数種のフェライト系耐熱鋼の高温機械的性質

On the Mechanical Properties at Elevated Temperature of the Several Ferrite System Heat Resisting Steels

小 柴 定 雄* 九 重 常 男**
Sadao Koshiba Tsuneo Kunou

内 容 梗 概

蒸気タービン、火力発電関係などの高温部に使用される代表的フェライト系耐熱鋼数種を選び、その高温機械的性質を紹介し使用上の参考に供した。なおフェライト系耐熱鋼のうちで最も耐熱性のすぐれている新しい耐熱鋼 TAF の諸性質を併記し、各種耐熱鋼との比較を行った。

1. 緒 言

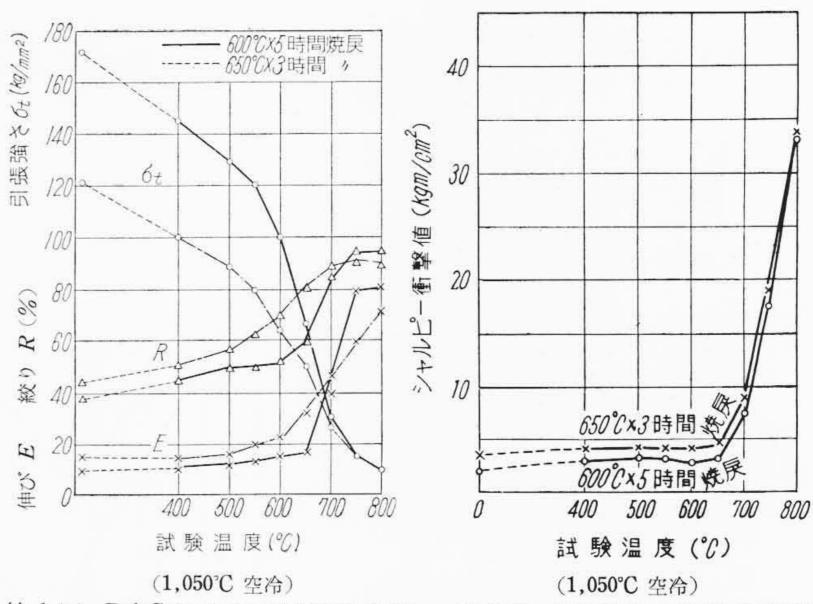
フェライト系耐熱鋼は使用温度 650°C 以下の場合はオーステナイト系耐熱鋼に比し一般的に

- (1) 造塊, 鍛造および機械加工が容易なこと
- (2) 安価なこと
- (3) 耐力,高温強度が大きいこと
- (4) 熱膨脹率が小さく熱伝導度が大なるため熱応力の発生が小さいこと

などの数々の利点がある。したがってフェライト系耐熱鋼は高温強度を増大することができればその用途はいっそう拡大されるものと考えられる。ことに最近蒸気タービン、超臨界圧ボイラなどの発達に伴い、その経済性を考慮して安価なフェライト系耐熱鋼が注目され、研究もとみに盛んとなってきた。今回は従来のフェライト系耐熱鋼の代表的な数種を選びその高温、機械的性質と、この系統の耐熱鋼のうちで最も高温強度の大きい新しく発見された TAF 鋼の諸性質を紹介し、使用上の参考とした。

2. 試料の化学成分

試料はいずれも高周波誘導電気炉にて吹製した鋼塊を 15 mm 角に鍛伸して実験に用いた。その化学成分を第 1 表に示す。表に示すように DAC および DBC は 5 % Cr 鋼で、これに DAC は Mo, V, DBC は Mo, V, W がそれぞれ添加されており、本来はダイキャスト用ダイス鋼として使用されている鋼種であるが、高温強度の比較的大きい点から、耐熱鋼として転用されている。 SEH 1, SEH 2 および SEH 3 は古くからの耐熱鋼で、SEH 1 は 8 % Cr 鋼、SEH 2 は 13% Cr 鋼、SEH3 は 12% Cr に Mo が添加してあり、現在の 12% Cr 系耐熱鋼の基礎となっている。以下 4 種類の耐熱鋼は 12% Cr 鋼でそれぞれ Co, W, Mo および V が 1 種ないし 3 種加えられており、これら元素の効果により耐熱強度の増大をはかっている。 H46 はイ



第1図 DAC 鋼の高温機械的性質

第2図 DAC 鋼の高温衝撃値

ギリスの 12% Cr 耐熱鋼でそのすぐれた耐熱性とともに広く利用されている。 TAF は新しく発見された耐熱鋼で 12% Cr 系のうちでは最も耐熱強度の大きい鋼である。

3. 高温機械的性質

3.1 DAC および DBC⁽¹⁾

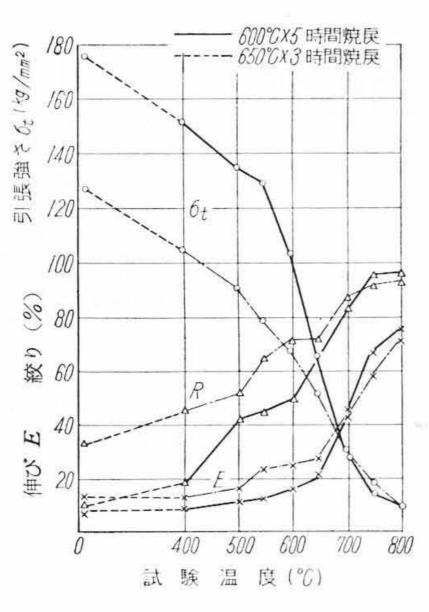
前述したように両鍋は本来ダイキャスト用ダイス鍋として使用されている鍋種であるが、 600° C 以下の使用温度でかなり大きな強度を有するため、最近航空機部品の耐熱構造用鍋として利用されている。その高温機械的性質を第 $1\sim4$ 図に示す。また $600,650^{\circ}$ C および 700° C の 3 温度における 100 時間のラプチャー強度を第5 図に示す。両鍋の機械的性質を比較すると高温における引張り強さは DBC が DAC より大きく、伸びおよび絞りは DAC が大きい。またラプチャー強度は DAC が DBC より大きい値を示す。つぎに第6 図に $650,700^{\circ}$ C および 750° C の 3 温度に20時間まで空気中にて加熱し、

			第13	支 試	料	の	化 学	成	分	(%)				
	С	Si	Mn	Р	S	Ni	Cr	W	Mo	V	Со	Сь	N	В
DAC	0.37	0.90	0.35	0.021	0.005	0.12	5.10		1.53	1.02		_	_	_
DBC	0.38	0.85	0.37	0.018	0.005	0.13	4.97	1.48	1.41	0.50	-	-	(**** :	-
SEH 1	0.44	3.36	0.45	0.024	0.010	0.12	8.41	_		_	-	_	_	-
SEH 2	0.36	2.62	0.36	0.020	0.008	0.24	13.32	=	=	_	-		-	
SEH 3	0.40	1.77	0.43	0.020	0.015	0.23	10.84	_	0.96	_	_	_	_	_
12 Cr-V.W.Co	0.19	0.28	0.96	0.015	0.015	0.06	12.25	2.81	_	0.27	4.99	(21-1)	_	_
12 Cr-Mo.V.W	0.22	0.27	0.71	0.024	0.009	0.98	12.47	1.04	1.18	0.40		-	_	12011
12 Cr-Cb	0.06	0.20	0.37	0.007	0.008	0.12	13.50				H-100-07	0.32	_	
12 Cr-V.W	0.20	0.31	1.01	0.014	0.016	0.32	11.78	4.21	_	0.27		_	1 51 11 2	
H46	0.17	0.28	0.27	0.011	0.024	0.21	10.90	-	0.54	0.77	_	0.16		-
TAF	0.19	0.46	0.69	0.012	0.009	0.25	12.20	_	0.84	0.15		0.22	0.042	0.024

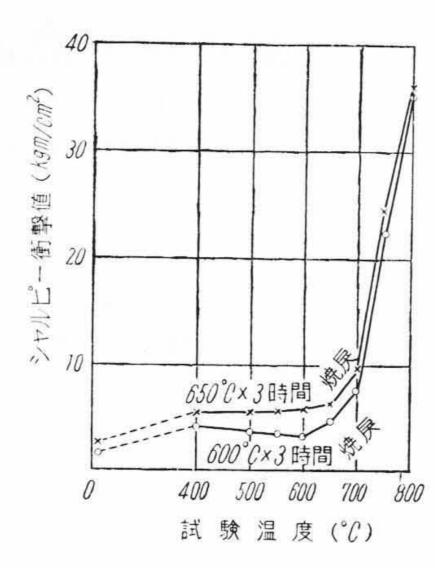
^{*} 日立金属工業株式会社安来工場 工博

^{**} 日立金属工業株式会社安来工場

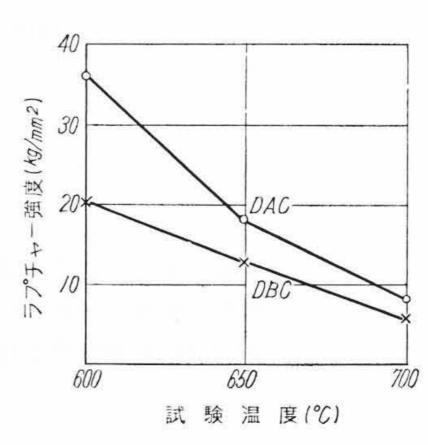
日



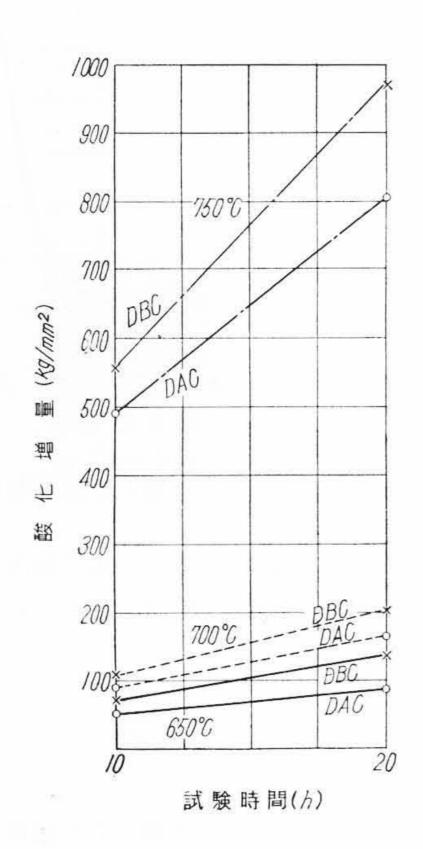
(1,050°C 空冷) 第3図 DBC 鋼の高温機械的性質



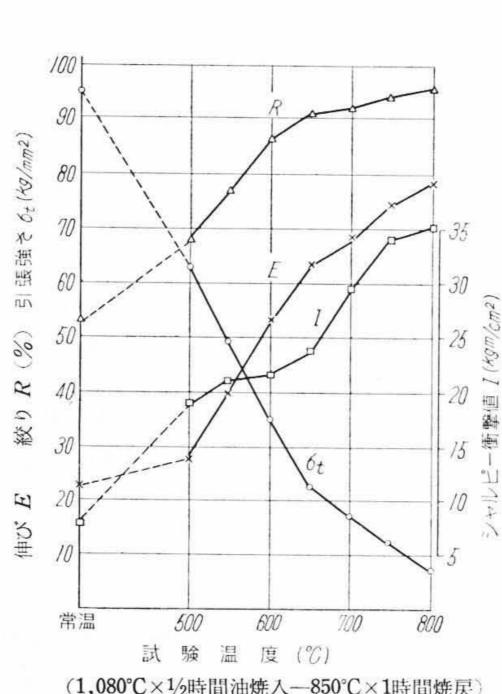
(1,050°C 空冷) 第4図 DBC 鋼の高温衝撃値



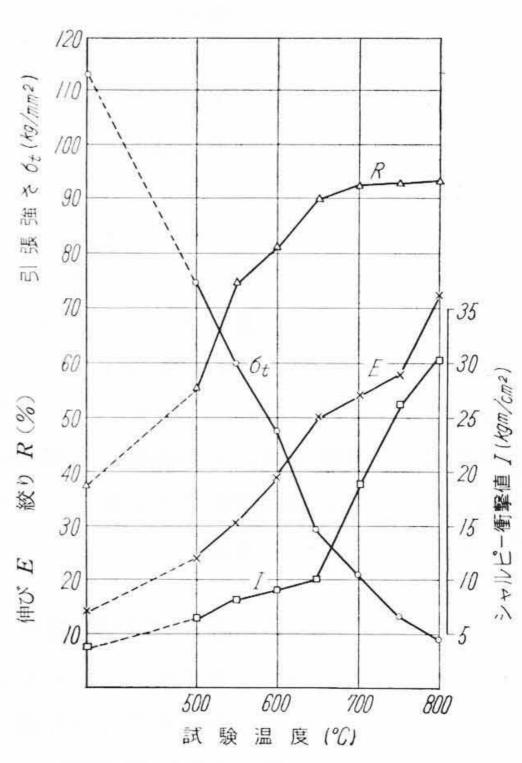
(100 時間) 第 5 図 DAC および DBC 鋼の ラプチャー強度



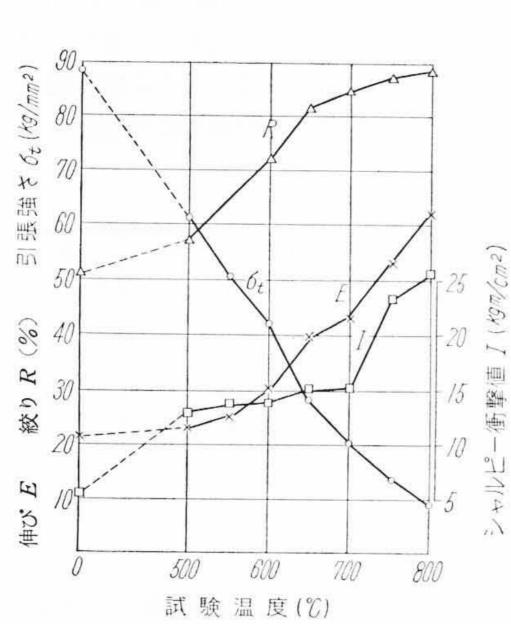
第6図 DAC および DBC 鋼の酸化増量



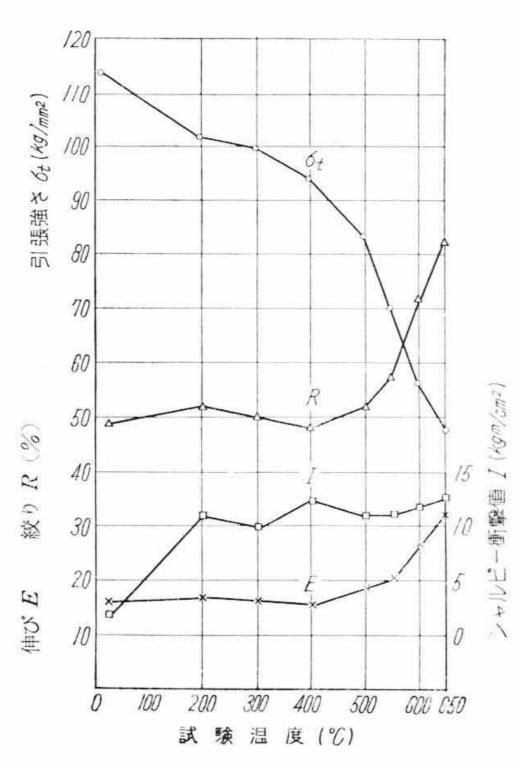
(1,080°C×½時間油焼入—850°C×1時間焼戻) 第7図 SEH1の高温機械的性質



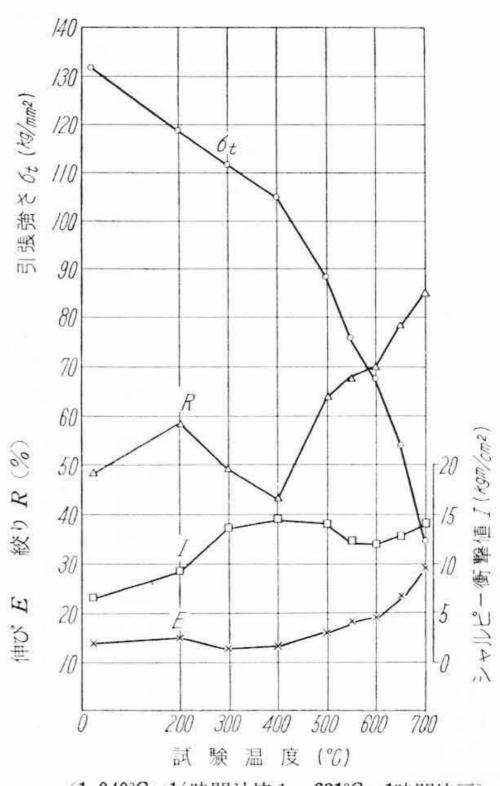
(1,100°C×½時間油焼入−700°C×1時間焼戻) 第8図 SEH2の高温機械的性質



(1,080°C×½時間油焼入−700°C×1時間焼戻) 第 9 図 SEH 3 の高温機械的性質



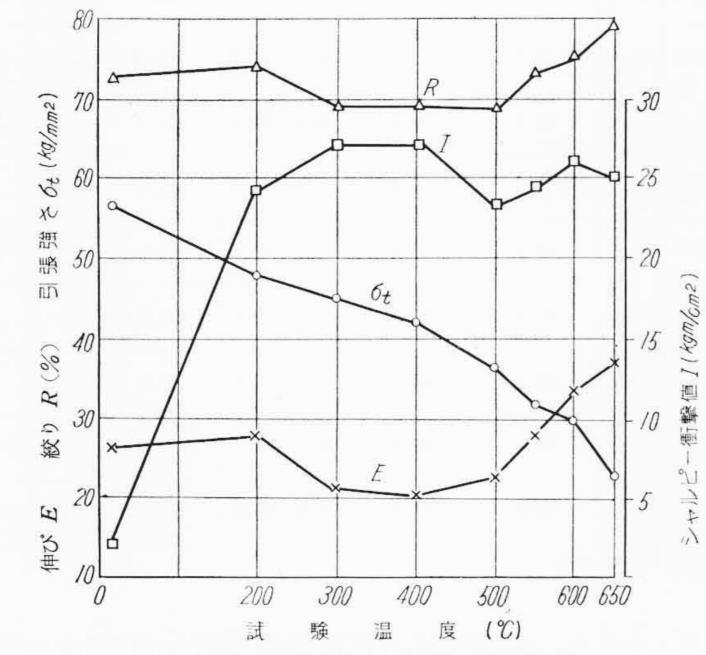
(950℃×½時間油焼入−650℃×1時間焼戻) 第 10 図 12 Cr−V•W•Co 鋼の高温 機械的性質



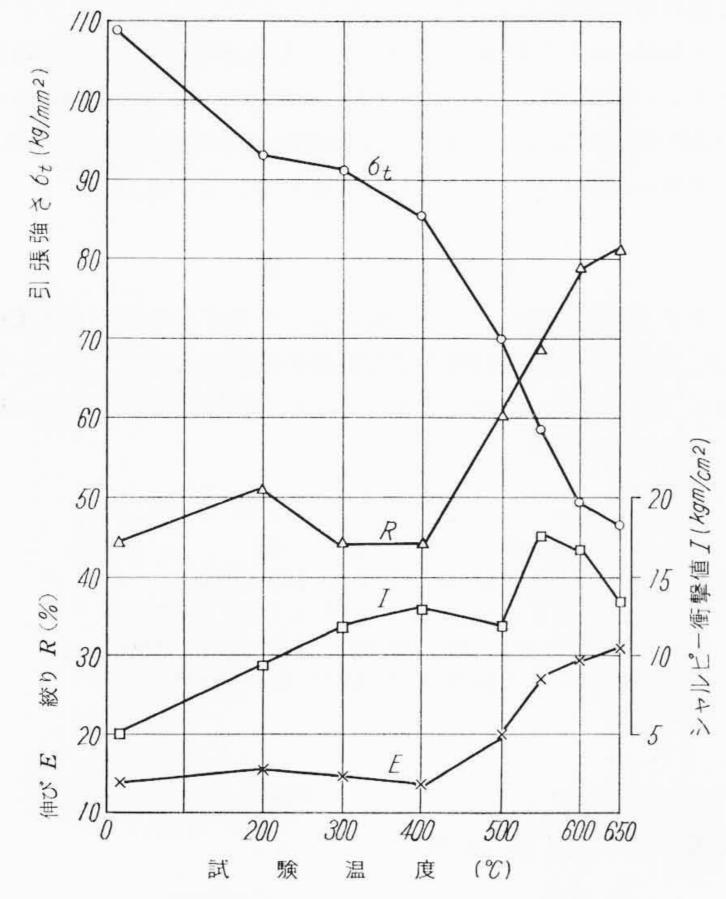
(1,040°C×½時間油焼入−621°C×1時間焼戻) 第 11 図 12 Cr−Mo•V•W 鋼の高温 機械的性質

第2表 SEHI, SEH 2 および SEH 3 の ラプチャー 強度 kg/mm² (100 時間)

强度 Kg/IIIII	(100 時间)	
温度℃	600	650
SEH 1	11.2	6.5
SEH 2	13.8	9.2
SEH 3	13.3	8.8



(1,050℃×½時間油焼入−650℃×1時間焼戻) 第 12 図 12 Cr−Cb 鋼の高温機械的性質

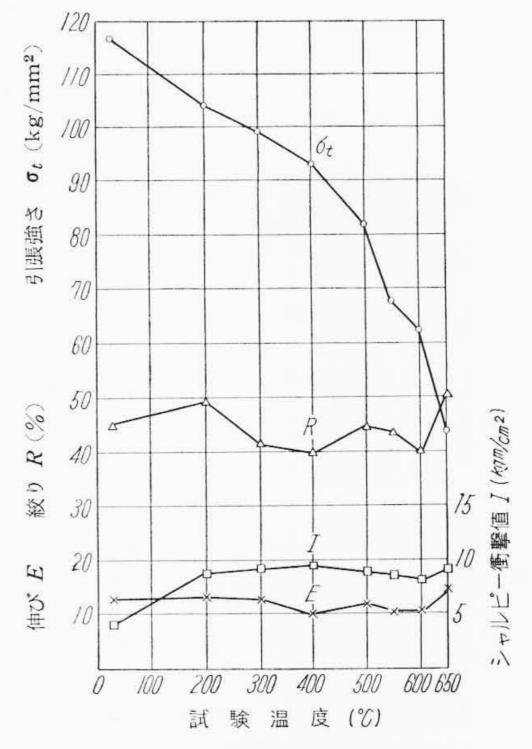


(1,040°C×½時間油焼入—約700°C引上げ空冷) 第 13 図 12 Cr−V•W 鋼の高温機械的性質

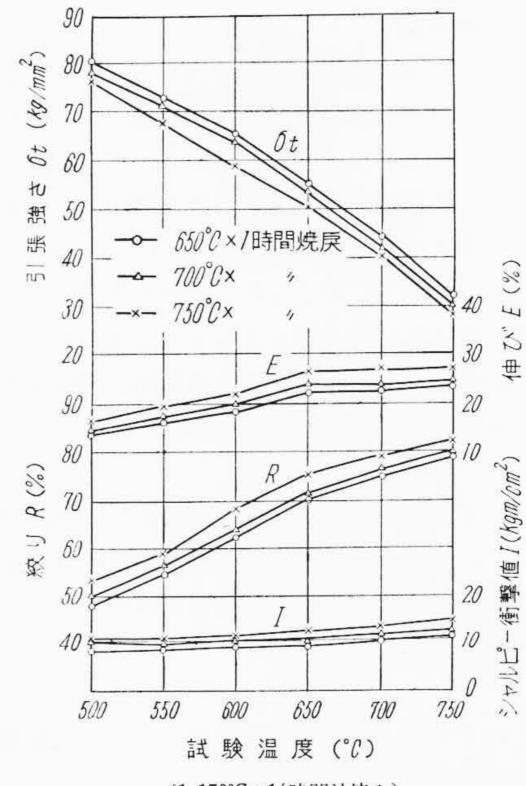
その酸化増量を秤量した結果を示したが、酸化増量は各温度とも DBC が大きく DAC に比し耐酸化性にとぼしい。

3.2 SEH 1, SEH 2 および SEH 3⁽²⁾

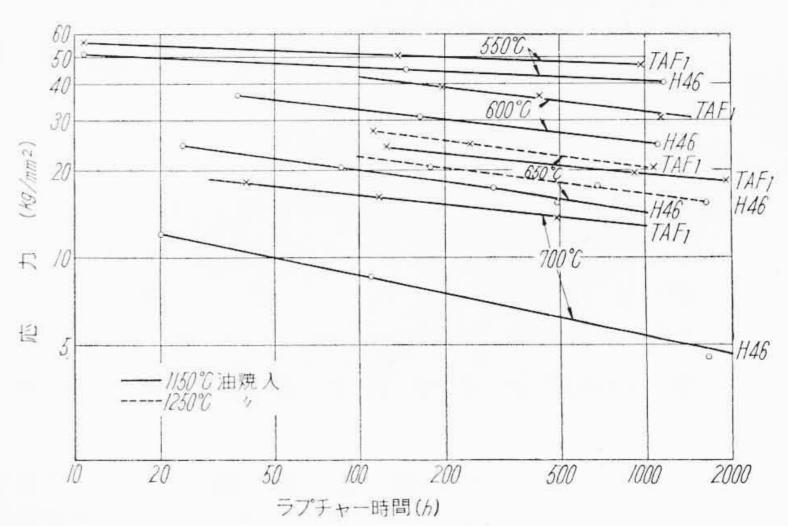
このグループの耐熱鋼は Si-Cr 系で Si および Cr 両元素により 耐熱性の向上をはかっている。各鋼の高温機械的性質を**第7**,8,9 図にまた 600° C および 650° C の 100 時間のラプチャー強度を**第2表**に示す。このグループのうちでは SEH 2 が最も高温強度が大きく SEH 1 は最も小さい。



(1,150°C×1時間油焼入−690°C×1時間焼戻) 第 14 図 H46 の 高 温 機 械 的 性 質



(1,150℃×½時間油焼入) 第 15 図 TAF 鋼の高温機械的性質



第 16 図 TAF 鋼および H 46 のラプチャー強度

第3表 各 種 耐 熱 鋼 の 高 温 強 度 の 比 較

試 料	試 験 前 熱 処 理	機 械 的 性 質*											ラプチャー強度		
		常温				600°C				650°C				- (kg/mm²) (100時間)	
		σ_t	ε	R	I	σ_t	8	R	I	σ_t	ε	R	I		650°C
DAC	1,050°C×1時間空冷 650°C×3時間焼戻	120.5	14.4	46.0	3.5	63.9	23.8	71.5	4.0	65.9	31.0	79.8	4.5	35.7	18.3
DBC	1,050°C×1時間空冷 650°C×3時間焼戻	126.4	12.4	35.6	2.5	67.6	23.8	69.5	5.5	50.7	26.0	71.7	6.0	20.2	12.4
SEH 1	1,080°C×½時間油冷 850°C×1時間焼戻	95.7	23.6	53.8	8.5	35.6	53.0	87.3	21.4	23.0	63.0	90.8	26.7	11.2	6.5
SEH 2	1,100℃×½時間油冷 700℃×1時間焼戻	113.7	14.4	38.1	3.5	47.5	35.6	81.8	9.4	29.4	50.0	89.9	10.0	13.8	9.2
SEH 3	1,080°C×½時間油冷 700°C×1時間焼戻	88.7	22.0	51.9	5.5	29.6	40.8	87.4	13.7	28.0	39.4	81.5	14.6	13.3	8.8
12 Cr-V-W-Co	950°C×½時間油冷 650°C×1時間焼戻	113.8	16.1	48.1	7.4	54.1	26.0	70.3	11.2	46.4	31.4	80.5	12.0	35.1	-
12 Cr-Mo-V-W	1,040℃×½時間油冷 621℃×1時間焼戻	131.4	14.0	48.1	6.5	66.6	18.9	69.0	11.5	53.5	23.3	77.5	11.7	34.0	_
12 Cr-Cb	1,050℃×½時間油冷 650℃×1時間焼戻	56.5	26.3	72.1	1.8	29.6	33.6	74.4	26.0	22.6	37.0	79.1	24.9	_	_
12 Cr-V-W	1,040°C×½時間油冷 約700°C引上げ空冷	107.5	12.4	43.5	4.9	48.5	28.5	78.0	16.2	45.1	29.7	80.0	13.0	-	_
H46	1,150℃×1時間油冷 690℃×1時間焼戻	90.7	20.2	55.3	14.9	55.4	25.0	67.0	13.7	46.5	27.5	75.4	13.0	33.0	20.1
TAF	1,150℃½時間油冷 690℃×1時間焼戻	94.2	17.0	57.2	7.1	63.2	25.7	69.0	12.0	51.8	25.0	69.0	13.0	40.1	23.2

^{*} σ_t : 引張り強さ(kg/mm²), ϵ : 伸び(%),R: 絞り(%),I: シャルピー衝撃値(kgm/cm²)

3.3 12% Cr 系耐熱鋼(3)

このグループは12% Cr に、Mo, V, W, Cb および Co を1種ないし3種類添加してこれら元素の炭化物(Co を除く)を形成し、耐熱強度の増大を計っているもので、後述のH46 および TAF への発達の基礎となっている。各鋼の高温機械的性質を第10,11,12 および13 図に示す。図に示すように高温強度は Mo, V, W, Cb および Co を加えるにしても 12 Cr-W のように一元素を多量に添加するより12 Cr-Mo, V, W のように数元素を小量ずつ添加したほうがより効果的なことがわかる。Co は特に強力な炭化物を形成する元素でなく地の強化にのみ役だっている。

3.4 H 46⁽⁴⁾

イギリスにおいて研究された12% Cr 耐熱鋼で, Mo, V および Nb を同時に添加して, その複合効果により耐熱強度の増大をはかっている。そのすぐれた性能より広く一般に使用されている。高温機械的性質を第14図に示す。

3.5 TAF(5)

すでに発表したように TAF は現用のフェライト系耐熱鋼のうちでは最も耐熱強度が大きく, 斯界の注目をあつめている。最近では日本熔接協会耐熱材料熔接研究委員会において, 熔接性の試験が行われており, その結果とあいまって利用範囲もいっそう拡大される

ものと考えられる。高温機械的性質を**第15**図に、ラプチャー強度を**第16**図に示す。

3.6 各鋼の高温強度の比較

第3表に各耐熱鋼の高温強度の比較を示した。表に示すように 5% Cr の DAC および DBC は炭素が高いため 600% Cまでは大きな強度を示すが、650% Cになれば強度は著しく減少する。この点 H 46 および TAF は 650% でもなお大きな強度を示しており、特に TAF は 90% においてすぐれた性質を示している。

4. 結 言

フェライト系耐熱鋼のうちで比較的広く実用されている 5% Cr, 8% Cr, 12% Cr 耐熱鋼11種の高温機械的性質およびラプチャー強度を示し、耐熱強度を明確にするとともに各鋼種間の高温強度の比較を行い使用上の参考とした。

参 考 文 献

- (1) 小柴,九重: 鉄と鋼 44, 2号 p. 142 (1958)
- (2) 小柴,九重: 日立評論 39,11号 p.1322 (1957)
- (3), (4) 小柴,九重: 鉄と鋼 43, 7号 p.711 (1957)
- (5) 小柴,九重: 日立評論 別冊 33 号 p. 4 (1959)

日立評論 超高圧機器特集号 別冊36号

- ◎超高圧機器のすう勢
- ◎ 400 kV 変 圧 器 お よ び 計 器 用 変 成 器
- ◎ 超 高 圧 実 験 室
- ◎ 420 kV 空 気 遮 断 器 お よ び 断 路 器
- ◎ 400 kV 日立制 弧避雷器と絶縁協調
- ◎ 超 高 圧 電 線 の 保 護 継 電 方 式
- ◎ 400 kV 級 送 電 線 の 研 究
- ◎ 400 kV 送 電 線 の 送 電 容 量
- ◎ 開閉サージ絶縁耐力に関する二,三の実験

発 行 所 日 立 評 論 社 東京都千代田区丸ノ内1丁目4番地 振替口座東京71824番 取 次 店 株式会社オーム社書店 東京都千代田神田錦町3丁目1番地 振替口座東京20018番