	3	1.403	87.4	6110	1.9380	28.3	29.5
4	1.406	87.2	4050	1.2750	42.9	43.8	4	1.399	86.6	5630	1.7960	29.1	29.9
平均		87.7	4220		43.5		平均		87.0	5870		29.3	
5	1.305	75.9	1270	0.4657	42.9	43.3	5	1.297	74.7	2650	0.9840	28.6	29.8
6	1.299	75.0	1190	0.4405	42.9	43.7	6	1.300	75.3	2750	1.0160	29.0	30.2
平均		75.5	1230		43.1		平均		75.0	2700		29.6	
7	1.199	63.8	380	0.1651	42.9	43.8	7	1.204	64.6	1270	0.5478	29.5	29.9
8	1.205	64.0	590	0.2538	43.0	44.0	8	1.205	64.0	1300	0.5592	28.8	30.0
平均		63.9	485		43.3		平均		64.3	1285		29.5	
9	1.101	53.4	170	0.0876	42.7	43.6	9	1.101	53.8	610	0.3144	28.6	30.1
10	1.101	53.7	140	0.0722	42.8	43.7	10	1.096	53.2	550	0.2857	29.3	29.9
平均		53.6	155		43.2		平均		53.5	580		29.6	
11	0.998	44.1	70	0.0439	42.8	43.9	11	1.006	44.8	210	0.1295	29.2	29.8
					43.4							29.6	
12	0.903	36.4	30	0.0230	42.5	43.9	12	0.905	36.4	80	0.0610	29.8	29.9
					43.4							29.9	

第 12 表 切溝の耐久性に及ぼす影響 6% Cr 鋼 (R=5cm)

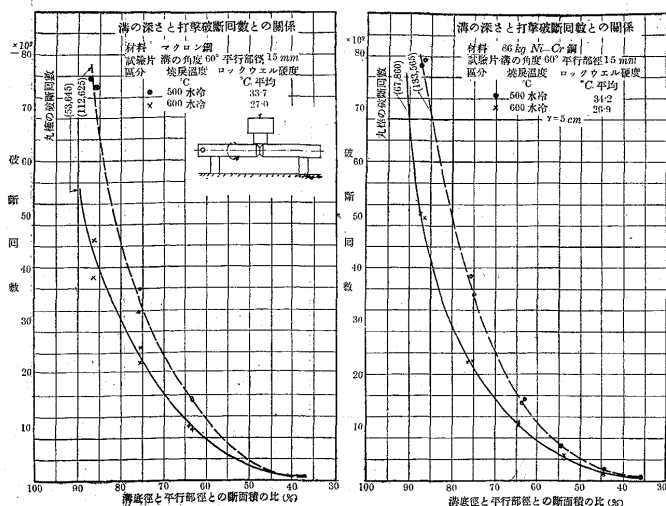
焼入温度 830°C 油冷 焼戻温度 500°C 空冷							焼入温度 830°C 油冷 焼戻温度 600°C 空冷						
番 號	溝底徑 cm	溝底徑と平 行部徑との 斷面積の比 %	破斷回數 N	吸收エネ ルギー kgcm/cm ² (×10 ⁵)	ロックウェル C 硬 度		番 號	溝底徑 cm	溝底徑と平 行部徑との 斷面積の比 %	破斷回數 N	吸收エネ ルギー kgcm/cm ² (×10 ⁵)	ロックウェル C 硬 度	
					最 小	最 大						最 小	最 大
1	1.499	丸棒試験片 〃	270520	75.2000	43.4	44.9	1	1.497	丸棒試験片 〃	59230	16.5100	27.7	28.1
2	1.499		215880	60.0000	43.3	44.9	2	1.493		84710	23.7150	28.3	29.8
平均			243200		43.9		平均			71970		28.6	
3	1.403	87.8	2000	0.6352	43.1	44.8	3	1.398	87.2	4320	1.3800	28.2	28.8
4	1.400	86.8	1490	0.4750	43.0	44.4	4	1.398	87.2	4390	1.4020	28.7	29.9
平均		87.3	1745		43.7		平均		87.2	4355		28.9	
5	1.305	75.6	290	0.1064	43.0	44.9	5	1.302	75.6	1980	0.7294	28.0	29.3
6	1.305	75.9	320	0.1174	42.9	43.8	6	1.306	76.3	1960	0.7170	28.5	30.0
平均		75.8	305		43.5		平均		76.0	1970		29.0	
7	1.203	63.7	220	0.0950	43.0	44.3	7	1.204	64.2	910	0.3923	28.5	29.1
8	1.206	64.9	160	0.0687	44.1	44.9	8	1.203	64.1	770	0.3323	27.9	28.9
平均		64.3	190		43.8		平均		64.2	840		28.6	
9	1.101	53.6	140	0.0722	43.0	44.6	9	1.105	54.5	330	0.1688	28.0	28.5
10	1.104	53.6	70	0.0359	42.9	43.9	10	1.101	53.6	310	0.1598	28.3	28.6
平均		53.6	105		43.2		平均		54.1	320		28.4	
11	1.005	44.7	60	0.0372	44.1	44.9	11	0.998	44.1	100	0.0627	29.6	30.0
					44.1							29.9	
12	0.901	36.4	20	0.0154	42.9	44.1	12	0.907	36.6	50	0.0380	29.0	29.9
					43.4							29.3	

A の部類に屬する相互間の耐久度には大差なく、B の部類に屬するものの中で Ni-Cr-W 鋼が最耐久度が高く C の部類に於ては CN 12 鋼の耐久度が最大である。又全般を通じて CN 12 鋼及 Ni-Cr-W 鋼は耐久度に於て最優秀であると見做される。尙第3圖を見れば明な様に硬度に殆ど正比例して耐久度の増してゐる事實は從來の研究と同様である。

2. 切溝試験片の耐久試験: 一 前章に示した様な溝付試験片の一群に對し Amsler Hammer Machine による耐久試験を行った結果は第 4 表乃至第 12 表及第 4 圖乃至第 13 圖の通りである。

第 4 圖

第 5 圖



第 4 圖乃至第 12 圖は、切溝の深さを逐次變へた試験片に對し矢の方向 (圖参照) に打撃を加へて試験を行った場合の破斷迄の回數の減少程度を各鋼種毎に曲線で示したものであつて、之等から次の様な事實を推定する事が出来る

イ、A の部類に屬する鋼材は一般に靱性の大なる鋼材であつて、マクロン 86 kg 94 kg Ni-Cr 鋼の三者を比較するに溝の深さを増す事に依て破斷する迄の耐久度の低下する程度は何れも大差はない、而して 500°C の場合と 600°C の場合とを比較するに溝の存在に基く耐久度の變化程度、即ち溝の影響は著しく大ではない。曲線の傾向を比較吟味するに 500°C のものは 600°C の場合の各點共に上にある。但溝の深さが極度に深くなれば耐久度は何れも一致してゐる、尙 94 kg Ni-Cr 鋼のみは此兩者の各點が著しく接近してゐる。要するに之等三種の鋼に於ては上述の曲線の關係位置が同一傾向にあるのは注意すべきである。(第 4 圖乃至第 6 圖参照)。

ロ、B の部類に屬する鋼材は稍靱性に乏しく 102 kg Ni-Cr 鋼、Ni-Cr-W 鋼、タハード鋼等之に屬し、就中 Ni-Cr-W 鋼は比較的硬度も高く耐久度も大である。而して 500°C 焼戻の場合の曲線と 600°C の場合とは何れも前項試験結果と異り、曲線は殆ど同點に重なつてゐる。又溝底の斷面積と外径斷面積との比約 80% 以下の深さの試験片では、其の耐久度は焼戻 600°C の方が 500°C の

方より幾分高い。

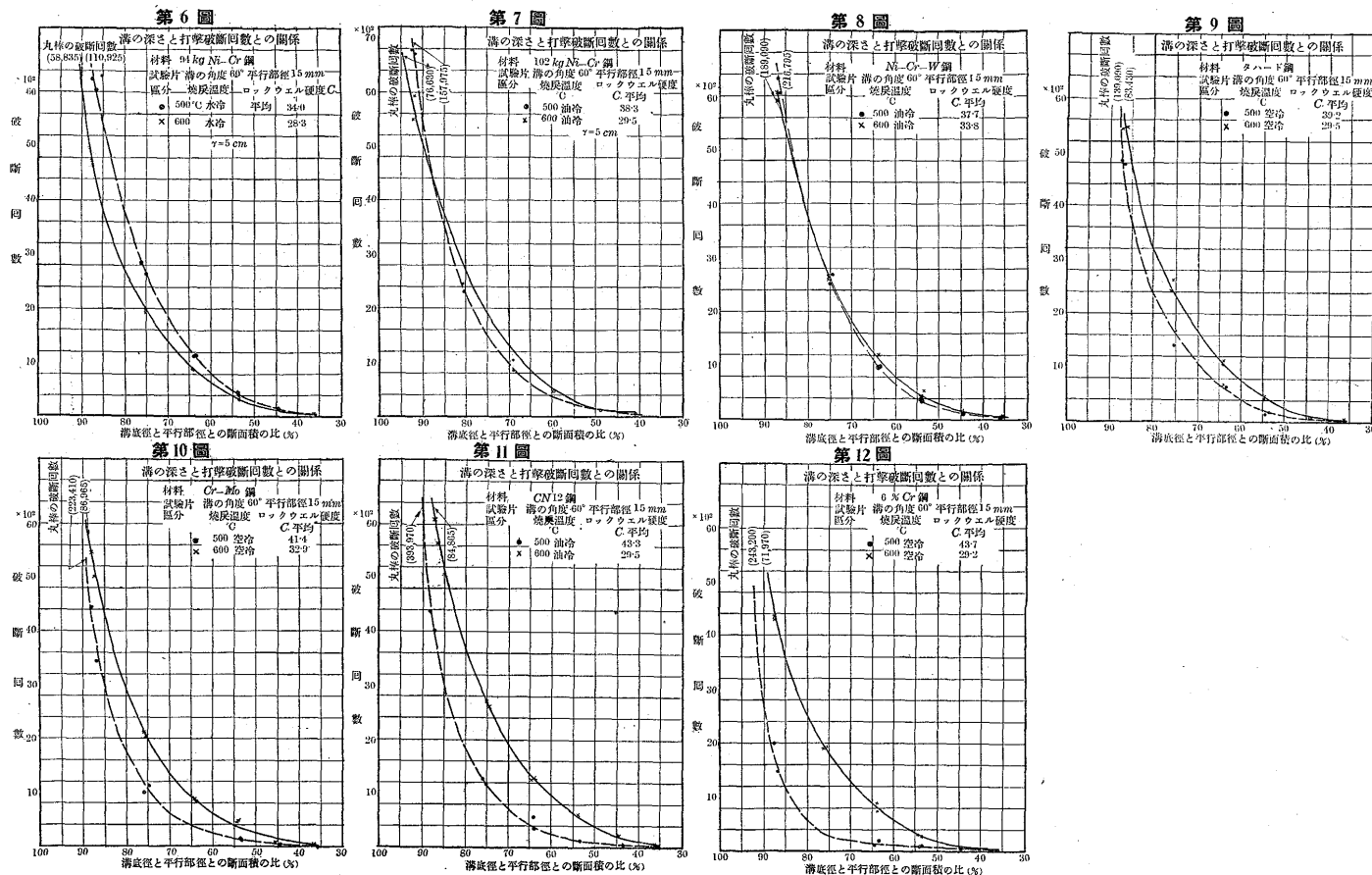
102kg Ni-Cr 鋼に於ても同一傾向を有し、タハード鋼は前二者に比し上記の影響が一層甚だしい。(第7圖乃至第9圖参照)

ハ、Cの部類に屬する鋼材では前項A Bの部類のものに比し特質著しく異り、溝の深くなる程耐久度低下し其の上硬度の高いもの程溝に対する感度鋭敏であつて、耐久度の

減少程度も甚だしくなる。而も 500°C と 600°C 焼戻の兩者の曲線を比較するに、明瞭に前試験の場合と反對に前者の場合の耐久度が後者よりも、溝の深くなる程耐久度が著しく低下してゐる。(第10圖乃至第12圖参照)

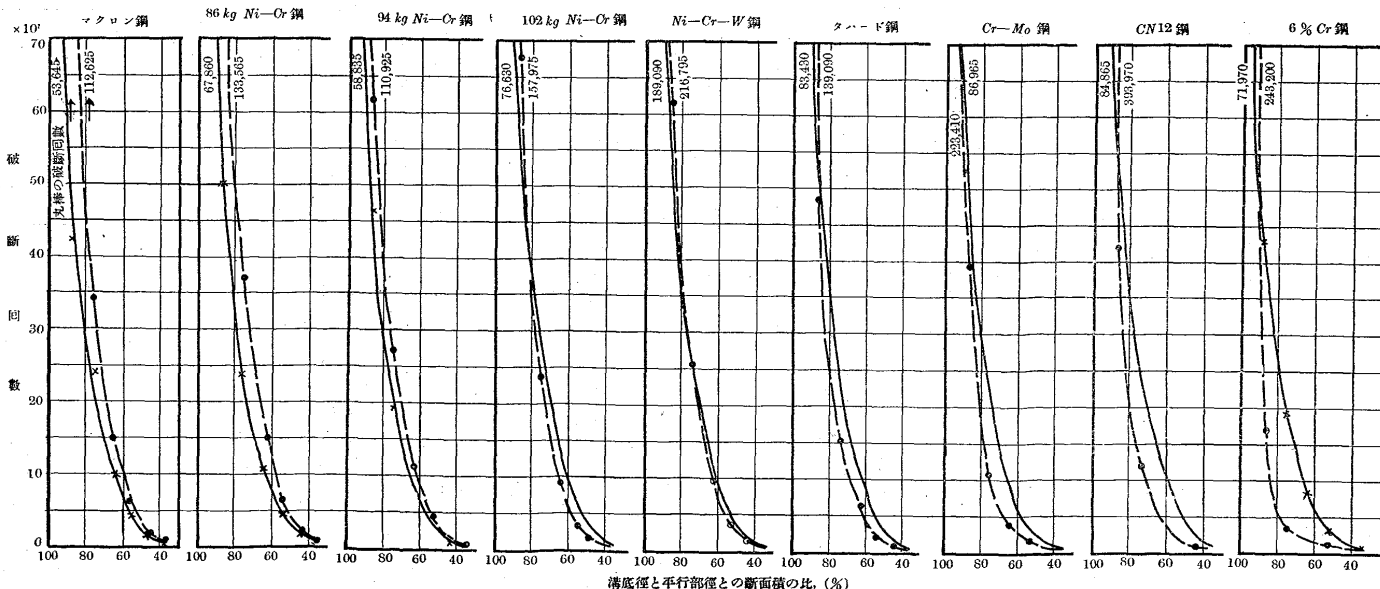
以上の關係を明瞭ならしむる爲之を第13圖に列記して置いた。

第14圖及第15圖は、切溝の各深さに對する耐久度を

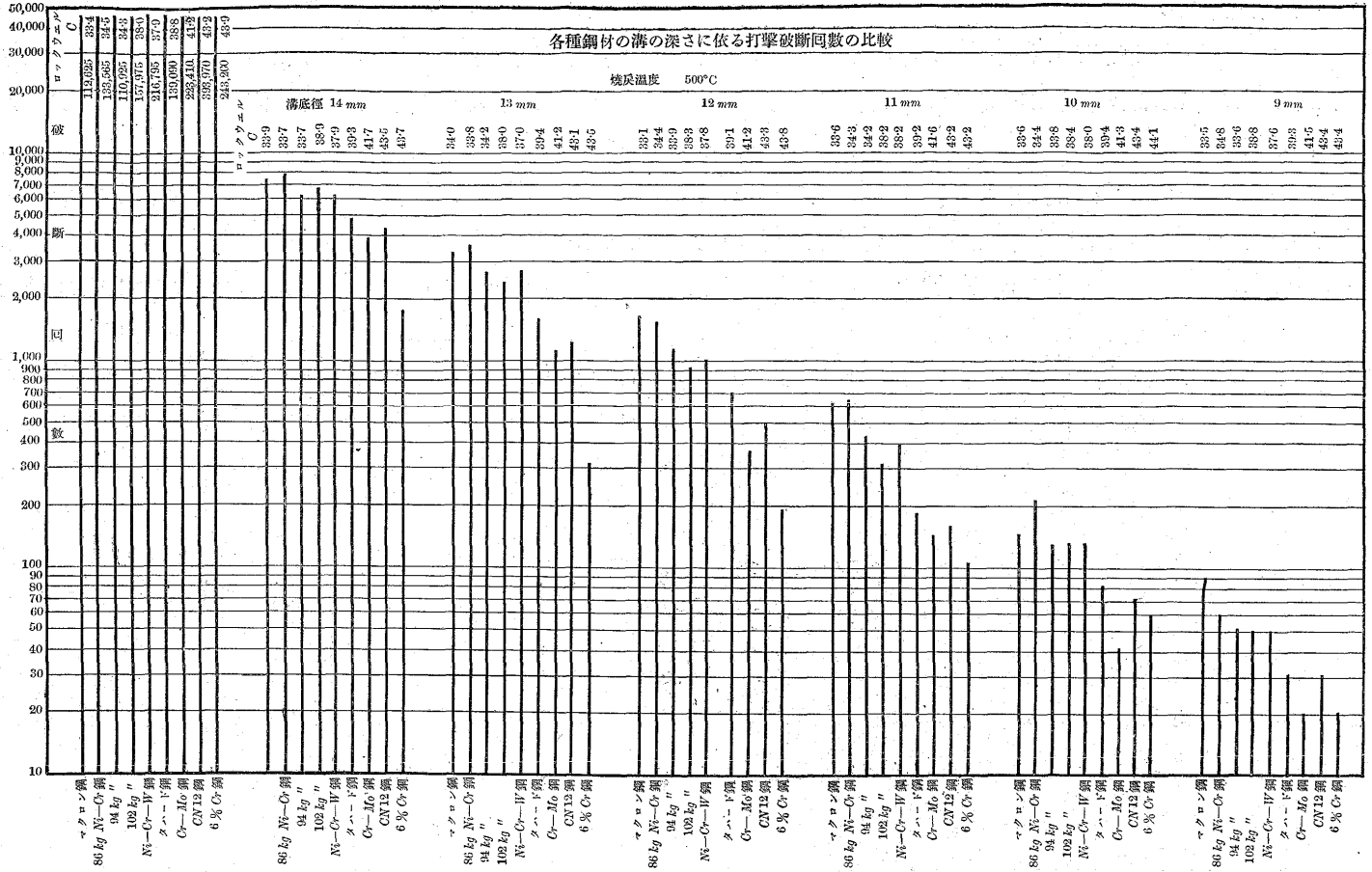


第13圖 溝の深さと打撃破断回数との關係

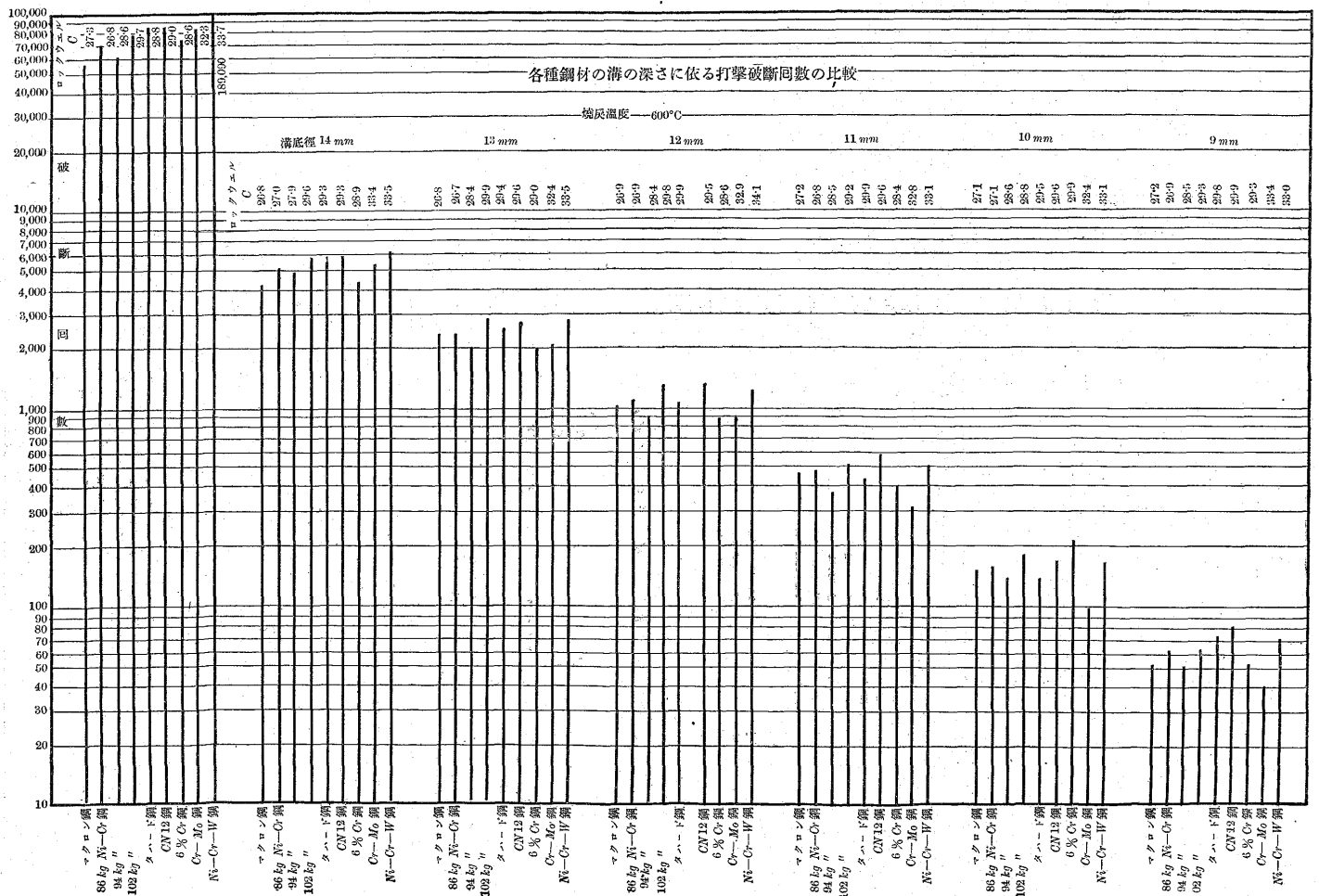
試験片 溝の角度 60°, 平行部徑 15mm
 曲率半徑 5cm
 焼戻温度 { 500°C
 { 600°C



第 14 圖 燒戻溫度 500°C



第 15 圖 燒戻溫度 600°C



硬度の順序に概ね之を列記して比較對照に便ならしめたものである。

以上の結果を更に二種の焼戻温度別に區分して考察する時は、各鋼材の特性を次の様に明に知る事が出来る。

イ、焼戻温度 500°C の場合：一溝を付した試験片に對する Amsler Hammer Machine に依る耐久度を比較するに、靱性大なる (A) の部類に屬する鋼材では 86 kg *Ni-Cr* 鋼、(B) の部類に屬する鋼材では *Ni-Cr-W* 鋼、(C) 部類に屬するものでは CH 12 鋼が比較的耐久度大である。尙總てを通じ 6% *Cr* 鋼は溝の影響を最鋭敏に受ける鋼材である事が明である、而も 500°C 焼戻の試験結果を 600°C 焼戻の場合とを曲線上から之を比較すれば著しく低く、且兩者の差が最大である。

之現象は試験された總ての鋼材の中で最特徴がある事實から考へると、特殊の用途に適する事を暗示してゐると思ふ。

ロ、焼戻温度 600°C の場合：一 (A) に屬する鋼材の中で 86 kg *Ni-Cr* 鋼は焼戻 500°C の場合と殆ど同様に耐久度は僅少の差であるが最大である。

(B) (C) に屬する鋼材では CN 12 鋼が何れの溝の場合でも最大の耐久度を有し、次で *Ni-Cr-W* 鋼が大である殊に CN 12 鋼、*Ni-Cr-W* 鋼は溝が深くなつても耐久度が餘り著しく低下しない性質を有してゐる事實から判断すれば、此等のものは將來曲軸用としても適當であらう。

IV. 結 論

試験の結果を總括すれば、先づ靱性の大なる特殊鋼材(マクロン、86 kg *Ni-Cr* 鋼、94 kg *Ni-Cr* 鋼に於ては切溝試験片の疲勞試験曲線から吟味するに、硬脆な鋼材に比して耐久度は餘り劣らない、反之硬脆な鋼材(100 kg *Ni-Cr* 鋼、*Ni-Cr-W* 鋼、タハード鋼、CN 12 鋼、6% *Cr* 鋼)に於ては脆くなるに従ひ切溝の影響が著しくなる。従て過大な負荷が局部的にかゝる時は速に分離破斷を生じ、耐久性強度を著しく低下する事が實證された。故にかゝる鋼材を使用する時は仕上を充分に吟味しなくてはならぬと言ふ

事は特に注意すべきであらう。

更に全試験を通覽する時は各種特殊鋼の中で 500°C と 600°C の兩焼戻状態に於て、切溝の耐久的影響を表すべき曲線の殆んど大差のない特殊鋼は 100 kg *Ni-Cr* 鋼及 *Ni-Cr-W* 鋼である事が看取される、此の兩鋼種は曲軸としての耐久性強度の點に於て恐らく最安全性大なる鋼材であるまいかと思はれる。

尙之と共に前論文に於ける結果と併せ比較する時は、600°C 焼戻を選ぶよりも 500°C 焼戻を選ぶ方が耐久性強度の點で安全である事も信ぜられる。

尙以上の研究結果を區分すれば次の事實が認められる。

1. 丸棒試験片で行た此の種の疲勞試験結果に依れば疲勞耐久性は殆ど硬度に正比例してゐる。

2. 切溝を付した試験片に就てこの種疲勞試験を行た場合に、假令僅かの切溝を付しても耐久度が急激に低下する、而して其の低下の程度に依て溝の影響の大小を示す事が出来ると思ふ。

溝の極めて深いものゝ耐久度は試験された鋼種の總てのものを通じて殆んど同程度である事が分る。

3. 同一鋼種では熱處理に依て硬度の差のあるものを又異な鋼種では其の硬度の絶對値に差のあるものを耐久度に就き比較するに、硬度の高いもの程この種衝擊荷重に於て著大なる應力の集中を來し易く、切溝の影響を鋭敏に受ける結果耐久度は著しく低下する、硬度の低い靱性の大なるものは幾分緩漫である。

4. *Ni-Cr-W* 鋼は 500°C と 600°C との焼戻温度の差に基く硬度差の少い結果 Notch-effect 少く耐久度大なる特性がある。

102 kg *Ni-Cr* 鋼も亦同様の性質を有するも、丸棒試験片に於ける耐久度は前者の方大である。

5. CN 12 鋼は硬度の高い割合に Notch-effect 少く、且丸棒試験片に於ける耐久度は特に大である。

6. 6% *Cr* 鋼は丸棒試験片に於ける耐久度は相當大なるも Notch-effect 特に大なれば本鋼使用に當り此の點注意を要す。