

Si-Mn-Cr 鋼の滲炭の研究

山 木 正 義*

STUDY ON THE CARBURIZATION OF Si-Mn-Cr STEEL

Masayoshi Yamaki

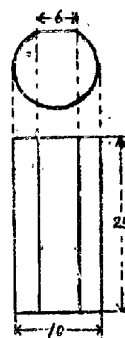
Synopsis:— The effect of Si, Mn and Cr on the carburization of Si-Mn-Cr steel was studied systematically and it was concluded that the best composition is 1% Si, 1% Mn and 1% Cr. And then, the effect of V, Ti, Mo and W, on the carburization of Si-Mn-Cr steel (1% Si, 1% Mn, and 1% Cr) was researched and it was concluded that both V and Ti give bad effect on the carburization but both Mo and W are not so bad.

I. 緒 言

滲炭用特殊鋼としては従来 Ni-Cr 鋼の如き Ni 系の鋼種が専ら使用されてきたが、我國に於ては Ni の自給自足は到底不可能なるを以て所謂代用鋼の研究が夙に行はれて来た、而して代用鋼としては主として Cr 系の鋼種が挙げられ就中 Si-Mn-Cr 鋼が有望視され既に實用にも供せられてゐる。併し乍ら本鋼種の滲炭性に就ては余り発表がなく僅に錦織博士が本鋼の研究発表中りに滲炭性に就て言及されてゐる程度である。依つて著者は本鋼種の滲炭性に就て基礎的研究を行つた。即ち Si, Mn, Cr 各元素のうち任意の二つを夫々約 1% 宛とし、之に第 3 の元素を 0~3% 添加した場合に於る滲炭性の變化を究め、且つ舊臨時 JES 肌焼鋼第 4 種乙に相當する Ni-Cr 鋼をも同時に滲炭して比較検討した。其の結果、Si, Mn, Cr 各 1% 程度のもものが滲炭性が最良なることを確めた。次いで斯る組成の Si-Mn-Cr 鋼の滲炭性に及ぼす添加元素 V (0.5% 迄)、Ti (0.5% 迄)、Mo (0.7% 迄)、W (1% 迄) の影響に就て研究した結果を述べる。

II 實 験 概 要

本研究に供した試料の分析成分は第 1 表の如くである。之等の試料は、電解鐵、極軟鋼、フェロ Cr、金屬 Cr、フェロ Mn、電解 Mn、金屬 Si、電解 Ni、フェロ V、フェロ Ti、フェロ W、フェロ Mo を適當に配合しクリプトル爐を用ひて約 400gr 宛を熔製した。各チャージは徑 20mm の金型に鑄込んだ後徑約 13mm に鍛造し 900°C で 5 時間焼鈍後更に徑 10mm に切削した。滲炭用試片はこの丸棒を長さ約 25mm に切り側面を一ヶ所ヤスリで削り巾約 6mm の平面となし、全面をエメリーペーパー 00 まで磨いたものを用いた。(第 1



第 1 圖 試片の形状

圖参照) 滲炭函は底を熔接した内徑 52mm、長さ 170mm の軟鋼製圓筒形のものを用い滲炭劑としては、松炭を粉碎して 42mesh の篩を通過したものと BaCO₃ とを 3:2 の割合でよく混じたものを用いた、各試片を滲炭函中に装入して滲炭劑を固く詰め、鐵の蓋をした後嚴重に目塗り

を施し、管狀電氣爐中で加熱した。

第 1 表 試料分析成分

試料番號	C	Si	Mn	Cr	添加元素	
第 I 群	1 E	0.20	0.28	1.02	1.03	—
	2 E	0.24	0.92	1.05	1.06	—
	3 E	0.22	1.47	1.03	1.09	—
	4 E	0.24	2.36	1.02	1.03	—
	5 E	0.18	3.01	0.97	1.02	—
	1 F	0.17	1.02	0.08	1.06	—
	2 F	0.12	1.07	0.50	1.00	—
	3 F	0.21	1.05	1.80	1.17	—
	4 F	0.23	1.08	3.06	0.98	—
	1 G	0.15	1.04	0.98	—	—
	2 G	0.15	1.03	1.02	0.65	—
	3 G	0.19	1.05	0.97	2.07	—
4 G	0.22	1.04	0.96	3.05	—	
1 H	0.10	0.26	0.20	0.55	Ni 3.52	
第 II 群	SMC	0.10	1.05	0.91	1.05	—
	2 V	0.10	1.05	0.97	1.08	V 0.18
	5 V	0.15	1.10	0.96	1.02	V 0.48
	2 T	0.06	1.04	0.88	1.95	Ti 0.22
	5 T	0.10	0.92	0.89	1.04	Ti 0.47
	5 M	0.13	1.05	0.83	1.27	Mo 0.43
	10M	0.06	0.90	0.75	1.13	Mo 0.73
	5 W	0.09	0.92	0.87	1.21	W 0.36
	10W	0.09	0.90	0.74	1.11	W 0.69

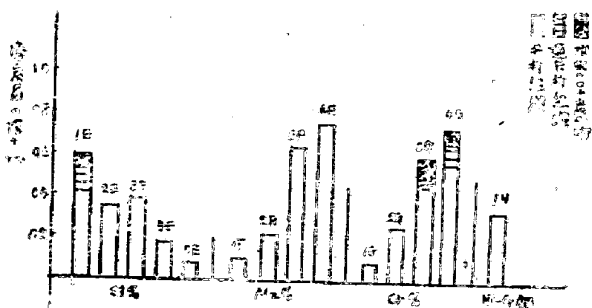
*東京大學第二工學部冶金學教室

は、滲炭温度を 850°C, 920°C, 1000°C の3つとし、滲炭時間は4時間及び8時間の2通り行つた。同じく第Ⅱ群に属する試料に關しては、滲炭條件は 950°C×8h, 1000°C×8h, 及び 880°C×3h の3つである。何れの場合にも、滲炭温度に達する迄の時間は1.5~2時間で、滲炭温度よりの冷却はすべて爐冷とした。常温に冷却後試片を取出し中央部より切斷して斷面を研磨腐蝕して滲炭層及び心部の組織を檢鏡し、更に試片の平面部分に於て表面のツイツカース硬度を測定した。滲炭層の深さを測定する爲には、顯微鏡に附屬せる Ocular Micrometer を用い3ヶ所測定してその平均値を採つた。試片の残り半分は焼入用とした、滲炭後の焼入温度決定の爲に全熱膨脹計を用ゐて各試料の變態點を測定した結果は第2表の如くである。試料に依つては、膨脹計にて變態點を明瞭に決定し得ないものもあつたが斯る場合には、種々の温度より焼入れて組織を檢鏡し、適當な焼入温度を選んだ。一般に、焼入温度は $(Ac_1+40)^\circ C$ とした。

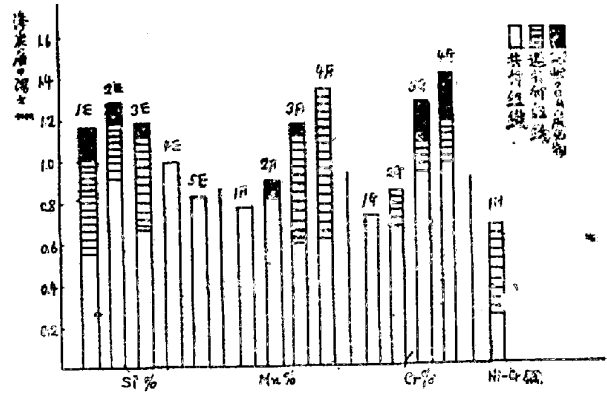
Ⅱ 實驗結果

A. 第Ⅰ群の試料に就て

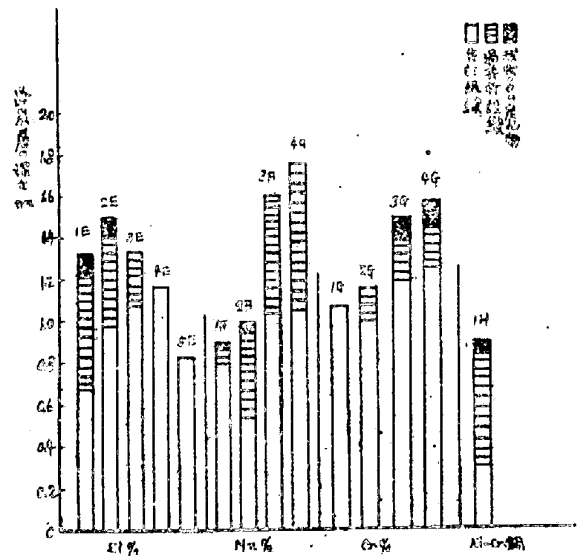
1) 滲炭層の深さ及組織 Si, Mn, Cr の何れの元素を加へても鋼の共析點の炭素量は各元素の添加量と共に低下するから組織の檢鏡に依る滲炭層の深さの決定法では炭素の眞の滲入深さを嚴密に現はし得ないが、大體の傾向は充分知り得るのであるからいちいち炭素量を分析する繁雜をさける爲便宜上此の方法に依つた、斯くして種々の滲炭條件の場合に得たる結果の代表的なるものは第2~5圖の如くである。之等の圖に依つて各元素の影響を見るに先づ Si は(試料 1E~5E) 滲炭層の深さを減少せしめる。滲炭層の組織は Si の添加に依つて絮狀炭化物及び球狀クロム炭化物の析出が漸次微弱となり遂に共析組織のみとなる、即ち球狀クロム炭化物は Si 約1% 以内の時に見られて居り又 Si 2% 以上の時は過共析組織も見られてゐない。Mn の影響を見るに(試料 1F~4F) 總ての場合に滲炭層の



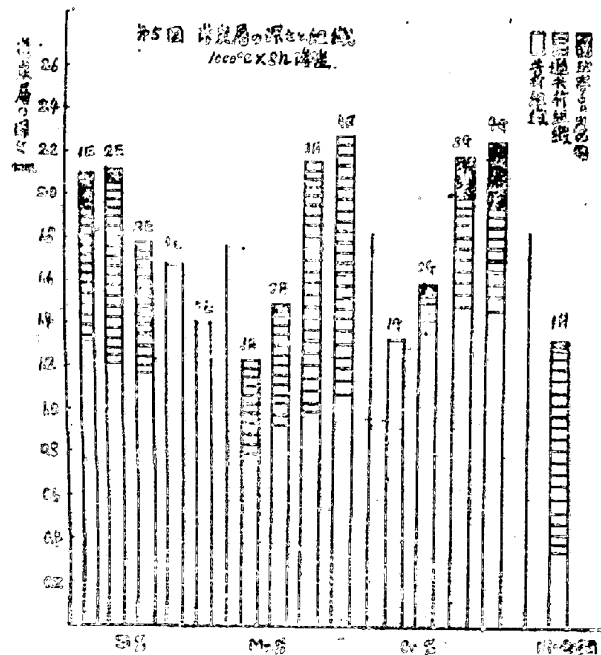
第2圖 滲炭層の深さと組織 850°C×8h 滲炭



第3圖 滲炭層の深さと組織 920°C×8h 滲炭



第4圖 滲炭層の深さと組織 1000°C×4h 滲炭

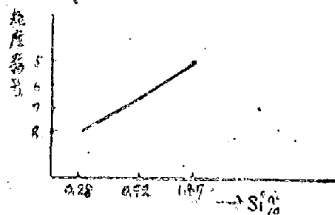


第5圖 滲炭層の深さと組織 1000°C×8h 滲炭

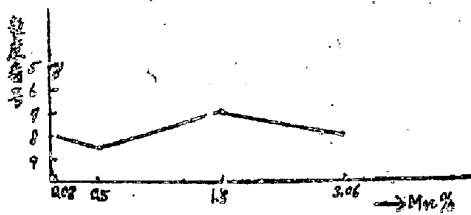
深さは Mn 量と共に増加してゐる。高温長時間の滲炭に際しても球狀クロム炭化物は殆ど析出せず、只 Mn 2% になると鋼狀炭化物が相當に發達してくる。Cr の

影響を見るに (試料 1G~4G) Mn の場合と同様に滲炭層の深さは増大してゐる, 特に2%以上添加した時にその効果が著しいやうである, 滲炭組織を見るに2%以上のCrが添加された場合にCr鋼特有の球状クロム炭化物の析出が著しい. 最後に比較の爲に同時に実験したNi~Cr鋼(試料1H)に就て述べると, 滲炭層の深さはSi-Mn-Cr鋼に比して中程度でさほど深くはないが全體の深さに比して過共析部分が相當深いやうに思はれる又球状クロム炭化物はごく僅見される

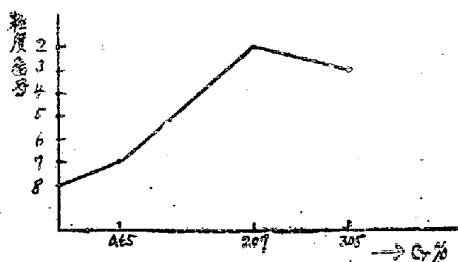
2) オーステナイト粒度. 炭加熱に依るオーステナイト粒子成長の状態を調べる爲に學振法に準じて滲炭層周囲のオーステナイト粒度を測定した. 先づSiの影響を見るに前述の如くSiは滲炭を妨害するからSiの多い試料や低温短時間で滲炭した試料では炭化物の網目は認められなくなるので, Si約1.5%迄のものに就てのみ測定した. 一般にSiは鋼のオーステナイト粒の粗大化を促すものとされてゐるが, 本実験の結果も第6圖に示す如くSi量と共にオーステナイト粒は粗大化してゐる. 次にMnは第7圖に示す如く殆ど粗大化を促す傾向を示さなかつた, 之は一般にMn



第6圖 オーステナイト粒度に及ぶSiの影響
1000°C×8h 滲炭



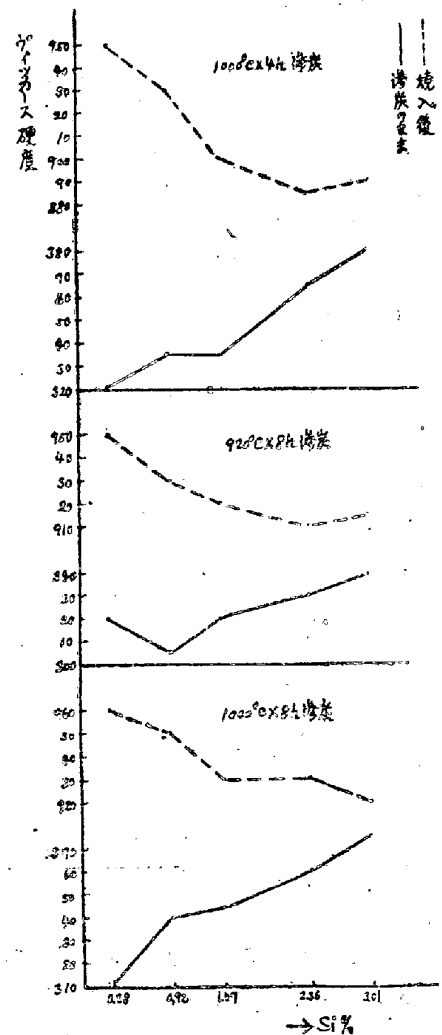
第7圖 オーステナイト粒度に及ぶMnの影響
1000°C×8h 滲炭



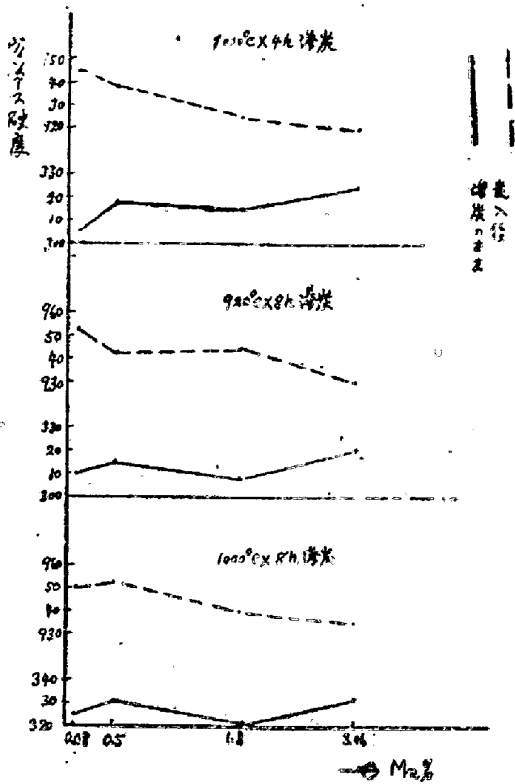
第8圖 オーステナイト粒度に及ぶCrの影響
1000°C×8h 滲炭

はオーステナイト粒を粗大化し且つその成長を促進する元素であるとされてゐることと異なる. 次にCrはオーステナイト初期粒度の微細化能力も又加熱に依る粒子の成長を阻止する能力もNiよりも大きい位であるとされてゐるが, 本実験に於ては第8圖の如く, 全く相反する結果を得た. 最後にNi-Cr鋼(試料1H)に於ては滲炭条件の如何に拘らずオーステナイト粒子の成長が全く認められず粒度番號も8位に止まつてゐる.

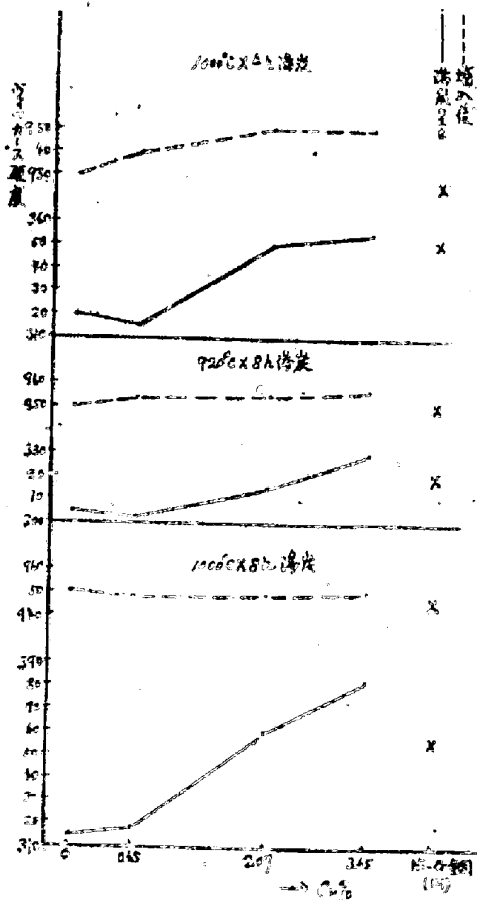
3) 滲炭層の表面硬度. 滲炭のまま或は更に焼入れた後に試片の平面部分に於て滲炭層表面のヴィツカーズ硬度を測定した結果の一例は第9~11圖の如くである. Siは何れの滲炭条件の場合にも硬度を増加せしめるが, 之を焼入れた後は逆にSiの多いもの程硬度は低下する傾向にある, Mnは滲炭のままの硬度には殆ど差を生ぜしめないが, 焼入れたものではSiと同じくMn量を増すにつれて硬度は幾分低下してゐる. Crは滲炭のままでも, 又焼入れた後でも硬度を増加せしめる. 尙第11圖にはNi-Cr鋼の該當値を示しておいた, 之に依れば, Si-Mn-Cr系の各試料は



第9圖 滲炭層の表面硬度に及ぶSiの影響



第10圖 滲炭層の表面硬度に及す Mn の影響



第11圖 滲炭層の表面硬度に及す Cr の影響

Ni-Cr 鋼に匹敵する硬度を出してゐることが分る。

4) 心部の組織. 滲炭の爲の長時間加熱に依り各

試料の心部組織が如何に變化するか、特にフェライトの粒度に及ぼす影響に就て調べた結果は次の如くである。

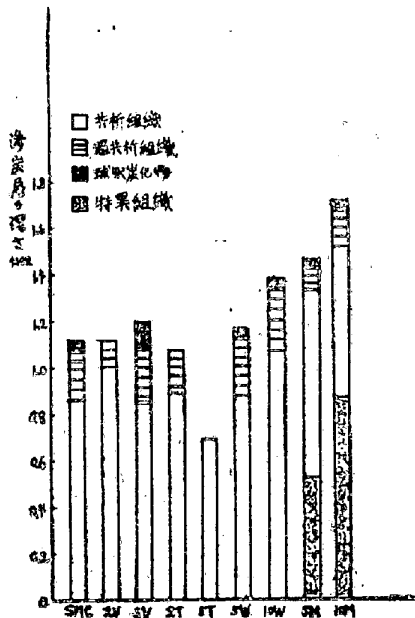
Si 量を変へた試料 1E~5E は滲炭温度 920°C 迄は 8 時間の場合でも組織は粗大化せずにあるが、1000°C の場合には滲炭 4 時間でも Si 1.5% 以上含有する試料 4E, 5E はフェライトが著しく粗大化してゐる。Fe-Si-C 系状態圖に依れば Si 2~3%, C 0.2% 附近の組成の鋼は 1000°C に加熱しても ($\gamma + \alpha$) の組織を示してゐる。この α は高温の爲長時間の間に成長し常温に冷却される途中變態を起さぬから粗大化したままのフェライトが見られるわけである。試料 4E, 5E は純粹の Si 鋼ではなく Mn, Cr が共存するが状態圖の大勢には變化なく、上述の理由でフェライトが粗大化したものと思はれる。Mn 量を變化せしめた場合は (試料 1F~4F) 殆ど組織は變化せずフェライト粒も細かい、この場合には滲炭温度が各試料の A_{c3} 點以上にあるので滲炭温度より常温に冷却の途中變態を起してフェライトを生ずる爲にフェライト粒子は粗大化せず而も總ての場合に同様な粒度を示すのである。Cr の影響 (試料 1G~4G) を見るに、低温滲炭の時にはフェライトは粗大化してゐない、1000°C の高温では Cr が 2% 位添加されると著しく粗大な組織になつてゐる。Fe-Cr-C 系状態圖に依れば、Si の場合と同様な理由で粗大化する筈はないのであるが、之は Cr 單獨の影響ではなく、Cr が共有する Si の作用を助長した結果であると考えられる。最後に、比較の爲に同條件で滲炭した Ni-Cr 鋼は高温で滲炭しても心部組織は變化なく微細である。

5) 焼入後の滲炭層の組織. 各試料とも焼入後の滲炭層の組織は勿論マルテンサイトになつてゐるが、滲炭に際して球狀クロム炭化物の析出せるもの例へば 1000°C x 8h 滲炭の 3G, 2E 等では焼入後もこの炭化物が溶け込み切れずにマルテン中に残つてゐる、又同じく 3F の如く滲炭に依り球狀炭化物がよく發達してゐたものは焼入後も球狀組織がよく見られる、従つて Cr の多いものでは滲炭後高温焼鈍法に依つて脆弱なる球狀クロム炭化物を消失せしめる必要があり、又 Mn の多いものでは焼鈍によりこの球狀炭化物の網目を切つて炭化物を球狀化する必要がある。

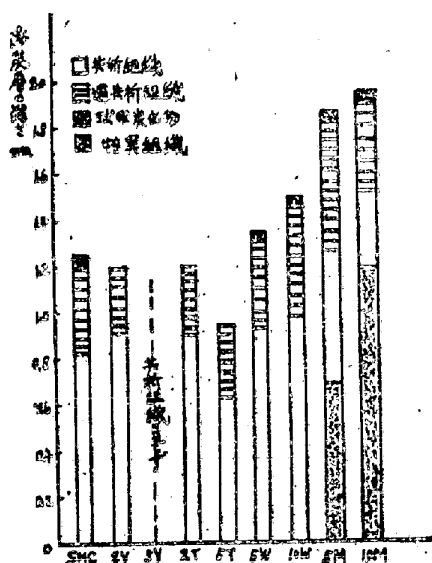
6) 總括. 以上の實驗結果より、滲炭性の點からは、Si-Mn-Cr 鋼の組成は、Si, Mn, Cr 各 1% 宛のものが最良であり、Ni-Cr 鋼にも先づ匹敵し得ることが明かになつた。

B. 第 II 群の試料に就て.

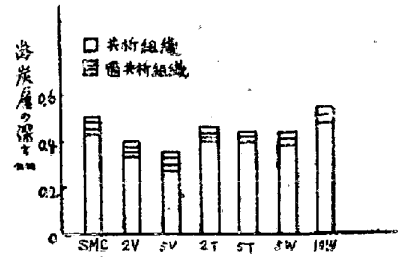
1) 滲炭層の深さ及び組織 A項で述べた如く滲炭層の組織を検鏡して滲炭層の深さを決定した、Vの影響は第12~14図(試料2V, 5V)の如くであつて滲炭温度の高低を問はず滲炭が均一に行はれ難い傾向がある。950°C×8h滲炭の場合には第12図の如く試料2V(試料SMC(添加元素なし)と略々同程度に而も均一に滲炭してゐるが、V=0.5%の試料5Vは圖の如く大部分は過共析組織及球状炭化物まで生じてゐるにも拘らず、試片の一部は共析組織にまでしか達してゐない。1000°C×8h滲炭の場合には試料2V、は一部に過共析組織を欠き、同じく5Vに至つては試片全體が共析組織をも生じてゐない。880°C×3hの



第12圖 滲炭層の深さと組織 550°C×8h滲炭



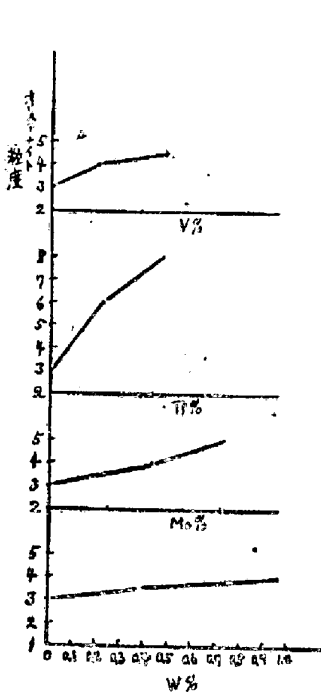
第13圖 滲炭層の深さと組織 1000°C×8h滲炭



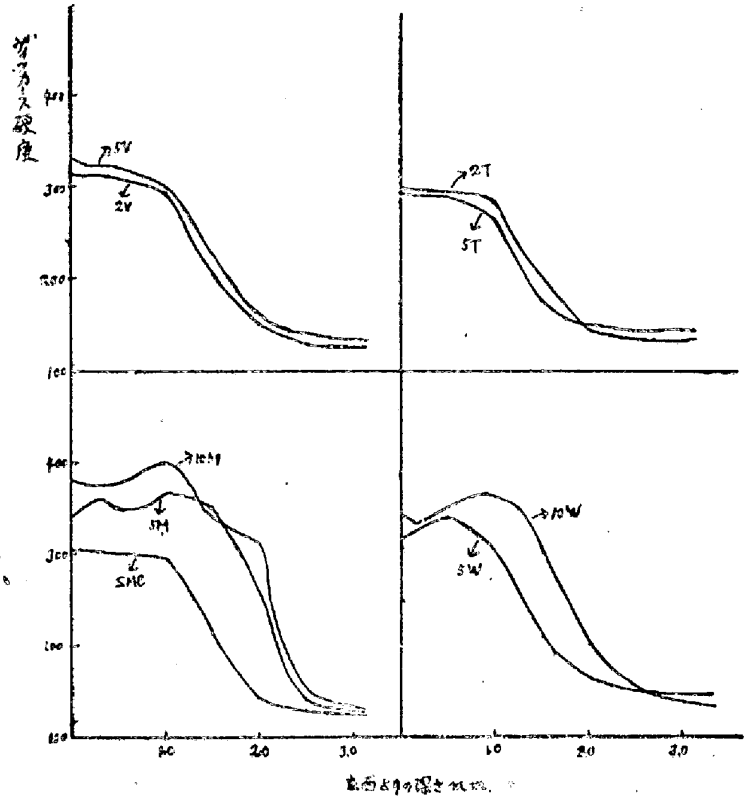
第14圖 滲炭層の深さと組織 880°C×8h滲炭 場合にも前二者の場合程ではないが滲炭が一様に行はれないことが認められた。要するにVはSi-Mn-Cr鋼の滲炭性を著しく阻害する。尚、Vが添加された場合の滲炭層のパーライトは層状を認め難く、亂れてゐる。

Tiの影響は第12~14図(試料2T, 5T)の如くであつてVの場合程ではないがやはり滲炭温度の高低を問はず滲炭が均一に行はれ難い傾向がある。Ti=0.2%の試料2Tは何れの滲炭条件でも大體均一に滲炭されるが、Ti=0.5%の5Tでは、950°C×8h滲炭の場合には著しく滲炭の深さが減じ同時に組織も共析のみで過共析組織は生じてゐない、而も試片の一部は滲炭不十分で共析に至らぬ所もある。其他の滲炭条件の場合にも滲炭は相當阻害されてゐる。要するにTiを少量Si-Mn-Cr鋼に添加した時は、Vと同様に滲炭を阻害する、併しV程著しくはない。Moの影響は第12~14図(試料5M, 10M)に示す如くであつて、Mo量と共に著しく滲炭の深さを増してゐる。又Moが組織に及ぼす影響もかなり顯著であつて滲炭層の共析組織と心部のフェライト組織との中間に異常な組織を生じた之に就ては別報²⁾で詳論することとしここでは單に特異組織と稱しておくに止める。尚、950°C以上で8h滲炭した試料10Mに於て上述の特異組織の内側にあつて之に接してゐるフェライトが著しく粗大化してゐることのあることが認められたが之に就ても別報²⁾で述べる。Wの影響は第12~14図(試料5W, 10W)の如くであつて、高温長時間滲炭の場合にはWを含め試料SMCより滲炭層の深さは増してゐるが、低温短時間滲炭の場合には殆どWの影響が現はれてゐない。

2) オーステナイト粒度. 滲炭加熱に依るオーステナイト粒子の成長状態を調べる爲A項に於ると同じく學振法に準じて各試料滲炭層周囲の滲度を測定した、第15圖は1000°C×8hの場合を示す。Mo, W特にV, Tiは結晶粒を微細化せしめ加熱による成長を防止するものとされてゐるが、本實驗に於ても勿論この特性を發揮して居り、特にTiの効果が著しい。



第15圖 オーステナイト粒度に及ぼす各元素の影響 (1000°C×8h 滲炭)

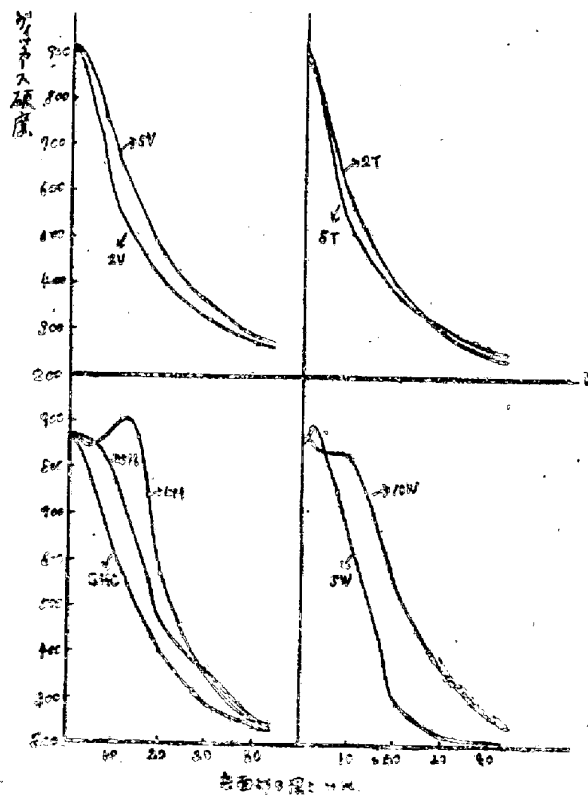


第16圖 滲炭層の硬度分布曲線 (1000°C×8h 滲炭)

3) 滲炭層の硬度. 1000°C×8h 滲炭の場合に就て滲炭層のヴィッカース硬度を求めた結果は第16圖の如くである. 試料5Vは既述の如く滲炭不完全な爲950°C×8h 滲炭の場合の値を採つた. 同圖に依ると, Vを添加しても滲炭層の硬度分布曲線には殆ど変化がない. Tiを添加した場合は硬化層が浅くなつてゐる. Moを添加した時は, 表面硬度は相當に増し, 特にMo量が増大すると著しい. 硬化層も厚くつて居り, その最高硬度の部分は表面から若干内側にある. WもMoと全く同様な影響を及ぼしてゐる, 只その効果が弱いだけである.

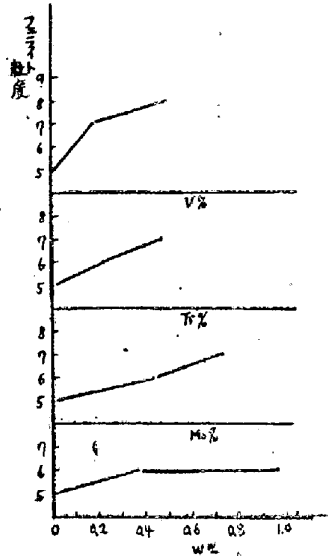
次に上試の各試料を第2表に従つて油中に焼入れ, 同様に滲炭層硬度を測定した結果は第17圖の如くである. 各試料の表面の硬度差は僅少である. 硬化層の厚さ及び曲線の形状に及ぼす各元素の影響は, 滲炭のままの場合と殆ど變りがない. 次に低温短時間滲炭即ち860°C×3hの場合に就て, 滲炭層表面の硬度を測定した結果は第3表の如くであつて, 滲炭のままの硬度數に及ぼす各元素の影響は第16圖と同様である. 焼入れ後の硬度は第17圖の場合と幾分異り添加元素を含むものは何れも硬度がやや上昇してゐるが, 特に, V, Tiの影響が著しい.

4) 心部組織. 滲炭加熱に依る心部組織, 特にフェライト粒度に及ぼす各元素の影響を1000°C×8h 滲



第17圖 焼入れ後の滲炭層の硬度分布曲線 (1000°C×8h 滲炭)

炭の場合に就て調べた結果は第18圖の如くである. 一般に少量のV, Ti, Mo, Wは何れもフェライト粒子を微細化すると云はれてゐるが, 本實驗の結果も其



第18圖 フェライト粒度に及ぶ各元素の影響 (1000°C×8h 滲炭)

第2表 變態點と焼入溫度

試料番號	Ac ₁	Ac ₃	焼入溫度 Ac ₁ +40°C	
第 I 群	1E	743	786	783
	2E	756	793	795
	3E	767	808	807
	4E	778	—	818
	5E	—	—	*840
	1F	—	—	*840
	2F	787	820	827
	3F	737	785	777
	4F	—	—	*750
	1G	735	760	775
	2G	752	790	792
	3G	790	—	830
4G	—	—	*850	
1H	690	779	730	
第 II 群	SMC	795	877	835
	2V	835	890	875
	5V	840	902	880
	2T	836	883	876
	5T	865	950	905
	5M	895	930	935
	10M	920	985	960
	5W	855	895	896
	10W	895	937	935

* 印は組織檢鏡により決定せる焼入溫度

第3表 滲炭層表面の硬度 (880°C×3h 滲炭)

試料番號	硬度 V. H. N.	
	滲炭のまま	焼入後
SMC	287	813
2V	301	868
5V	309	882
2T	288	857
5T	285	894
5W	303	820
10W	322	824

の傾向を示してゐて特に V の効果が著しい。

5) 總括. 以上の實驗結果より, V, Ti は共に, Si-Mn-Cr 鋼の滲炭性を著しく阻害するから添加元素として好ましくないこと, Mo, W は何れも滲炭性をやや増大せしめ之等元素の少量の添加は差支へないことが明かにされた。

IV 結 言

Ni-Cr 鋼の代用鋼としての Si-Mn-Cr 鋼の滲炭性に就いて研究したが, 其の結果, 組成としては Si, Mn, Cr 各 1% 程度のものが良好であることを確めた。更に, 添加元素の影響を調べたが, V, Ti は共に好ましくなく, Mo, W は差支へないことを明かにした。

終りに臨み, 本研究は太平洋戦争末期に東大第二工學部に於て行はれたものであることを附記して, 當時の指導教官恩師吉川晴十博士に深甚なる謝意を表す。
(昭 23. 11 月寄稿)

文 献

- 1) 錦織; 電氣製鋼 15 卷 10 號 19 卷 1 號, 19 卷 9 號
- 2) 著者; 鐵と鋼 32 年 7~9 號
- 3) 著者; 鐵と鋼 35 年 9 號
- 4) 著者; 未發表