

本実験遂行に際し、終始協力を頂いた水田雅穂、加藤誠両君に深く感謝の意を表する。

### 文 献

- 1) N. W. AEREWE, O. UHER: J. Inst. Metals, 44 (1930), p. 32
- 2) G. RÖHRIG: Z. Metallkde, 26 (1934), p. 87
- 3) E. D. MARTINI: Rev. Metall, 22 (1925), p. 139
- 4) G. GRUBE: Z. Metallkde, 19 (1927), p. 438
- 5) G. GURTER, K. SAGEL: Z. Metallkde, 46 (1955), p. 738
- 6) E. GEBHARDT, W. OBROWSKI: Z. Metallkde, 44 (1953), p. 154
- 7) K. G. COBURN: J. Metals, 11 (1959), p. 38
- 8) 大日方, 六崎, 寺沢: 金属学会誌, 8 (1944), p. 338
- 9) 菱輪, 小坂, 加藤: 鉄と鋼, 49 (1963), p. 423
- 10) 幸田, 諸住, 金井: 金属学会誌, 26 (1961), p. 764
- 11) たとへば, “金属便覧” 丸善, (1952), p. 100
- 12) 上村勝二: 鉄と鋼, 25 (1939), p. 24  
26 (1940), p. 813
- 13) W. L. FRINK, L. A. WILLEY: “Metal Hand Book” A.S.M., (1948), p. 1161
- 14) 渡辺元雄: “金属精錬総論” 丸善 (1960), p. 132
- 15) J. D. EDWARDS, T. A. MOORMANN: Chem. Met. Eng., 25 (1921), p. 61
- 16) W. D. KINGERY: “Kinetics of High Temperature Processes” (1959), p. 87
- 17) H. SCHLICHTING: “Boundary Layer Theory” 2nd Ed., (1960), p. 206
- 18) E. QUILLEN: Chem. Eng. 61 (1954), p. 178
- 19) J. B. DARBY, D. B. JUGLE, O. J. KLEPPA: Traas. Met. Soct., Amer. Inst. Min., Met. & Pet. Eng., 227 (1963), p. 179
- 20) C. J. SMITHS: “Metals Hand Book”, 2 (1955), p. 613
- 21) N. S. KURNAKOV, G. URASOV: Z. Anorg. Chem., 125 (1922), p. 207
- 22) T. P. YAO, V. KONDICK: J. Inst. Metals, 81 (1952~53), p. 81
- 23) N. W. AGREWE, O. J. UHER: J. Inst. Metals, 44 (1930), p. 83
- 24) J. M. LOMMEL, B. CHALMERS: Trans. Met. Soc. Amer. Inst. Min., Met. & Pet. Eng., 215 (1959), p. 499
- 25) T. HEUMANN, S. DITRICH: Z. Metallkde, 50 (1959), p. 617
- 26) 増本, 斎藤: 金属学会誌, 8 (1944), p. 359

## 低 Cr 吸気弁用耐熱鋼の研究\*

日下邦男\*\*・大沢 恂\*\*\*・山崎光雄\*\*\*\*

### Study on Low-Chromium Heat Resisting Steels for Inlet Values.

Kunio KUSAKA, Makoto OSAWA and Mitsuo YAMAZAKI

#### Synopsis:

Some low-chromium steels containing 2% and 5% chromium for inlet valves have been evaluated by short time tensile test at room and high temperature, hot hardness test, cold workability, scaling test, corrosion test and stress-rupture test at 550°C and 600°C.

The steel containing 0.3% C, 1% Si, 5% Cr and 0.5% Mo has a good combination of strength and ductility, and is found suitable for inlet valves to be operated at under 500°C

(Received 19 June 1963)

### I. 結 言

近年、自動車工業の発達にともない、エンジンに高圧縮比が採用され、また高オクタン価のガソリンが使用されるようになってきた。それにとともに排気弁の作動温度も上昇し、高温腐食をうけやすくなってきたので、従来よりも高性能バルブが要求されるようになり、新鋼種の開発もいくつかなされている。しかし吸気弁は排気弁よりも作動温度がはるかに低く、一般には 400°C 以下

であるので、アメリカにおいては軽負荷用のものには SAE 1050 などの炭素鋼や SAE 8645, SAE 3140, SAE 5150 などの低合金鋼が使われ、重負荷用としてシル・クロム鋼が使用されている。

\* 昭和37年10月本会講演大会にて発表

昭和38年6月19日受付

\*\* 特殊製鋼株式会社 工博

\*\*\* 本田技術研究所

\*\*\*\* 特殊製鋼株式会社研究所

わが国においては二輪車用として耐熱鋼第三種 SEH 3 が広く用いられているが、実際の吸気弁の作動温度が 400°C 以下であるので、SEH 3 のような高 Cr の材料を使用する必要性に乏しい。また SEH 3 は鍛造工程あるいは熱処理工程において脱炭しやすく、吸気弁の傘部のように一部鍛造肌のまま使用される部分の衝撃値が低下して欠損事故を生ずる危険がある。したがって SEH 3 に代るべき適材を求める必要がある。よつてわれわれは 2% Cr, 5% Cr に Si を添加したものおよび SKD 6 について吸気弁に要求される性質について実験を行なったので報告する。

## II. 実験結果

供試材は Table 1 に示すごときのもので、3系11種と SKD 6 これに比較材としての SEH 3 である。これらはいずれも 35 kVA 高周波誘導炉により 7kg 鋼塊を溶製し、16φ に圧延して使用した。

### (1) 低炭素 SEH 3 の性質について

SEH 3 は Si 2% を含有するため鍛造工程あるいは熱処理工程において脱炭を生じやすいので、このような脱炭部分の性質をしらべるために C 0.11% の低炭素 SEH 3 (CRK 2L) を溶製し、SEH 3 (CRK 2) と比較するために 1030°C で 20min 保持後油焼入し、後 700~850°C の各 50°C ごとに焼戻しを行なった試片について機械試験を行なった。Table 2 にその結果を示すが表から明らかなように、低炭素のものは降伏点、抗張力が低いにもかかわらず衝撃値がいちじるしく低下する。これは C が低くなることによつて Photo. 1, 2 に示すご

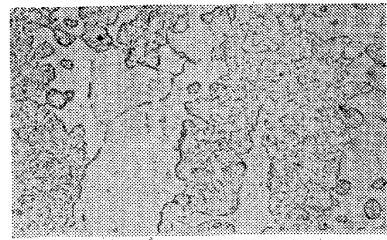


Photo. 1 1030°C O.Q., 800°C×1hr

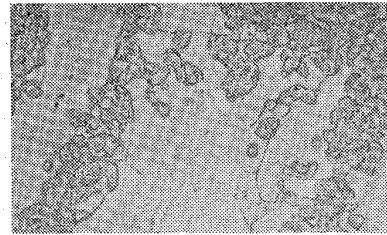


Photo. 2 1030°C O.Q., 850°C×1hr

Photo. 1 and 2 Microstructures of CRK 2L  
×300 (3/5)

とく非常に多くの初析フェライトが塊状に出るためである。

### (2) 焼入および焼戻硬度

Fig. 1 は 2Cr-1.5Ni-0.8Mo 系および 2% Cr 系の焼入硬度曲線である。2Cr-1.5Ni-0.8Mo 系は Mo, Ni 含有のため焼入性が大きく、空冷でも十分に焼が入り、HrC 52 以上を示す。Table 1 に示すように Si は変態点を上昇させるので、Si の増加により最適焼入温度も異なり、また硬度も高い。つぎに 2Cr 系は焼入性が小さく空冷では硬化しない。しかし油冷では HrC 55 前後と硬化する。

また Fig. 2 (A) は 5Cr 系の焼入硬度で 5Cr 系も

Table 1. Chemical composition of steel tested.

Steel No.	Chemical composition (%)									Ac °C	Ar °C
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V		
IVS-1	0.41	0.31	0.30	0.007	0.016	1.49	2.18	0.82	—	755~835	445~330
- 2	0.32	1.06	0.34	0.007	0.016	1.51	2.18	0.83	—	770~855	420~300
- 3	0.38	2.00	0.36	0.008	0.017	1.50	2.20	0.82	—	780~860	750~660
- p	0.44	3.27	0.34	0.013	0.015	1.60	2.32	0.83	—	815~875	775~740
IVS-10	0.41	0.35	0.28	0.009	0.015	—	2.23	—	—	775~835	780~720
-11	0.41	1.08	0.28	0.010	0.014	—	2.24	—	—	790~875	795~720
-12	0.42	2.14	0.29	0.012	0.015	—	2.25	—	—	815~890	830~760
-13	0.38	2.86	0.29	0.012	0.016	—	2.28	—	—	835~920	850~785
-14	0.40	4.05	0.34	0.015	0.015	—	2.28	—	—		
IVS-15	0.26	0.25	0.64	0.013	0.021	—	5.09	0.65	—	810~865	775~675
-16	0.26	0.97	0.58	0.013	0.020	—	5.07	0.51	—	825~880	800~740
-17	0.33	2.11	0.54	0.012	0.017	—	4.95	0.48	—	860~930	840~780
CRK 2	0.35	2.02	0.55	0.015	0.014	—	11.41	0.96	—		
CRK 2 L	0.11	2.11	0.55	0.015	0.013	—	11.93	0.97	—		
SKD 6	0.35	0.85	0.43	0.009	0.005	0.10	5.14	1.26	0.45		

Table 2. Effect of C on the mechanical properties of SEH3 steel.

Steel No.	Heat treatment	Yield str. (kg/mm <sup>2</sup> )	Tensile str. (kg/mm <sup>2</sup> )	Elog. (%)	R. of area (%)	Charpy impact (kgm/cm <sup>2</sup> )	Hb
CRK 2 (C 0.35%)	1030°C × 20min O.Q., 700°C × 2hr A.C	84.2	112.0	17.3	43.6	4.1	277
	" " 750 "	77.6	104.0	22.3	54.2	4.1	277
	" " 800 "	66.0	92.4	23.6	54.2	4.4	255
	" " 850 "	60.2	85.6	26.3	60.8	6.4	223
CRK 2L (C 0.11%)	1030°C × 20min O.Q., 700°C × 2hr A.C	63.2	87.6	23.3	50.8	2.2	229
	" " 750 "	58.8	84.0	26.3	54.2	1.6	217
	" " 800 "	55.4	79.4	27.6	56.0	1.6	207
	" " 850 "	52.6	74.4	28.6	57.0	2.2	197

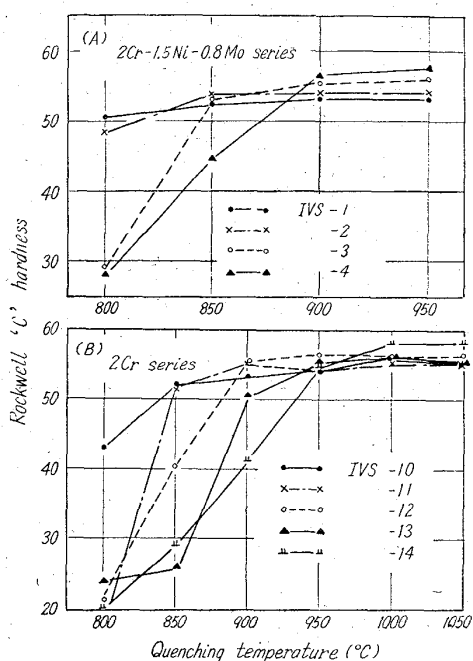


Fig. 1. Quenched hardness.

Mo 含有により焼入性が大きく、空冷でも油冷とほとんど変わらず硬化する。SKD 6 も焼入性は良い。

Fig. 3 は焼戻硬度で 2Cr-1.5Ni-0.8Mo 系は 950°C × 20min O.Q. 後同一試料を用いて、段階的に 200~700°C の温度で 1h 焼戻を行なつて硬度変化をみた。焼戻に対する軟化抵抗は Si の上昇につれて大きく、2% 以上になると 500°C まではほとんど硬度の低下はなく、それ以上の焼戻により急速に軟化する。2Cr 系は 2% Si のものでも焼戻による軟化がかなり速い。また Fig. 2 (B) に 5Cr-0.6Mo 系の焼戻硬度を示すが 1000°C、20min 油焼入後、500°C までは 0.25% Si でも大きな硬度の低下はない。SKD 6 も Fig. 4 に示すごとく、550°C までは軟化せず、したがつて 2Cr-1.5Ni-0.8Mo 系、5Cr-0.6Mo 系および SKD 6 いずれもエンジンの吸気弁最高作動温度に焼戻されても硬度の低下はほとんどないことが推定される。

(3) 機械的性質

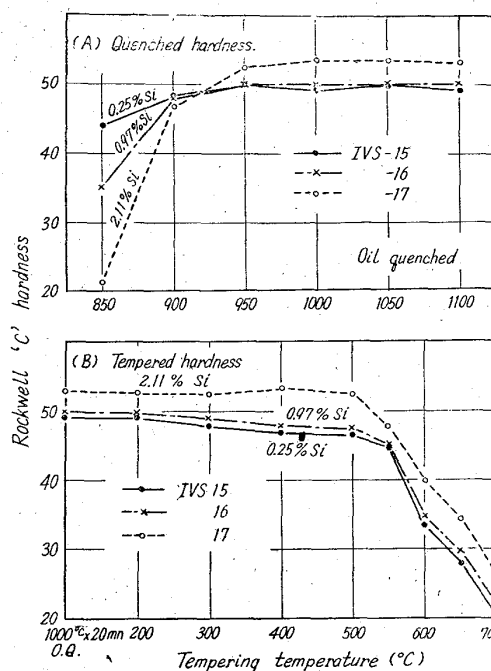


Fig. 2. Effect of Si on the quenched and tempered hardness of 5Cr-0.6Mo type steel.

2Cr-1.5Ni-0.8Mo 系、2Cr 系は 950°C、5Cr-0.6Mo 系は 1000°C で 30min 加熱後油冷したのち 600, 700, 750°C で 2hr 焼戻し常温機械的性質を測定した。Table 3 は 650°C × 2hr 焼戻後の機械的性質を、また Table 4 は 700°C × 2hr 焼戻後の機械的性質を示したものである。650°C × 2hr 焼戻の場合は、いずれも Si の増加とともに降伏点、抗張力は増加し、衝撃値は低下する。2Cr-1.5Ni-0.8Mo 系は 0.3% Si ですでに抗張力 100kg/mm<sup>2</sup> 以上を示し、伸び、絞り、衝撃値も大きい。3% Si になると伸び、絞りが急激に低下する。2Cr 系は 2% Si 以上で抗張力 100kg/mm<sup>2</sup> 以上を示すが、3% 以上では衝撃値が急激に低下する。5Cr 系は低 Si でも 90kg/mm<sup>2</sup> 以上の抗張力を有し、とくに衝撃値が高い。

つぎに Table 5 は 650°C × 2hr 焼戻後 550°C にお

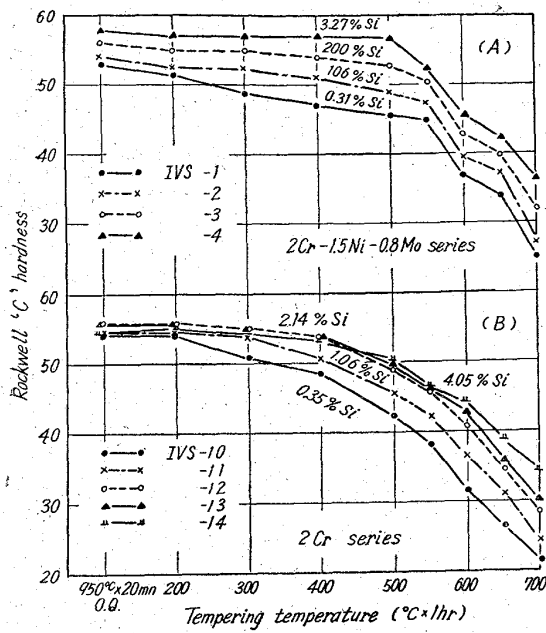


Fig. 3. Effect of Si on the tempered hardness of 2Cr-1.5Ni-0.8Mo typo steel (A) and 2Cr type steel (B).

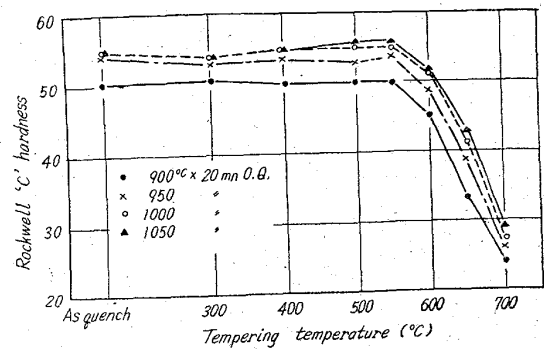


Fig. 4. Tempered hardness of SKD 6.

ける高温引張試験を行なった結果であり、2Cr-1.5Ni-0.8Mo系および2Cr系ではSiの増加につれて抗張力が大となる。5Cr-0.6Mo系ではいずれも抗張力は55 kg/mm<sup>2</sup>以上を有し、Siの影響はとくに顕著ではない。

またTable 6はSKD 6の常温および高温機械的性質を示したものである。上表は常温の性質を示したものであり、1000°C、30min油焼入後600、650、700お

Table 3. Mechanical properties at room temperature after tempering at 650°C.

Steel No.	Yield str. (kg/mm <sup>2</sup> )	Tensile str. (%)	Elong. (%)	R. of area (%)	Charpy impact (kgm/cm <sup>2</sup> )	Hb	Heat treatment
IVS-1	85.0	100.4	20.6	64.0	14.74	311	950°C × 30min O.Q, 650°C × 2hr
-2	95.4	112.4	19.0	52.6	11.01	311	// //
-3	100.4	116.0	19.6	52.6	6.07	321	// //
-4	114.6	127.0	11.3	14.0	4.73	352	// //
IVS-10	72.0	84.0	23.6	66.8	15.46	235	950°C × 30min O.Q, 650°C × 2hr
-11	80.1	95.5	22.0	61.6	13.86	255	// //
-12	91.2	107.0	22.3	54.2	5.38	262	// //
-13	93.2	109.6	23.6	50.8	4.11	293	// //
-14	106.4	122.0	19.6	14.5	0.60	321	// //
IVS-15	69.4	89.4	22.3	65.4	19.63	241	1000°C × 30min O.Q, 650°C × 2hr
-16	70.0	91.4	24.6	68.2	19.63	241	// //
-17	79.8	102.0	23.6	59.2	7.78	269	// //

Table 4. Mechanical properties at room temperature after tempering at 700°C.

Steel No.	Yield str. (kg/mm <sup>2</sup> )	Tensile str. (kg/mm <sup>2</sup> )	Elog. (%)	R. of area (%)	Charpy impact (kgm/cm <sup>2</sup> )	Hb	Heat treatment
IVS-1	70.0	84.0	25.6	65.4		241	950°C × 30min O.Q, 700°C × 2hr
-2	75.4	90.6	22.6	62.4		269	// //
-3	85.0	102.0	22.3	54.2		302	// //
-4	105.4	119.0	12.6	15.0		321	// //
IVS-10	65.4	78.0	26.3	69.6	18.8	207	950°C × 30min O.Q, 700°C × 2hr
-11	67.0	84.6	26.0	64.0	16.6	223	// //
-12	76.6	94.6	25.0	54.2	7.4	255	// //
-13	82.0	100.0	25.6	56.0	4.4	262	// //
-14	95.6	112.6	19.6	15.0	0.6	293	// //
IVS-15	58.6	78.0	24.0	71.0	20.7	212	1000°C × 30min O.Q, 700°C × 2hr
-16	61.2	83.0	27.0	69.6	19.6	223	// //
-17	72.0	94.4	25.6	60.8	8.4	255	// //

Table 5. Mechanical properties at 550°C.

Steel No.	Test temp. (°C)	Tensile str. (kg/mm <sup>2</sup> )	Elog. (%)	R. of area (%)	Heat treatment
IVS-1	550	67.0	23.0	75.0	950°C×30minO.Q, 650°C×2hr
-2	//	69.0	26.6	75.0	
-3	//	61.4	32.0	83.0	
-4	//	63.4	37.6	75.0	
IVS-10	550	41.0	32.6	78.6	950°C×30minO.Q, 650°C×2hr
-11	//	46.6	35.0	80.8	
-12	//	50.6	32.3	82.0	
-13	//	48.0	43.6	87.0	
-14	//	54.0	41.6	84.0	
IVS-15	550	57.8	26.6	79.8	1000°C×30minO.Q, 650°C×2hr
-16	//	55.6	30.3	84.0	
-17	//	57.6	32.6	83.0	

Table 6. Mechanical properties of SKD 6 at room and high temperature.

Steel No.	Test temp (°C)	Yield str. (kg/mm <sup>2</sup> )	Tensile str. (kg/mm <sup>2</sup> )	Elong. (%)	R. of area (%)	Charpy impact (kgm/cm <sup>2</sup> )	Heat treatment
SKD 6	Room temp.	118.8	140.4	16.3	57.6	6.07	1000°C×30minOQ., 600°C×2hr
		91.0	110.4	17.0	54.2	7.44	
		57.8	82.9	26.3	62.4	19.63	
		57.8	82.0	26.6	65.4	18.88	
SKD 6	300		94.0	16.0	60.0	17.0	1000°C×30minO.Q, 650°C×2hr
	350		99.0	16.0	57.0	17.0	
	400		86.0	18.0	61.0	17.0	
	450		88.0	19.0	64.0	15.61	
	500		78.0	23.0	69.6	17.75	
	550		69.4	27.0	75.0	15.97	
	600		51.0	34.0	84.0	16.68	

よび 750°C で各 2hr 焼戻し後試験したもので、650°C 焼戻しでは 110kg/mm<sup>2</sup> と高い抗張力を有し、しかも 7kg m/cm<sup>2</sup> 以上の衝撃値を示した。SEH 3 に比較し衝撃値が非常に高いのが特徴である。下表は 1000°C 油冷、650°C 焼戻後 300~600°C の高温引張試験を行なったもので、550°C における抗張力は 69kg/mm<sup>2</sup> にもおよび、衝撃値も 16kg m/cm<sup>2</sup> と非常に優れた結果を示した。

(4) 高温硬度

バルブは作動温度で繰返し打撃を受けるので、へたりを生じないだけの高温硬度、耐摩耗性を有しなければならない。Fig. 5 は SKD 6 および SEH 3 の高温硬度測定結果である。試験機は明石高温ビッカースカタサ試験機を用い、5kg 荷重にて測定した。SKD 6 は 1000°C 油冷後、600~750°C に 1hr 焼戻し、SEH 3 は 1030°C 油冷後 750°C で 1hr 焼戻した試料について測定した。600°C までは SKD 6、SEH 3 とともに急激なる硬度変化はみとめられないが、SKD 6 の方が SEH 3 よりもやや優れた結果を示した。

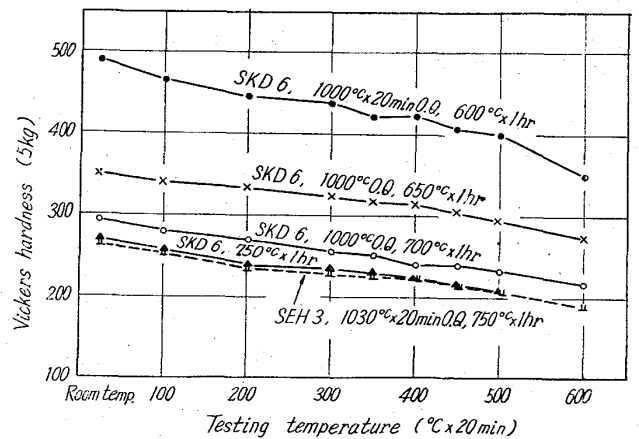


Fig. 5. Hot hardness of SKD 6 and SEH 3 steel.

(5) 冷間加工性

二輪車エンジン用バルブはステムの径が非常に細いので、引抜によつて製造する必要があるため、引抜作業が容易でなければならない。したがって加工硬化の様相を調べるために 850°C × 2hr 焼鈍後、常温にて引張破断せしめた試験片について、断面収縮率 (冷間加工率) と

Hv 硬度との関係を求めた。Fig. 6 はその結果を示したもので、Cr% の如何を問わずいずれも Si の多くなるにつれて、冷間加工後の硬度は高く、最高 Hv 310 位を示すが SEH 3 より低く、引抜加工が容易であることを

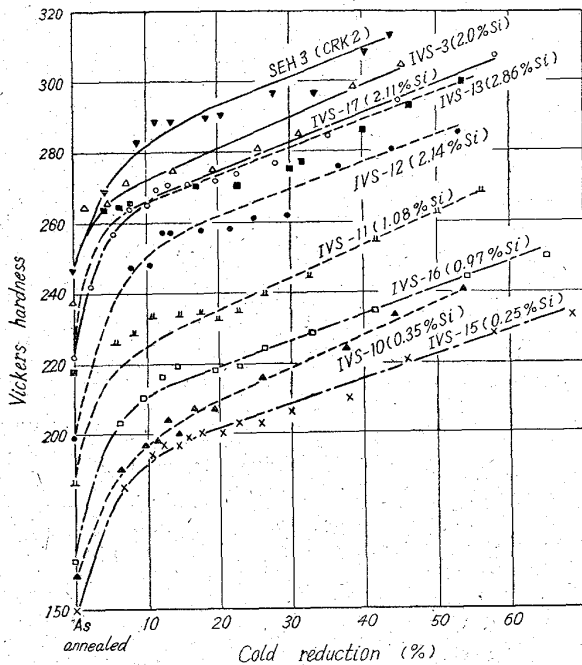


Fig. 6. Effect of cold reduction on the hardness of inlet valve steels.

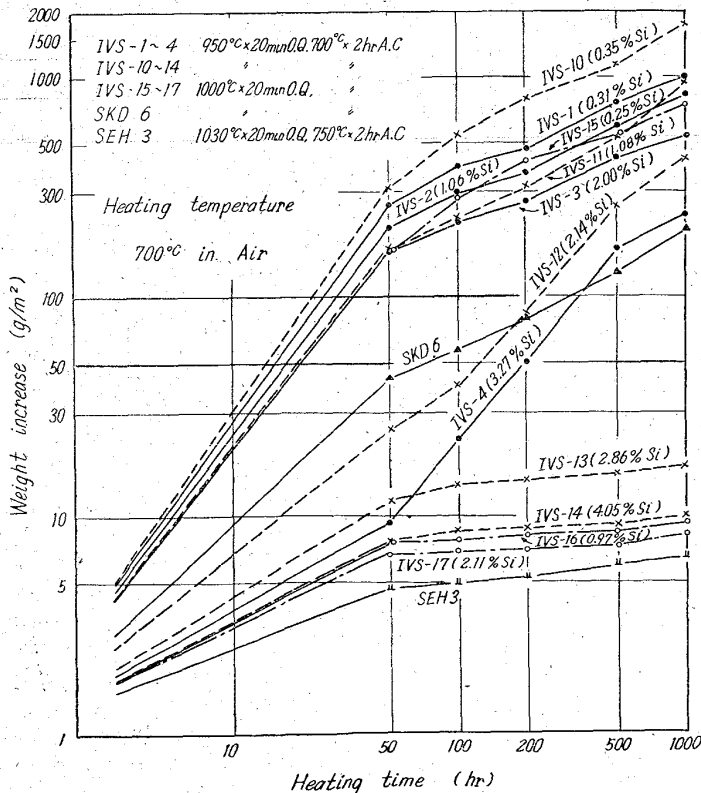


Fig. 7. Result of scaling test in air at 700°C.

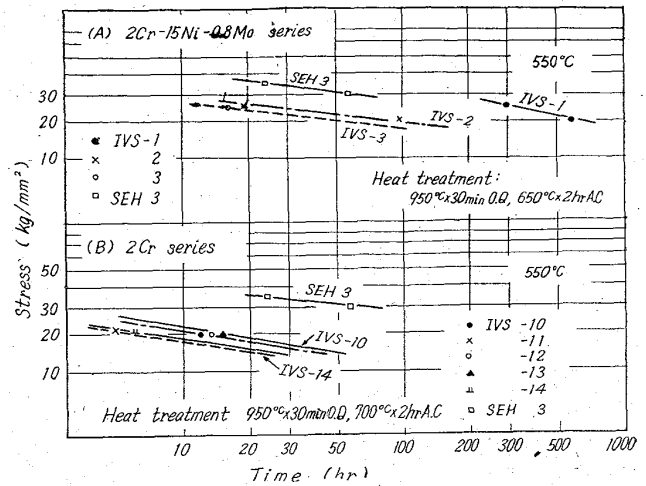


Fig. 8. Stress rupture curves at 550°C.

示す。

(6) 酸化試験

2Cr-1.5Ni-0.8Mo 系および 2Cr 系のものは 950°C × 20min O.Q, 700°C × 2hr 焼戻を行ない、また 5Cr-0.5Mo 系および SKD 6 は 1000°C × 20min O.Q, 700°C × 2hr 焼戻を行なったものより 10φ × 50mm 試片を作成し、管状電気炉中にて 700°C, 1000h まで大気中加熱による酸化増量を測定した。この結果は Fig. 7 に示すごとく、SEH 3 がもつとも良好であり、5%Cr-0.5Mo 系の Si 2% のものがこれについている。2Cr 系の 0.35% Si のものがもつとも酸化増量が大きである。

また 5% HNO<sub>3</sub> 中にて常温で 100hr 浸漬して腐食減量を求めたが、Si 添加により多少耐食性が向上するが、いずれも腐食減量は 20g/m<sup>2</sup>/hr 前後であり、SEH 3 の 0.1g/m<sup>2</sup>/hr に比較すると耐食性はかなり劣る。

(7) ラプチュア試験

Fig. 8 A) は 2Cr-1.5Ni-0.8Mo 系を、950°C × 30min O.Q, 650°C × 2hr 熱処理後 550°C にてラプチュア試験を行なった結果である。ただし SEH 3 は 1000°C × 20min O.Q, 650°C × 2hr の熱処理を施した。この結果は Si 0.31% の IVS-1 がもつとも強く、Si の多くなるにつれてラプチュア強度は低下している。また(B) は 2Cr 系の結果であり、この場合の試片熱処理は 950°C × 30min O.Q, 700°C × 2hr 焼戻とした。この系のものは SEH 3 よりもいちじるしく弱く、また Si の増加につれてラプチュア強度が低下する。

つぎに Fig. 9 は 5Cr-0.6Mo 系、SKD 6 および SEH 3 のラプチュア試験結果である。試片熱処理は 1000°C × 30min O.Q, 650°C × 2hr とした。

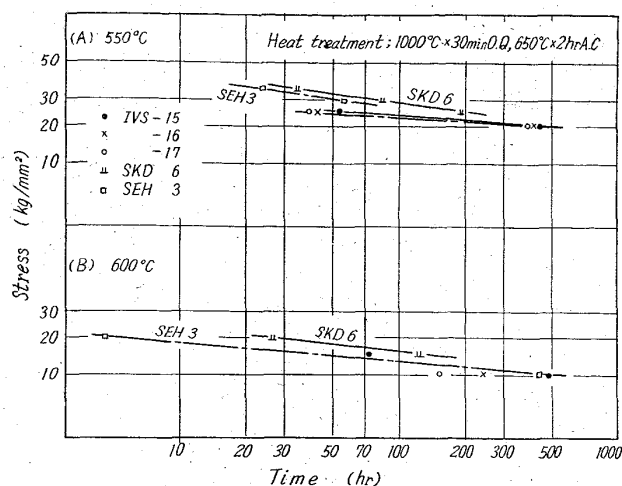


Fig. 9. Stress rupture curves for 5Dr-0.5 Mo series and SEH 3 at 550°C and 600°C.

550°Cの結果は図A)に示すごとく、SKD 6 がもつともすぐれている。また図B)は600°Cの結果であり、この場合にもSKD 6の方がSEH 3よりもラプチュア強度が大である。

### III. 結 言

現在、吸気弁としてはSEH 3が広く用いられているが、吸気弁の作動温度は400°C以下であるので耐食性が良好であるという理由以外に、このような高Crでかなり高価なSEH 3を使用する必要性に乏しく、またSEH 3は脱炭にもとずく衝撃値の低下がいちじるしいので、吸気弁の傘部欠損事故の原因になることも考えられるので、われわれはより経済的でしかも性能のすぐれた材料を求めるために2Cr-1.5Ni-0.8Mo系、2Cr系、5Cr-0.6Mo系およびSKD 6について、それぞれ必要な試験を行なった。

その結果SKD 6が吸気弁としてすぐれた性能を有し5Cr-0.6Mo系でSi 1~2%添加したものがこれについていることがわかった。すなわち機械的性質が非常にすぐれ、常温および高温ともに高い抗張力を有し、しかも衝撃値が高いという特徴を有する。また5%CrのためにSEH 3よりも引抜加工性が良好であり、耐酸化性もかなり良好である。ただし耐食性はCrが低いためにSEH 3よりは劣るが、諸外国において低合金鋼が使用されているのにかんがみ、実用上問題はないものと考えられる。