い脱炭油冷の場合には濃度大なる内部の變態により、且つ滲炭油冷より變態の time-lag 大なるため最初表面に出来た壓縮力も反轉し易く、Fig. 7 の結果はこれを證明している。これらの結果より第 2 報で述べた變態應力の出来方が更に明瞭となつた。即ち先に變態を起した層は次層の變態によりすぐ引張り應力となるのではなく、次層の變態による應力緩和と引張り力により順次應力を反轉して行くのである。最後に滲炭或は脱炭の油冷後の外表の應力値が内外の濃度のより均一な試料では(滲炭は 950°, 20 時間以上、脱炭は 950°, 5 時間以下)却つて小さくなつてゐるのは變態點の低い部分が増すので合金強度が大となる影響によるものと思はれる。これ等の事柄より一般に均一鋼を焼入し試料内外の組織の異なる時應力曲線は單純な曲線とならず谷を生じ、その谷部は試料内外の變態の相違(A_{r1} , A_{r2} , A_{r3} 等)によつて右又は左に移動し試料内の組織が等しい程右に移動することが知られる。

VI. 總 括

試料内の組織が大巾に不均一な時には各部分の變態温度及び量が異なるために應力曲線は單純な曲線にならないで谷を生ずる。從來の多くの文獻はこの點を考慮していないので著者は内外組織の異なる滲炭或は脱炭後の試料を用ひ、これに各種熱處理を行ひ殘留應力曲線の谷部の位置並に成因等を研究した。これを總括すると、

- (1) 滲炭後徐冷或は油冷した試料の殘留應力曲線には谷部を生じ、その谷は滲炭深さの大なると共に右にズレ且つ滲炭深さの少い場合を除き上に上る。
- (2) 滲炭後徐冷試料に谷を生ずるのは試料各部の炭素濃度の異なることによる A_{r1} 變態量の相違による。
- (3) 滲炭後水冷した試料は同一試料を徐冷又は油冷したものに比しその谷部が右にズレる。
- (4) 滲炭後徐急冷の試料の外表の應力は滲炭深さの小さい時は壓縮應力なるも、水冷では引張りとなり易く、何れの場合も滲炭深さ大なると共に引張應力となる。
- (5) 脱炭後の試料の徐油冷後の殘留應力曲線にも谷部を生じ、脱炭の進むと共に左下にズレる。試料外表には常に

引張應力を生じその値は油冷の場合には滲炭に比して大きい。尚脱炭後徐冷の應力は逆に一般に滲炭に比して低い。

(6) 濃度差を急激に生ずる滲炭温度低い試料を水冷或は脱炭温度の低いような試料を油冷した時は谷部は著しく右にズレ易く又外表の引張り應力値が大きい。

(7) 高温で滲炭脱炭後油冷した試料の外表の引張應力値が却つて減少する處理時間がある。

(8) これ等の結果は試料内濃度分布と變態の外へ内へつ time-lag によるものであつて、これについて説明した。

(9) 滲炭或は脱炭後の殘留應力曲線は、組織の均一な鋼が焼入後の殘留應力分布に達する迄の途中の狀態は再現しておりこの事柄より變態應力の發生の機構が明瞭となり第 2 報で述べたが、一層明確に、應力の一時緩和と次層による引張り力を受けて外層の應力は順次反轉することが判つた。

本研究を報告するに當り終始御懇篤な御指導を頂きました岩瀬慶三先生に衷心感謝申上ぐると共に熱心に研究に従事された當研究室京谷益次君の營を多とする。尚本研究費の御援助を仰いだ日本學術研究會議並に試料について御便宜を受けた京都機械株式會社に禮申上ます。

備考: 以上は著者の得た結果であるが從來の文獻に採用されてゐる Sach's の測定法についてここで考察する。この方法の技術的困難に伴ふ實驗誤差については暫くおくも、工具を用ひて削ることは今迄の例をみても一測定點より、次の測定點迄相當の間隔を生ずること及び特に第一點の測定は試料中心に穴をあけるので、中心より遠くはなれた點となつてゐる。それ故果して得られた曲線が眞の曲線を示すかどうかは疑問があり、(從來の結果を忠實にあたつてみると曲線を如何に引くべきか困難をおぼえる。)最近の文獻⁽⁶⁾によると Sach's 自身既に削る方法に疑義をもたれてゐる。この方法による時は三方向の應力分布を求め得るも正確に曲線の山や谷の位置を決めることが、むづかしく、從來の曲線そのものも更にあらゆる點に注意し丁寧な測定を行へば(測定點を細くする。)あるいは全然異つた曲線になることも考へられる。

(6) Sachs, Trans. A. I. M. E., 147 (1942), 348.

各種耐熱鋼の諸性質の比較について*

小 柴 定 雄** 野 原 孝 三 郎**

Sadao Koshiba and Kosaburō Nobara
of Different Heat Resisting Steels.
in mechanical and chemical industries, being chiefly applied to internal combustion engines.
Picking up thirteen different kinds of heat resisting steels, the writers first examined their

: On the Comparison of the Properties
The heat resisting steel is hitherto widely used
in mechanical and chemical industries, being chiefly applied to internal combustion engines.
Picking up thirteen different kinds of heat resisting steels, the writers first examined their

** 日立製作所安來工場

* 昭和23年10月本會福島大會に發表

mechanical properties at room and high temperature, and brittleness due to heating in high temperature, and then tested the resistance to oxidation in high temperature.

As the results of this investigation, it was found that the steel containing high nickel and chromium content are superior to other steels and high manganese-chromium steel containing a little vanadium or nitrogen are used as a substitution to high nickel-chromium steel for a temperature of or near 800°, and high chromium steel containing silicon are most proper for use as an inlet valve of internal combustion engine.

(Received December, 29, 1949)

I. 緒 言

従来内燃機用の主要なる耐熱鋼としては Si-Cr 鋼, Ni-Cr-W 鋼及び Cr-Ni 鋼等が多く使用されてゐる。又一方戦時中 Mo 及び Ni の急速なる節減を必要とし、これが代用として高 Mn-Cr 系大淵田鋼が種々試作研究された。將來我が國に於ても機關車或は船舶用に排氣がスタービンが用ひられるものと考へられる。従つてこれが耐熱鋼のより優れたものが要望されるであらう。

本報告は著者等が數年に亘つて研究した各種耐熱鋼に就て常溫及び高溫に於ける機械的性質の比較をなし且つ加熱による脆化試験及び耐酸化試験等を行ひ各種耐熱鋼の特性を明かにしたものであるが、紙数の關係でその一部を簡単に述べる。

II. 試 料

本研究に供した試料の化學成分を Table 1 に示す。何れも 1 噸高周波誘導電氣爐にて熔製し、これを 22mm 丸棒に壓延した。Si-Cr-W 鋼 A2 は辨用耐熱鋼で、A1 はその C 量を極度に低下し、熔接性を附與したものである。A3 は従來推力軸承座金に用ひたものであるが、又一方辨用耐熱鋼としても使用される。B1 は高 Ni を含有し、従來排氣弁に最も多く使用され、又 B4 及び B5 と共に排氣ガスタービン用に用ひられる。B2 は Cr の一部を Mn で置換した高 Ni-Mn-Cr 鋼にして主として辨座に用ひられる。C 群

は Ni を節減する爲その代用としての高 Mn-Cr 系鋼にして、更にこれが性質の向上改善を圖る爲 V 及び N₂ を含有せしめたものもある。

III. 常溫に於ける機械的性質

先づ各試料の焼入及び焼戻による機械的性質を調べた。各試料の焼入溫度は Table 2 に示す。Fig. 1 は各試料の焼戻溫度 800° に於ける抗張力及び衝擊値の比較を示す。伸及び斷面收縮率の比較圖は省略する。

Table 2

Mark	Quenching Temp.	Tempering Temp.
A-1	1050° (oil)	690° (air)
A-2	"	770° ("
A-3	1050° (air)	800° ("
B-1	950° (air)	800° (air)
B-2	"	"
B-3	1050° (air)	"
B-4	"	"
B-5	"	—
C-1	1050° (air)	800° (air)
C-2	"	"
C-3	"	"
C-4	"	"
C-5	"	"

Table 1

System	Kind of Steel	Mark	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	W	Mo	V	Ti	ReMark
High Cr (W-Si) System	Si-Cr-W Steel	A-1	0.16	1.80	0.45	0.020	0.013	0.13	11.56	1.06	0.06	—	—	S イ 332
	"	A-2	0.41	1.88	0.44	0.009	0.010	0.15	11.22	1.19	0.10	—	—	イ 332
	Cr-W Steel	A-3	0.56	0.73	0.40	0.023	0.010	—	7.12	7.00	—	—	—	イ 511
High Ni-Cr System	Ni-Cr-W Steel	B-1	0.39	2.03	0.48	0.006	0.012	13.31	15.74	2.41	—	—	—	イ 301
	Ni-Mn-Cr Steel	B-2	0.50	0.85	5.36	0.005	0.011	12.51	3.06	—	—	—	—	イ 303
	Cr-Ni Steel	B-3	0.19	0.28	0.48	0.019	0.006	7.96	17.66	—	—	—	—	イ 402
	Cr-Ni-W Steel	B-4	0.14	0.41	0.21	0.018	0.017	8.91	18.07	0.79	0.55	—	0.05	特イ 402
	"	B-5	0.13	1.40	0.38	0.023	0.015	8.31	18.69	1.19	0.55	—	Ni	イ 306
High Mn-Cr System	Mn-Cr Steel	C-1	0.15	2.03	16.33	0.019	0.020	0.11	11.09	—	—	—	Tr	イ 505
	Low C-Mn-Cr Steel	C-2	0.21	0.92	16.09	0.025	0.022	—	11.31	2.15	0.30	—	Tr	イ 307
	High C-Mn-Cr Steel	C-3	0.34	1.15	18.01	0.029	0.019	—	13.75	2.07	0.30	—	Tr	イ 308
	High C-Mn-Cr-V Steel	C-4	0.36	1.05	17.22	0.009	0.020	—	11.02	0.97	0.07	1.33	—	イ 310
	High Mn-Cr Steel Containing N ₂	C-5	0.35	1.00	16.17	0.024	0.019	—	14.67	2.09	0.39	($\frac{N_2}{0.10}$)	Tr	N ₂ -イ 308

Fig. 1 Comparison of Tensile Strength and Impact Value of Each Steels Tempered at 800°.

(1) 高 Cr 系

A 群は地鉄系耐熱鋼にして何れも変態点を有し、従つて焼入によつてマルテン組織を生じ、これを焼戻した場合温度の上昇と共に抗張力を減少すると共に靱性を増す。A1 及び A2 は何れも Si-Cr-W 鋼であるが前者の方が抗張力は低く靱性は稍大である。これは C 量の影響によるものである。

(2) 高 Ni-Cr 系

高系常温に於ける Fe-Cr-Ni 系状態図は Fe-Mn-Cr 系状態図によく似てゐる。即ち Ni 及び Mn 共 Fe-Cr 合金の大洲田生成及び安定度を促進するものである。Fe-Cr-Ni 系の大洲田界域は Fe-Mn-Cr 系に比して廣く、且つ δ 相の安定範囲も狭い。B1 の大洲田は極めて安定にして機械的性質は焼戻温度により殆ど變化しない。B2 は Ni-Cr 系の Cr を Mn によつて一部置換したもので衝撃値は著しく大である。B3, B4 及び B5 は 18%Cr-8%Ni 系の大洲田鋼であるが B4 及び B5 は W, Mo, Si 及び Ti を添加し耐熱性並びに機械的性質の向上を計つたものである。

(3) 高 Mn-Cr 系

大洲田の安定度に及ぼす Mn の影響は Ni と同様であるがその作用は Ni に比して弱い。安定性大洲田を得る爲には Mn 約 15%, Cr 約 10% を必要とする。Mn 量が多くなれば大洲田は安定となるが、Mn は耐熱性に乏しいので多量に添加するときは却つて性質を低下する。又 Cr は耐熱性を増すが、Cr 15% 以上を添加するときは α 相乃至化合物 δ 相を析出し大洲田は脆化する。従つて Mn 及び Cr の添加量に限界があり、Mn は約 15% 以上、Cr は 15% 以下にするのがよい。C1 は焼入のままにては抗張力及び衝撃値最も大であるが焼戻温度の上昇と共に抗張力を減少し、伸、絞及び衝撃値を著しく低下する。C2 及び C3 は C1 に W, Mo 及び Ti を添加し機械的性質の改善を計つた

ものである。C4 は C3 の W, Mo 及び Ti の代りに V を添加したものであるが常温に於ける機械的性質は C3 と餘り大差ない。C5 は C4 に約 0.1% の窒素瓦斯を添加したもので抗張力は C3 と大差なく、伸、絞及び衝撃値は稍大である。

次に各系鋼種の比較を見るに A 群の耐熱鋼は焼戻温度 600~700° に於て抗張力大であるが、800° の焼戻に於て大洲田系耐熱鋼と殆ど大差がない。一方靱性は著しく劣る。高 Ni-Cr 系の靱性は概ね大で且焼戻による靱性の低下は高 Mn-Cr 系に比して少い。

IV. 高温加熱による脆化試験

耐熱鋼はその使用目的により高温に於て長時間晒され或は繰返し加熱及び冷却を受けるので比較的高温に於て安定性のある大洲田鋼でも炭化物或は化合物 δ 相の析出により又は不安定なる大洲田鋼では一部 $\gamma \rightarrow M$ (マルテン) の變化が起る爲に脆くなり遂に使用不能となる。

試験方法は各試料を Table 3 の如く規定の焼入焼戻を行つた後 700° 及び 800° の温度にそれぞれ 1~20 時間加熱

Table 3

Mark	Heat Treatment	Weight Increase due to Oxidation (g/cm ²)		
		700°C:20hr	800°C:20hr	900°C:20hr
A-1	1050°(oil):690°	—	9.3×10^{-5}	—
A-2	1050°(oil):770°	—	11.1×10^{-5}	28.5×10^{-5}
A-3	1050°(air):800°	—	12.4×10^{-5}	23.5×10^{-5}
B-1	950°(air):800	5.0×10^{-5}	8.7×10^{-5}	13.0×10^{-5}
B-2	"	331.1×10^{-5}	1224.0×10^{-5}	3673.3×10^{-5}
B-3	1050°(air):800	3.7×10^{-5}	5.0×10^{-5}	14.9×10^{-5}
B-4	"	6.2×10^{-5}	13.6×10^{-5}	30.9×10^{-5}
B-5	"	2.5×10^{-5}	6.9×10^{-5}	11.1×10^{-5}
C-1	1050°(air):800	37.1×10^{-5}	62.5×10^{-5}	93.4×10^{-5}
C-2	"	37.8×10^{-5}	42.1×10^{-5}	2707.3×10^{-5}
C-3	"	28.5×10^{-5}	83.5×10^{-5}	136.1×10^{-5}
C-4	"	20.4×10^{-5}	60.6×10^{-5}	657.2×10^{-5}
C-5	"	23.5×10^{-5}	63.7×10^{-5}	134.3×10^{-5}

後空中冷却を行ひ硬度及び衝撃試験を行つた。Fig. 2~Fig. 4 は 800° の場合の實驗結果を示す。高 Cr 系耐熱鋼の硬度は加熱時間の長い程稍減少する。又 A1 及び A2 は加熱時間の長くなる程衝撃値を増加し、A3 は却て僅かに減少する。高 Ni-Cr 系耐熱鋼及び高 Mn-Cr 系耐熱鋼は何れも長時間加熱による硬度の變化は餘り著しくない。B1 の脆化程度は極めて少なく大洲田は安定である。B2~B5 の脆化程度稍大である。高温加熱による脆化は炭化物の新出効果に起因するものである。又 C1 の脆化度は稍著しい。

V. 高温に於ける機械的性質

各試料の試験前の熱処理は前述の Table 2 の通りである。各試料共試験温度は 1000~900° の各最高加熱温度に

Fig. 2 Relation between Heating Time, Hardness and Impact Value of A-Group Specimen (800°).

Fig. 3 Relation between Heating Time, Hardness and Impact Value of B-Group Specimen (800°).

Fig. 4 Relation between Heating Time, Hardness and Impact Value of C-Group Specimen (800°).

Fig. 5 Relation between Testing Temperature and Tensile Strength of Each Steels.

30分保持後試験を行った。

Fig. 5は各試料の試験温度と抗張力との関係を示す。尚他の機械的性質との関係図は省略する。

(1) 高Cr系 各試料共

400°附近までは抗張力を徐々に減少し、500°以上急激に軟化し、800°に於て抗張力約10kg/mm²を示す。伸及び絞は400°まで餘り變化なく、400°~500°に於て

靱脆性を現はし、更に500°以上急激に増大する。

(2) 高Ni-Cr系

B1の熱間抗張力は700°以上急激に減少する。伸及び絞は700°に於て極小値を示す。熱間衝撃値は温度の變化により餘り増加しない。B2は500°以上抗張力を急激に減少し伸及び絞は650°以上著しく増大する。18%Cr, 8%Ni大洲田系中B3の伸及び絞はB1と略同様の變化を示し衝撃値は700°以上増大する。B4の熱間に於ける伸及び絞は稍不規則な變化を呈し、B5はB2と同様に600°以上伸及び絞を著しく増大する。B4及びB5の衝撃値は高温に於て餘り變化しない。熱間抗張力はB1が最も大で、B2が最も低い。B4がB2に比し熱間抗張力の大なる理由はW及びMo添加の影響と考へられる。B5とB4の熱間抗張力は殆ど大差ない。18%Cr-8%Ni系鋼の熱間衝撃値は700°以上に於てB5が最も大である。

(3) 高Mn-Cr系

熱間抗張力はC1が最も低く、C2及びC3は殆ど大差ない。C4はC3に比し稍大である。又C5の熱間抗張力は極めて大で本系鋼種の中で最も優れてゐる。熱間に於ける伸及び絞は600~650°にて極小値を示し、更に温度の上昇と共に著しく増大する。熱間衝撃値はC1が最も大で且温度の變化により餘り差異なくC3, C4及びC5は温度の上昇と共に増加する。上述の結果より高Mn-Cr系大洲田鋼にW及びMoを添加すれば熱間強度を増大する。更に窒素瓦斯及びVの添加は極めて有効で殊にVの影響は顯著である。次に各鋼種の比較を見るに地鉄系耐熱鋼は500~600°以下に於て抗張力著しく大であるが700°以上に於ては大洲田系鋼に比し可成り劣る。高Ni-Cr系耐熱鋼はB3を除いて高Mn-Cr系鋼に比し600°以上に於て餘り大差ない。高Mn-Cr系耐熱鋼は高Ni-Cr系耐熱鋼に比して熱間に於ける伸及び絞が大で従つて展延性が良く熱間加工が容易であることが判る。

VI. 耐酸化試験

酸化増加重量は熱天秤及び化學天秤により測定した。試験前の熱處理方法は前述と同様である。Fig. 6は各試料の常溫より1150°までの各温度に於ける酸化増加量を熱天秤により測定した結果である。加熱時間は1時間とし、温度上昇速度は10°/minである。地鉄系鋼のA1及びA3は1000°、又A2は1050°以上急激に酸化する。而してA2が最も耐酸化性大である。高Ni-Cr系鋼に於てB1が非常に耐酸化性が良く1150°にて僅かに増加量を示す。即ち本研究試料中耐酸化性最も大である。B2は700°より酸化増加量が現はれる。B3及びB4は1100°、B5は1050°以上急激に酸化する。而して18%Cr-8%Ni系鋼は1000°以下に於て酸化量極めて少なく耐酸化性良好である。次に高Mn-

Cr系耐熱鋼 C1 は 1050°, 又他の 4 鋼種は 1000° より温度の上昇と共に急激に酸化する。C1 が酸化量の少いのは C 量

Fig. 6 Comparison of Weight Increase due to Oxidation of Each Steels at High Temperature (by therm balance).

低く且 Si 量の多い爲と考へられる。C3 は C2 に比し耐酸化性大である。又 C4 及び C5 は C3 に比し何れも耐酸化性は稍々劣る。殊に C4 に於て然りである。

次に實用温度附近に於ける耐酸化性に就て各鋼種の比較をなした。その試験方法は 800° に所要時間加熱後空冷し常温に於て化学天秤により酸化増加量を測定した。700°, 800°

及び 900° にてそれぞれ 20 時間加熱した場合の耐酸化増加量を Table 3 に示した。高 Cr 系耐熱鋼は 800° の場合 A1 及び A2 の酸化量は殆ど大差なく、A3 は僅かに劣るも 900° に於ては A2 に比して酸化量少ない。高 Ni・Cr 系鋼に於て B1, B4 及び B5 は餘り大差なく B4 は稍多い。B2 は 700° にて著しく酸化量を増大し前述の熱天秤による結果と一致する。而して本研究試料中 B2 が最も耐酸化性が劣る。これは C 量高く且 Cr 量の極めて少くしかも Mn を含有する爲と考へる。高 Mn・Cr 系鋼の各鋼種は 700° 及び 800° の場合餘り著しい差異なく、900° に於て C2 及び C4 は著しく酸化する。而して高 Mn・Cr 系鋼は高 Ni・Cr 系鋼に比し 700~800° の温度範囲に於て概ね耐酸化性劣るも實際使用上に於ける優劣は直に決定し難く用途により實用上餘り支障ないものと考へる。

VII. 結 論

上述の研究結果を要約すれば次の通りである。

(1) 内燃機用耐熱鋼 13 種に就て常温及び高温に於ける機械的性質を調べ、高温加熱による脆化試験及び耐酸化試験を行ひ各鋼種の比較をなした。

(2) 高 Cr 系地鉄鋼、高 Ni・Cr 及び高 Mn・Cr 系大洲田鋼の 3 分類による耐熱鋼の性能の比較検討をなした。

(3) 600° 以下の比較的低温に於ては寧ろ高 Cr 地鉄系耐熱鋼の方が諸機械的性質及び耐酸化性の點から優れてゐる。

(4) 700° 以上 800° 附近の實用温度の場合は高 Ni・Cr 系大洲田鋼が優れてゐる。

(5) 高 Ni・Cr 系鋼の代用として高 Mn・Cr 系鋼でも少量の窒素或はバナヂウムを添加することにより優れた性能を示す。尙我が國の車情から將來此の方面の研究は促進せられ高 Mn・Cr 系耐熱鋼の實用されることもあらう。

軸 受 性 能 に つ い て (第 3 報)*

水 野 昂 一**

Kōichi Mizuno : On the Bearing Property of Metals and Alloys. (3rd Report)

In this report the properties of anodic films of Al-alloys are studied. The results obtained are given in Table 1, 2, and Fig. 1, 2, 3 and 4. The characteristics are as follows:

- (1) Anodic films have good bearing properties.
- (2) The film consists of three layers and the hardness of these layers have each value.
- (3) On the hardness of Aluminium alloy's film :—
 - i. Al-Mg, Al-Zn alloys have hard film and increase by these content in aluminium.
 - ii. Al-Si alloy does not change by its content.
 - iii. In Al-Cu alloy the film becomes very hard by the vapor treatment, but softer than the Al-Mg and Al-Zn alloy's film.

(Received January 19, 1949)

** ヤマトメタル工業株式会社

* 昭和21年10月本會高岡大會に發表