

特殊鋼の衝撃抗力に関する研究 (燐、硫黄並びに特殊元素の影響)

(日本鐵鋼協會第 27 回講演大會講演 昭 17. 4. 東京)

萩 原 巖*

SUUDY OF THE IMPACT STRENGTH OF SPECIAL STEELS (EFFECT OF PHOSPHORUS, SULPHUR AND SPECIAL ELEMENTS)

Iwao Hagiwara

SYNOPSIS:—The purpose of the present study and features of the specimen and method of the experiment were described as introduction. In the first experiment, effect of phosphorus on the impact strength of nickel-chromium and other special steels, effect of additional elements on the "phosphorus brittleness" effect of phosphorus on the ordinary temper-brittleness were examined, referring to the low temperature temper-brittleness. In the second experiment, effect of sulphur on the impact value of nickel-chromium and other alloy steels were examined, dealing with the problem of the raw material and method of melting. In the last experiment, effect of other alloying elements on nickel-chromium steels were considered.

内 容

I. 緒 言

- (1) 研究目的
- (2) 試料及び実験法

II. 実験 1 燐の影響

- (1) ニッケル・クロム鋼
- (2) 各種特殊鋼
- (3) 燐脆性に對する添加元素の影響
- (4) 普通焼戻脆性に對する燐の影響
- (5) 低温焼戻脆性に就いて
- (6) 概 括

III. 実験 2 硫黄の影響

- (1) ニッケル・クロム鋼
- (2) 各種特殊鋼
- (3) 原料及び熔解法の問題に就て
- (4) 概 括

IV. 実験 3 特殊元素の影響

- (1) ニッケル・クロム鋼に對する添加元素の影響
- (2) 特殊元素の效果に對する考察
- (3) 概 括

V. 結 論

I. 緒 言

(1) 研究目的

本研究は特殊鋼の靱性の改善を目的とするものである。
茲に特殊鋼と稱するのは所謂中炭素低合金鋼のことであつ

て特別の目的のために非常に多量の合金元素を含んだもの、例へば不銹鋼、ハドフィールドのマンガン鋼、高速度鋼の如きものは除外する。

靱性には種々の定義の仕方があるが茲では同一の硬度に於る衝撃値の大いさを指して居り著者は實用上それが最も妥當な表はし方であると考へて居る。

扱て靱性の改善を圖るには靱性に寄與する有效元素を加へることの必要は勿論、脆性の原因となる有害元素の減少も亦缺くべからざることである。然るに有害元素の影響に關しては未だ不明の點多くその結果はひいて有效元素に對する正確な認識迄が妨げられて居るかと考へられる。例へば處女性とか遺傳性と言ふ様な言葉で表はされて居るところの製鋼原料の相違や製鋼法の相違による材質の優劣に對する原因が未だ明かでないために、特殊元素の效果に關するこれ迄の數多くの實驗研究が皆原料を異にし製鋼法を異にして居ることに依て比較し得ない状態に置かれて居るのである。従つて靱性の改善には先づ有害元素の影響に就いて、それもこれらの元素を加へるのではなく現在よりも減じて行つた場合に就いて實驗して見る必要が起るのである。有害元素としては砂や各種のガス等も考へられるが、本研究に於いて著者は先づ最も有害な燐と硫黄に就いて實驗を行ひしかる後各種の合金元素の效果に就いて検討することにした。今それ等の結果を實驗の順序に従つて述べるこ

* 日本製鋼所室蘭製作所

ととしやう。

(2) 試料及び実験法

本実験に於る試料の大部分は小形電気抵抗爐(クリプトル爐)を用ひ熔製したところの4kgの小型鋼塊より製作したものである。かゝる小型試料に対する実験結果は實用上の價値に疑問が抱かれ易いのであるが後述するところの平爐鋼, 電弧爐鋼, 高周波電気爐鋼等との比較試験によつて其の然らざることが了解出来ることであらう。

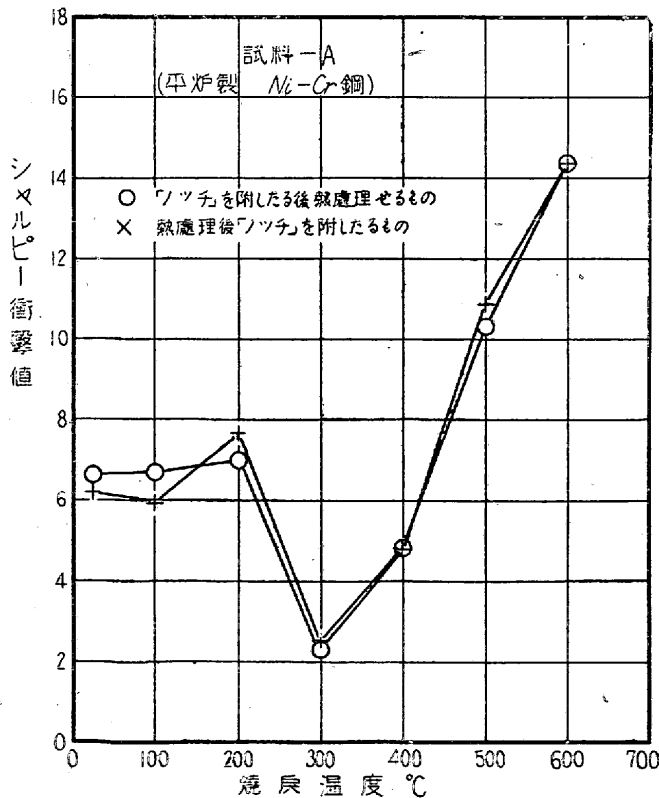
用ひた原料は鹽基性平爐鋼で第1表の様な3種の成分の

第 1 表

成分	C	Si	Mn	P	S	Ni
試料 A	0.17	0.04	0.11	0.004	0.013	0.09
B	0.22	0.17	0.15	0.004	0.010	0.17
C	0.28	0.01	0.25	0.004	0.008	0.12

ものである。何れも磷は極端に低くその點では海綿鐵やアームコ鐵に劣つて居ない。硫黄はABCの順序で少なくなつて居る。

鋼塊はこれを12~13mm角に鍊造しこれより標準型シャルピー衝撃試験片を仕上げしかる後熱處理を施した。熱處理は A_c1 の上30°C~50°Cに30mn加熱し油焼入をなし大體100°C置きに40mn焼戻すことにした。衝撃試験



第 1 圖

は同一熱處理の2個宛の試験片に對して行ひその平均を採つたが各の差は極めて少なく平均値に對する平均偏差0.49 kg/cm²に過ぎないものであつた。試験片に仕上げ後熱處理を行つた理由は焼入状態の高硬度試料を實驗する上の便宜を考へたためであるが、その際ノッチ部分の熱處理による酸化の影響を心配する必要がないことは第1圖の實驗結果に示す通りである。硬度は各衝撃試験片に就いてロックウェル硬度計にて數回測定し平均値を採つた。

II. 實驗 1 磷の影響

古くより磷は鋼に望まぬ元素と看做されては居るけれども如何なる程度に有害であるかと言ふ點に關しては未だ十分明かではない。即ち從來の多くの文獻¹⁻¹¹⁾は主として軟鋼に對する影響を論じて居るのであるが、その結果によれば約0.25%迄は左程靱性を低下せず、有害と言ふよりは寧ろ抗張力を高める上に有效な元素であるとさへ見られ特に磷を加へた鋼も作られて居る程である。炭素量の増加と共に磷が有害になつて來ることは Jones¹⁰⁾の實驗に示されて居るが、しかしそれも特別に磷の多い場合についてである。特殊鋼に於ては磷は焼戻脆性の一原因¹²⁻¹⁴⁾をなすものであると言ふことだけは認められて居るが、それも亦多量にある場合と考へられて居る様である。一般に各種の規格に於て許されて居る範圍内の微量の磷は特殊鋼の衝撃値に對して重要な影響を與へて居ないと考へられて來たことは事實である。

本實驗に於ては磷の多い試料は磷鐵を加へることによつて製造した。一旦脱磷後磷鐵によつて添加された磷は熔解に於て残留した同一量に比べて有害であると言ふ説もあるが、それは一旦著しく脱磷を行つたものの酸素量が多いためであると考へられて居る。⁹⁾

本實驗に於ては單に低磷の材料を原料として再熔解し、磷を加へたものも加へぬものも同様シリコンとマンガんにて鎮靜したものであるから、酸素量の相違は無い筈であり、實際にも磷の作用に變りがないことは後述の平爐中にて自然に磷が残留した鋼と小型電気抵抗爐にて特に添加した同一磷を持つた鋼との比較結果に示されて居る。本實驗に用ひた試料の原料, 化學成分, 焼入温度等は第2表に一括して示した。

(1) ニッケル・クロム鋼 初めて磷の影響を見出したのがニッケル・クロム鋼であつた關係上本鋼種について先づ詳細に實驗を行つて見た。酸性平爐にて熔かしたニッケ

第 2 表

符號	鋼 種	原料	化 學 成 分 (%)									燒 入 溫 度 °C
			C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	其 他	
1	Ni-Cr 鋼	B	0.30	0.18	0.49	0.011	0.012	3.12	0.72	—		800×30' 油冷
2		〃	0.30	0.19	0.45	0.008	0.014	3.25	0.67	—		830×30' 油冷
3		〃	0.29	0.23	0.49	0.009	(0.011)	3.07	0.85	—		〃
4		〃	0.28	0.19	0.36	0.009	0.015	2.81	0.74	—		〃
5		A	0.31	0.30	0.57	0.010	0.019	3.09	0.70	—		〃
6		B	0.28	0.22	0.42	0.011	0.013	3.06	0.76	—		〃
7		〃	0.30	0.20	0.54	0.020	0.014	3.19	0.80	—		〃
8		〃	0.25	0.18	0.45	0.024	0.012	3.21	0.68	—		〃
9		〃	0.27	0.20	0.51	0.025	(0.008)	3.18	0.66	—		〃
10		〃	0.27	0.20	0.43	0.025	0.013	3.16	0.76	—		〃
11		〃	0.28	0.20	0.51	0.037	0.013	3.19	0.75	—		〃
12		〃	0.25	0.22	0.42	0.032	(0.011)	3.10	0.81	—		〃
13		A	0.28	0.22	0.42	0.030	0.010	2.95	0.62	—		〃
14	Ni 鋼	B	0.30	0.17	0.51	0.007	0.012	3.16	0.02	—		〃
15		〃	0.27	0.19	0.44	0.030	0.014	3.23	0.13	—		〃
16	Cr 鋼	C	0.30	0.22	0.32	0.006	0.012	0.14	1.56	—		890×30' 油冷
17		〃	0.28	0.23	0.30	0.027	0.011	0.13	1.70	—		〃
18	Mn 鋼	〃	0.30	0.23	1.45	0.009	0.010	0.13	—	—		870×30' 油冷
19		〃	0.30	0.22	1.46	0.021	0.010	0.13	—	—		〃
20		〃	0.30	0.22	1.44	0.035	0.010	0.13	—	—		〃
21	Mn-Cr 鋼	〃	0.30	0.23	0.92	0.007	0.011	0.13	1.54	—		830×30' 油冷
22		〃	0.28	0.23	0.90	0.026	0.011	0.13	1.53	—		〃
23	Mn-Cr-Mo 鋼	〃	0.31	0.24	0.92	0.008	0.011	0.14	1.53	0.43		〃
24		〃	0.31	0.24	0.96	0.026	0.011	0.13	1.53	0.43		〃
25	Ni-Cr-Mo 鋼 (1)	B	0.28	0.20	0.51	0.010	0.014	3.15	0.84	0.53		〃
26		〃	0.29	0.21	0.52	0.013	0.016	3.16	0.85	0.52		〃
27		〃	0.30	0.21	0.54	0.027	(0.007)	3.17	0.85	0.52		〃
28		〃	0.31	0.21	0.56	0.034	0.016	3.17	0.84	0.53		〃
29		〃	0.28	0.20	0.40	0.050	(0.006)	3.10	0.64	0.42		〃
30	Ni-Cr-Si 鋼	〃	0.29	1.00	0.40	0.010	0.018	3.01	0.74	—		840×30' 油冷
31		〃	0.29	0.99	0.47	0.023	0.020	3.04	0.74	—		850×30' 油冷
32	Ni-Cr-Mn 鋼	〃	0.30	0.24	1.20	0.010	0.013	3.01	0.74	—		830×30' 油冷
33		〃	0.28	0.27	0.95	0.034	0.017	3.12	0.75	—		820×30' 油冷
34	Ni-Cr-Mo 鋼 (2)	A	0.32	0.23	0.45	0.009	0.021	3.14	0.76	1.14		830×30' 油冷
35		〃	0.28	0.28	0.41	0.029	0.022	2.95	0.63	1.12		〃
36	Ni-Cr-W 鋼	〃	0.28	0.23	0.41	0.010	(0.017)	2.95	0.67	—	1.63W	〃
37		〃	0.28	0.22	0.43	0.031	0.020	2.94	0.69	—	1.60W	〃
38	Ni-Cr-V 鋼	〃	0.29	0.27	0.45	0.007	0.021	2.98	0.86	—	0.54 V	840×30' 油冷
39		〃	0.29	0.19	0.44	0.029	0.020	3.14	0.77	—	0.46 V	850×30' 油冷
40	Ni-Cr-Al 鋼	〃	0.29	0.17	0.43	0.028	0.017	2.98	0.72	—	0.60Al	830×30' 油冷
a	高周波電気爐製 Ni-Cr 鋼	〃	0.29	0.20	0.31	0.008	0.022	3.04	0.81	—		〃
b		〃	0.29	0.25	0.49	0.031	0.028	3.08	0.78	—		〃
A	酸性平爐製 Ni-Cr 鋼	〃	0.26	0.17	0.48	0.029	(0.011)	3.38	0.68	—		〃
B		〃	0.28	0.24	0.52	0.026	(0.014)	3.40	0.70	—		〃
C		〃	0.27	0.20	0.43	0.023	(0.011)	3.44	0.65	—		〃
D		〃	0.26	0.16	0.51	0.026	(0.015)	3.34	0.65	—		〃
E		〃	0.28	0.20	0.40	0.024	(0.010)	3.39	0.65	—		〃
F		〃	0.27	0.23	0.45	0.024	(0.012)	3.44	0.66	—		〃
G		〃	0.28	0.19	0.42	0.022	(0.013)	3.36	0.70	—		〃

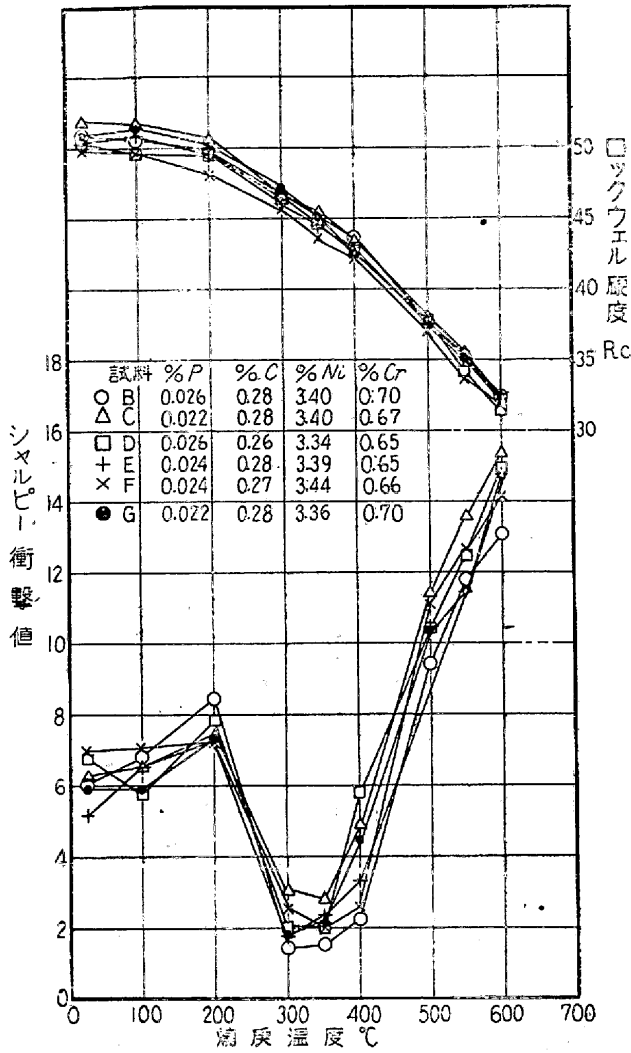
備考：硫黄の分析値は燃焼法によるものであるが特に括弧に示したるものだけは重量法によるものである。

ル、クロム鋼は 0.025% 内外の磷を含んで居るのが普通であるが、今その數熔解について實驗した結果は第 2 圖の如く、例外なく焼戻温度 300°C~400°C に深い衝撃値の谷が生じて居る。

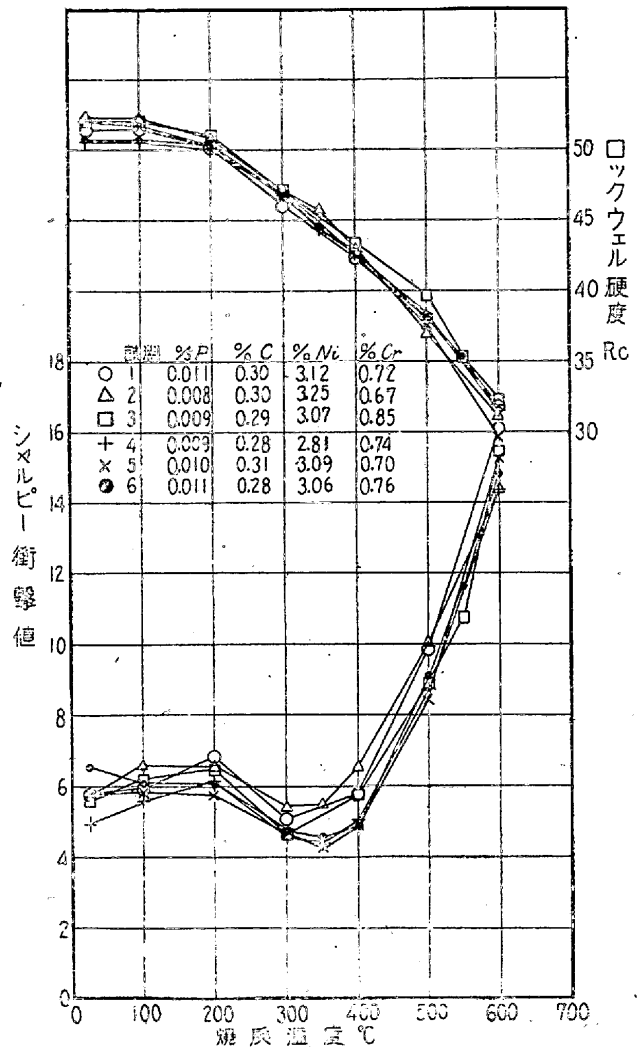
この谷の存在は可成り古くから知られて居り、例へば

1921 に年 J. A. Mathews¹⁵⁾ がこれを指摘して居る。

今この谷の部分をも低温度焼戻脆性範圍と名附けることとする。焼戻に當つてはこの脆性範圍を避けなければならないために此種の特殊鋼の熱處理が甚だしく不自由を蒙つて居ることは周知の如くである。その原因については Gross-



第 2 圖



第 3 圖

mann¹⁶⁾ が残留オーステナイトの分解によると言ふ見解を述べて居る他には、朝倉氏¹⁷⁾ が粒界炭化物の存在を想像して居るが未だ深い研究の對象になつて居らず、一般には單に残留オーステナイト及びマルテンサイトの分解に伴ふ必然的現象とのみ考へられて來たものの様である。

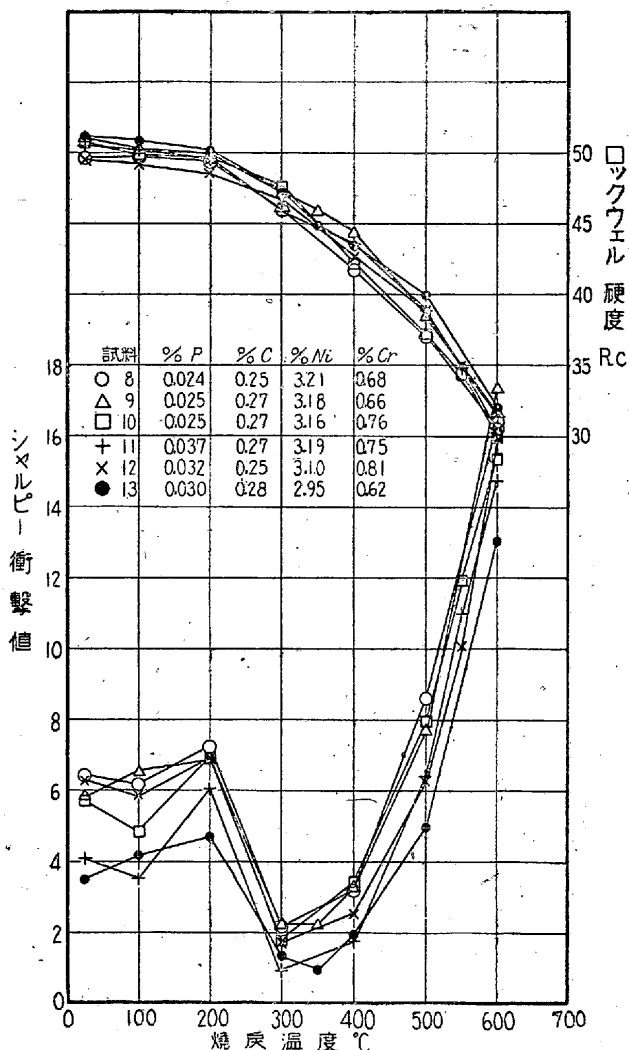
しかるに今磷を含むことの甚だ少ないニッケル・クロム鋼について實驗した結果は、圖らずも低温度焼戻脆性が甚だ輕微にしか起きて居ないことを見出したのである。第3圖はその數例を示すものであつて磷が低ければ硬度に特別の變化なしに例外なく谷が非常に淺くなつて居る。これが磷を少くしたためであると言ふ證據には、同じ原料に磷を添加して平爐鋼と略等しくしたるものは第4圖の如くで、平爐鋼と全く同程度に低温度焼戻脆性を示すのである。

これによつて添加した磷も残留した磷も同様の作用をなすと言つて宜からう。但し仔細に比較すると、焼戻温度 500°C 附近に於ては添加した磷の方が低い衝擊値を示し、

そのため谷の形に多少變化を來して居る點は注目すべきことで更に研究を要する問題と考へる。尙低磷鋼の低温度焼戻脆性が少いことは高周波電氣爐にて熔解した 250 kg 鋼塊の場合にも認められ決して鋼塊の大小によらぬことを確め得た。又焼戻を長時間行ふ時は低磷鋼も遂に脆性を呈するに至るのでないかと言ふことも考へ得られるが、實驗の結果は全くその様なことは認められなかつた。第5圖はその一例を示すもので試料は前記の 250 kg 高周波電氣鋼の場合である。

今種々の磷含量に對する衝擊値を、硬度を基準にして示せば第6圖の様になる、これによれば磷の増加と共に低温度焼戻脆性は急激に増すが 0.025% 以上では最早や變化をしないこと 500°C 以上の焼戻と 200°C 以下の焼戻の部分に於ては何等影響がないこと等が知られる。

この様に實用焼戻温度に於て磷の影響が少ないのは幸であり。またそれがために磷の影響が從來注目されなかつた



第 4 圖

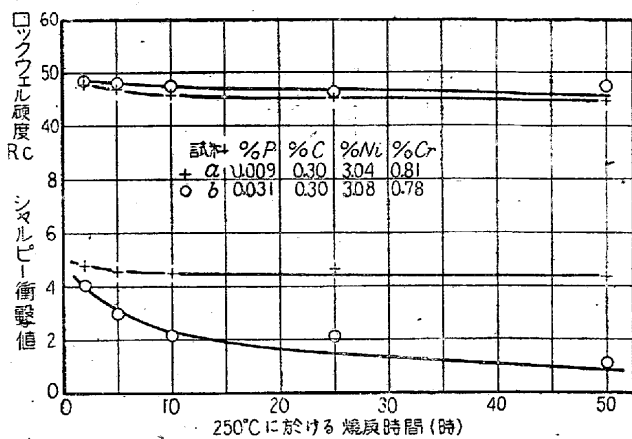
のかも知れないが、次に述べる様に鋼の種類によつては實用の焼戻温度で非常に有害になる場合もあるのである。

(2) 各種特殊鋼 ニッケル・クロム鋼以外に普通使用せられて居る種々の特殊鋼に就いて燐の影響を見るため低燐(0.01%以下)と高燐(約0.03%)の二試料に對して實驗を行つた。前述の實驗によれば燐の影響を見るにはこの2種の試験で十分であると考へられる。

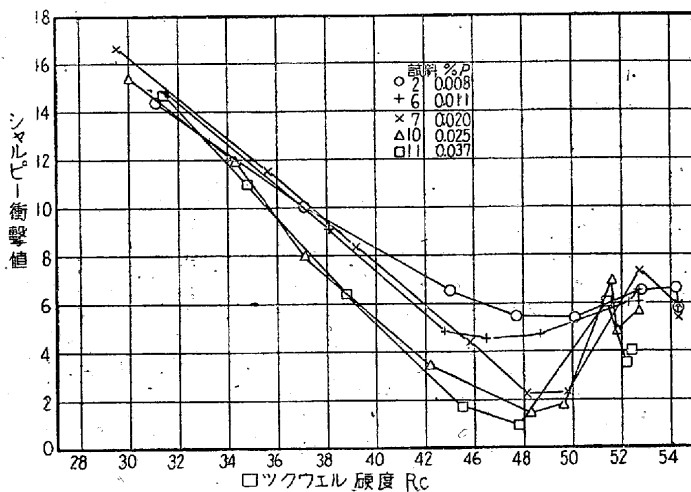
a) ニッケル鋼：第7圖に示す如く燐によつて低温焼戻脆性を生ずるがニッケル・クロム鋼に比べると谷の幅が狭いことが注目される。

b) クロム鋼：第8圖に示す如く燐の影響は略ニッケル・クロム鋼と同様である。即ちニッケル鋼に比べるとクロムは低温焼戻脆性範圍を高温の方へ擴げる作用が認められるのである。

e) マンガン鋼：マンガン鋼は普通使用されて居るとは言ひ難いが、ニッケルやクロムの場合とは著しく異つた様



第 5 圖



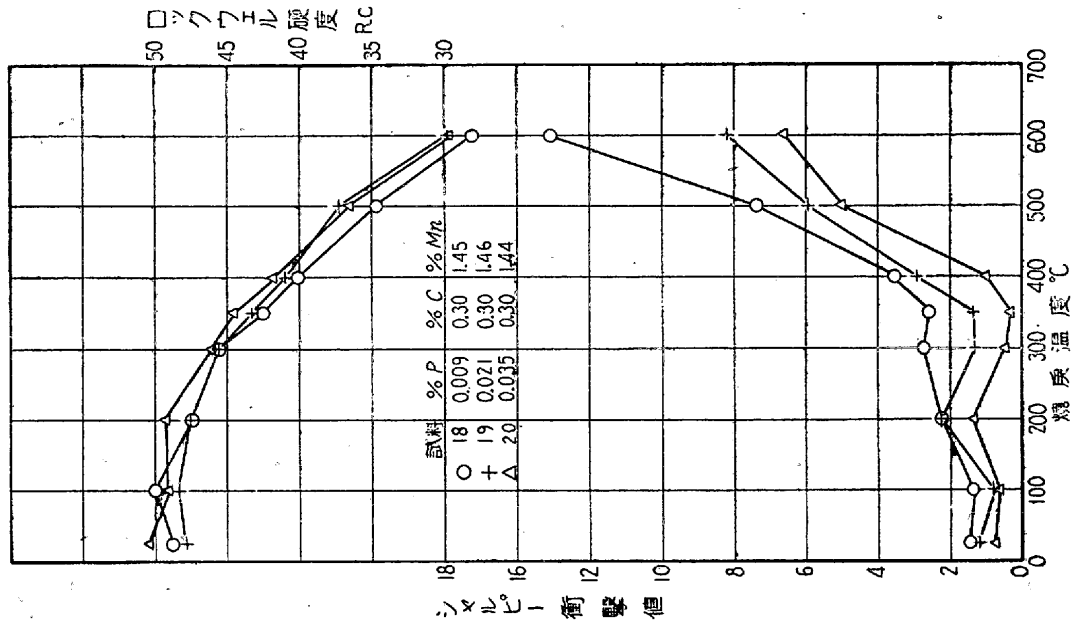
第 6 圖

子を示すので特に掲げたものである。即ち第9圖の如くマンガン鋼の場合には燐によつて全面的脆化を示し、殊に600°C附近の高温焼戻に於て著しい作用を受けて居ることは燐の影響が致命的であることを現はして居る。

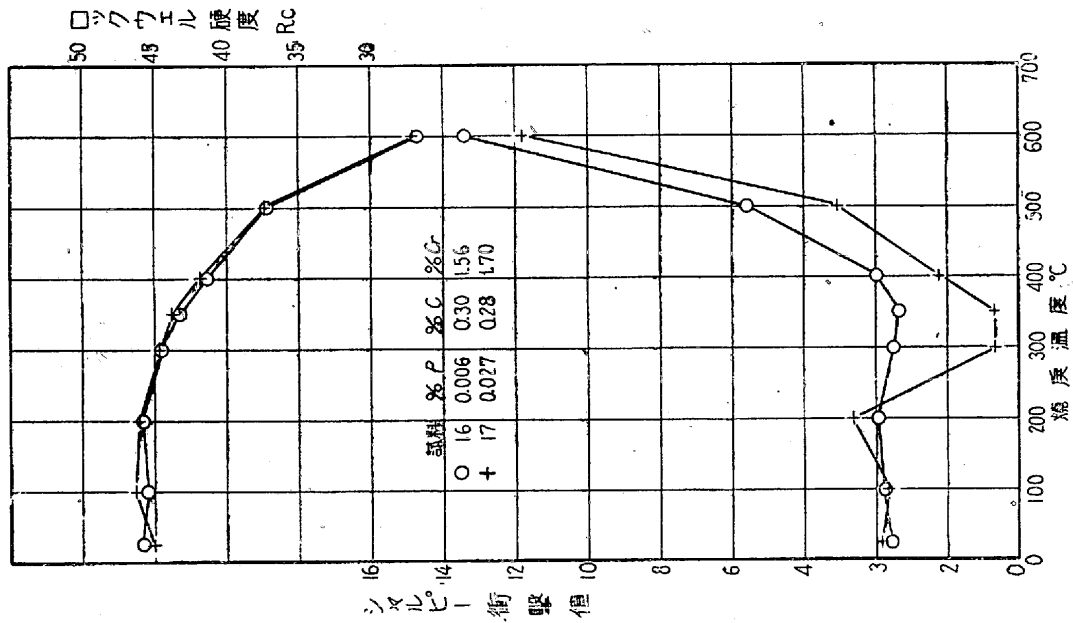
d) マンガン・クロム鋼：これは代用鋼として用ひられて居るものであるが、第10圖に示す如くマンガン鋼の場合と同様、燐は600°C附近の高温焼戻に於ても脆性を與へる。マンガンの影響に就いては更に次節でも實驗してあるが、燐とマンガンの共存は確かに有害である。従つて此種代用鋼の製造に當つて燐の低減が最も必要なことと言はねばならぬ。

尚マンガンの多ければ低燐のものに於ても300°C~400°Cにかなり深い谷が認められマンガンの亦低温焼戻脆性の一因に數へ得る様であるが、此の問題に就いては更に實驗3に於て述べることにする。

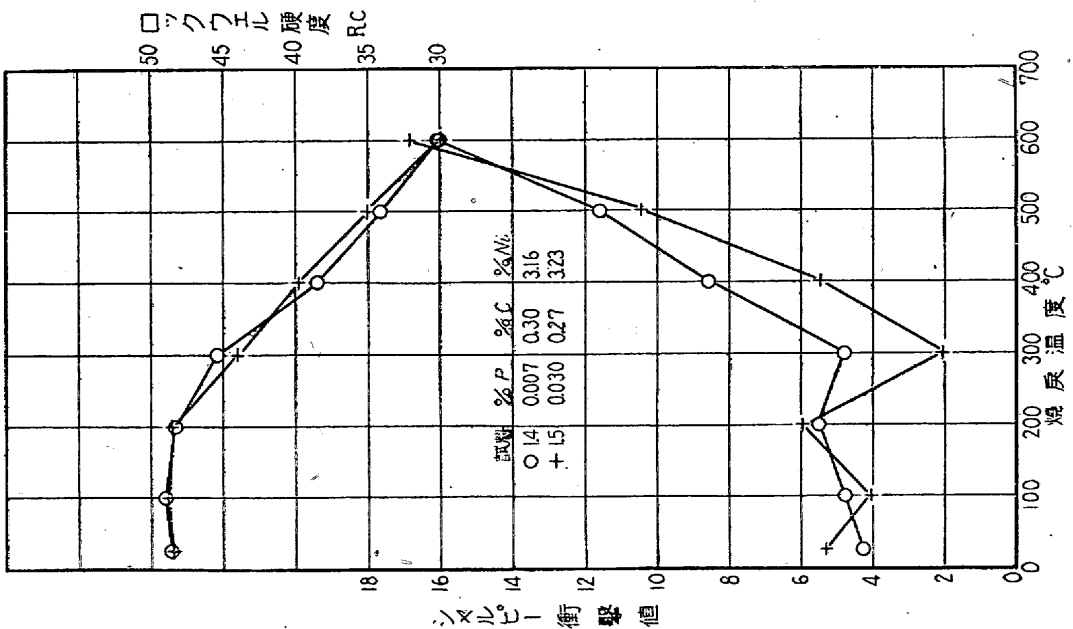
e) マンガン・クロム・モリブデン鋼：本鋼種はニッケ



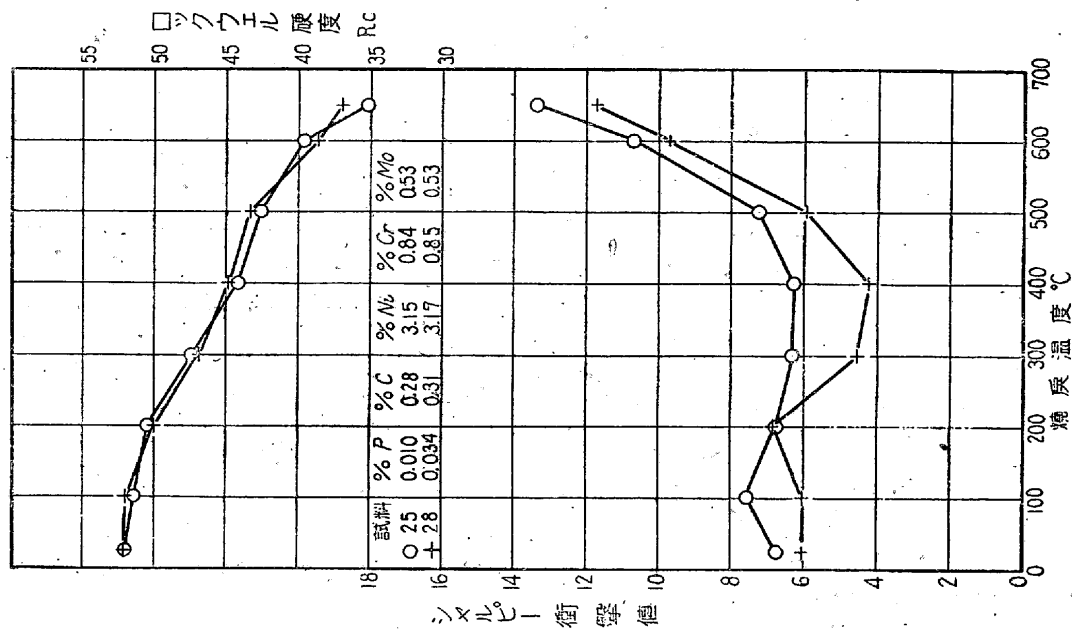
第 9 圖



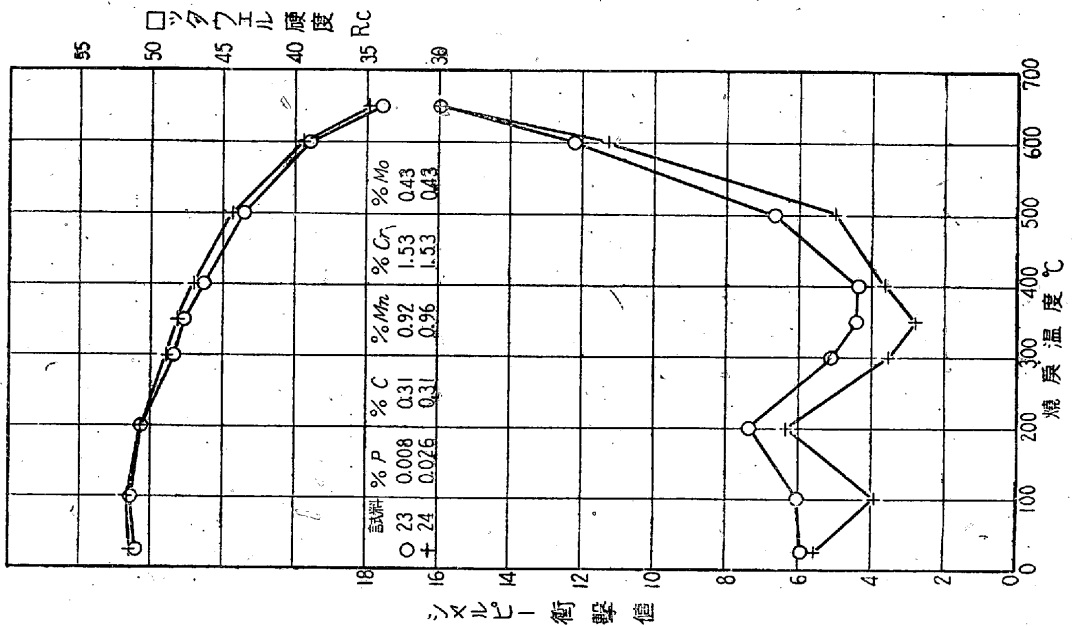
第 8 圖



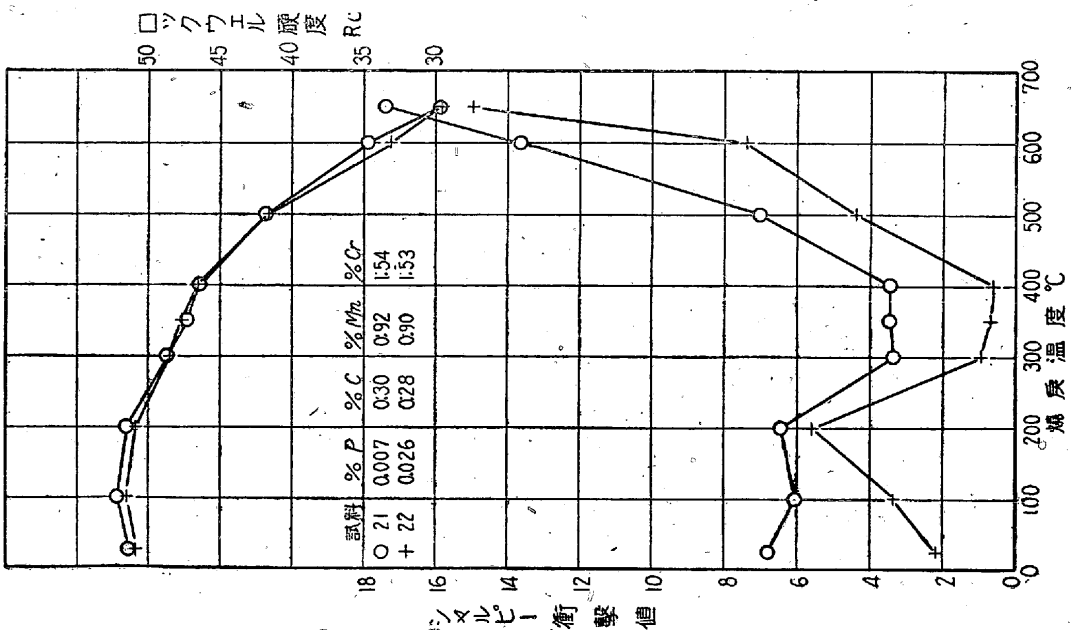
第 7 圖



第 12 圖

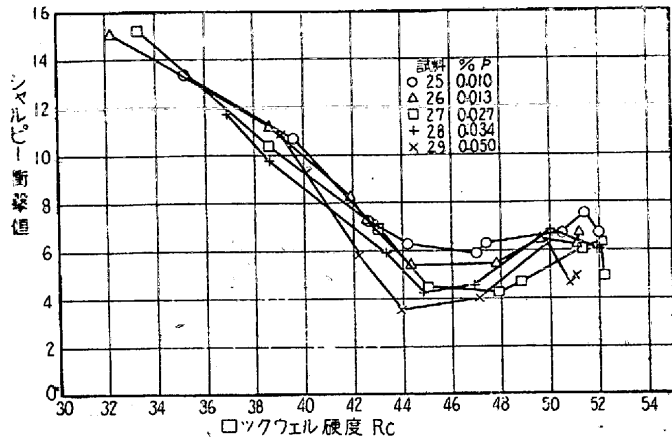


第 11 圖



第 10 圖

ル・クロムモリブデン鋼の代用鋼として有名である。第11圖に示す如く燐の影響はマンガン・クロム鋼に比べると非常に輕微になつて居り、モリブデンが燐の作用を減ずることが判る。但し燐が少ない場合でもマンガンの存在により低温焼戻脆性の谷はかなり深くなつて居る。

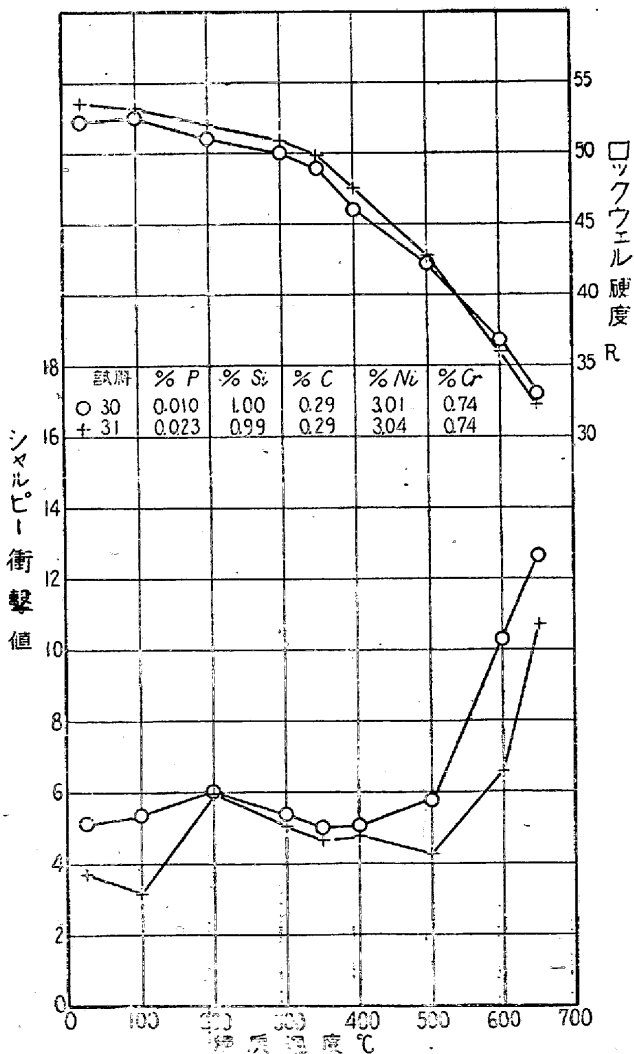


第 13 圖

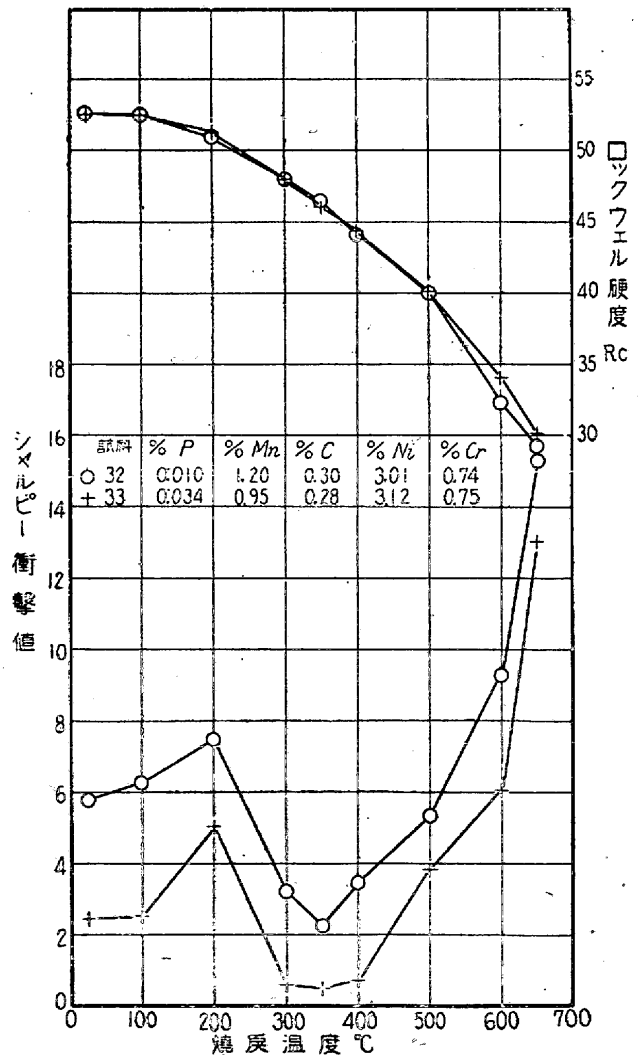
f) ニッケル・クロム・モリブデン鋼：第12圖に示す如く、マンガン・クロム・モリブデン鋼と同様燐の影響は比較的輕微な鋼種である。第13圖は種々燐を増加した場合の衝撃値を硬度に對して圖示したものであるが、燐が相當増しても低温焼戻脆性はニッケル・クロム鋼程著しく現はれない。

(3) 燐脆性に對する添加元素の影響 前節に述べた様にマンガンは燐と共存する時は脆性を増加し、モリブデンは反對に燐の作用を減少せしめることが明かにされたが、此等の元素以外に尙燐と共存して特殊の影響を與へるものがあるか否かをニッケル・クロム鋼を基礎にして實驗して見た。

a) シリコン：ニッケル・クロム鋼にシリコン1%を加へると第14圖の様に200°C~300°Cの谷が無くなるが、しかし燐の影響は却つて500°C以上の焼戻に現はれて來る。これは硬度曲線から解る様にシリコンが焼戻に對する



第 14 圖



第 15 圖

抵抗を高める結果脆性発生範囲が高温に移動するためと考へられる。

b) マンガン：既にマンガンの影響は前節の試験から明らかではあるが、念のためにニッケル・クロム鋼にマンガンをも1%加へて見ると第15圖に示す如く豫期の通り全面的に脆性を起し且つ低磷の場合でも低温焼戻脆性の谷を生じて居る。

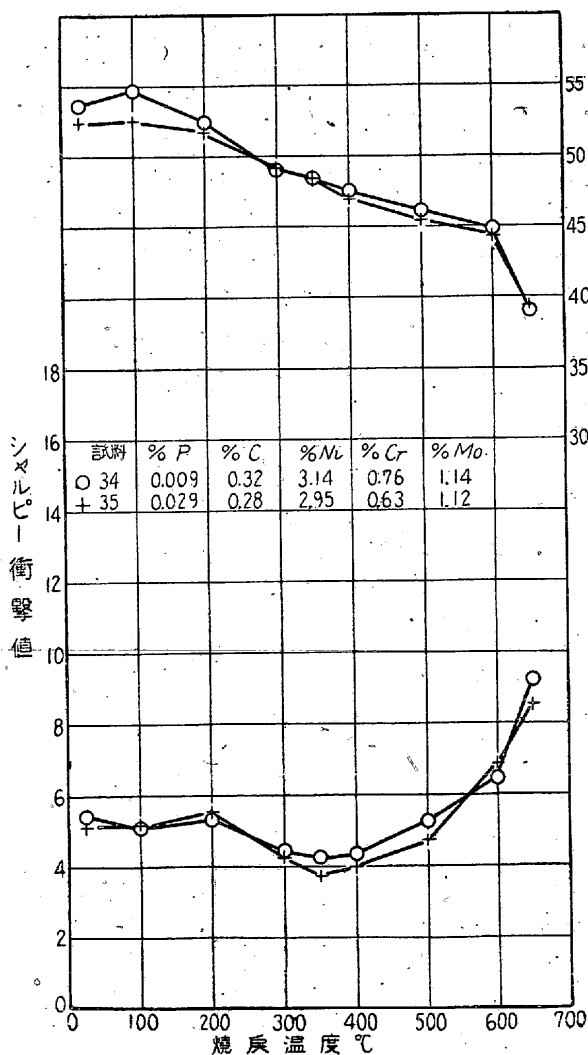
c) モリブデン：前節で述べたニッケル・クロム・モリブデン鋼は磷の影響を減少して居るとは言へ尙ほ完全にそれを打消す程度ではなかつた。モリブデンを更に増加して約1%にする時は第16圖に示す様に磷の影響を完全に消失する様になる。

d) タングステン：第17圖はタングステンを1.6%加へた場合を示すが磷の作用は大體打ち消されて居る。タングステンはモリブデンより原子量が多いだけ多量加へる必要があり0.6%では尙相當の磷脆性を示した。

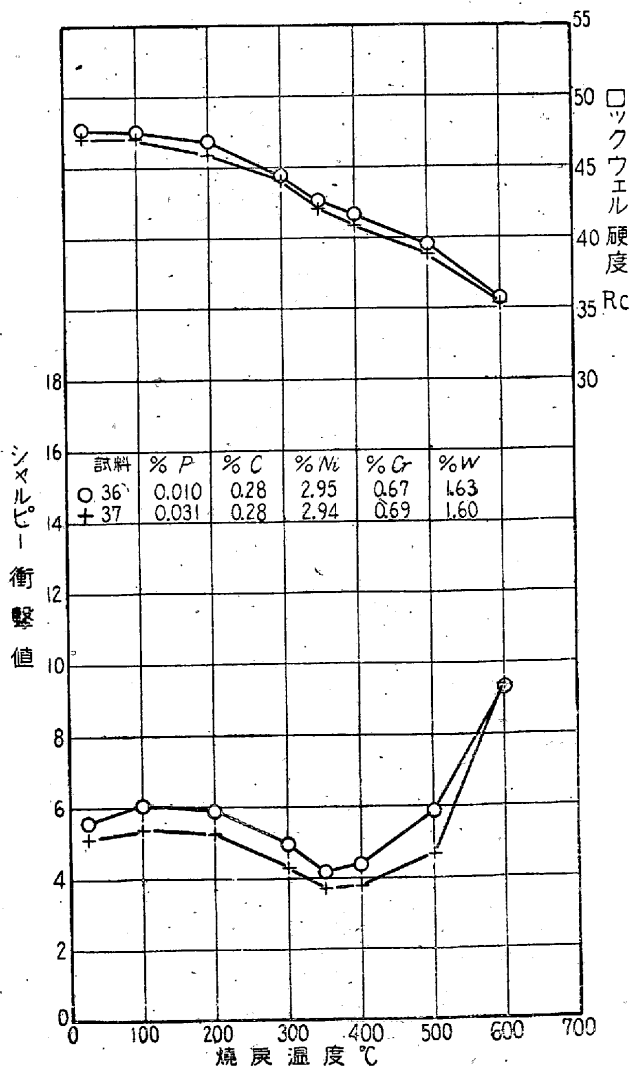
e) バナジウム：第18圖はバナジウムを0.5%加へた場合であるが、シリコンと同様にバナジウムは焼戻温度の高い方に磷の作用を移して居るだけでそれを打消すものではない。

f) アルミニウム：第19圖はこれ迄の試験とは比較の方法を異にし特に磷のあるニッケル・クロム鋼にアルミニウムを0.6%加へたものと加へぬものとを比較したのであるがこれによつてアルミニウムが磷の作用を妨止することが知られる。

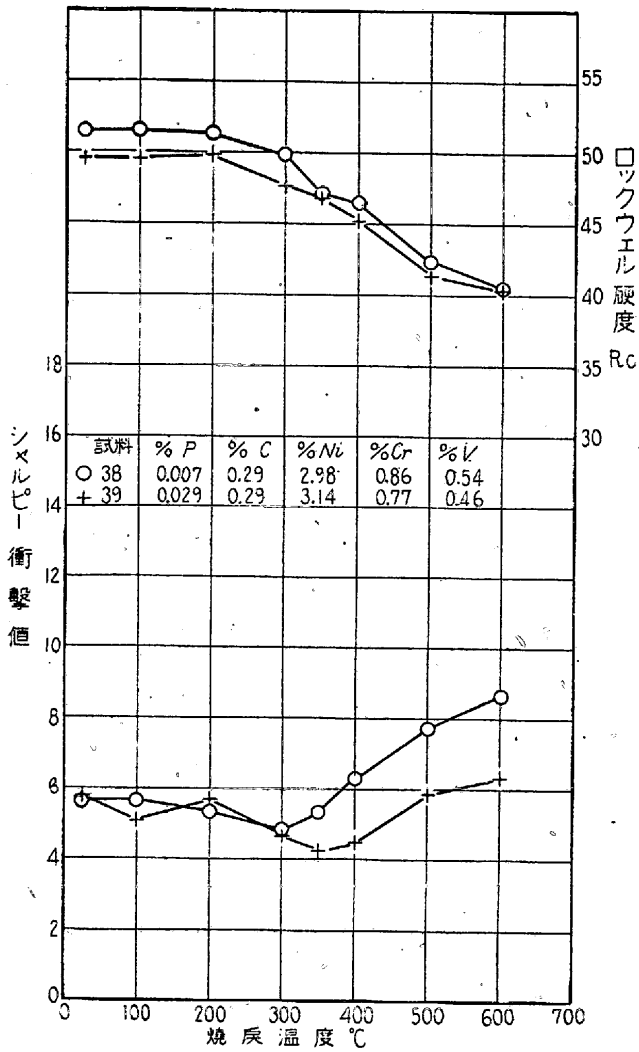
(4) 普通焼戻脆性に対する磷の影響 普通に焼戻脆性として知られて居るところの焼戻後の徐冷による脆性現象に對して磷がその一原因をなして居ることについては緒論に於ても述べた通り古くから認められて居ることであるが、しかし Andrew¹²⁾ を初め Monypenny¹⁸⁾ 及び Greave と Jones¹³⁾ 等の試験によれば約0.04%迄の磷の作用は他の影響に蔽はれて判別し難い程度になつて居る。しか



第 16 圖



第 17 圖

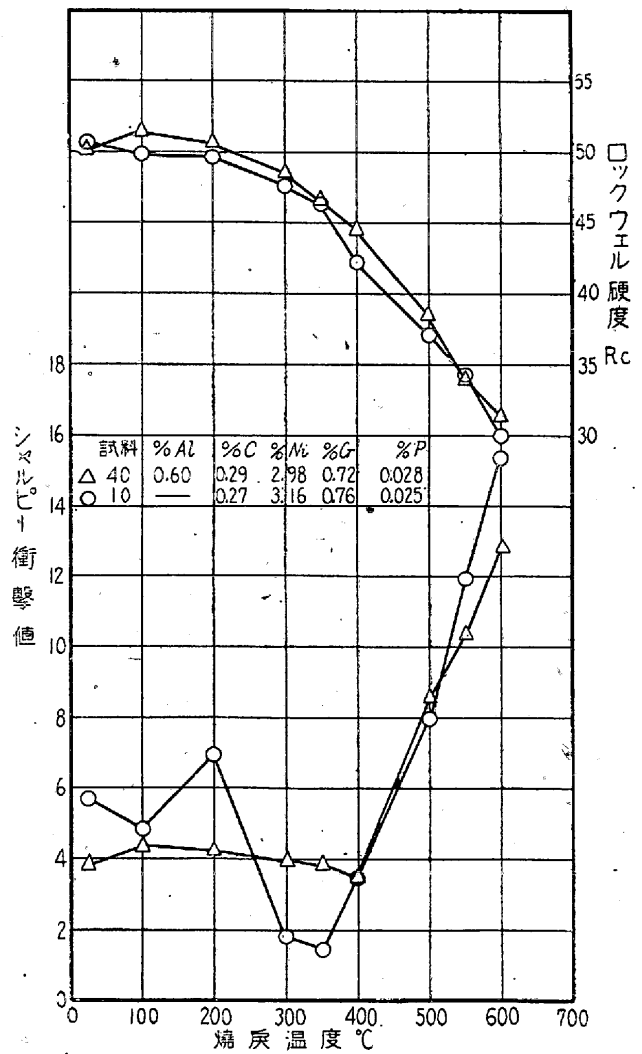


第 18 圖

第 3 表

試料 符 號	鋼 種	% P	衝撃値 kg/cm ² 脆性感受率		
			600°C より 油 冷 (A)	600°C より 爐 冷 * (B)	$\left(\frac{A-B}{A}\right) \%$
78	Ni-Cr 鋼	0.008	14.10	14.70	-0.4
79	(3%Ni, 0.8%Cr)	0.033	14.80	5.60	62.0
16	Cr 鋼	0.006	15.40	18.05	-17.0
17	(1.6% Cr)	0.027	13.80	4.96	64.0
18	Mn 鋼	0.009	13.08	6.84	48.0
19	(1.5% Mn)	0.035	8.21	4.35	47.0
21	Mn-Cr 鋼	0.007	13.62	7.71	43.0
22	(0.9% Mn, 1.5% Cr)	0.026	7.40	3.06	59.0
32	Ni-Cr-Mn 鋼	0.010	9.27	2.89	69.0
33	(1.0% Mn)	0.034	6.06	0.51	92.0
56	Mn-Cr Mo 鋼	0.008	12.21	14.76	-21.0
24	(0.95% Mo)	0.026	11.28	12.66	-12.0
30	Ni-Cr-Si 鋼	0.010	10.28	4.30	58.0
31	(1.0% Si)	0.023	6.57	3.26	50.0

* 400°C 迄 0.5°C/m.m にて冷却其の後自然爐冷



第 19 圖

るに Bennek¹⁴⁾ の實驗に於ては 0.036%P のニッケル・クロム鋼に強く焼戻脆性が現はれ 0.01% P のマンガン・ニッケル、及びクロム鋼等には焼戻脆性が現はれて居ないことが示されて居る。其の結果 Bennek は焼戻脆性の原因は磷化鐵其の他の磷化物のα鐵に對する溶解度の變化によつて起るものとした。しかし一般には磷のみを脆性の原因とする説は容れられて居ない様である。これに對し著者の行つた實驗結果を示せば第3表の如くであつて、ニッケル・クロム及びクロム鋼は低磷であれば全然焼戻脆性を示すことはないが磷を約 0.03% 含む時は 60% 以上の脆性感受率を現はし、大體 Bennek の實驗と一致して居る。しかし 1.5% のマンガン鋼の場合は低磷のものでも脆性を生じて居る點は異なる。

其の他マンガン・クロム鋼及びマンガン・ニ

ケル・クロム鋼等マンガンを多く含んだ場合には低磷であつても皆焼戻脆性を示して居る。しかしマンガがあつてもモリブデンを加へると豫期し得る如くに磷が多い場合でも焼戻脆性が消失する。

ニッケル・クロム鋼にシリコンを加へたものも低磷にして焼戻脆性を現はし、Bennek¹⁴⁾の言ふ如くに磷のみが焼戻脆性の原因ではなく、普通考へられて居る様にマンガンやシリコンも亦一原因に數へられねばならない。

(5) 低温焼戻脆性について 扱へ上記の實驗により低温焼戻脆性と普通焼戻脆性とが非常に密接な關聯を有して居ることが明かになつた。即ち何れも磷の微量によつて發生するのみならずマンガンの存在によつても發生し且つモリブデンやタングステンによつて防止し得ると言ふ點に於て一致した性質を示して居る。低温焼戻脆性がシリコンでは激しく起らぬこと(實驗 3 参照のこと)は脆性發生温度の相違と考へられる。従つて低温焼戻脆性の發生機構は普通焼戻脆性のそれと同じ線に沿ふて説明さるべものと考へられる。而して普通焼戻脆性がこれ迄研究されながら未だ決定的説明が與へられて居ない¹⁹⁾ ことと同様に、低温焼戻脆性が磷によつて誘發せらるる原因が直接磷化物の析出によるものか或はまた間接にセメントタイトの析出に影響を與へるためかと言ふ様な點については容易に決定し難いことであつて、現に著者の試みた物理的諸試験即ち電気抵抗、熱膨脹、磁氣等の諸試験の結果もかゝる微量なる磷によつてはその焼戻過程に差異を認めることは出来なかつたのであり、又顯微鏡組織及び結晶粒度の上にも相違を認め

得なかつたのである。尙低温焼戻脆性は同一磷含量の場合でも程度に輕重があり脱酸の方法等により磷の感受率に差異ある如くであり又等温變態の如き熱處理の方法によつても輕減される等低温焼戻脆性は複雑な因子よりなる現象に屬し今後の研究に俟つことが多いのである。

(6) 概括 1. 磷を極めて微量にする時はニッケル及びクロム系統の特殊鋼の低温焼戻脆性と稱する 300°C ~ 400°C の焼戻温度に於ける著しい衝撃値の減少が殆んど消失する。

2. 磷とマンガンの共存は高い焼戻温度迄の廣い範圍に互つて脆化を及ぼし甚だ有害であるからマンガン・クロム鋼の如き代用鋼にあつては特に磷を考慮する必要がある。

3. クロム・シリコン・バナジウム等は焼戻抵抗を大ならしむる結果磷の影響を高い温度の方に移す傾向がある。

4. モリブデン・タングステン及びアルミニウム等は磷の作用を打ち消すものである。

5. 磷が普通の焼戻脆性の一原因であることは既に知られて居るけれども本實驗に依つて極めて微量の磷が問題であることが確認された。

6. 低温焼戻脆性は磷のみならばマンガンの増加によつても生じ又脱酸や熱處理の方法によつても影響されることがあり普通の焼戻脆性と同様甚だ複雑な因子より成る現象と考へられるが只兩者は多くの共通した性質を有することが指摘される。

III. 實驗 2 硫黄の影響

第 4 表

符號	鋼 種	原料	化 學 成 分 (%)									燒入温度 °C
			C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	其 他	
41	Ni-Cr 鋼	C	0.27	0.18	0.42	0.006	0.011	2.99	0.65	—	830×30' 油冷	
42		"	0.25	0.20	0.36	0.005	*0.019	3.05	0.70	—		
43		"	0.29	0.20	0.35	0.005	*0.025	2.97	0.48	—		
44		A	0.26	0.21	0.40	0.008	0.022	2.87	0.75	—		
45		"	0.28	0.20	0.42	0.006	*0.033	3.07	0.75	—		
46		"	0.27	0.21	0.37	0.010	*0.048	3.05	0.76	—		
47	Ni-Cr-Mo 鋼 (1)	C	0.30	0.21	0.34	0.006	0.012	2.96	0.71	0.52	820×30' 油冷	
48		A	0.33	0.20	0.44	0.009	0.021	2.98	0.76	0.44		
49	N-Cr-Mo 鋼 (3)	C	0.32	0.22	0.38	0.006	0.012	3.00	1.51	0.54	830×30' 油冷	
50		"	0.30	0.23	0.36	0.008	*0.023	3.00	1.53	0.44		
51		"	0.28	0.21	0.34	0.007	*0.027	2.97	1.53	0.50		
52	Cr-Mo 鋼	"	0.32	0.22	0.38	0.009	0.011	0.12	1.06	0.44	830×30' 油冷	
53		"	0.30	0.19	0.36	0.009	0.027	0.11	1.05	0.42		
54	Ni-Cr-W 鋼	"	0.30	0.20	0.33	0.008	0.011	2.92	0.70	—	840×30' 油冷	
55		A	0.28	0.23	0.41	0.010	0.019	2.95	0.67	—		
56	Mn-Cr-Mo 鋼	C	0.31	0.24	0.92	0.08	0.011	0.13	1.53	0.43	"	
57		"	0.29	0.25	1.02	0.10	0.027	0.14	1.53	0.50		

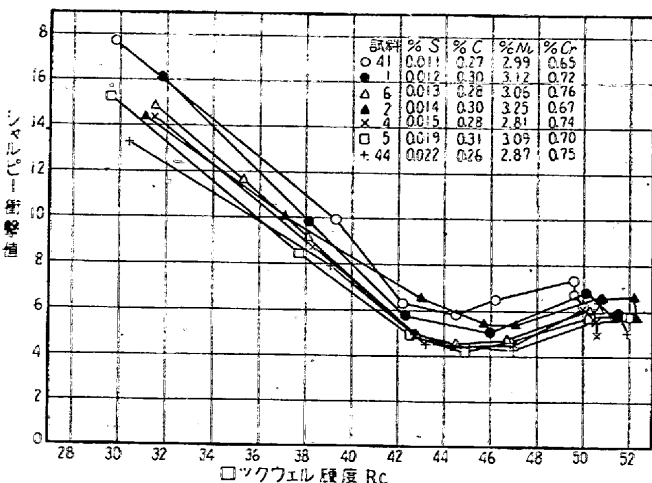
備考: 硫黄の*印は特に添加せるものである。

硫黄が銅塊偏析や赤熱脆性の原因となることはよく知られて居るが機械的性質に及ぼす影響は燐の場合と同様餘り明かではない。即ち Unger²⁰⁾ の各種炭素鋼に就いて行はれた實驗を初め、Niedenthal²¹⁾ の低炭素鋼に對する實驗、Houdremont²²⁾ の中炭素鋼に對する實驗等によるも硫黄は少くも 0.1% 位迄は縦方向の抗張力、降伏點、伸、及び絞に變化なく衝擊値が多少減少する程度である。又 A. S. T. M. Joint Committee²³⁾ の各種炭素鋼に對する廣汎な實驗によるも 0.55% C 以下の鋼に於ては硫黄は 0.07% 迄は無害であると結論されて居る。但し衝擊試驗値は鉄用鋼 (0.09~0.15% C) 以外のものは甚しく變動を示して明確には判らぬ様である。又最初から熔鋼中に在つた硫黄と後から添加した硫黄の作用についても比較した結果はいづれも同等であると報告されて居る。此等の實驗によつて硫黄は屢唱へられて居た程恐るべきものでないと考へられるに至り更に進んで硫黄の多い鋼が加工の容易なことを利用したところの所謂快削鋼さへ用ひられて居る。

特殊鋼に對する硫黄の影響に關する實驗は著者寡聞にして、只横方向の材力に悪い影響があると言ふ Priestley²⁴⁾ の實驗を知るに過ぎない。一般には規格に許容されて居る程度の硫黄は炭素鋼の場合と同様縦方向の材力には影響がないと考へられて居る様である。

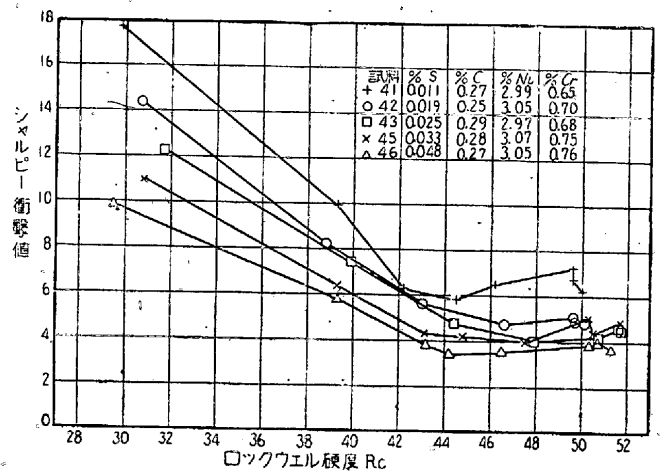
著者は茲に微量の硫黄が縦方向の衝擊値に對しても驚くべき影響を與へて居ることを指摘して新たな注意を喚起したいと思ふものである。本實驗のため特に熔製した試料の成分は第 4 表に示したが硫黄の分析は當研究所金森氏²⁵⁾ の研究になる燃焼法によつたものであるが本研究はこの分析法の恩恵によるところが多かつた。

(1) ニッケル・クロム鋼 今實驗 I に於ける數種の

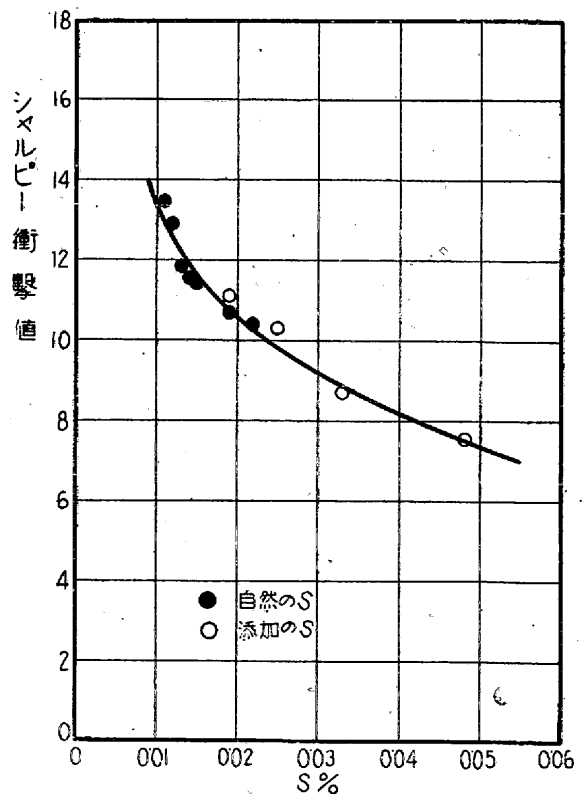


第 20 圖

低燐ニッケル・クロム鋼(これに最低及び最高の硫黄のもの 2 種を特に付け加へ)の衝擊値を硬度に對して圖示して見ると第 20 圖の如くなる。即ち主要成分が同じであり乍ら衝擊値に於て相當の相違があるが茲に注目すべきことはその衝擊値の相違が硫黄の含量と一定の關係を持つて居ると言ふことである。茲に示した試料は故意に硫黄を加減したものではなく原料や差物等から自然に變化したものであるがそれらの硫黄の増加に従つて衝擊値が全般的に(但し硬度の高いマルテンサイト組織の部分は後述の様に各種の元素によつて影響され易いので多少順序が亂れては居るが)低下して居るのが認められる。次にこの衝擊値の變化がま



第 21 圖



第 22 圖

さしく硫黄の變化によるものであることを確かめるために硫黄を特に加へた試料について行つた實驗結果を示すと第21圖の如くであつて硫黄の増加と共にやはり全般的に衝撃値が低下し第20圖と比較すると同様の硫黄含量のものは同様の硬度衝撃値曲線を示して居る。今これ等の實驗結果から一例として $Re=35$ の断面に於る衝撃値と硫黄含量の關係を示せば第22圖の如き連続曲線が得られるのである。

この曲線によれば硫黄の微量は領域に於て特にその影響が著しくなつて居りこれより判断するならば硫黄を全く除去し得た際に於ては想像以上に高い衝撃値が期待されるのである。現に規格で許されてゐる程度の $0.03\%S$ と $0.01\%S$ との場合を比べて見ても 50% 近くの増加が認められるのである。

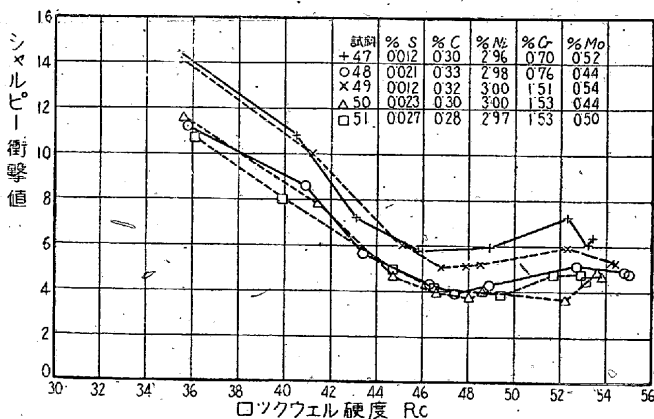
尙硫黄の悪影響は實は非金属介在物即ち砂疵が増加するためではないかとも考へられるが實際には第5表に示す如

第 5 表

符 號	硫 黄 %	静 淨 度	平均厚さ	原 料
41	0.011	B-1.7	9.9 μ	C
42	0.019	B-1.8	9.4 μ	C+S
43	0.025	B-1.1	8.7 μ	C+S
44	0.022	A-0.3 B-0.9	2 μ 6 μ	A
45	0.033	A-1.3 B-1.9	3 μ 5 μ	A+S
46	0.048	A-1.6 B-1.7	2 μ 4 μ	A+S

く静淨度並に平均厚さ共に必ずしも硫黄量に比例して居ないのである。従つて硫黄自身の直接的作用によるものと認められる。

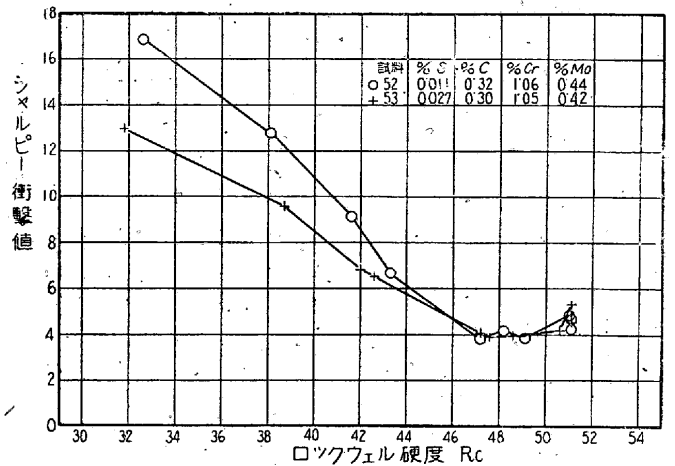
(2) 各種特殊鋼 a) ニッケル・クロム・モリブデン鋼：クロム量を異にした2種のニッケル・クロム・モリブデン鋼に對する硫黄の影響を第23圖に示す。實線にて



第 23 圖

描いたものは低クロムのものにしてこれは原料の相違で變化した硫黄の影響を示すものであり點線で示した方は高クロムのもので加へた硫黄の影響を示すものである。いづれもニッケル・クロム鋼の場合と同様硫黄の増加と共に衝撃値の低下が認められる。

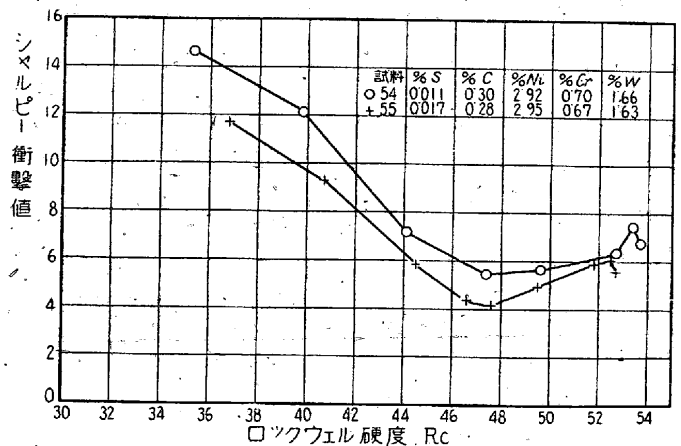
b) クロム・モリブデン鋼：第24圖に示す如くニッケル



第 24 圖

ル・クロム、或はニッケル・クロム・モリブデン鋼と同様の影響を受ける。

c) ニッケル・クロム・タングステン鋼：モリブデンと同様タングステンも亦硫黄の作用を妨げ得ぬことは第25圖に示す如くである。

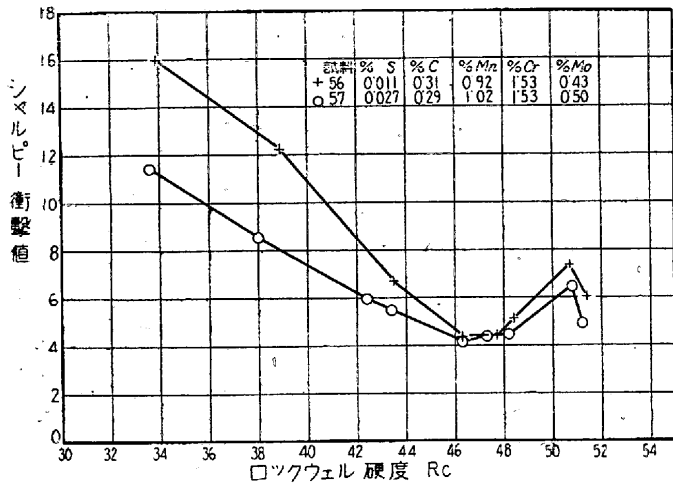


第 25 圖

d) マンガン・クロム鋼：マンガン・クロム鋼(1%Mn, 1.5%Cr)に對し硫黄を加へたものは衝撃値に非常な不均一を生じ硫黄の影響を定めることは出来なかつたので圖示して居ない。これはマンガンが硫黄を局部的に偏析せしめる結果鋼塊の中で或る部分は衝撃値を著しく低下するが一方或る部分では却つてよい値を示すと言ふことになるため

ある。

e) マンガン・クロム・モリブデン鋼; 面白いことにはマンガン・クロム鋼にモリブデンを加へると硫黄に對する不均一性が消失し硫黄の影響が普通に現はれて來るのである。第 26 圖にそれを示した。即ちモリブデンは硫黄の均一なる分布を促すものと考へられる。



第 26 圖

(3) 原料及び熔解法の問題に就いて 緒論に於ても觸れた様に近時原料として海綿鐵の優秀性が頻りに論議せられて來たが未だ如何なる理由によつて海綿鐵が優秀であるかを明かにしたものは無いと言つてよいと思ふ。勿論純度が高いと言ふ言葉を以て一應説明され得るのではあるが、しかし不純物の中でも如何なる元素と最も深い關係があるかと言ふことは解つて居ないのである。

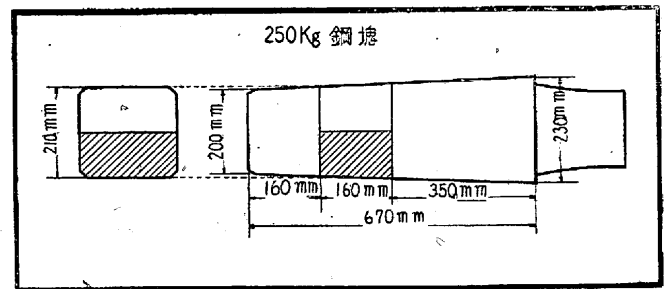
同様に製鋼法の問題に於ても鹽基性電弧爐鋼は酸性平爐鋼に比べて衝撃値が高いことは一般に知られて居るところではあるがそれが如何なる原因によるかについても未だ明かでないのである。

著者は微量なる硫黄の相違が意外に激しい影響を與へると言ふ今回の事實より上記の原料及び熔解法の問題は凡て

硫黄に起因するものではないかと考へ實驗を行つて見たのである。

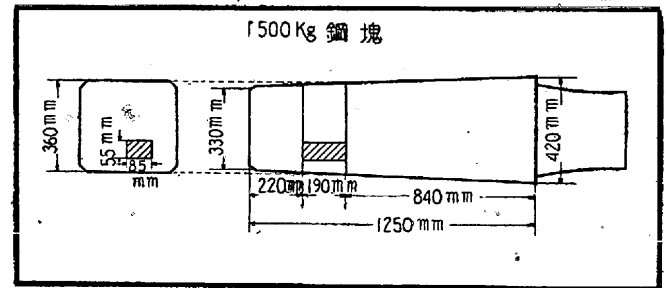
試験材の成分にはニッケル・クロム・モリブデン鋼を擇ぶことにした。それはこの成分の鋼は既に述べた通り燐の影響を蒙ることが少いがために熔解法や原料の相異からどうしても生ずるところの燐の不同による影響を輕微にするからである。

原料に對する試験には高周波電氣爐 (容量 500 kg) を用ひ 250 kg の鋼塊を作り第 27 圖に示す部分より 13 mm 角



第 27 圖

の角棒を鍛造の上試験に供した。一方熔解法に對する試験には電弧爐 (容量 3 t) と酸性平爐及び鹽基性平爐の 3 種の爐によつて 1.5 t の鋼塊を造り第 28 圖に示す部分より同様に鍛造した試料について實驗した。試料の成分並に含砂



第 28 圖

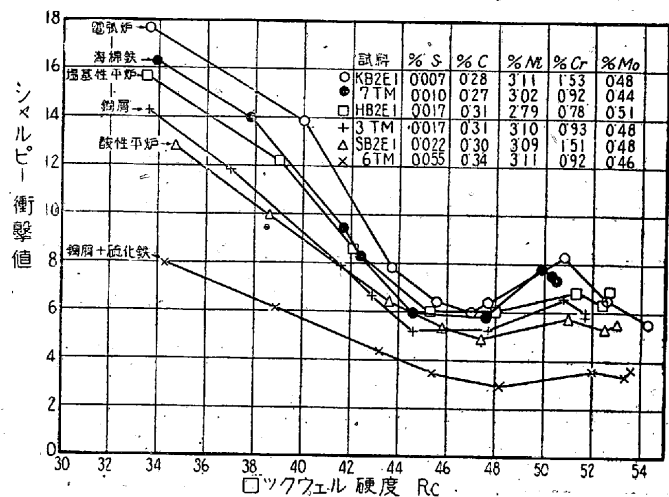
量、窒素量、結晶粒度等を示せば第 6 表の如くである。

試料のクロム量が互に多少相違して居るがクロムの此の

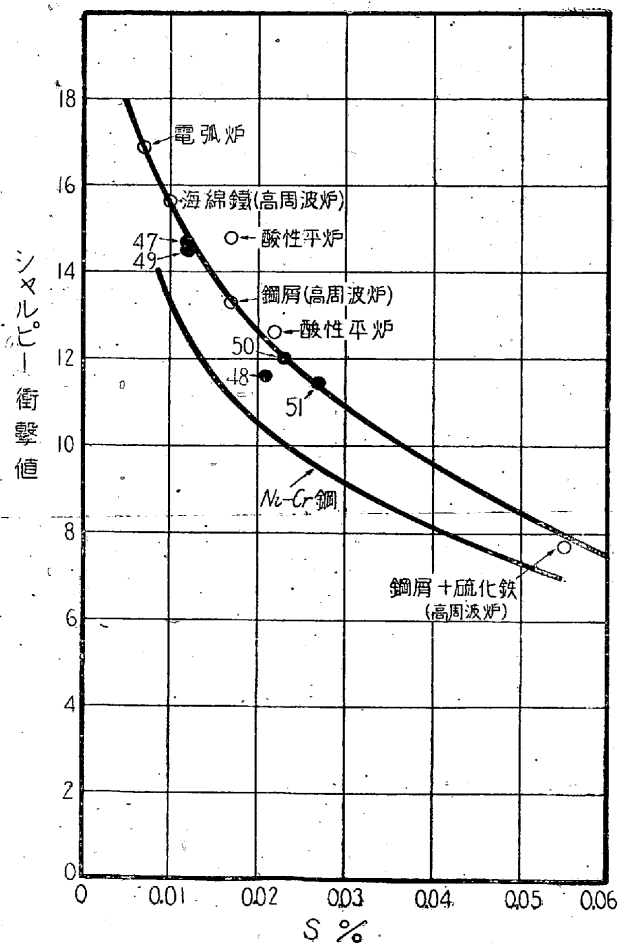
第 6 表

符號	熔解爐	原料	化 學 成 分 (%)										結晶 粒度	焼入溫度 °C	
			C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	N ₂	含砂量			
7 TM	高周波電氣爐	海綿鐵	0.27	0.15	0.39	0.0026	0.010	3.02	0.92	0.44	0.0045	0.0032	—	830 × 30'	油冷
3 TM	同	上	0.31	0.19	0.39	0.013	0.017	3.10	0.98	0.48	0.0036	0.0031	—	—	—
6 TM	同	上	0.34	0.12	0.40	0.013	0.055	3.11	0.92	0.46	—	0.0057	—	—	—
KB2E	電弧爐	鋼屑	0.28	0.14	0.52	0.010	0.007	3.11	1.53	0.48	0.0076	0.017	3.88	—	—
SB2E	酸性平爐	鋼屑	0.30	0.22	0.46	0.016	0.022	3.09	1.51	0.48	0.0034	0.018	4.38	—	—
HB2E	鹽基性平爐	同上	0.31	0.23	0.45	0.005	0.017	2.79	0.78	0.51	0.0029	0.016	6.75	—	—

程度の変化は丁度前節第 23 圖に示した様にソルバイト組織に對する 硬度-衝撃値曲線には影響がないのであるからマルテンサイトの部分を除けば比較には差支へないのである。これらの試料に對する實驗の結果を一纏にして圖示する時は第 29 圖のようになる。これによれば確かに海綿鐵は鐵屑よりも優れ電弧爐鋼は酸性平爐鋼よりも優れた成績を示して居るがそれらは丁度硫黄含量の順序になつて居て窒素



第 29 圖



第 30 圖

量や含砂量は結晶粒度とは一定の関係が認められないのである。(マルテンサイト組織に於ては屢述べる様に成分の相違から多少順序の亂れはあるが傾向としては同様である。)

今ニッケル・クロム鋼の場合に試みたと同じ様に $Re=35$ の断面に對する衝撃値と硫黄含量の関係を求めてみるならば第 30 圖に示す如き一つの連続的の曲線が得られるのである。只鹽基性平爐鋼が曲線より少しく偏位して居るがこれについては後に述べる。又前節に述べたクリプトル爐による試料の實驗結果を黒點で示したがそれも同じ線の上に排列することが知られる。此の曲線と前に求めたニッケル・クロム鋼に對する曲線とを比較するときは全く同一の傾向を示して居るところから見て電弧爐と海面鐵の優秀性は専ら硫黄の含量が少ない點にあると結論して差支へ無いと考へられるのである。尙鹽基性平爐鋼が曲線より偏位して居る原因はこの鋼の磷含量が極端に低いことや結晶粒度が特に大なること等と關係して居るかと思へられるが明かでない。

次に二つの曲線の差はモリブデンの効果を示して居る譯であるがこのことに就いては更に實驗 III に於て述べることにする。又クリプトル爐鋼の如き極めて小型の鋼塊より造られた試料も大型の鋼塊と全く同等なものであることも同時に本曲線で明らかにせられて居り緒論に述べた様に實驗用鋼塊の餘り小さいことに對する必配は要らぬ譯である。

- (4) 概括
1. 硫黄を極めて微量にするに従ひ全燒戻範圍に亘り甚だ顯著に衝撃抗力が増加する。
 2. 硫黄の影響を打ち消す如き合金元素は見當らない。
 3. 製鋼原料及び熔解法による靱性の相違も實は主として硫黄含量の微小な相違に基くものであると云ふことを明らかにした。

IV. 實驗 3 特殊元素の影響

特殊鋼の衝撃値に對して微量の磷と硫黄が重大な影響を及ぼして居ることが明瞭になつたのであるから特殊元素の眞の影響を見るには磷と硫黄の影響を充分考慮に入れて實驗しなければならないことになる。殊に磷の作用は添加元素の種類によつて變化するのであるから磷の存在は特殊元素の影響を複雑にして居るものと言はなければならないのである。故に特に磷の少ない鋼に對する特殊元素の影響を實驗して見る必要がある。

特殊元素の効果なるものは單獨にある場合と種々の組合

第 7 表

符號	鋼種 (括弧内は變化 元素を示す)	原料	化 學 成 分 (%)									燒入溫度 °C
			C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	其 他	
58	Ni-Cr 鋼 (C)	B	0.39	0.18	0.44	0.008	0.014	3.19	0.64	—	—	830×30' 油冷
59 60	Ni-Cr-(Si) 鋼	"	0.28 0.29	0.54 1.56	0.39 0.37	0.010 0.012	0.018 0.019	2.95 3.06	0.75 0.66	—	—	850×30' 油冷
61 62 63	(Ni)-Cr 鋼	"	0.29 0.29 0.30	0.27 0.20 0.24	0.09 0.83 1.56	0.007 0.009 0.010	(0.007) 0.015 0.013	3.27 3.05 3.05	0.77 0.74 0.67	—	—	820×30' 油冷 " "
64 65	(Ni)-Cr 鋼	"	0.28 0.29	0.22 0.20	0.41 0.37	0.008 0.008	0.017 0.017	1.26 4.98	0.75 0.74	—	—	850×30' 油冷 800×30' 油冷
66 67	Ni-(Cr) 鋼	"	0.30 0.31	0.22 0.22	0.42 0.40	0.012 0.010	0.013 (0.010)	3.04 3.06	1.67 2.57	—	—	830×30' 油冷 "
68 69 70	Ni-Cr-(Mo) 鋼	C	0.27 0.27 0.26	0.19 0.21 0.23	0.34 0.35 0.30	0.006 0.008 0.007	0.009 0.009 0.010	2.99 2.98 3.00	0.69 0.70 0.70	0.20 0.81 1.25	—	" " "
71 72 73	Ni-Cr-(W) 鋼	"	0.29 0.29 0.30	0.22 0.13 0.20	0.34 0.34 0.33	0.006 0.007 0.008	0.011 0.010 0.011	2.95 2.94 2.92	0.74 0.75 0.70	—	0.68W 1.15W 1.66W	840×30' 油冷 " "
74 75	Cr 鋼	B	0.29 0.27	0.29 0.24	0.60 0.48	0.010 0.010	0.002 0.002	0.06 0.07	1.15 2.06	—	—	
76 77	Ni 鋼	"	0.28 0.29	0.20 0.18	0.48 0.47	0.009 0.010	0.012 0.013	3.16 3.24	0.11 0.12	—	—	830×30' 油冷
78 79	Ni-Cr 鋼	"	0.30 0.28	0.22 0.22	0.47 0.47	0.008 0.033	(0.011) (0.011)	3.08 3.10	0.81 0.81	—	—	" "

備考：硫黄の分析値は燃焼法によるものであるが、特に括弧に示したものだけは重量法によるものである。

せにある場合とて異なることもあるであらうから色々の組合せの影響を取扱ふことが必要であらうが、本研究に於ては只燐と硫黄の影響に比べ特殊元素添加の影響が如何なる程度のものであるかを知る目的で主としてニッケル・クロム鋼に対する特殊元素添加の影響を上記の諸条件を考慮して実験してみたのである。本実験のため特に熔製した試料の成分は第7表に示してあるがこれ以外に前実験の試料(第2表及び第4表)多數も用ひられて居る。

(1) ニッケル・クロム鋼に対する添加元素の影響

a) 炭素：炭素は特殊元素ではないが必要な元素であるからその実験結果を第31圖に示す。実験範囲では炭素量の増加によつて低温焼戻脆性の程度(谷の深さを指す)や、その發生温度には別に變化はなく只全體に衝撃値が低下して居るが衝撃値を硬度に對して圖示すれば第32圖の如く400°C以上の焼戻部分即ちソルバイト組織に於ては炭素量の増加は決して脆性を増すものではないことが判る。

b) シリコン：シリコンの増加は第33圖に示す様に低温焼戻脆性範囲を高温の方へ移す傾向があるが、それは只シリコンによつてマルテンサイトの分解が遅れるためである。従つて硬度と衝撃値の關係を求めると第34圖の如

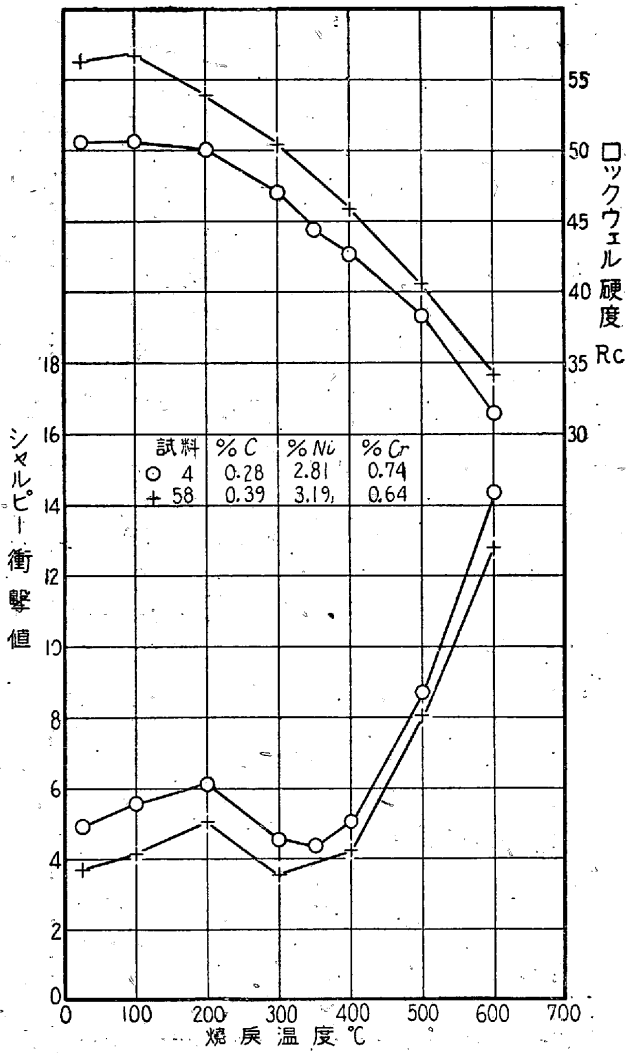
くにシリコンは殆んど衝撃値には影響せぬことが知れる。*

c) マンガン：マンガンの増加は第35圖に示す如く350°C附近の低温焼戻脆性を増すと同時に550°C附近に於ても新たな脆性を生ずる様にする。硬度對衝撃値曲線第36圖に於ても同様二段の變化が認められマンガンの増加と共に次第に脆くなる。マンガンの影響については別の機會に詳しく報告したいと考へて居るが兎に角マンガンと燐の作用には非常に類似性が認められるのである。尙マルテンサイト組織に對してマンガンは効果があることは注目すべきである。

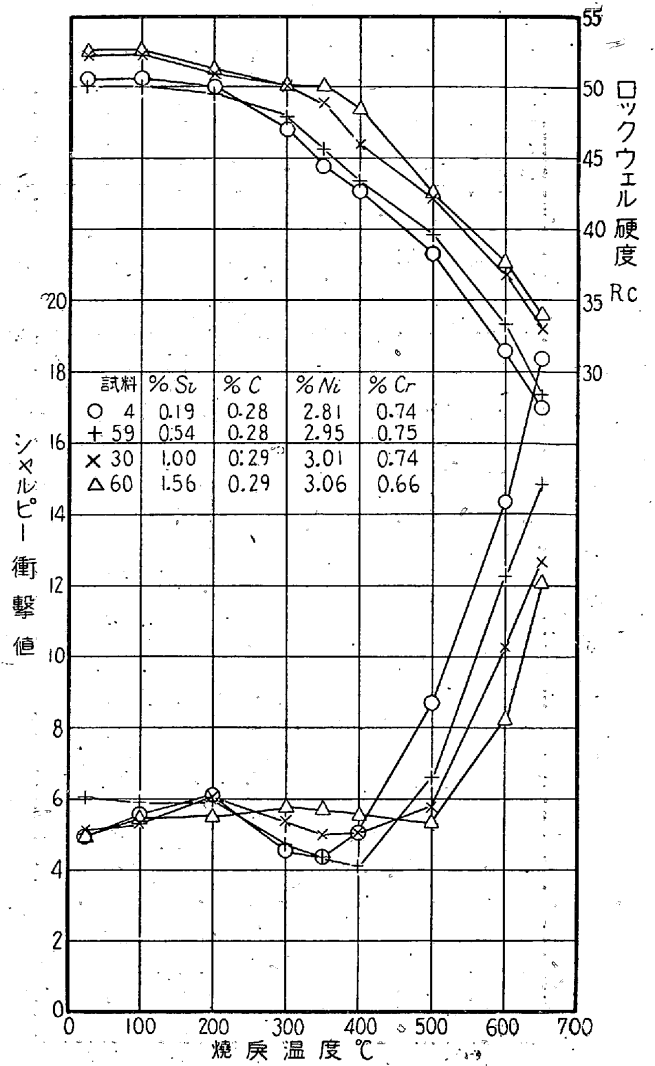
d) ニッケル：焼戻温度對衝撃値の關係は第37圖の如くであり硬度對衝撃値の關係は第38圖の如くである。これによればソルバイト組織にあつてはニッケルは全然衝撃値に影響をしない。即ちニッケルが靱性を高める性能は認められない。但しマンガンと同様マルテンサイト組織に對しては或る量迄は効果を示して居る。

e) クロム：第39圖は焼戻温度對衝撃値曲線に對する

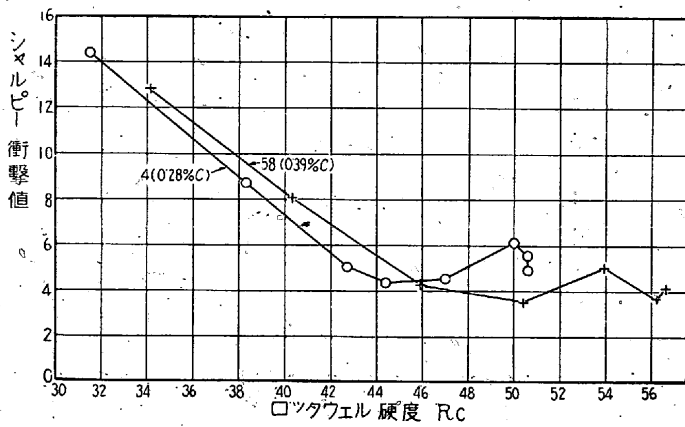
* 當研究所太田氏の研究(鐵と鋼 27年7號)によればシリコンは靱性を増す元素になつて居るがそれは不完全燒入の場合の現象であるから本実験結果と矛盾するところはない。



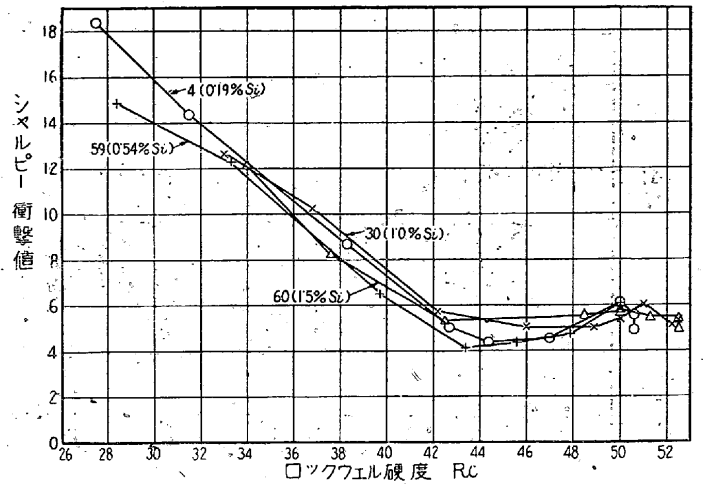
第 31 圖



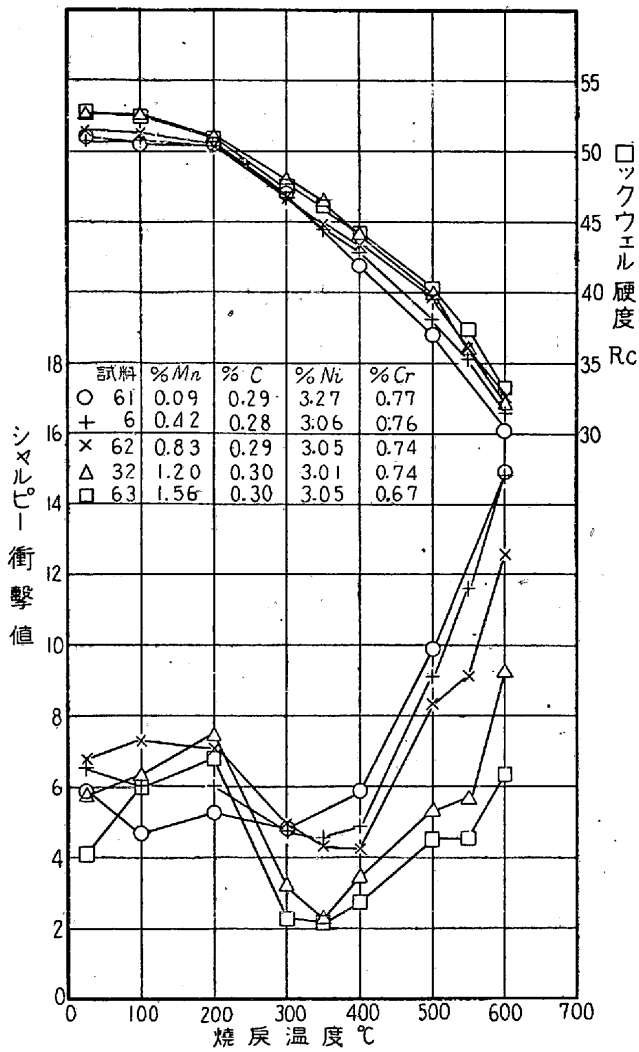
第 33 圖



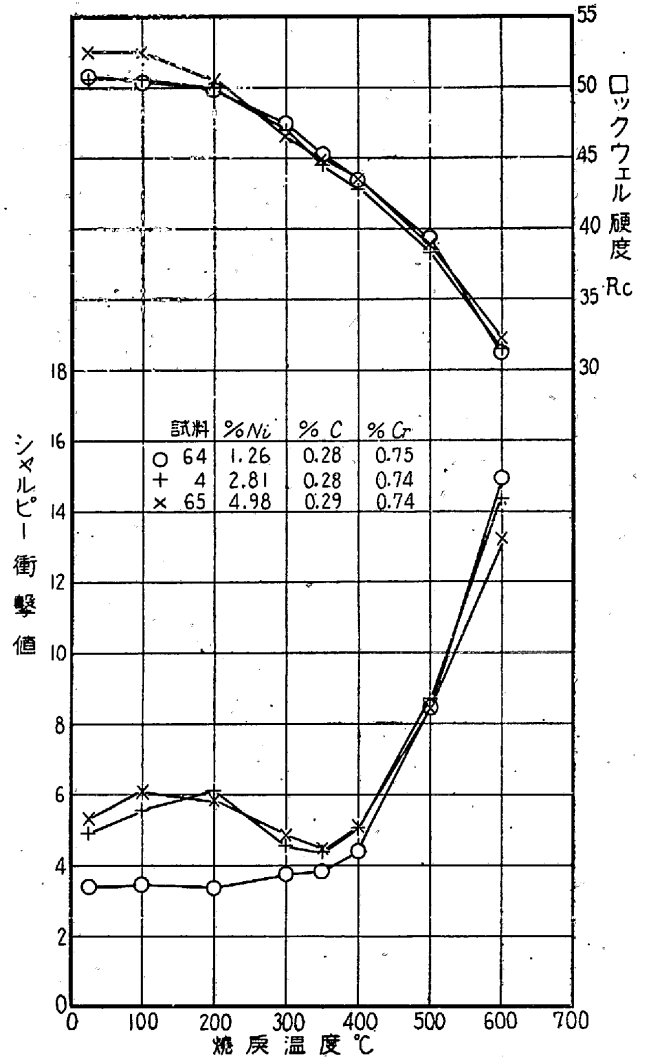
第 32 圖



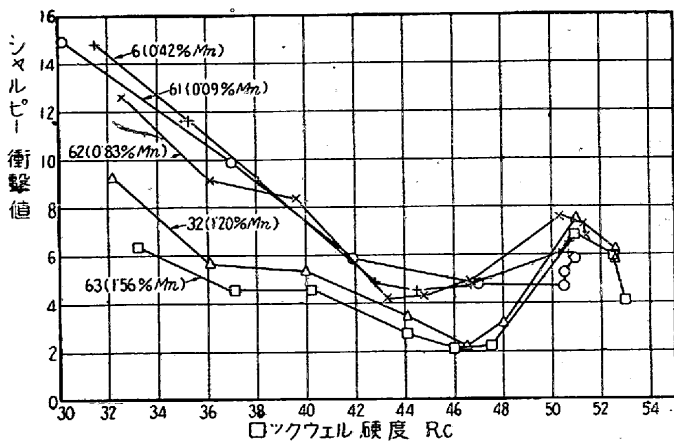
第 34 圖



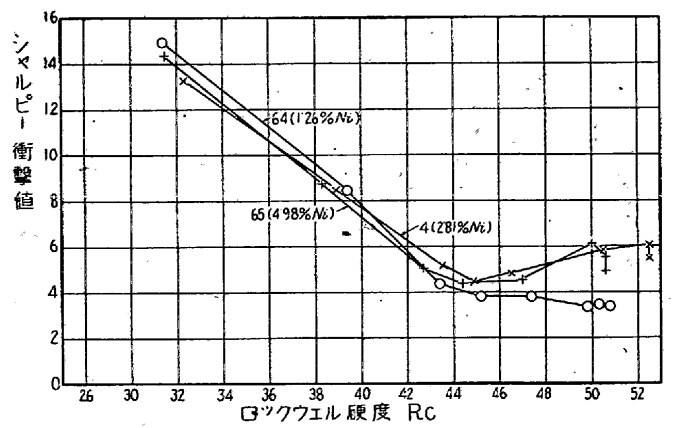
第 35 圖



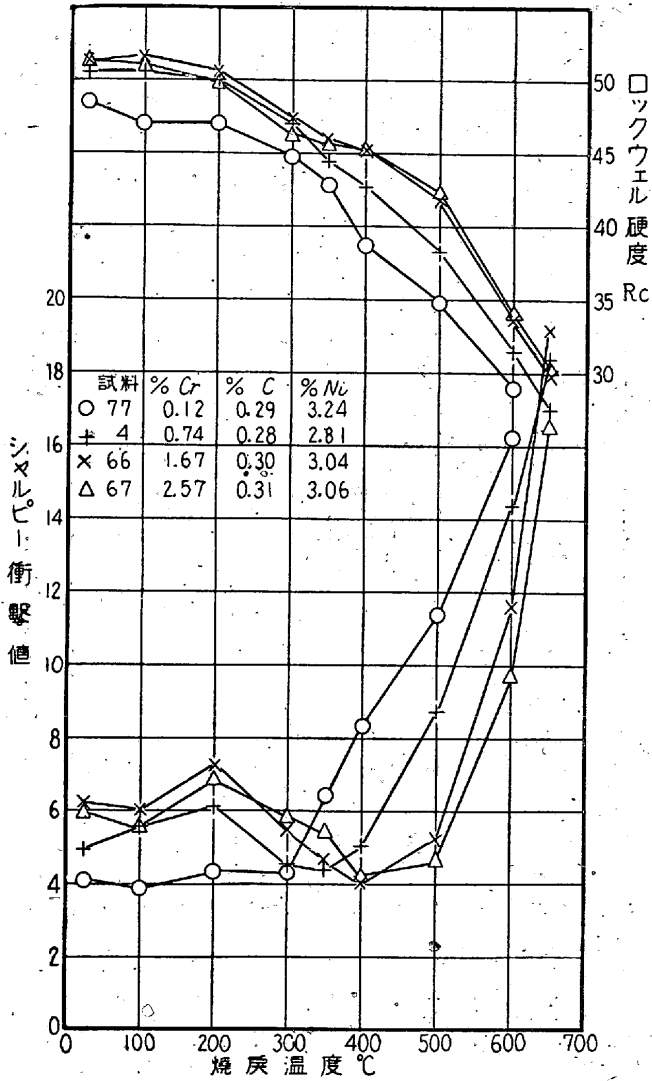
第 37 圖



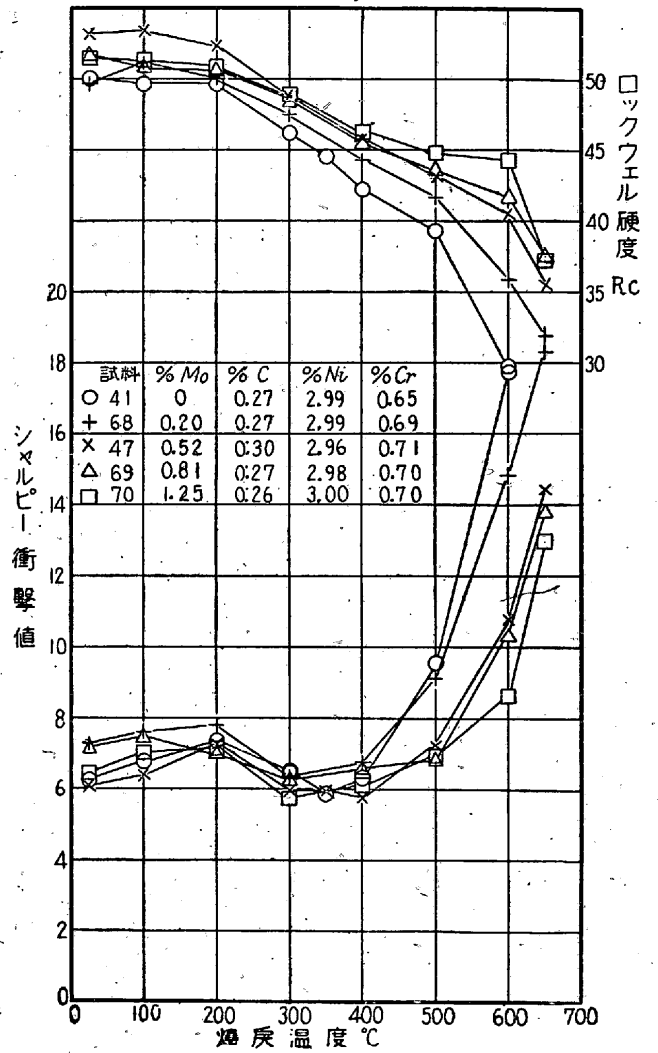
第 36 圖



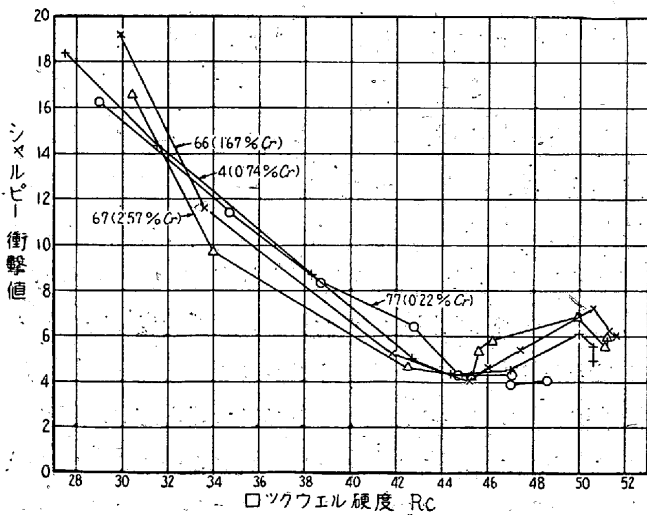
第 38 圖



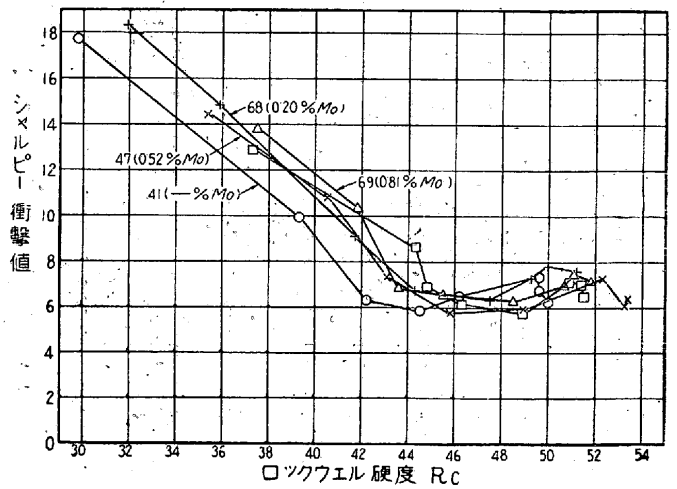
第 39 圖



第 41 圖



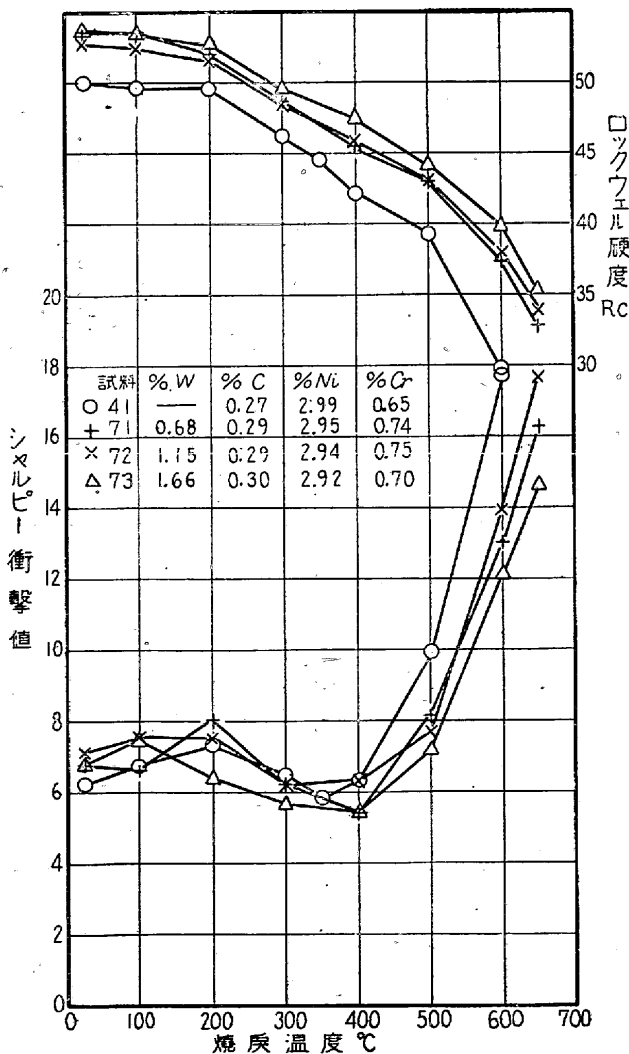
第 40 圖



第 42 圖

クロムの影響を示すものである。クロムの増加に従つて低温焼戻脆性範囲がシリコンの場合と同様高温の方へ移動する。これは硬度曲線の焼戻硬化に對應して居る。今硬度と衝撃値の關係を示せば第40圖の如くソルバイト組織の部分に於て1.67% Cr及び2.57% Crのものに異常を認める。即ちクロムが多くなると500°C~600°Cの焼戻範圍に於て少く脆性が現はれる傾向があり650°Cの焼戻では反對に靱性を増す。但し單純クロム鋼の場合は3%近くクロムを加へてもかかる現象は見られなかつた。このことは研究を要する面白い點である。尙マルテンサイト組織に對してはクロムはマンガンに次いで効果を現はして居る。

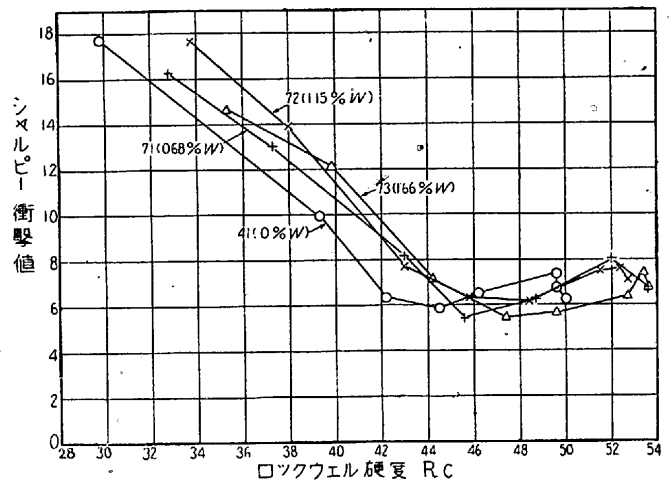
f) モリブデン: モリブデンが増すに従つて焼戻温度と衝撃値の關係は第41圖に示す様に400°C以上の焼戻温度に於ける値が低下する傾向を示す。これはクロムの場合と同様焼戻硬化が現はれるためであるがしかし第42圖の硬度對衝撃値の關係にはクロムの様な異常が現はれない許り



第 43 圖

か、却つてモリブデンの添加によつてソルバイト組織の衝撃値が一般に2kgm/cm²以上高められモリブデンが有効な元素であることを示して居る。但し0.2%以上あつても効果は増して居ない。又マルテンサイト組織に對しては殆んど効果を與へて居ない。

g) タングステン: 多くの點でモリブデンと類似の性能を持つて居るタングstenは靱性に對する影響もモリブデンと同様でけることは第43圖と第44圖に示す通りで



第 44 圖

ある。但しその効果を現はすにはモリブデンよりも多量に加へる必要が認められる。

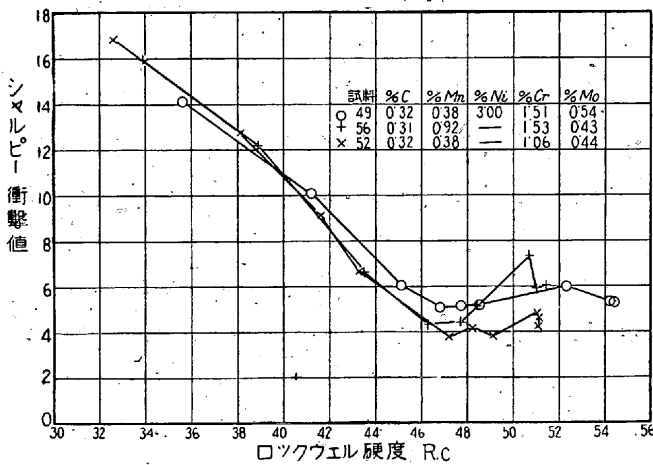
(2) 特殊元素の效果に對する考察 特殊元素が鋼の性質を改善する作用について普通考へられて居ることは大體次の様である。

1. 地鐵の性質を變へることによつて
2. 炭化物の性質を變へることによつて
3. 炭化物の分散状態を變へることによつて
4. 結晶粒度を變へることによつて
5. 内部應力を除去することによつて

(3), (4), 及び (5) の作用は (1) と (2) が原因となつて起り得るとも考へられるので本質的には (1) と (2) に大別出來ぬこともない。尙 (5) の内部應力の除去と言ふのは炭素鋼に比較して同一の硬度が高い焼戻温度で得られるから組織内の應力が少なくなるだらうと言ふことである。

扱て特殊元素はマルテンサイト組織の場合と同様ソルバイト組織の場合とは違つた舉動をなして居るので別々に取扱ふ必要があるが茲では炭化物が析出して居るところのソルバイト組織範圍(ツルースタイトの範圍も含める)に就て考へることとする。一般に地鐵に固溶する元素は比較的硬

化作用は少ないが靱性を附與する性質があるとせられその代表的なものとしてニッケルが擧げられて居る。又クロムの一部は地鉄に溶解するが一部は炭化物に結びついて炭化物の性質をかへることによつて比較的靱性の低下なしに硬度を増加する効果があるとされ従つてニッケルとクロムを合せ含んだニッケル・クロム鋼は(勿論其の他の點にも長所はあるが)材力の點に於て最も強靱であると考へられてきたのである。しかるに今回の實驗結果によれば既に述べた通りニッケル・クロム鋼の炭素、ニッケル・クロム、及びシリコン量を變化するも硬度對衝撃値の關係は殆んど影響を受けないのである。但しクロムは或る量を超へて析出硬化を起す様になればその硬化範圍に於て多少脆性を呈しその反對に 650°C 附近の焼戻で却つて靱性を増す特徴がある。此等の結果から考へるとニッケル・シリコンの如く地鉄にのみ固溶する元素並びにクロムも其の大部分が地鉄に溶解特別の炭化物、例へば $(CrFe)_7C_3$ の如きものを作らぬ限り此等の元素は靱性に對する作用に於て本質的な差異はないと言へる様である。第 45 圖はこの考を更に明瞭にす



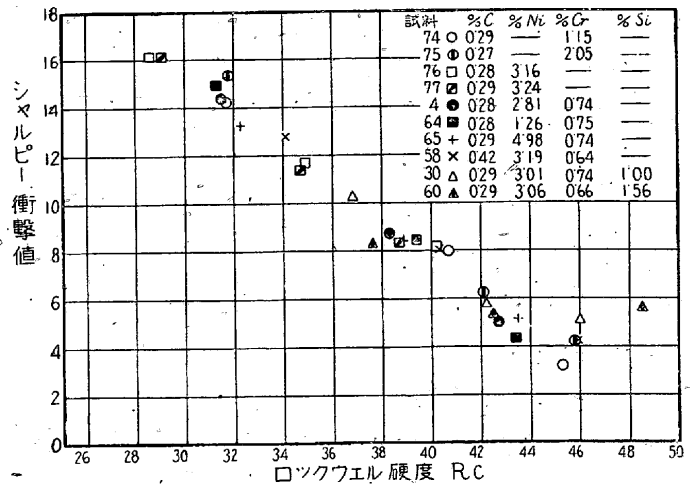
第 45 圖

る上に役立つであらう。即ち圖は硫黄の含量略同様なニッケル鋼、クロム鋼及びニッケル・クロム、炭素、シリコン等の割合を色々に変へたニッケル・クロム鋼の 400°C ~ 600°C 焼戻に於ける衝撃値と硬度の關係が皆一直線を以て表はし得ることを示したものである。換言すれば此等種々の合金鋼は同一の熱處理にては異つた硬度と衝撃値を示すが若し完全に焼入され同一の硬度になる様焼戻を受けた場合には其の衝撃値は皆等しいと言ふことが出来るのである。従つて所用の硬度が高い温度の焼戻によつて得られようと、低い温度の焼戻によつて得られようと相違はなく、従つて焼戻温度の差による内力の大小は問題にならない。

以上の如き結果を得た所以は磷と硫黄の影響に考慮を拂

つて實驗したことによるものである。

第 46 圖は更に他の例を示すものである。これは前實驗



第 46 圖

に於て述べた低硫の含モリブデン鋼の場合であるがこれによればソルバイト組織に於てはクロム・モリブデン鋼もマンガ・クロム・モリブデン鋼もニッケル・クロム・モリブデン鋼と同等であることが明瞭である。以上の諸實驗から明かな様に焼入効果の相違を考へなければ少くとも縦方向の材力に對し無ニッケル鋼と含ニッケル鋼は靱性の上に向等差異がないのである。

しからは全然合金元素を含まぬ炭素鋼の場合には如何かと言ふ問題が起る譯であるがそれに就いてはまだ十分實驗を行つてはないが炭素のみでは十分な靱性を得ることは無理な様である。

結局本研究に於て實驗した元素のうちでソルバイト組織に對し有効と看做し得るものはモリブデンとタングステンのみであるが、これらの元素は恐らく炭化物の性質を變へそのため結晶粒を微細化し炭化物の分散を均一ならしめる等の作用をなすものであらう。然し乍らそれによつて達成せられる効果は僅かなものであつて磷と硫黄の多い材料にこれらの高價な特殊元素を加へるよりは寧ろ磷と硫黄を低減せしめることの効果の方が遙に大きいのである。従つて特殊元素の効果は専ら焼入性の増大に存し、不純物や偏析物等熔製技術上の見地からその選擇を受くべきものと考へられるのである。

(3) 概括 これ迄磷や硫黄の不同に蔽はれて明瞭を缺いて居たところの各種特殊元素の靱性に對する影響を實驗し次の諸點を明らかにすることが出来た。

1. ソルバイト組織に對するシリコン・ニッケル、及び

第 8 表

試料 符號	化 學 成 分 (%)							材 力				備 考	
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	位 置	抗張力 kg/cm ²	伸%	絞%		アイゾツ ト衝撃値
H	0.27	0.23	0.45	0.014	0.010	3.48	0.76	頂 部	69.3	26.3	54.6	65.9	ヘツシュ法を 採用せるもの
								底 部	70.2	25.9	55.9	63.9	
I	0.28	0.19	0.52	0.034	0.021	3.32	0.65	頂 部	71.7	20.9	40.4	39.5	
								底 部	70.3	19.6	33.0	49.0	

クロム（或る量以下）の効果には本質的な相違はなくこれら元素の増減は靱性に殆んど影響を及ぼさぬ。

2. マンガンの多量は少くともニッケル・クロム鋼の場合には磷や硫黄に次いで有害である。

3. モリブデン・タングステンの少量は有効であるがその効果は磷や硫黄を減少するよりも遙かに少ない。

4. マルテンサイト組織に対してはマンガン・クロム及びニッケルが効果がある。

V. 結 論

以上の実験により特殊鋼の衝撃値に重大なる影響を與ふるものは従来問題視されなかつた程の微量なる磷と硫黄であり、これに比べると特殊元素の靱性に對する効果は極めて少ないものであることが判つた。即ち多少効果の認むべきものはモリブデンとタングステンの如き少数元素であるがそれも硫黄を少くした上でなければ意味がないこと、又ニッケル・クロム・シリコン等は殆んど効果はなくマンガンの至つては却つて脆性作用を與へる點は磷に次いで重視すべきものであることを知つた。又磷の脆化作用はマンガンの共存によつて一層激しくなる點はニッケルをマンガンの代用するに當り注目すべきことであり、それを防止するにはモリブデンやタングステンの如き高價な元素を加へる必要が起きてくるのである。

しかるに一方硫黄の影響にはモリブデンやタングステンは少しも効果が無く完全に硫黄の影響を防止する元素は今のところ見當らないのである。従つて衝撃値の増進に對しては磷と硫黄を極力低減せしめることこそ最も必要と考へられるのである。殊に磷と硫黄の結晶偏析の傾向大なることを考ふれば本研究の如く縦方向の材力に對してさへ斯くの如くである以上横方向に對しては更に著しい影響となることは疑ひないところであり、又更に磷と硫黄が鋼塊偏析即ちV状並びに輪狀幽痕の母體であることを考へ合はせる時はこれらの元素の低減は大型高級鋼材の製造には如何なる犠牲を拂つても遂行しなければならぬところの製鋼上の

重要問題であると言はなければならぬのである。

而して酸性平爐鋼を以て低磷、低硫黄の製品を製造することには特に困難な事情があるのであるが日本製鋼所に於ては磷と硫黄の低下せる原料を製造する目的を以てヘツシュ法を應用しこれに種々の研究考案を加へたる結果磷は0.004% 硫黄は0.008% 前後のメタルを製造することを得るに至り、このことは既に昨年秋第27回鐵鋼協會講演大會に近藤氏によりその詳細が發表されたところである。

今この原料を實際に酸性平爐に用ひて製造した鋼と普通の方法によつて製造した大型鋼材の材力を比較した一例を示して本研究の結論としたい。即ち第8表はこれを示すものであつて同一抗張力に對し絞と衝撃値に格段の相違が認められるのである。この成績は圓筒材の圓周方向に對する試験の結果であつて各2本宛の平均値である。若し使用目的上斯くの如き靱性は必要なしとするならば反對に抗張力を増加せしめれば宜い譯である。

終りに臨み夙に磷と硫黄の毒性に着眼せられその低減に盡瘁せられたる水谷博士の三ヶ年餘に亙る絶えざる御鞭達に感謝を捧げ又研究の遂行と發表を許された日本製鋼所上司の方々に對し謝意を表すると共に研究所一同の御協力に對し御禮申上げる。

——本論文を水谷博士喜壽の記念に捧ぐるものである——

(昭和17年7月)

- 1) d'Amico, : E. Ferrum. 10, (1913), 289 (H. W. Gillett, Metals & Alloys. Vol. 6, (1935), 280 及び Stead, JI. I. & S. Inst (1916), II, 59, 拔萃による)
- 2) Stead, : J. E. JI. I. & S. Inst. (1915), I, 140
- 3) Stead, : J. E. JI. I. & S. Inst. (1916), II, 64
- 4) Unger, : J. S. Year book Am. I. & S. Inst. 8, (1918), 172
- 5) Rawdon, : H. S. Proc. A. S. T. M. 34, (1934), 113
- 6) Gillet, : H. W. Metals & Alloys, 6, (1935), 280
- 7) Andrew J. H. and D. Swarup: Ist. Rep. Alloy Steel Res. Commit., (1936), 227
- 8) Lorig C. H. and D. E. Kranse, Metals & Alloys, 7, (1936), 9, 51, 69
- 9) Ristow. A. and K. Daeves, Stahl u. Eisen, 56, (1936).

- 889, 921
- ¹⁰⁾ Jones, : J. A. JI. I. & S. Inst. (1937), No. I, 113
- ¹¹⁾ Bolsover : G. R. JI. I. & S. Inst. (1929), I, 473
- ¹²⁾ Andrew, : J. H. and G. W. Green, JI. I. & S. Inst. (1920), I, 621. (discussion の部)
- ¹³⁾ Greaves, : R. H. & J. A. Jones, JI. I. & S. Inst. (1925), I, 231
- ¹⁴⁾ Bennk, : H. Arch. Eisenhüttenwes. 9, (1935/36), 147
- ¹⁵⁾ Mathews, : J. A. Year book A. I. & S. Inst, (1921), P. 147
- ¹⁶⁾ Grossmann, : M. A. Iron Age Vol. 114, (1924), P. 149
- ¹⁷⁾ 朝倉潮. 「鉄と鋼」25 (1939), 298
- ¹⁸⁾ Monypeny; (12) と同じ部分にあり
- ¹⁹⁾ Oberhofer: P. "Das technische Eisen" Dritte Auf. 492
- ²⁰⁾ Unger: J. S. Iron Age. January. 1916, 146
- ²¹⁾ Niedenthal : A. Arch. Eisenhüttenwes. (1929/30), 97
- ²²⁾ Houdremont Ed.: Sonderstahlkund. (Julius Springer 1935), 533
- ²³⁾ A. S. T. M. Vol. 36 (1936) P. 88~91
- ²⁴⁾ Priestley W. J.: Iron Age. 108 (1921), 1658~1661
- ²⁵⁾ 金森祥一: 鉄と鋼 26 (1940) 630

日本鐵鋼協會第 27 回講演大會講演大要進呈の御知らせ

頭書のもの百部數殘餘あり、全員に無料進呈致しますから御希望の方は送料實費郵便切手にて12錢同封御申越下さい。

鐵と鋼 第28年第10號 正誤表

石田求, 川口寅之助: クロム・タングステン・マンガン系ゲージ用不
 收縮鋼の熱處理 1087 頁第 10 圖の説明脱落に付次の如く挿入

- | | |
|--------------|------------|
| 1. ウィデア圓板 | 6. 錘 |
| 2. 1 を支へてゐる枠 | 7. ブ ッ シ ュ |
| 3. 棒 | 8. ブ ッ シ ュ |
| 4. 挺 | 9. 自 在 接 手 |
| 5. 挺 4 の 支 點 | 10. 滑 車 |