

従つて滲炭層中の高炭素部及び低炭素部は波來土變態を起し波來土を生ずるが中炭素部は中間變態を起しペーナイトを生ずべきである。更に冷却速度が増してその冷却曲線が a 表はさるる場合には a 曲線は A と波來土段階で交はるから滲炭層中の高炭素部には波來土を生ずるが、曲線 C と麻留田段階で交はるから中炭素部には麻留田を生ずる。斯様にして滲炭層に及ぼす冷却速度の影響は S 曲線に依り説明出来る、但し上述の冷却速度が b 曲線で示される場合に滲炭層中の中炭素部に實際に生ずるのは特異組織であつて、顯微鏡的にも X 線的にもペーナ

イトが第 4 圖 b の如き位置をとることが必要なことは明らかである。

VI. 總 括

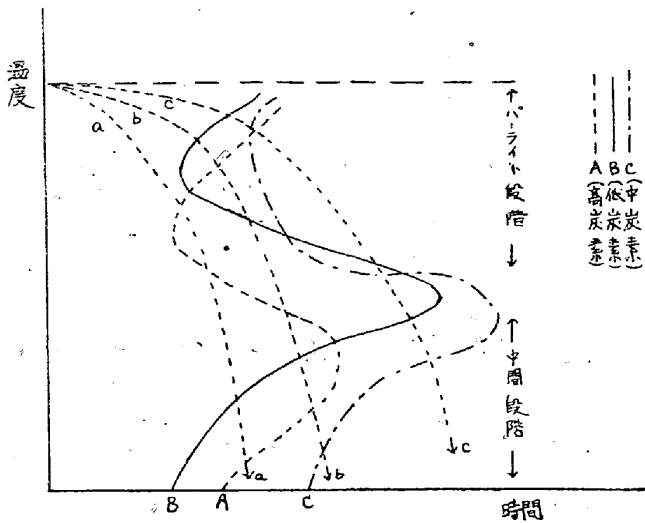
前報に續いて特異組織に就て研究を行つた。

1. 特異組織を生ずる如き Si-Mn-Cr-Mo 鋼の滲炭層に及ぼす冷却速度の影響を調べた。
2. その結果 2~5°C/min. で特異組織が生ずることが分つた。
3. 同じく滲炭層に及ぼす Si, Mn, Cr, Mo 夫々單獨の影響を、冷却速度を考慮に入れて調べた。
4. 其結果上記各元素は單獨では特異組織を生成せしめぬことが明かになつた。
5. c 量を異にする 3 種の Si-Mn-Cr-Mo 鋼の S 曲線を求めた。
6. 其の結果特異組織は顯微鏡的にも、X 線的にもペーナイトそのものとは異なることが明かになつた。
7. 上に得た 3 種の S 曲線により滲炭層に及ぼす冷却速度の影響を定性的に説明し得た。

終りに臨み終始御指導と御激勵を賜はつた恩師吉川晴十先生並びに指導教官金森九郎教授に厚く御禮申上げる。
(昭. 23. 10 月寄稿)

文 献

- 1) 著者; 鐵と鋼 32 年 7~9 號
- 2) 山本, 井上; 鐵鋼協會講演, 昭和 21 年 10 月



第 4 圖 (炭素量による S 曲線の配置)

イトそのものとは異なることは之にては未だ説明は出来ないが、少くとも、滲炭層に特異組織を生ずる爲には冷却曲

高 Mn-Cr 耐熱鋼の機械的性質に関する研究 (1)

(耐熱鋼の研究 IV)

(昭 21. 4. 3. 第 2 回 (東京) 於地方講演會) 出口 喜 勇 爾*

ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF THE HIGH Mn-Cr HEAT-RESISTING STEELS (I)

(STUDY ON THE HEAT-RESISTING STEELS IV)

Kiyoji Deguchi

Synopsis: The author studied as follows: (1) The influences of Cr, Ni, W, Mo, V, Ti, Cu of the high Mn-Cr steels on the high temperature (up to 800°C) mechanical properties of the high Mn-Cr steels, at the same time, for reference, on some of decrease of toughness when kept at about 700°C after quenched from 1050°C and on the scaling. (2) The effect of Ti of the high Mn-Cr-W-Mo steels on the decrease of toughness, not only at the room temperature, but also at the high temperature up to 700°C, when kept for long time at 750°C after quenched from 1050° and 1200°C. (3) The influences of C and V of the high Mn-Cr steels on the hardness and the shock value

* 日本特殊鋼株式會社

when quenched from 1000~1200°C and tempered at 500~800°C. (4) The influences of the conditions of every heat-treating process of the high Mn-Cr-V steels. (5) Additional remarks; The influences of V and Ti of 14% Cr-14% Ni-W steels on the shock value and the hardness when heated at 1000~1350°C and when kept for long time at 750°C after quenched from 1100 and 1200°C.

I. 緒 言

さきに著者等¹⁾は「特殊耐熱鋼の高温特性研究」に於て高 Mn-Cr 耐熱鋼に就ての基礎的綜合的研究の若干を發表した。その後我國の資源的關係よりかゝる無 Ni オーステナイト耐熱鋼の使用が愈々必要となり、各方面に於てこれに關する研究が盛に遂行され、既に本誌²⁾に又は講演會に於て³⁾發表された。著者も引續きこの研究を續行して來たが、本耐熱鋼の使用が餘りに急速に必要に迫られ、又その他の各種の事情の爲、これが基礎的

研究を十分に行ふ餘裕なく、寧ろ各場合場合に應じての試作確性試験等に追はれて來た有様である。依つてそれぞれの場合に於ける實用的諸問題の解決に資する目的を以て行つたこれらの諸實驗結果中、前記諸發表と重複せざる事項を茲に發表する次第である。

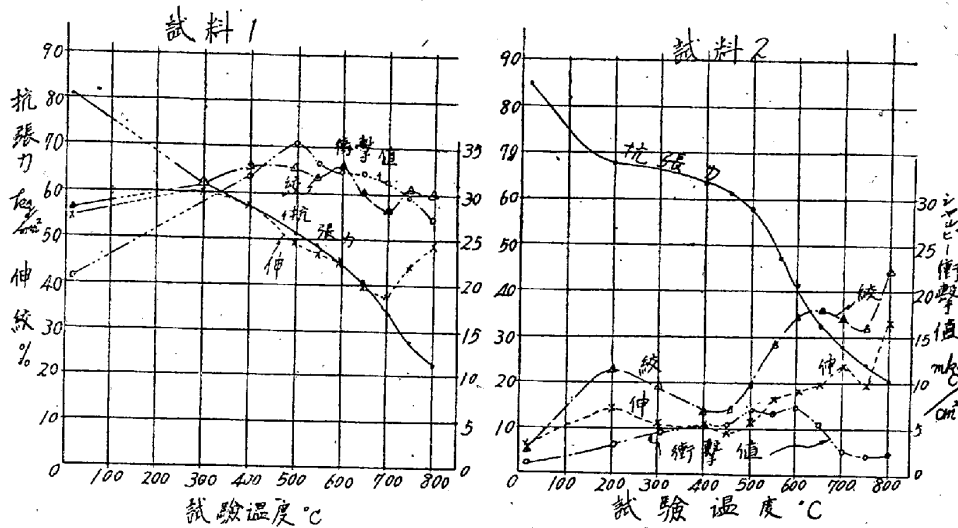
II. 試料の調製

試料は高周波電氣爐により 20kg 鋼塊を熔製した。試料は Mn 含量が高く且 C 量が低い爲に、合金元素としての Mn の原料にはフェロマンガ ン及電解マンガ ンを用ひた。これらの化學成分を第 1 表に示す。但しこの中試料 30 のみは工場製品である。

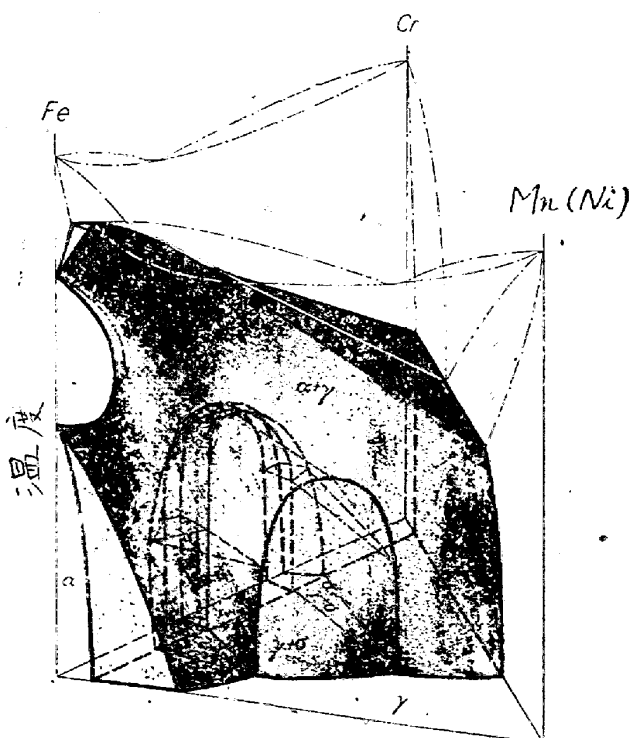
尙表中分類(5)の試料 31~35 は本文末附記の參考實驗の試料で、矢張り高周波電氣爐によつて 20kg 鋼塊を熔製したものである。

III. 高 Mn-Cr 鋼の高温機械的性質に及ぼす添加元素の影響

Scharfmeister & Ergang⁴⁾に依れば下圖に示すが如く Fe-Mn-Cr 系に於て脆弱 σ 相が析出しない爲には概略 Mn>15%, Cr<15% である事を要するが、この σ 相の析出が高温機械的性質に及ぼす影響を見る爲に、第 1 表中の試料 1 及 2 に就て高温に於ける抗張試験並に衝撃試験を行つた。第 1 圖はその結果を示す。これに依れば σ の析出せる試料 2 (顯微鏡寫眞後掲) は析出せざる試料 1⁵⁾ に比べると、抗張力は 600° 以下に於ては最大 10kg/mm² 大なる値を示すが 600° 以上に於ては却つて小なる値を示し、靱性(伸、絞、衝撃値)は遙に低い、特に衝撃値は試験温度上昇するも増加する事なく、700~800° に於ても 2~3 kgm/cm² といふ低い値を示す事は十分注意を要する。尙第 2 圖に示す高温加熱による脆化試験によれば、試料 2 の衝撃値は 1050° 水冷のままでは 4 kgm/cm²、水靱後 800°×20mn 加熱により 1 kgm/cm²、更に 700° に 3h 以上加熱する時は 0.2kgm/cm² となり、ブリネル硬度は水靱のままでは 190、更に 700°×3h 加熱する時は 480 となり、以後變化がない。唯試料 2 は Cr 量高き爲耐酸化性の甚だ良好なる事は後



第 1 圖



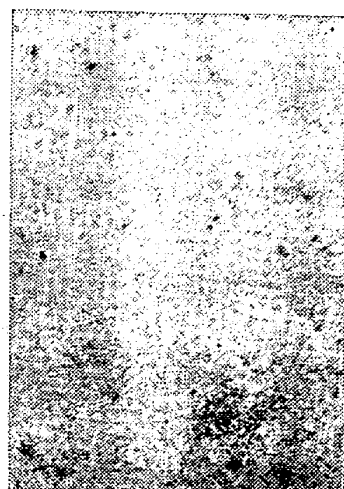
く Fe-Mn-Cr 系に於て脆弱 σ 相が析出しない爲には概略 Mn>15%, Cr<15% である事を要するが、この σ 相の析出が高温機械的性質に及ぼす影響を見る爲に、第 1 表中の試料 1 及 2 に就て高温に於ける抗張試験並に衝撃試験を行つた。第 1 圖はその結果を示す。これに依れば σ の析出せる試料 2 (顯微鏡寫眞後掲) は析出せざる試料 1⁵⁾ に比べると、抗張力は 600° 以下に於ては最大 10kg/mm² 大なる値を示すが 600° 以上に於ては却つて小なる値を示し、靱性(伸、絞、衝撃値)は遙に低い、特に衝撃値は試験温度上昇するも増加する事なく、700~800° に於ても 2~3 kgm/cm² といふ低い値を示す事は十分注意を要する。尙第 2 圖に示す高温加熱による脆化試験によれば、試料 2 の衝撃値は 1050° 水冷のままでは 4 kgm/cm²、水靱後 800°×20mn 加熱により 1 kgm/cm²、更に 700° に 3h 以上加熱する時は 0.2kgm/cm² となり、ブリネル硬度は水靱のままでは 190、更に 700°×3h 加熱する時は 480 となり、以後變化がない。唯試料 2 は Cr 量高き爲耐酸化性の甚だ良好なる事は後

第 1 表

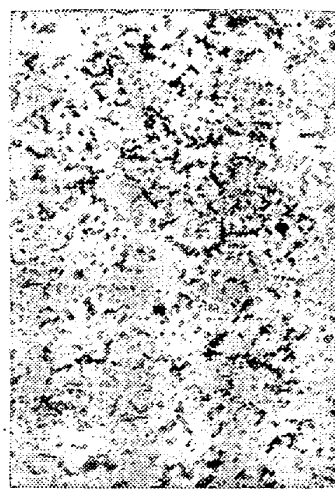
分類	試料 番 號	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	W	Mo	V	Ti	Cu	備 考
(1)	1	0.26	1.00	18.20	0.045	0.013	12.77							試料 1~13の熱 処理は 1050°水冷 800° (20mn)空冷
	2	0.28	1.46	12.53	0.017	0.026	21.90							
	3	0.23	2.35	21.54	0.014	0.018	12.34							
	4	0.26	2.87	21.24	0.015	0.022	12.13	4.12						
	5	0.25	2.70	21.02	0.015	0.022	10.51		2.70					
	6	0.28	2.93	21.62	0.014	0.020	12.55			0.38				
	7	0.27	2.95	21.93	0.016	0.024	12.63				0.19			
	8	0.27	2.90	21.90	0.015	0.024	12.09				0.37			
	9	0.30	2.84	21.35	0.016	0.025	12.09					0.24		
	10	0.36	2.04	21.38	0.016	0.021	12.14						1.79	
	11	0.39	2.37	18.12	0.014	0.012	13.52		2.60	0.72				
	12	0.39	2.90	19.28	0.020	0.017	12.24							
	13	0.53	0.95	0.51	0.014	0.023	13.31	18.83	2.94	0.66				
	14	0.14	1.58	16.05	0.019	0.015	12.99	0.40	1.82	0.30		0.09		
	15	0.35	1.64	17.07	0.020	0.014	13.88	0.28	1.74	0.27		0.26		
(2)	16	0.38	0.82	16.74	0.010	0.012	12.22		2.01	0.29		0.03		0
	17	0.38	1.04	16.63	0.009	0.013	12.30		1.98	0.27		0.15		0.2
	18	0.38	1.28	17.10	0.011	0.011	12.63		1.79	0.30		0.26		0.4
	19	0.39	1.25	16.92	0.012	0.012	12.51		1.68	0.17		0.30		0.6
(3)	20	0.22	0.99	17.24	0.013	0.024	13.35							低C系
	21	0.21	1.10	18.11	0.020	0.019	12.54				0.23			
	22	0.22	1.20	18.38	0.022	0.023	12.71				0.61			
	23	0.22	1.06	17.49	0.021	0.024	12.92				0.86			
	24	0.22	1.21	17.49	0.021	0.024	12.79				1.00			
	25	0.38	1.10	17.55	0.021	0.022	12.62							高C系
	26	0.38	1.30	18.11	0.013	0.022	13.60				0.50			
	27	0.37	1.06	18.52	0.016	0.019	13.64				0.72			
	28	0.36	0.99	18.48	0.014	0.025	13.85				1.13			
29	0.38	1.30	18.43	0.020	0.019	12.28				1.46				
(4)	30	0.19	0.90	16.01	0.023	0.030	11.34				0.95			
(5)	31	0.45	1.89	0.54	0.020	0.018	14.53	13.97	2.43					
	32	0.42	1.85	0.43	0.017	0.020	14.40	13.30	2.30		0.19			
	33	0.44	1.80	0.48	0.016	0.019	14.35	13.30	2.42		0.44			
	34	0.40	1.82	0.45	0.016	0.020	14.15	13.20	2.26			0.18		
	35	0.41	2.14	0.47	0.017	0.018	14.11	13.00	2.21			0.45		

述第2表に示す通りである。又寫眞第1, 2, 3は試料2をそれぞれ1050°水冷, 水冷後800°×20mn, 更に700°×3h加熱した場合の顯微鏡組織を示す。σの析出が明瞭に認められる。

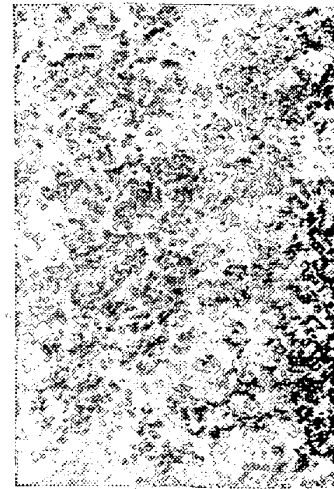
前報¹⁾に於ては高Mn-Cr鋼の耐酸化性を良好ならしめる爲に添加したAl, Siの綜合的影響を述べたが、本研究に於ては更にNi, W, Mo, V, Ti, Cuを單獨或は適宜結合させて添加した場合



寫 眞 第 1

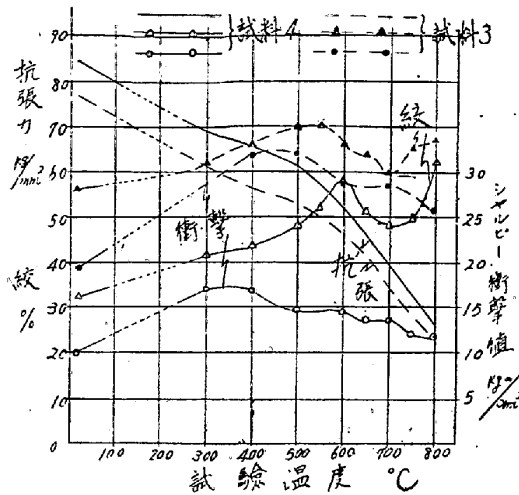


寫 眞 第 2



寫 眞 第 3 ×400

の主として高温機械的性質に及ぼす影響を研究した。試料4~10*はこの目的に向つて調製したものゝ一部であ

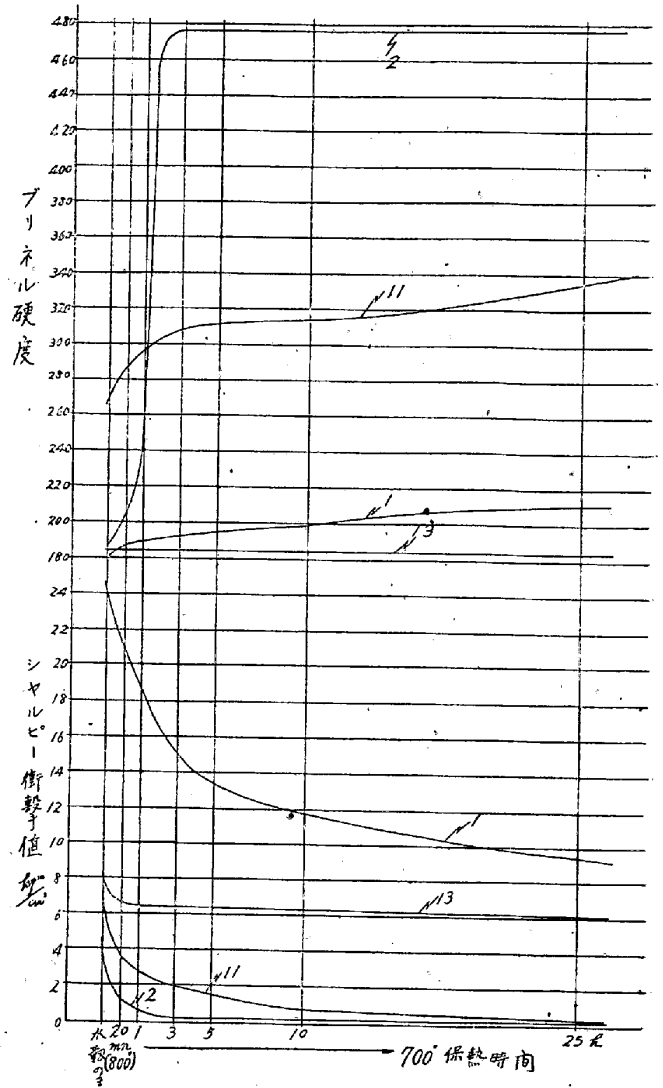


第 3 圖

る。

Ni は約 2% 迄は餘り著しい影響を認めなかつたが、約 4% 添加した試料 4 は單一高 Mn-Cr 鋼試料 3⁵⁾ に比し、第 3 圖に示すが如く、抗張力は常温 ~500° に於ては約 10kg/mm²、800° に於ては 2 kg/mm² 大きく、靱性は何れの温度に於ても可成り低下して居る。

W 及び Mo の影響は高温抗張力を高めるが靱性を減ずる。第 4 圖は W2.7% を添加した試料 5、Mo 0.38% を添加した試料 6 と試料 3 との比較を示す。尙耐酸化性は Mo 0.38% の添加では餘り著しく良好とはならないが、更に 0.82% に増加すると、第 2 表に示すが如く、高温度に於ける強さは若干増すのみであるが、耐酸化性は非常に良好となり、排氣辨用鋼 14% Cr-14% Ni-2



第 2 圖

第 2 表

化 學 成 分 %							700° に於ける			800° に於ける			1000°×20h 加熱後の酸化増量 g/m ²
C	Si	Mn	Cr	Ni	W	Mo	抗張力 kg/mm ²	伸 %	絞 %	抗張力 kg/mm ²	伸 %	絞 %	
0.38	2.03	0.51	15.35	14.63	2.66	—	40.3	33.8	47.0	26.8	47.2	57.8	23.89
0.16	0.79	20.23	12.86	—	—	—	27.0	43.6	65.9	18.4	55.3	69.6	1330.91
0.28	2.04	19.43	12.22	—	—	0.86	37.4	37.5	49.0	25.4	40.0	53.5	51.42
0.28	1.46	12.53	21.90	—	—	—	27.2	24.0	34.0	19.3	33.7	44.9	10.50

(高温抗張試片の熱処理は 1050° 水焼入、800° 戻)

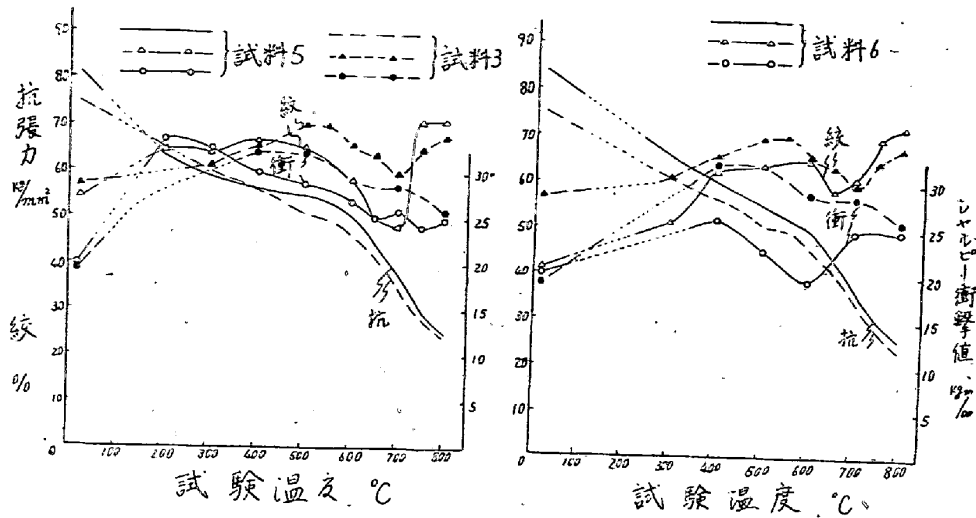
%W 鋼の耐酸化性に近い。然しこれは前述の試料 2、或は後述の Cu を添加した試料に比し尙單位時間單位表面積當り數倍のスケールを發生する。

V の影響は、第 5 圖に示す様に、V 量が 0.19%、0.37% と増加するに従ひ抗張力は少しづつ増加する。又 Ti の影響は、第 6 圖に示す様に、Ti 0.24% 含有する試料 9 は試料 3 に比し若干抗張力が増加して居るが、これは Ti の影響よりは寧ろ C の影響ではないかと思はれる。

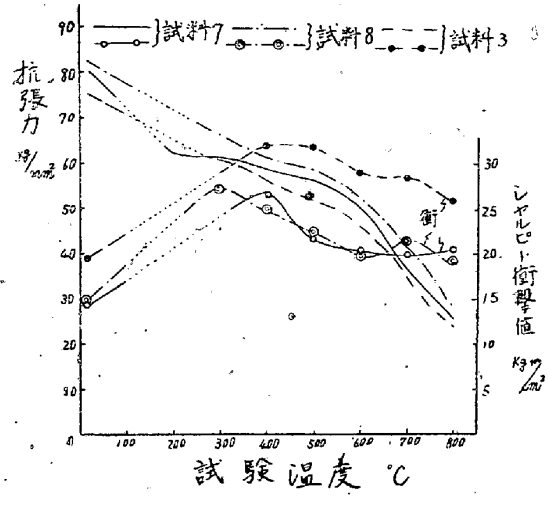
尙 Ti を 0.24% より更に 0.46% に増加しても高温機械的性質には殆ど影響がなかつた。

Cu を添加した試料 10 は第 7 圖に示すが如く、200° 以上では試験温度上昇に従ひ伸、絞、衝撃値が減少して赤熱脆性を示す、然し耐酸化性は良好であつて、特にこれに更に Mo を若干添加したものは高 Cr 試料 2 と同等の耐酸化性を示した。

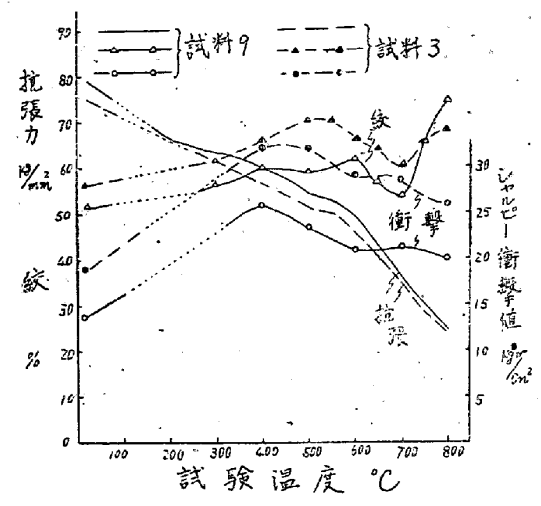
次に高温抗張力を十分高める爲に W、Mo を同時に



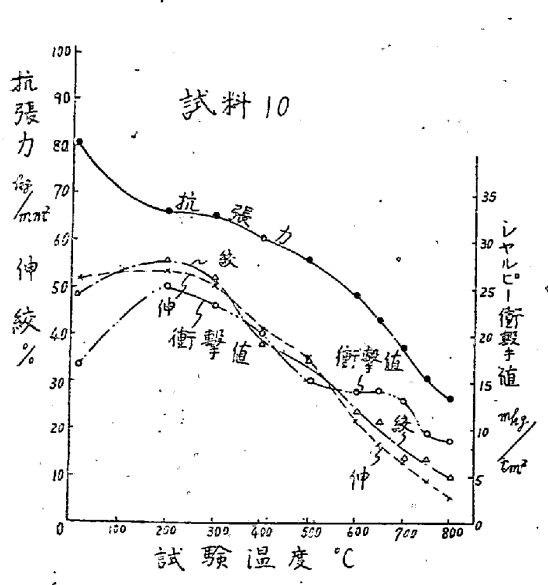
第 4 圖



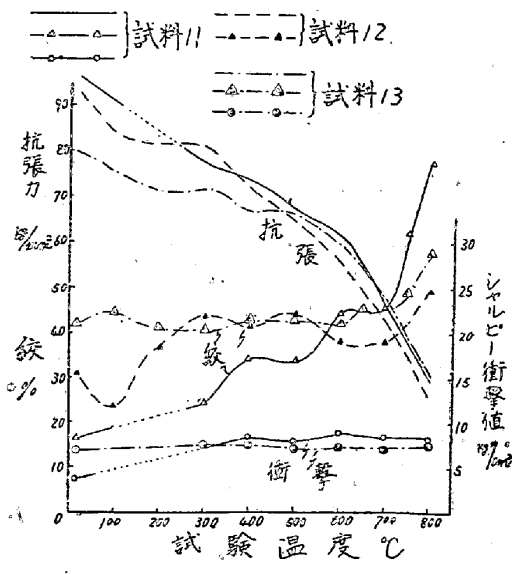
第 5 圖



第 6 圖



第 7 圖



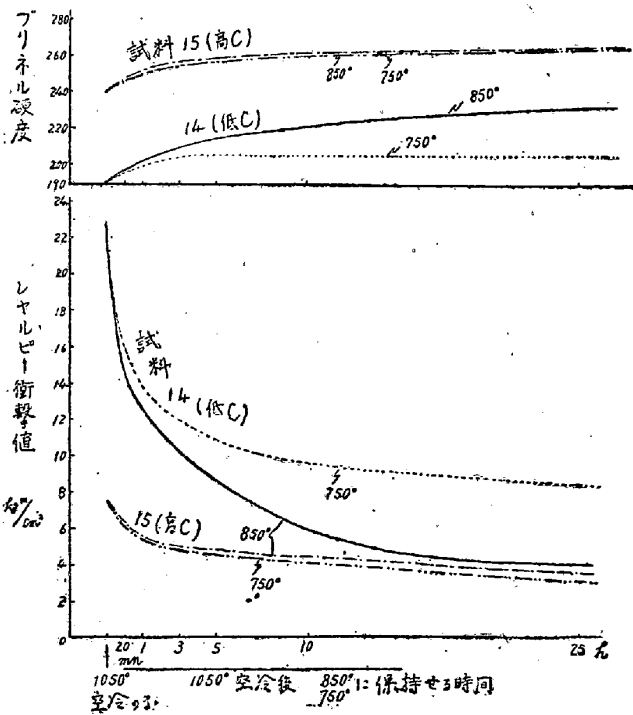
第 8 圖

添加した試料 11, これと同一 C 量の高 Mn-Cr 試料 12 及特殊高 C 高 Ni Cr 鋼 13⁶⁾ の比較を第 8 圖に示す。試料 11 は 12 に比し特に 500~800° に於ける強さが大である。又試料 11 は 13 に比し 500° 以上の温度に於ける強さは殆ど相等しいが、この温度以下に於けるそれは大であり、而して試験温度による伸、絞の増減は試料 13 の方が少い、尙第 2 圖に示す高温加熱による脆化試験によれば、試料 13 の衝撃値は水靱のままでは 8.5kgm/cm²、水靱後 800°×20mn 加熱する時は約 7kgm/cm² に減少し、更にこれ以上加熱時間を増すも殆ど變化しない。然るに試料 11 の衝撃値は水靱のままでは約 7kgm/cm²、爾後高温加熱保持時間が長くなると共に漸減して 25h 加熱後には 0.5kgm/cm² となる。

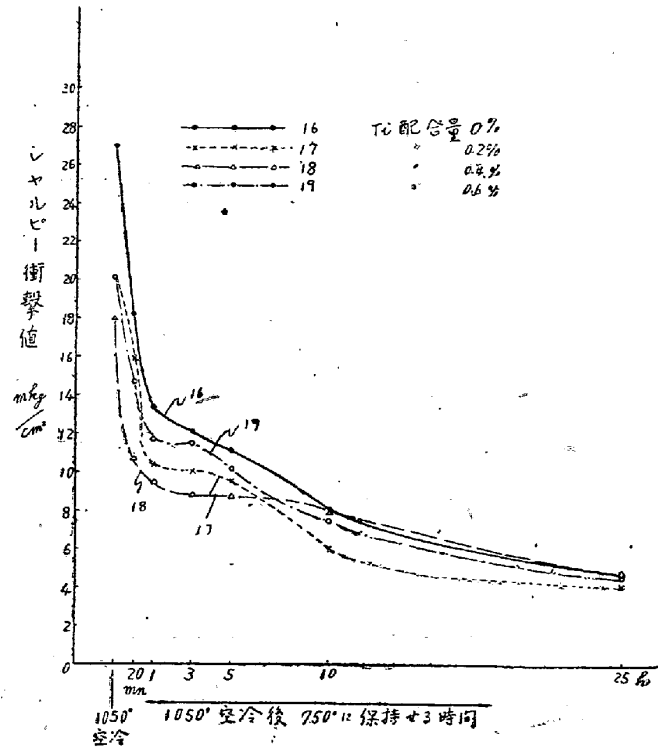
最後に、規格として制定された高 Mn-Cr 耐熱鋼の成分範囲内の試料 14 (低 C), 15 (高 C) に就ての諸試験結果を参考の爲に第 9 圖及第 3 表に示す。

IV. 高 Mn-Cr-W-Mo 鋼の脆化に及ぼす Ti の影響

オーステナイト系耐熱鋼は水靱後高温に長時間加熱する時は炭化物の析出により靱性が低下するが、Ti はこの靱性低下防止に有効であると云はれて居るので、これを検討した。即ち第 1 表分類 (2) 試料 16~19 の如く、標準の高 Mn-Cr-W-Mo 鋼 16 及これに Ti を夫々 0.2, 0.4, 0.6% 配合して熔製した試料 17~19 の 4 種類の 20kg 鋼塊を角 15mm に鍛伸、熱処理後、シャルピー試片に仕上げて衝撃値及硬度を測定した。尙表中配合 Ti 量に比しその分析値が甚だ少いのは Ti が脱酸生成物となつて逃れる爲と思はれる。試験要領は 1050° 及 1200° に夫々 1h 加熱空冷後 750° に 20mn~25h 加熱し、常温のみならず或る場合には高温に於ても衝撃値を測定したのである。



第 9 圖

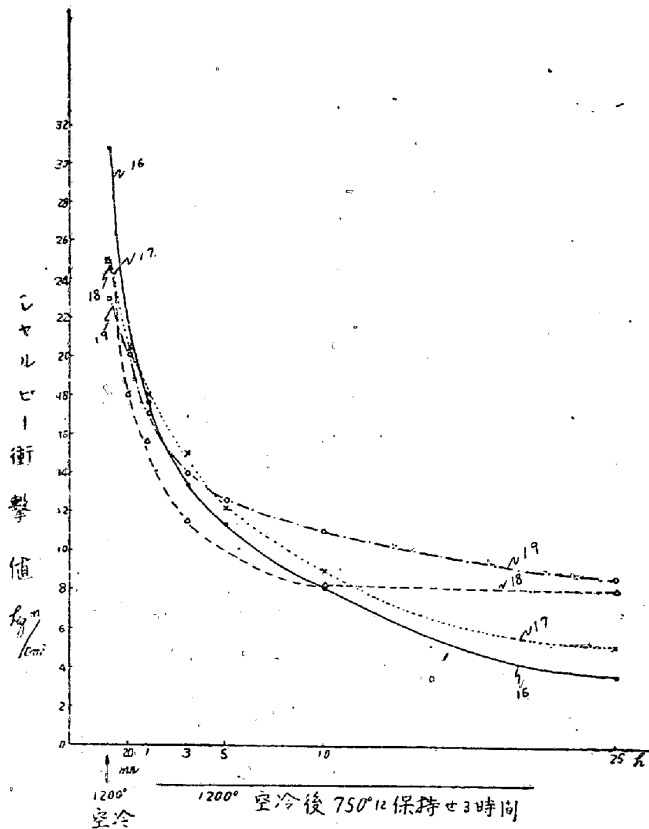


第 10 圖

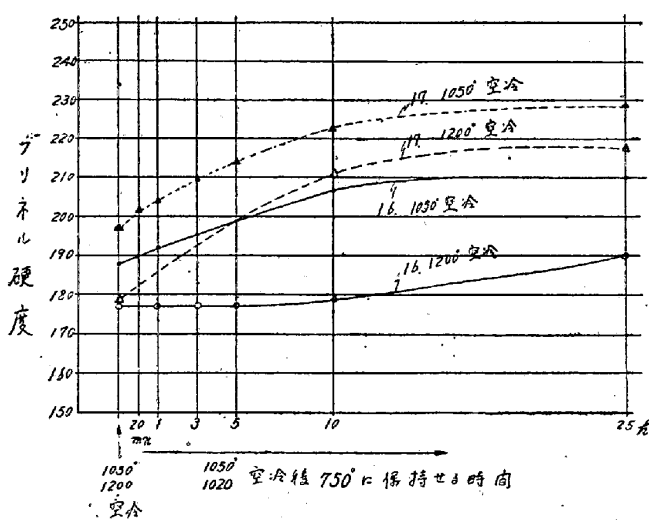
第 3 表

試料	14			15		
	1050° 空冷のまま	1050° 空冷 750°×1h 空冷	1050° 空冷 750°×5h 空冷	1050° 空冷のまま	1050° 空冷 750°×1h 空冷	1050° 空冷 750°×5h 空冷
抗張力 kg/mm ²	75.4	77.9	78.0	85.8	92.3	92.4
伸 %	56.6	53.4	52.0	40.8	39.2	22.8
絞 %	64.0	54.0	54.0	39.7	37.1	20.3
シャルピー衝撃値 kgm/cm ²	22.5	13.5	10.5	7.6	5.3	4.4
ブリネル硬度	191	200	206	240	250	260

(1) 常温試験 前記要領により測定せる常温衝撃値を第 10, 11 圖に, 又ブリネル硬度を第 12 圖に示す。但硬度は試料 16 及 17 に就ての結果のみを示し, 試料 18 及 19 の硬度は試料 17 に比して餘り著しき差異が認められなかつたので, 圖示するのを省略した。



第 11 圖



第 12 圖

これらの結果より見ると, 炭化物の析出 (顯微鏡寫眞省略) によるブリネル硬度の増加は少いが, 衝撃値の低下は著しい。1050 及 1200° 加熱の何れの場合に於ても該温度より空冷した試料の衝撃値は, Ti を配合せない

試料 16 が最も大きく, Ti を添加した試料の衝撃値は何れもこれよりは減少して居るが, その衝撃値の減少量と Ti 添加量との関係は, 本実験に於ては実験誤差の範囲内にあつて, 一定の関係を認める事は出来ない。尚 1050° 空冷後 750° 加熱による析出硬化に及ぼす Ti の影響も又殆ど認められない, 然し 1050° 空冷後 750° × 25h 加熱する事により衝撃値の減少した量は試料 16 が他の 3 試料に比し遙に多い。

1200° 空冷後 750° 加熱による衝撃値の低下に關しては, Ti を多く添加せし試料程低下が少い。唯この作用は配合 Ti 量 0.4%迄は Ti 量増加と共に増大するが, 更に 0.6% 迄 Ti 量を増してもその割合には大とならない, 蓋し分析 Ti 量が殆ど増加して居ない爲と思はれる。

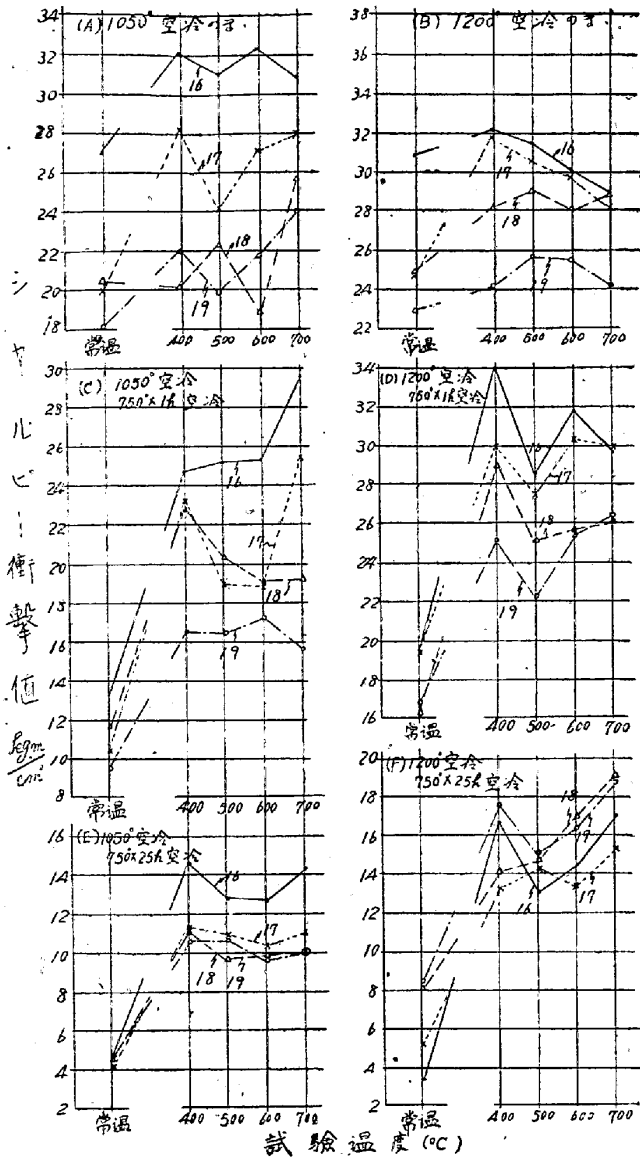
又第 12 圖によれば硬度の増加は試料 16 よりも 17 の方が大である。

扱て上記実験結果に對し理論的に考察すると, 熔解時に添加したフェロチタンに依つては先づ脱酸作用及結晶粒微細化作用が考へられるが, この兩作用が直接析出硬化作用に影響を及ぼすとは考へられない。所が Ti は安定なる炭化物を生成する作用が甚だ強く, 然もこの炭化物は融點直下の高温度に於て始めて少量鐵中に溶解するに過ぎない故に Ti のこの強い炭素結合作用 (C を食ふ作用) が低 C の不銹鋼 (18/8) に於て Cr の炭化物の結晶粒界への析出, 粒間腐蝕を防止するに役立つのである。C の比較的高い耐熱鋼に於ても, Ti を添加せし試料はせざるものに比し水靱のままの衝撃値が低下して居る事, 又他の炭化物を十分溶解させる爲に焼入温度を十分高めた場合に限り水靱後の高温加熱による衝撃値低下に對して Ti の有効である事が了解される。

尙本文末に參考に附記せる如く, 14%Cr-14% Ni-W 鋼の析出硬化に對しては Ti は餘り有効ではなかつた。

(2) 高温試験 Ti を 0.2~0.3% 添加する時は常溫に於ける靱性の低下を軽減し得るが, 耐熱鋼として使用される高温度に於ける靱性は如何であらうかを検討する目的を以て, 試料 16~19 を 1050 及 1200° より空冷したものと並にこれを更に 750° に 1h 及 25h 加熱空冷したものに就き 400, 500, 600, 700° に於て高温衝撃試験を行つた。第 13 圖はその結果を示す。

先づ (A) 1050° 空冷試料に就て見れば, 常溫衝撃値は標準の試料 16 に比し Ti を添加した試料 17, 18, 19 は可成り低下して居り, 400~700° の高温衝撃値も又標準試料に比して低い, 即ち試料 17 は約 3~7kgm/cm² 低く, 更に Ti を増せば衝撃値は一層低下するが, 試料 18 と 19 とは大差がない。(B) 1200° 空冷試料



第 13 圖

に於ては、常温衝撃値は標準試料 16 に比し Ti 0.2 及 0.4% 添加した試料 17 及 18 は約 7kgm/cm² 小さいが、この兩者間の高温衝撃値の差異は試験温度上昇する程少くなり、700° に於ては殆ど差異が認められない。一方 Ti 0.6% 添加した試料 19 は常温乃至 700° の何れの試験温度に於ても更にこれより低い値を示す。(C) 1050° 空冷 750° x 1h 空冷したものでは、常温衝撃値は Ti 添加量と共に低下して居るが、この関係は試験温度 400~700° に於ても矢張り保たれて居る、而して試料 17 及 18 が 700~800° に於て殆ど相等しい値

を示す外は各試料間の高温衝撃値の差は常温のそれよりも可成り大きい。(D) 1200° 空冷 750° x 1h したものの、高温衝撃値も又概して Ti 添加量と共に低下して居る。(E) 1050° 空冷 750° x 25h 空冷したものに於ては、Ti 添加量により常温衝撃値の差異は認められないが、高温衝撃値は試料 16 に比し試料 17, 18, 19 は何れも低く、且三者殆ど相等しい値を示す。(F) 1200° 空冷 750° x 25h 空冷したものに於ては、常温衝撃値は Ti 添加量多い程大であるが、高温衝撃値と Ti 添加量との間には何等一般的關係が認められない。

以上の如く、高 Mn-Cr-W-Mo 鋼の焼入後の高温度長時間保熱による靱性低下防止に對して Ti は、常温衝撃値のみを考へれば 1050° 空冷の場合には無効、1200° 空冷の場合には可成り有効であるが、更に高温衝撃値をも併せ考慮すれば、何れの場合共に殆ど効果がない(次號へ)。—(昭.23.10 月寄稿)—

文 獻

- 1) 鐵と鋼, 29 (昭 18), 233.
- 2) 河合, 越智, 鐵と鋼, 30 (昭 19), 153.
- 3) 村上, 小犬丸, 高 Mn 高 Cr 鋼の高温度特性に及ぼす諸元素の影響 (昭 18, 10 日本鐵鋼協會講演會); 山中, 保坂, Cr 及 Mn を主體とせる耐酸耐熱鋼の研究 (I)(II) (昭 18, 10 及昭 19, 10. 日本鐵鋼協會講演會) 等.
- 4) P.Scharfmeister, R. Ergang, Techn. Mitt. Krupp Forschungsberichte 2jahrg, Heft 2 (Feb.1939), Heft 3 (März, 1939).
- 5) 試料 2 の比較試料としては試料 1 を、試料 4 の比較試料としては試料 3 を選んだのは、高 Mn-Cr 鋼の高温機械的性質は C 及び Si により可成り影響されるから、C 及 Si が夫々近似した兩試料を選んだのである。
* 試料 3~10 は本鋼種としては Mn 含量が必要以上に高くなつたが、添加元素の影響を相對的に比較する事はこれによつても出来ると思ふ。
- 6) この成分に關しては次記參照。井伊谷; 日本航空學會誌, 第 11 卷第 108, 109, 110 號 (昭 19, 4, 5, 6 月) 308 (論 278).
- 7) Houdremont, Sonderstaltkunde (1935), 541.