

鐵鋼の滲炭に及ぼす諸元素の影響に就いて

(昭和 3 年 11 月日本鐵鋼協會第四回講演大會講演)

高橋源助

緒言

或諸元素は鋼に特種の良い性質を與へるので、種々の元素を含有する雜多の特種鋼が日に益し多く使用せらるゝに至つた。それで特種合金鐵の滲炭作業に於て、鐵中の諸含有元素が滲炭の量に如何なる影響を與へるものであるかを吟味する事が工業上至つて必要な事であるので、著者はこれを秩序的に研究した。尙それ等の元素が其滲炭されたものゝ硬化溫度と硬度に如何なる影響を與へるものであるかを又併せて吟味した。

滲炭の量は一定の條件の下に一定の寸法の試料に滲炭を行ひ、其間吸収したる炭素量に依つて測定し、又炭素量は試料の重量増加の量に依つて測定した。

硬度は Rockwell の硬度計で計つた。下に記したる硬度は其 C Scale にて表はしたものである。

此研究に於て鐵に混じたる元素の種類と其分量の範圍は次の如くである。

鐵合金	鐵に混じたる元素の種類及量	鐵合金	鐵に混じたる元素の種類及量
Chrome iron	0 to 20.0 % Cr	Silicon iron	0 to 7.0 % Si
Manganese iron	0 to 10.0 % Mn	Steel	0 to 1.6 % C
Tungsten iron	0 to 20.0 % W	Chrome-Nickel iron	0 to 2.5 % Cr, 0 to 5.0 % Ni
Vanadium iron	0 to 4.98 % V	Chrome-Tungsten iron	0 to 5.0 % Cr, 0 to 15.0 % W
Molybden iron	0 to 2.51 % Mo	Chrome-Vanadium iron	0 to 8.0 % Cr, 0 to 1.0 % V
Nickel iron	0 to 13.0 % Ni		

試料

先づアームコ鐵を他の 1 又は 2 元素と共に、Tamman 爐にて熔解して、直徑 20mm の棒を鑄造した。次にこれを鍛鍊して長さ 150mm 直徑 11mm のものとなし、それを 1,000°C にて 30 分間焼鈍して冷却し、これを旋盤にて直徑 9.5mm 長さ 15mm に仕上げたものを試料とした。但含有炭素の影響に關する研究に於ては、直徑 9.5mm 長さ 20mm に仕上げたる試料を使用した。而して他の元素を少しも含まない純鐵の試料は、矢張上の場合と同様の方法にて製作したものである。

實驗の方法

此の如くて作りたる試料の 1 組を、それ等の重量を計りたる後、木炭 6 割に炭酸バリウム 4 割をよ

く混じたる粉末又は木炭粉末と共に、1つの鐵製の箱の中に入れて鐵蓋と粘土とを以て之を密閉し、それ等の全體を電氣爐にて加熱した。加熱の方法は、爐が或一定の溫度に達したる折にそれを爐の中に入れて高溫度にて數時間加熱し、然る後爐の中にて或一定の溫度迄緩冷し又は緩冷せずに爐から取り出し、室溫の大氣中にて其まま10分間冷却し、然る後容器より試料を取出して水にて急冷し、再びそれ等の試料の重量を測定した。容器は2元合金の試料の場合には $43 \times 43 \times 56$ mmの寸法のもので3元合金の試料の場合には $43 \times 43 \times 93$ mmの寸法のものを使用した。電氣爐は内徑68 mm長さ400 mmの大さのものを使用した。

次に此の如くして滲炭された試料の各組を、内徑20 mm長さ600 mmの釉藥付磁裂管の中に一酸化炭素と共に密閉し、其全體を電氣爐にて或一定時間一定の高溫度にて加熱し、然る後之を爐から取出して其溫度から水にて急冷した。又或場合には其高溫度から一定の低溫度迄爐の中にて緩冷し、其低溫度に一定時間保ちたる後、之を爐から取出して水にて急冷した。而してかくの如き熱處理を行ひたる後之等の試料の硬度を比較研究した。

實驗の條件と結果

後に擧げたる表は實驗の條件と結果を示すもので、圖面は其結果を示すものである。

之等の圖面と表に記したる記號 R. T. は室溫を意味するものである。又表の熱處理の欄に記したる記號

$$m^{\circ} (p \text{ mins.}) \rightarrow n^{\circ} (q \text{ mins.})$$

は試料が m 度の溫度の爐の中で p 分間加熱されたる後、爐の溫度を n 度迄緩かに高め又は緩冷し、其 n 度に q 分間保ちたる後試料を爐から取出して水にて急冷したる事を意味するものである。

總括

實驗の結果は後附の圖面から次の如く總括する事が出来る。

(A) 滲炭の量に及ぼす諸含有元素の影響

(1) 木炭に炭酸鹽を混合したるものにて滲炭されたるクローム鐵の滲炭の量は、クローム 2.0—3.0% 迄クローム量の増加と共に増加し、尙クローム量を増加する時は、反つて滲炭の量を次第に減じ、クローム量が 15.0% に達すれば全然滲炭を起さない。次に木炭だけで滲炭される場合には、上と趣きを異にし、滲炭の量がクローム量の増加と共に初めから極緩慢に減少する。而してクローム含有量の大なる場合には、木炭に炭酸鹽を混じたるものにて滲炭される場合よりも木炭だけで滲炭される場合には反つて多量に滲炭をうけると云ふ結果を表はして居る。

(2) マンガン鐵の滲炭に於て、マンガンの含有量が或量に達せざる範圍に於ては、マンガンの滲炭量に影響を與へない。而して其範圍は滲炭量の異なる場合程廣い。マンガンの量が尙それ以上増加

する時は、其増加と共に滲炭の量を減少する。

(3) タングステン鐵の滲炭に於て、或數回の實驗に於てはタングステンの含有量が滲炭の量に影響を與へない。然るに或他の數回の實驗に於てはタングステン 3.0—5.0% に達する迄はタングステン量の増加するに従ひ滲炭の量を減少し、尙それ以上にタングステンを増加するも滲炭量に變化がない。かくの如く僅かの條件の異なるに従つて異なる結果を表はして居るので、此點に關しては尙深き研究を要する。

(4) バナヂウム鐵に於て、木炭に炭酸鹽を混じたるものにて滲炭する場合には、其滲炭量はバナヂウム含有量の増加するに従ひ減少する。而して低溫度に於て又は木炭だけにて滲炭する場合には其影響は至つて少ない。

(5) モリブデン鐵に於て、木炭に炭酸鹽を混じたるものにて滲炭する場合には、其滲炭量はモリブデン含有量の増加と共に増加する。然るに木炭だけにて滲炭する場合には、其滲炭量はモリブデン含有量に殆んど影響がない。

(6) ニッケル鐵の場合には、其滲炭がニッケル含有量の増加するに従ひ減少する。

(7) シリコン鐵の場合には、滲炭量がシリコン含有量の増加するに従ひ減少す。而してシリコン含有量が或率を超過する時は少しも滲炭を起さない。其率は溫度の高い程大である。

(8) 炭素鋼に滲炭を施す場合には、其滲炭量が初めから含有されて居る炭素濃度の異なる程少ない。而して滲炭劑として木炭だけを使用する場合には、或程度以上の炭素濃度を有する炭素鋼は反つて脱炭を受ける。

(9) クロームニッケル鐵の場合には、其滲炭量はクローム含有量の増加と共に増加し、ニッケル含有量の増加するに従ひ減少す。而して木炭だけにて僅か滲炭される場合には、此合金はニッケル含有量の少ない程クロームの影響が少ない。又クローム含量の少い程ニッケルの影響は大である。

(10) クロームタングステン鐵に於て、木炭に炭酸鹽を混じたるものにて滲炭を施す場合には、滲炭量がクローム 2.5% 迄はクローム含有量の増加と共に増加する。尙これ以上クロームを増加すればタングステン含有量の少ない場合に次第に減少し、タングステン約 3.0% 以上の場合に次第に減ずる。クローム含有量が 2.5% 以下の場合には、タングステンは滲炭量に少しも影響を與へない。クローム含有量が 2.5% 以上の場合には、滲炭量がタングステン約 3.0% 迄はタングステン含有量の増加と共に増し、タングステン量がそれ以上増加しても滲炭量が増加しない。

(11) クローム、バナヂウム鐵に於ては、クローム含有量 2.5% 迄は其滲炭量がクロームの増加と共に増加し、尙クロームを増加すれば次第に減少する。一般にクローム含有量の少ない場合には、バナヂウム含有量の異なる程滲炭の量を減少する。然し乍らクローム含有量が或一定の値を超過する時はバナヂウムの影響は其反對になる。

(12) 世間に普通使用されて居る種々の高速度鋼の組成から炭素だけを殆んど全く取除きたる組成

の合金は、純鐵と殆んど同一程度に滲炭を受ける。

(B) 滲炭を施したる特種合金鐵の硬化溫度に及ぼす諸元素の影響

(1) 二元合金鐵に滲炭したる場合に、硬化溫度はクローム又はシリコン含有量の増加するに従ひ高くなり、マンガン又はニッケル含有量の増加するに従ひ低下する。

(2) モリブデン鐵の場合には A_{r1} 變體點を降下す。其程度はモリブデン含有量の異なる程大である。然しこれは A_{c1} 態體點には異なる影響を與へない。

(3) タングステン鐵又はバナヂウム鐵の場合には、夫々タングステン又はバナヂウム含有量が硬化溫度に異なる影響を與へない。

(4) ニッケル、タングステン又はバナヂウムがクロームと共に鐵の中に含有されて居る場合に、其等の硬化溫度がクローム含有量の増加と共に高くなり、又ニッケル含有量の増加するに従ひ降下する。然しタングステン又はバナヂウムの含有量は硬化溫度に異なる影響がない。

(C) 滲炭を施したる特種合金鐵の硬度に及ぼす諸元素の影響

(1) 強滲炭劑にて數時間滲炭を受けたる後焼鈍されたるものゝ表面に於ける硬度の場合

(イ) 二元合金鐵に滲炭を施したるものゝ場合に、クローム、マンガン、バナヂウム又はニッケル含有量が夫々 2.5, 6.5, 0.3, 10.0% に達する迄は含有元素の増加するに従ひ硬度を高め、之等の元素を尙増加する時は次第に硬度を減す。モリブデン又はシリコンは其含有量の増加と共に硬度を増す。タングステン鐵の場合には、タングステン 3.0% 迄はその増加と共に硬度を増し、尙タングステンを増加するもそれ以上の硬度を表はさない。

(ロ) クロームニッケル鐵の場合には、クローム又はニッケル含有量の増加と共に硬度を増加す。

(ハ) クロームタングステン鐵の場合には、タングステン 3.0% 迄はタングステンの増加と共に硬度を増加する。然し尙以上にタングステンを増加しても其上硬度を増加する事なし。同合金に於てクローム 2.5% 迄はクローム量の増加と共に硬度を高める。而して尙クロームを増加する時は、タングステン含有量の少ない場合には硬度を次第に減じ、タングステン含有量が或程度以上の場合には硬度を次第に増加する。

(ニ) クロームバナヂウム鐵の場合には、クローム 1.5—2.5% に達する迄はクロームの増加と共に硬度を増し、尙それ以上クロームを含有する時はクロームの増加と共に次第に減少する。クローム含有量が僅かなる場合には、バナヂウム含有量の極僅かの時に最大の硬度を表はす。然しクローム含有量が或%以上に多量なる場合には此現象なし。

(2) 強き滲炭劑にて數時間滲炭を受けたる後焼入されたるものゝ表面に於ける硬度の場合

(イ) クローム鐵の場合には、硬度はクローム 5.0% に達する迄はクローム含有量の増加と共に増加するが、クロームを尙増加する時は反つて其硬度を減少する。マンガン鐵の場合には、マンガン約 1.0—2.0% 迄、又シリコン鐵の場合には、シリコン約 3.0% 迄、それらの含有物が硬度に影響を與へ

ない。然し尙これ以上含有する場合には、其量の増加に伴ひ表面の硬度を減少する。バナヂウム鐵又はニツケル鐵の場合には、夫々バナヂウム又はニツケル含有量の多い程硬度を減じ、モリブデン鐵の場合にはモリブデン含有量の増加するに従ひ硬度を高める。然しタングステン鐵の場合にはタングステン含有量が硬度に殆んど影響を與へない。

(ロ) クロームニツケル鐵の場合には、硬度がクローム含有量の増加と共に増加し、ニツケル含有量の増加するに従ひ減少する。

(ハ) クロームタングステン鐵の場合には、クローム又はタングステン含有量の増加と共に硬度を増加する。

(ニ) クロームバナヂウム鐵の場合には、硬度がクローム 2.0—3.0% 迄は増加と共に増加し、尙クロームの量を増加する時は反つて減少する。クローム量の僅少なる場合には、バナヂウムの増加するに従ひ硬度を減少するが、クローム量の大なる場合には、バナヂウムの含有量が硬度に少しも影響がない。

(3) 弱き滲炭劑にて短時間滲炭を受けたる後焼入されたものゝ表面に於ける硬度の場合

(イ) クローム鐵マンガン鐵又はニツケル鐵の場合には、夫々クローム 2.0—2.5%、マンガン 2.0% ニツケル 5.0—6.0% に達する迄は次第に硬度を増し、尙それらの量を増加する時は次第に硬度を減ず。バナヂウム鐵又はシリコン鐵の場合には、夫々バナヂウム又はシリコン含有量の増加するに従ひ硬度を減ず。然るにモリブデン鐵の場合には、モリブデン含有量の増加に伴ひ硬度を増加する。タングステン鐵の場合には、タングステン 5.0% 以内に於てはタングステンの量が硬度に殆んど影響がない。然し尙其量を増せば次第に硬度を減ずる。

(ロ) クロームニツケル鐵の場合に、クローム及びニツケル含有量の僅かなる時には、それらの量の増加に伴つて硬度を増すが、其等の含有量が増加するにしたがひ次第にそれらの影響を減じ遂に影響がなくなる。

(ハ) クロームタングステン鐵の場合には、クローム 2.5% 迄はクローム量の増加と共に硬度を増し、尙クロームを増加する時はタングステン量の僅かなる場合には次第に硬度を減じ、其の減少の程がタングステン量の大なる程次第に少くなる。然してタングステン量が尙増加して或る程度に達する時は遂に硬度を次第に増加する。タングステン 3.0% 迄は、タングステン含有量の増加と共に硬度を増し、尙タングステンを増す時は反つて硬度を減ず。

(ニ) クロームバナヂウム鐵の場合には、クローム 2.0—3.0% 迄はクローム量の増加と共に硬度を増し、尙クロームを増加する時は其の増加するに従つて硬度を減少す。バナヂウムは硬度に大なる影響無し。

(4) 強滲炭劑にて滲炭を受けたる後焼入されたるものゝ表面から 1.0—1.5 耗内部に於ける硬度の場合

(イ) クローム鐵マンガン鐵タングステン鐵ニツケル鐵に於て、それ等の硬度は夫々クローム 2—3.0 マンガン 2.0—5.0, タングステン 7.0 ニツケル 2.0% 迄はそれらの含有量の増加に伴つて増加するが、尙それ等の含有量を増加する時は反つて次第に減少する。バナジウム及びシリコン鐵の場合には夫々バナジウム及シリコン含有量の増加するに従ひ硬度を減じ、モリブデン鐵の場合にはモリブデン含有量の増加するに従ひ硬度を増す。

(ロ) クロームニツケル鐵の場合には、クローム又はニツケル含有量の僅かなる時にクローム又はニツケル量の増加と共に硬度を増加するが、それ等の含有量の大きなるに従ひそれ等の影響を減じ遂に影響がなくなる。

(ハ) クロームタングステン鐵の場合に、クローム 1.0—2.5% 又はタングステン約 2.0% 迄はそれ等の含有量の増加と共に硬度を増加する。

(ニ) クロームバナジウム鐵の場合には、クローム 2.0—3.0% 迄はクローム含有量の増加と共に硬度を増し、尙クロームを増加する時は次第に其の硬度を減少す。バナジウムは硬度に大なる影響なし。

本研究は東北帝國大學金屬材料研究所に於て行ひたるものにして、御懇篤なる指導を給はれた本多村上の兩博士に對し茲に深厚なる謝意を表する。

Table 1. Composition of specimens.

Mark	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
Fe%	100	99.7	99.4	99.0	98.5	97.5	95.0	90.0	85.0	80.0
Cr%	0	0.3	0.6	1.0	1.5	2.5	5.0	10.0	15.0	20.0

Table 2. Conditions of Carburization process.

Carburization No.	Carburizer	Initial temp. (°C)	Carburization temp. (°C)	Final temp. (°C)	Time interval for heating to Carburization temp. (min.)	Time interval at Carburization temp. (min.)	Time interval for cooling to final temp. (min.)
1	60% wood charcoal + 40% BaCO ₃	413	980	690	37	240	45
2	"	432	980	705	44	150	50
3	"	370	930	640	38	150	28
		930	930	640	0	150	28
4	"	410	880	640	29	240	40
5	100% wood charcoal	485	980	740	33	60	18
6	"	416	1,000	1,000	43	90	0
7	"	416	1,000	1,000	43	90	0
		270	1,000	1,000	51	90	0
8	"	416	1,000	1,000	43	90	0
		270	1,000	1,000	51	90	0
	"	345	1,000	1,000	47	90	0

Table 3. Initial weight and increased amount of weight.

Carburiza- tion No.	Initial weight and increased amount of weight.										Fig. No.
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	
1	8.6005	8.8079	8.8498	8.3878	8.7172	8.3355	8.4024	8.3747	8.6069	8.2675	
	0.0418	0.0429	0.0437	0.0469	0.0479	0.0485	0.0400	0.0215	0.0031	0.0014	
2	8.5655	8.7909	8.7871	8.3189	8.8248	8.4209	8.3633	8.3757	8.6403	8.2602	
	0.0339	0.0350	0.0358	0.0374	0.0395	0.0410	0.0386	0.0204	0.0039	0.0015	
3	8.6662	8.8607	8.8366	8.4569	8.8357	8.4133	8.4122	8.3822	8.6151	8.2635	
	0.0243	0.0257	0.0270	0.0288	0.0302	0.0303	0.0270	0.0170	0.0016	0.0019	
4	8.5741	8.7990	8.7640	8.4144	8.8535	8.3517	8.3285	8.3284	8.6200	8.3127	
	0.0230	0.0242	0.0234	0.0252	0.0265	0.0275	0.0270	0.0179	0.0004	0.0005	
5	8.5069	8.6124	8.7080	8.3788	8.7645	8.3591	8.3513	8.3029	8.4455	8.1786	
	0.0121	0.0121	0.0119	0.0120	0.0121	0.0114	0.0106	0.0094	0.0080	0.0065	
6	8.5552	—	—	8.4764	—	8.3749	8.3993	8.3837	8.6089	8.2704	
	0.0166	—	—	0.0150	—	0.0147	0.0139	0.0127	0.0109	0.0080	
7	8.5552	—	—	8.4764	—	8.3749	8.4132	8.3837	8.6089	8.2704	
	0.0248	—	—	0.0241	—	0.0237	0.0253	0.0247	0.0170	0.0095	
8	8.5552	—	—	8.4764	—	8.3749	8.4132	8.3838	8.6089	8.2704	
	0.0307	—	—	0.0313	—	0.0307	0.0340	0.0327	0.0198	0.0095	

Table 4. Hardness

Carbu- riza- tion No.	Heat treatment.	Hardness.										Fig. No.
		a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	
1	980°(20mins.)→R.T.	22.2	28.1	31.0	34.2	36.0	37.0	35.7	27.8	16.7	15.3	2
	900°(")→730°(30mins.)	63.0	65.0	66.2	66.5	66.0	54.6	29.3	22.8	16.6	16.5	
	" (")→760°(")	65.6	65.3	65.7	67.5	66.8	67.6	67.1	22.0	16.9	16.5	
	" (")→790°(")	65.7	66.9	64.6	65.9	67.1	67.6	68.1	65.0	21.0	16.3	
1	980°(20mins.)→R.T.	22.2	28.1	31.0	31.2	36.0	37.0	35.7	27.8	16.7	15.3	3
	R.T. →730°(30mins.)	34.2	30.0	31.3	31.4	35.4	35.7	34.6	28.8	18.2	17.1	
	" →760°(")	63.3	65.5	66.0	67.3	64.4	60.0	34.6	27.8	16.5	15.7	
	" →790°(")	65.7	66.1	65.4	65.2	66.3	65.5	65.0	32.9	17.3	16.3	
	" →900°(20mins.)	64.3	63.5	64.6	66.2	66.0	67.2	68.1	63.4	38.7	19.3	
	Ditto; at 1.0 mm inner part.	39.5	44.2	49.2	51.7	53.4	61.9	58.7	47.9	35.2	22.4	
8	1,000°(20mins.)→R.T.	18.0	—	—	31.4	—	36.7	35.7	26.5	19.5	17.1	4
	R.T. →900°(20mins.)	66.3	—	—	66.8	—	67.2	66.5	63.2	54.3	27.1	
	Ditto; at 0.5 mm inner part.	43.2	—	—	65.4	—	64.4	65.2	54.5	44.2	23.8	
	Ditto; at 1.0 mm inner part.	26.7	—	—	51.2	—	54.1	55.0	47.1	37.5	23.4	
5	980°(20mins.)→R.T.	9.1	13.1	15.5	15.4	19.1	22.5	23.8	28.0	20.9	15.3	5
	R.T. →830°(20mins.)	42.9	50.3	57.8	59.6	61.0	64.0	58.7	47.0	34.3	19.7	
	" →850°(30 ")	51.4	53.2	59.3	59.0	62.1	62.4	58.8	49.4	42.6	18.3	

Table 5. Composition of specimens.

Mark	a	b	c	d	e	f	g	h
Fe %	100	99.5	99.0	98.0	97.0	95.0	93.0	90.0
Mn %	0	0.5	1.0	2.0	3.0	5.0	7.0	10.0

Table 6. Conditions of Carburization process.

Carburization No.	Carburizer	Initial temp.	Carburization temp.	Final temp.	Time interval for heating to Carburization temp.	Time interval at Carburization temp.	Time interval for cooling to final temp.
		(°C)	(°C)	(°C)	(min.)	(min.)	(min.)
9	60% wood Charcoal + 40% BaCO ₃	310	1,000	800	51	180	21
10	"	350	950	775	41	180	21
11	"	415	900	786	35	180	16
12	100% wood charcoal	451	1,000	820	41	60	22

Table 7. Initial weight and increased amount of weight.

Carburization No.	Initial weight and increased amount of weight.								Fig. No.
	a	b	c	d	e	f	g	h	
9	8.4422	8.3812	8.3772	8.3297	8.1936	8.2542	8.3082	8.3106	6
	0.0458	0.0437	0.0447	0.0443	0.0440	0.0442	0.0318	0.0241	
10	8.4123	8.3462	8.3234	8.3102	8.3776	8.3199	8.3781	8.2882	
	0.0345	0.0338	0.0344	0.0363	0.0351	0.0357	0.0290	0.0181	
11	8.3208	8.1898	8.2442	8.2321	8.3188	8.0974	8.2080	8.5213	
	0.0206	0.0216	0.0217	0.0218	0.0187	0.0166	0.0091	0.0034	
12	8.4056	8.2834	8.3788	8.3523	8.3278	8.1179	8.3338	8.8179	
	0.0132	0.0134	0.0136	0.0137	0.0129	0.0027	0.0003	0.0003	

Table 8. Hardness.

Carburization No.	Heat treatment.	Hardness.								Fig. No.
		a	b	c	d	e	f	g	h	
9	950°(20mins.)→R.T.	55.0	28.7	32.8	35.8	35.3	42.9	42.9	30.0	7
	900°(")→600°(30mins.)	29.4	33.1	33.9	35.1	34.5	41.2	44.0	33.6	
	" (")→650°(")	27.4	31.9	33.9	33.2	35.7	51.8	35.5	29.6	
	" (")→675°(")	26.3	29.8	31.0	59.2	60.1	48.6	36.6	27.6	
	" (")→700°(")	26.3	31.8	65.3	64.8	62.2	45.7	34.2	29.4	
	" (")→750°(")	64.2	64.4	64.5	61.3	63.4	46.3	33.7	33.4	
	" (")→800°(")	59.0	63.0	65.6	65.5	64.1	50.2	36.5	34.2	
	Ditto, at 1 mm inner part.	50.7	52.6	64.5	67.8	64.2	62.3	45.4	49.7	
Ditto, at 1.5 mm inner part.	20.6	46.4	—	55.0	54.2	55.6	45.5	51.9		

10	}	950°(20mins.)→R.T.	25.4	31.0	32.7	33.7	35.3	44.4	47.5	31.1	8
		R.T. →400°(30mins.)	26.2	31.3	32.7	31.2	35.1	44.6	47.0	39.0	
		" →600°(")	27.4	32.2	33.3	35.0	35.9	42.0	45.8	44.7	
		" →700°(")	26.9	31.2	32.4	34.9	42.6	58.7	47.6	40.0	
		" →720°(")	25.5	41.7	55.0	65.0	63.8	58.6	43.4	36.6	
		" →750°(")	65.9	66.7	65.8	65.3	63.1	54.6	41.5	36.2	
12	}	Ditto, at 0.5 mm inner part.	40.4	48.7	56.2	65.2	64.9	62.2	50.6	51.2	9
		R.T. →800°(30mins.)	61.5	64.8	65.1	63.4	61.6	46.5	33.6	32.3	
		950°(20mins.)→R.T.	13.0	19.1	25.0	30.3	36.3	47.1	44.7	47.1	
12	}	R.T. →800°(25mins.)	48.9	58.7	62.3	63.9	63.9	50.2	46.0	48.8	9
		" →900°(")	52.2	57.6	63.0	62.1	64.0	52.5	48.4	50.1	

Table 9. Composition of specimens.

Mark	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
Fe%	100	99.5	99.0	98.0	97.0	95.0	93.0	90.0	85.0	80.0
W%	0	0.5	1.0	2.0	3.0	5.0	7.0	10.0	15.0	20.0

Table 10. Conditions of carburization process.

Carburization No.	Initial Carburizer	Initial temp. (°C)	Carburization temp. (°C)	Final temp. (°C)	Time interval for heating to Carburization temp. (min.)	Time interval at carburization temp. (min.)	Time interval for cooling to final temp. (min.)
13	60% wood charcoal + 40% BaCO ₃	352	1,000	1,000	51	180	0
14	"	446	950	950	39	180	0
15	"	450	1,000	1,000	37	180	50
16	100% wood Charcoal	474	1,000	1,000	43	60	0
17	"	470	1,000	1,000	53	30	0

Table 11. Initial weight and increased amount of weight.

Carburization No.	Initial weight and increased amount of weight.										Fig. No.
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	
13	8.6227	8.7251	8.7134	8.6987	8.7813	8.8291	8.8200	8.9225	9.2193	9.0247	10
	0.0446	0.0352	0.0328	0.0281	0.0281	0.0260	0.0255	0.0260	0.0260	0.0261	
14	8.5080	8.5558	8.6502	8.7038	8.7804	8.7544	8.6974	8.9334	9.2728	9.0493	10
	0.0331	0.0301	0.0245	0.0230	0.0219	0.0216	0.0205	0.0201	0.0198	0.0199	
16	8.6567	8.7345	8.7780	8.7255	8.7764	8.9410	8.8458	8.9379	9.3128	9.0305	10
	0.0135	0.0120	0.0108	0.0107	0.0110	0.0122	0.0118	0.0121	0.0110	0.0116	

Table 12. Hardness.

Carburization No.	Heat treatment.	Hardness.										Fig. No.
		a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	
12	(1,000°(20mins.)→R.T.	25.5	25.0	26.5	25.1	26.2	24.9	26.5	26.0	27.7	25.7	10
	" (")→600°(20mins.)	29.1	28.7	28.3	32.2	31.3	31.8	30.7	32.5	31.9	31.1	

13	}	" (15mins.)→650°(")	29.5	30.0	31.3	34.5	34.8	34.0	34.2	33.6	34.4	33.1	}	11
		" (")→700°(")	28.5	30.8	30.0	34.3	34.0	34.4	33.6	33.6	34.7	33.5		
		" (")→730°(")	66.8	66.4	66.6	66.5	66.7	67.2	66.0	68.0	66.7	67.0		
		" (")→750°(")	66.8	66.6	66.5	66.1	66.6	66.7	67.3	67.8	66.1	65.3		
13	}	R.T. →750°(60mins.)	63.8	63.6	63.7	64.8	65.3	—	67.5	66.4	64.6	64.8	}	12
		" →850°(30 ")	63.8	65.3	65.1	—	64.1	64.5	66.7	63.9	64.8	63.7		
14	}	950°(20mins.)→R.T.	24.8	25.0	24.7	26.2	26.8	25.9	24.8	24.8	24.0	24.2	}	12
		R.T. →650°(30mins.)	25.2	25.2	26.2	27.4	28.5	29.0	28.3	28.9	27.4	28.5		
		" →700°(")	24.1	24.1	24.4	27.3	27.8	29.2	28.2	29.8	28.5	28.4		
		" →720°(")	24.0	24.0	25.4	28.4	30.0	30.4	30.2	30.4	30.2	29.0		
14	}	" →1,000(")	65.6	66.4	66.5	67.1	67.0	67.3	68.5	68.3	68.3	68.4	}	11
		900°(20mins.)→800°(30mins.)	65.0	65.8	66.3	66.8	65.5	64.9	65.8	66.3	—	63.1		
15	}	R.T. →950°(38mins.)	65.2	65.6	65.9	65.7	65.3	—	66.4	66.1	65.5	66.4	}	13
		" →1,000°(30 ")	65.2	65.3	—	65.3	65.6	—	67.1	66.0	66.7	66.7		
16	}	Ditto, at 1 mm inner part.	46.1	53.8	55.1	59.0	60.0	63.0	63.8	60.7	47.1	27.8	}	13
		1,000°(20mins.)→R.T.	10.1	11.9	10.7	15.8	18.4	20.0	21.7	20.8	22.5	20.5		
17	}	R.T. →900°(30mins.)	42.7	42.4	42.4	—	43.3	43.6	40.8	35.8	30.0	29.4	}	13
		" →1,000°(")	56.9	54.8	54.1	55.0	56.2	57.1	55.7	51.8	45.8	49.3		

Table 13. Composition of specimens.

Mark	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
Fe%	100	99.71	99.29	98.89	98.48	98.00	97.49	97.00	96.00	95.02
V %	0	0.29	0.71	1.11	1.52	2.00	2.51	3.00	4.00	4.98

Table 14. Conditions of Carburization process.

Carburization No.	Carburizer.	Initial temp. (°C)	Carburization temp. (°C)	Final temp. (°C)	Time interval for heating to Carburization temp. (min.)	Time interval at Carburization temp. (min.)	Time interval for cooling to Carburization temp. (min.)
18	60% wood charcoal +40% BaCO ₃	400	1,000	1,000	40	180	0
19	"	472	1,000	1,000	39	180	"
20	"	482	950	950	35	180	"
21	"	370	900	900	40	180	"
22	100% wood charcoal	460	950	950	26	60	"
23	"	460	"	"	26	60	"
		392	"	"	38	120	"
24	"	460	"	"	26	60	"
		392	"	"	38	120	"
25	"	430	"	"	32	60	"
		460	"	"	26	60	"
		392	"	"	38	120	"
		430	"	"	32	60	"
	60% wood charcoal +40% BaCO ₃	355	"	"	45	180	"

26	100% wood Charcoal	464	1,000	1,000	38	75	"
27	"	464	"	"	38	75	"
	"	406	"	"	41	120	"

Table 15. Initial weight and increased amount of weight.

Carburization No.	Initial weight and increased amount of weight.										Fig.No.
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	
18	8.3974	8.5315	8.4632	8.4494	8.4777	8.4807	8.2707	8.3398	—	—	14
	0.0508	0.0459	0.0291	0.0237	0.0189	0.0153	0.0154	0.0150	—	—	
19	8.2961	8.3579	8.5228	8.4564	—	8.4613	8.4059	8.4704	8.4049	8.3886	
	0.0498	0.0456	0.0303	0.0249	—	0.0169	0.0157	0.0149	0.0146	0.0143	
20	8.3791	8.4294	8.4102	—	8.3929	8.4224	—	8.4093	8.3996	8.3444	
	0.0316	0.0311	0.0255	—	0.0161	0.0148	—	0.0156	0.0174	0.0165	
21	8.3879	—	8.4823	8.3569	8.4518	—	8.4220	8.3793	8.4165	8.3784	
	0.0234	—	0.0190	0.0178	0.0196	—	0.0203	0.0230	0.0205	0.0210	
22	8.4445	8.4785	8.5412	8.4533	8.5219	—	8.4311	8.4529	—	—	
	0.0073	0.0073	0.0079	0.0079	0.0082	—	0.0089	0.0088	—	—	
23	8.4445	8.4785	8.5412	8.4533	8.5219	—	8.4311	8.4529	—	—	
	0.0154	0.0158	0.0171	0.0167	0.0177	—	0.0193	0.0194	—	—	
24	8.4445	8.4785	8.5412	8.4533	8.5219	—	8.4311	8.4529	—	—	
	0.0192	0.0204	0.0217	0.0213	0.0214	—	0.0246	0.0245	—	—	
25	8.4445	8.4785	8.5412	8.4533	8.5219	—	8.4311	8.4529	—	—	
	0.0430	0.0453	0.0440	0.0427	0.0426	—	0.0414	0.0413	—	—	
26	8.5415	8.4675	—	8.4580	8.4172	—	8.4360	—	8.3823	—	
	0.0146	0.0139	—	0.0123	0.0127	—	0.0147	—	0.0146	—	
27	8.5415	8.4675	—	8.4580	8.4172	—	8.4360	—	8.3823	—	
	0.0253	0.0251	—	0.0253	0.0261	—	0.0270	—	0.0296	—	

Table 16. Hardness.

Carburization No.	Heat treatment.	Hardness.										Fig. No.
		a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	
Not Carburized	1,000 (20mins.) → R.T.	10.8	8.2	7.4	6.6	—	5.9	7.8	8.2	9.4	11.0	15
	" (") → "	23.9	35.3	32.0	21.5	—	12.4	12.1	11.4	13.5	13.0	
"	R.T. → 650°(30mins.)	27.3	33.3	29.3	27.2	—	17.8	15.0	13.7	12.0	13.6	
"	" → 700°(")	27.4	33.2	30.7	23.2	—	21.6	20.0	16.8	11.2	12.9	
18	" → 730°(")	30.7	31.0	28.5	24.6	20.6	17.3	13.9	13.5	—	—	
19	" → 750°(25mins.)	65.7	55.6	42.8	34.6	—	19.8	18.4	14.2	11.7	12.5	
"	" → 850°(")	63.4	52.6	44.7	36.0	—	17.8	14.5	14.8	13.1	14.1	
18	1,000°(20mins.) → 900°(")	*65.8	59.7	46.6	—	43.4	36.8	36.0	30.0	—	—	
19	R.T. → 1,050°(")	*65.3	66.5	66.0	65.4	—	64.9	60.4	58.7	32.9	30.7	
25	1,000°(20mins.) → R.T.	25.7	36.0	33.5	32.5	29.8	—	25.6	27.6	—	—	
	R.T. → 800°(30mins.)	66.0	52.9	49.9	46.9	45.6	—	43.4	46.9	—	—	
	" → 900°(25 ")	*66.2	57.1	51.5	49.8	50.8	—	52.3	57.3	—	—	
	" → 1,050°(20 ")	*66.4	65.6	66.6	66.7	66.1	—	61.7	63.2	—	—	

27	1,000°(20mins.)→ 200°(30mins.)	19.4	20.8	—	19.7	20.4	19.4	17.7	—	16.5	15.0	17
	R.T. → 850°(")	65.6	47.5	—	45.1	41.2	33.2	40.4	—	26.1	19.5	
	" → 950°(20mins.)	64.0	62.8	—	48.5	49.2	49.0	48.4	—	42.5	34.8	

* Was quenched in Ice water.

Table 17. Composition of specimen.

Mark	a	b	c	d	e	f	g	h
Fe %	100	99.70	99.26	99.01	98.49	93.30	98.00	97.49
Mo %	0	0.30	0.74	0.99	1.51	1.70	2.00	2.51

Table 18. Conditions of Carburization process.

Carburization No.	Carburizer	Initial temp. (°C)	Carburization temp. (°C)	Final Temp. (°C)	Time interval for heating to Carburization temp. (min.)	Time interval at Carburization temp. (min.)	Time interval for cooling to final temp. (min.)
28	60% wood charcoal +40% BaCO ₃	390	1,000	650	45	180	24
29	"	450	1,000	600	51	180	28
30	"	450	950	650	34	180	24
31	100% wood charcoal	305	960	650	40	60	24

Table 19. Initial weight and increased amount of weight.

Carburization No.	Initial weight and increased amount of weight.								Fig. No.
	a	b	c	d	e	f	g	h	
28	8.9283	8.9658	9.0025	8.9840	9.0030	8.9520	8.9837	8.9854	18
	0.0516	0.0534	0.0552	0.0558	0.0553	0.0567	0.0573	0.0570	
29	8.8016	8.9447	8.9337	8.9457	8.9446	8.9526	8.9641	8.9156	
	0.0497	0.0521	0.0538	0.0542	0.0532	0.0554	0.0548	0.0565	
30	8.9585	8.9694	8.9601	8.9650	8.9901	8.9530	8.9988	8.9981	
	0.0333	0.0348	0.0363	0.0355	0.0366	0.0370	0.0372	0.0389	
31	8.9467	8.9879	8.9617	8.9831	8.9178	8.8573	9.0150	9.0170	
	0.0103	0.0096	0.0096	0.0097	0.0101	0.0101	0.0105	0.0107	

Table 20. Hardness.

Carburization No.	Heat treatment	Hardness.								Fig. No.
		a	b	c	d	e	f	g	h	
28	980°(15mins.)→ 480°(30mins.)	25.2	28.8	34.3	35.5	39.5	40.5	41.6	44.1	19
	850°(20mins.)→ 715°(15mins.)	38.5	53.0	58.2	58.5	59.8	59.1	59.3	59.0	
	" (")→ 720°(")	45.7	59.2	60.9	60.0	61.3	60.8	61.5	60.4	
	" (")→ 730°(20mins.)	53.0	64.8	65.7	66.9	66.4	66.6	66.9	66.5	
	950°(30mins.)→ 735°(")	65.6	65.6	65.6	65.3	65.9	65.2	67.0	66.8	
	" (")→ 820°(30mins.)	63.9	65.2	65.4	66.2	66.9	66.9	67.6	67.9	
	Ditte; at 1 mm inner part.	41.2	51.3	59.0	58.7	—	61.9	64.0	64.1	
28	980°(15mins.)→ 480°(30mins.)	25.2	28.8	34.3	35.5	39.5	40.5	41.6	44.1	20
	R.T. → 725°(")	25.2	28.7	32.6	33.8	36.5	38.6	39.0	39.5	
	" → 735°(")	65.6	65.8	66.8	67.2	66.2	66.3	66.0	66.8	

30	{	940°(30mins.)→ 350°(30mins.)	21.9	29.4	33.1	34.4	36.8	37.8	38.5	39.1	} 20
		R.T. → 720°(")	26.2	28.5	30.6	33.4	34.8	32.7	33.6	33.9	
		R.T. → 735°(")	62.8	65.7	64.2	62.5	66.0	65.0	64.0	64.8	
31		R.T. → 850°(40mins.)	43.8	50.5	54.1	54.0	55.1	55.7	59.2	55.7	21

Table 21. Composition of specimens.

Mark	a	b	c	d	e	f	g	h	i
Fe %	100	99.5	98.8	98.0	97.0	95.5	92.8	90.0	87.0
Ni %	0	0.5	1.2	2.0	3.0	4.5	7.2	10.0	13.0

Table 22. Conditions of Carburization process.

Carburization No.	Carburizer.	Initial temp.	Carburization temp.	Final temp.	Time interval for heating to Carburizing temp.	Time interval at Carburizing temp.	Time interval for Cooling to final temp.
		(°C)	(°C)	(°C)	(min.)	(min.)	(min.)
32	60% wood charcoal +40% BaCO ₃	416	980	650	46	180	24
33	"	185	930	650	52	180	18
34	"	395	930	650	43	180	18
35	"	R.T.	980	980	65	180	0
36	100% wood charcoal	416	1,000	1,000	38	60	0

Table 23. Initial weight and increased amount of weight.

Carburization No.	Initial weight and increased amount of weight.									Fig.No.
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	
32	8.6796	8.4509	8.5292	8.5229	8.5261	8.5113	8.5000	8.5889	8.5425	} 22
	0.0398	0.0391	0.0398	0.0394	0.0369	0.0359	0.0315	0.0305	0.0267	
33	8.6521	8.5657	8.5049	8.5171	8.4961	8.4675	8.5624	8.5549	8.5237	} 22
	0.0247	0.0248	0.0246	0.0239	0.0236	0.0228	0.0194	0.0189	0.0168	

Table 24.

Carburization No.	Heat treatment.	Hardness.										Fig. No.
		a	b	c	d	e	f	g	h	i		
32	950°(20mins.)→ R.T.	24.1	28.3	30.2	32.8	33.8	36.3	39.5	43.2	31.9	} 23	
	" (15 ")→ 600°(30mins.)	26.1	28.6	30.9	31.2	31.8	30.0	57.7	53.2	45.1		
	" (15 ")→ 650°(")	28.2	29.8	30.0	29.2	49.0	61.1	56.6	52.5	42.7		
	" (20 ")→ 690°(")	24.5	25.8	64.4	64.2	63.8	60.2	54.1	48.7	37.9		
	" (20 ")→ 730°(")	64.8	66.7	66.2	63.9	63.8	61.1	5.44	45.5	32.7		
32	950°(20mins.)→ R.T.	24.1	28.3	30.2	32.8	33.8	36.3	39.4	43.2	31.9	} 24	
	R.T. → 595°(30mins.)	25.5	30.2	32.8	33.2	34.6	34.9	35.3	45.1	37.4		
	" → 645°(")	25.4	29.8	31.7	31.4	32.5	32.8	34.8	43.8	42.9		
	" → 685°(")	25.2	28.1	29.7	29.9	30.2	34.8	60.8	56.8	46.5		
	" → 725°(")	24.2	43.0	63.8	64.8	63.2	61.7	59.6	51.3	42.4		
	" → 755°(")	64.9	65.8	66.0	64.6	62.5	60.4	56.2	50.9	44.1		
	" → 850°(")	63.5	64.6	64.0	63.7	63.6	60.3	56.9	50.7	44.0		
	Ditto, at 0.5 mm inner part.	67.4	66.9	68.9	65.4	65.9	65.8	—	61.4	53.6		
	Ditto, at 1.0 mm inner part.	35.3	42.8	50.5	55.4	54.1	50.4	45.9	43.3	41.6		

33	Without reheating.		23.5	24.3	26.5	28.0	30.1	32.7	40.7	53.4	47.5	25	
		R.T.	→ 370°(30mins)	23.2	25.1	26.6	27.6	31.0	32.7	37.3	42.5	44.7	—
		"	→ 570°(")	26.2	27.4	28.5	29.7	31.8	33.0	34.3	36.9	42.9	25
		"	→ 760°(")	62.6	65.3	65.6	65.2	64.1	61.9	58.9	54.9	46.6	25
		"	→ 800°(")	62.6	—	65.0	64.1	64.9	63.9	60.0	56.1	48.3	—
34	Without reheating		22.4	23.4	26.7	27.7	28.6	30.8	33.4	53.7	47.4	—	
		R.T.	→ 655°(30mins.)	22.6	24.3	27.7	28.4	28.8	35.5	61.7	58.7	52.8	25
		"	→ 720°(")	23.8	31.9	63.1	64.7	63.9	64.1	61.7	57.1	49.1	25
		"	→ 810°(")	65.0	65.0	65.6	64.0	63.9	63.9	60.8	56.3	51.4	25
35	980°(20mins.)→ 100°(0 mins.)		23.6	26.9	28.3	26.5	28.8	32.1	33.8	46.7	40.7	—	
		R.T.	→ 600°(30 ")	23.8	28.0	29.5	23.0	30.5	32.4	33.1	42.3	49.3	25
		"	→ 690°(")	24.2	26.4	35.7	64.0	65.1	64.1	61.1	56.8	47.9	25
		"	→ 790°(")	66.5	66.4	65.6	65.8	65.0	62.8	58.5	51.4	37.8	25
36	"	→ 850°(")	54.9	54.8	56.9	58.4	60.3	62.2	61.9	59.7	57.4	26	

Table 25. Composition of specimens.

Mark	a	b	c	d	e	f	g	h	i
Fe %	100	99.70	99.25	98.75	98.00	97.00	95.75	94.50	93.00
Si %	0	0.30	0.75	1.25	2.00	3.00	4.25	5.50	7.00

Table 26. Conditions of Carburization process.

Carburization No.	Carburizer.	Initial temp. (°C)	Carburization temp. (°C)	Final temp. (°C)	Time interval for heating to Carburization temp. (mins.)	Time interval at Carburization temp. (mins.)	Time interval for Cooling to final temp. (mins.)
37	60% wood charcoal +40% BaCO ₃	510	1,030	700	48	180	43
38	"	459	950	700	40	180	35
39	"	360	900	700	43	180	27
40	"	489	830	700	44	180	18

Table 27. Initial weight and increased weight.

Carburization No.	Hardness									Fig. No.
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	
37	8.4492	8.4520	8.4320	8.2786	8.2976	8.2085	8.0106	7.9565	7.8042	27
	0.0569	0.0578	0.0549	0.0520	0.0495	0.0431	0.0396	0.0103	0.0065	
38	8.4624	8.4774	8.4238	8.3018	8.2706	8.2066	8.0457	7.9478	7.7444	
	0.0315	0.0317	0.0312	0.0305	0.0274	0.0254	0.0197	0.0031	0.0015	
39	8.4563	8.5137	8.4421	8.3505	8.3107	8.1854	8.0557	8.0093	7.8382	
	0.0215	0.0203	0.0215	0.0193	0.0180	0.0161	0.0116	0.0016	0	
40	8.4947	8.5052	8.3226	8.3312	8.2864	8.2145	8.0307	8.0011	7.8273	
	0.0106	0.0114	0.0099	0.0100	0.0098	0.0083	0.0040	0.0009	0.0014	

Table 28. Hardness.

Carburization No.	Heat treatment	Hardness.									Fig. No.
		a	b	c	d	e	f	g	h	i	
37	Without reheating (surface.)	29.7	32.5	35.7	37.5	38.3	38.8	39.3	30.3	33.6	28
	Ditto (Core.)	13.4	13.3	13.0	15.4	20.1	22.0	27.2	29.8	33.3	
	R.T. → 710°(30mins.)	26.4	26.9	28.7	31.1	31.5	32.7	33.8	33.3	34.3	
	" → 730°(")	63.4	44.8	27.0	29.2	29.8	31.4	32.5	32.8	35.4	
	" → 750°(")	65.0	65.7	66.0	65.6	32.4	31.4	31.0	31.0	34.8	
	" → 775°(")	66.3	65.0	65.3	65.2	62.2	36.7	25.2	28.7	33.2	
38	950°(15mins.) → 850°(10mins.)	64.5	64.6	65.7	65.0	65.0	64.1	61.0	32.2	35.2	29
	" (") → 900°(")	64.5	65.5	65.7	64.8	64.5	64.6	61.9	33.3	33.5	
	Without reheating (surface.)	30.2	33.2	33.0	35.5	35.0	34.4	34.6	31.2	36.3	
	Ditto (Core.)	14.2	13.8	13.3	16.7	19.1	24.2	26.2	31.2	37.0	
39	900°(15mins.) → 740°(30mins.)	65.4	64.9	65.8	65.5	65.5	59.9	46.4	31.4	34.6	39
	" (") → 780°(15 ")	63.8	62.8	63.2	64.2	35.1	31.7	28.9	29.8	34.3	
	Without reheating (surface.)	25.0	25.8	26.1	27.6	28.4	29.4	30.3	30.9	36.7	
	Ditto (Core.)	12.0	12.2	12.7	15.2	21.0	23.1	27.0	30.3	31.3	
	R.T. → 730°(30mins.)	48.7	24.6	23.1	25.4	26.6	28.8	29.4	30.2	33.8	
" → 750°(")	63.3	61.2	49.6	27.5	26.7	29.1	29.8	30.5	34.1		
" → 770°(")	64.4	65.2	62.2	58.8	44.2	28.0	29.1	30.2	32.3		
" → 800°(25mins.)	65.5	65.7	63.0	60.8	50.4	39.9	26.8	29.8	33.0		

Table 29. Composition of specimens.

Mark	a	b	c	d	e	f	g	h	i
Fe %	100	99.8	99.6	99.4	99.2	99.0	98.8	98.6	98.4
C %	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6

Table 30. Conditions of Carburization process.

Carburization No.	Carburizer.	Initial temp.	Carburization temp.	Final temp.	Time interval for heating to Carburization temp.	Time interval at Carburization temp.	Time interval for heating to Final temp.
		(°C)	(°C)	(°C)	(min.)	(min.)	(min.)
41	60% wood charcoal +40% BaCO ₃	565	950	950	35	60	0
42	"	"	"	"	"	"	"
	"	591	"	"	34	"	"
43	"	565	"	"	35	"	"
	"	591	"	"	34	"	"
	"	566	"	"	37	"	"
44	"	565	"	"	35	"	"
	"	591	"	"	34	"	"
	"	566	"	"	37	"	"
	"	545	"	660	39	120	50

45	100% wood charcoal	605	"	950	32	60	0
46	"	605	"	"	32	"	"
	"	583	"	"	33	"	"
47	"	605	"	"	32	"	"
	"	583	"	"	33	"	"
	"	556	"	"	37	"	"
48	"	605	"	"	32	"	"
	"	583	"	"	33	"	"
	"	556	"	"	37	"	"
	"	560	"	800	34	120	18

Table 31. Initial weight and increased amount of weight.

Carburization No.	Initial weight and increased amount of weight.									Fig. No.	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i		
41	11.5167	11.3924	11.3321	11.3135	11.3038	11.3208	11.2617	11.3375	11.3393	31	
	0.0219	0.0209	0.0171	0.0154	0.0111	0.0084	0.0037	0.0028	0.0033		
42	11.5167	11.3924	11.3321	11.3135	11.3038	11.3208	11.2617	11.3375	11.3393		
	0.0330	0.0315	0.0267	0.0222	0.0176	0.0142	0.0063	0.0053	0.0050		
43	11.5167	11.3924	11.3321	11.3135	11.3038	11.3208	11.2617	11.3375	11.3393		
	0.0401	0.0381	0.0320	0.0275	0.0219	0.0163	0.0073	0.0051	0.0047		
44	11.5167	11.3924	11.3321	11.3135	11.3038	11.3208	11.2617	11.3375	11.3393		
	0.0497	0.0471	0.0390	0.0344	0.0269	0.0196	0.0081	0.0059	0.0057		
45	11.3564	11.3606	11.3223	11.3503	11.3148	11.3562	11.3244	11.2767	11.3495		32
	0.0082	0.0081	0.0059	0.0053	0.0016	0.0015	-0.0022	-0.0018	-0.0043		
46	11.3564	11.3606	11.3223	11.3503	11.3148	11.3562	11.3244	11.2767	11.3495		
	0.0132	0.0114	0.0094	0.0083	0.0040	0.0005	-0.0030	-0.0036	-0.0067		
47	11.3564	11.3606	11.3223	11.3503	11.3148	11.3562	11.3244	11.2767	11.3495		
	0.0183	0.0152	0.0133	0.0100	0.0046	0.0005	-0.0041	-0.0070	-0.0089		
48	11.3564	11.3606	11.3223	11.3503	11.3148	11.3562	11.3244	11.2767	11.3495		
	0.0239	0.0206	0.0169	0.0137	0.0046	0.0006	-0.0062	-0.0084	-0.0106		

Table 32. Composition of specimen.

Mark	Cr%	Ni%	Fe%	Mark	Cr%	Ni%	Fe%
A1	0	0	balance	C1	0	3.00	balance
A2	0.33	"	"	C2	0.33	"	"
A3	0.72	"	"	C3	0.72	"	"
A4	1.50	"	"	C4	1.50	"	"
A5	2.50	"	"	C5	2.50	"	"
B1	0	1.50	"	D1	0	5.00	"
B2	0.33	"	"	D2	0.33	"	"
B3	0.72	"	"	D3	0.72	"	"
B4	1.50	"	"	D4	1.50	"	"
B5	2.50	"	"	D5	2.50	"	"

Table 33. Conditions of Carburization process.

Carburization No.	Carburizer.	Initial temp. (°C)	Carburization temp. (°C)	Final temp. (°C)	Time interval for heating to Carburization temp. (min.)	Time interval at Carburization temp. (min.)	Time interval for heating to final temp. (min.)
49	60% wood charcoal + 40% BaCO ₃	500	1,000	800	63	180	31
50	"	528	1,000	800	50	180	31
51	100% wood charcoal	433	1,000	800	58	60	32

Table 34. Initial weight and increased amount of weight.

Carburization No.	Initial weight and increased amount of weight.										Fig. No.
	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	
49	8.3948	8.3913	8.4762	8.3647	8.4388	8.3704	8.4108	8.3628	8.3569	8.3833	33a-b
	0.0429	0.0446	0.0458	0.0506	0.0537	0.0408	0.0433	0.0445	0.0486	0.0525	
51	8.4175	8.4920	8.3439	8.4665	8.3861	8.4535	8.4062	8.3855	8.2930	8.3198	34a-b
	0.0125	0.0124	0.0125	0.0123	0.0125	0.0115	0.0118	0.0120	0.0120	0.0121	

Carburization No.	Initial weight and increased amount of weight.										Fig. No.
	C1	C2	C3	C4	C5	D1	D2	D3	D4	D5	
49	8.3215	8.3634	8.4067	8.4079	8.3357	8.4307	8.4975	8.3967	8.4647	8.3683	33a-b
	0.0395	0.0416	0.0426	0.0470	0.0510	0.0371	0.0383	0.0402	0.0426	0.0479	
51	8.3863	8.2902	8.3783	8.4258	8.3956	8.3224	8.4391	8.3629	8.4545	8.2953	34a-b
	0.0110	0.0112	0.0114	0.0118	0.0119	0.0099	0.0102	0.0105	0.0112	0.0116	

Table 35. Hardness.

Carburization No.	Heat treatment.	Hardness.										Fig. No.
		A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	
49	1,000°(20mins.) → R.T.	24.7	28.1	33.2	36.0	37.0	31.2	34.7	39.0	40.8	40.2	35a-b
	R.T. → 550°(30mins.)	25.4	30.3	33.5	37.2	36.8	32.1	36.0	39.3	41.5	40.0	36a-b
	" → 600°(50mins.)	25.5	29.8	33.8	36.9	38.1	32.1	36.8	39.8	41.4	41.1	37a-b
	" → 650°(")	24.5	28.4	32.7	35.5	36.0	29.4	33.7	36.6	38.8	40.0	38a-b
	" → 690°(")	24.2	27.2	31.5	35.4	34.4	28.8	32.0	34.5	35.7	36.2	39a-b
	" → 730°(")	38.3	28.3	31.6	33.8	33.8	63.0	66.0	64.3	55.7	44.2	40a-b
	" → 800°(")	64.0	66.5	67.0	63.2	67.0	63.7	65.3	67.2	67.9	67.3	41a-b
50	Ditto; at 1 mm inner part.	34.8	49.1	52.1	53.5	53.5	48.6	52.6	55.2	56.0	55.5	42a-b
	950°(20mins.) → R.T.	21.5	27.0	31.1	35.0	35.0	30.8	33.3	36.2	38.8	38.6	43a-b
	" (") → 550°(30mins.)	24.6	30.0	33.4	35.0	35.5	32.9	35.4	37.9	39.5	38.6	44a-b
	" (") → 600°(")	25.2	32.0	32.9	35.0	36.4	32.7	37.0	40.0	40.7	38.1	45a-b
	" (") → 650°(")	25.2	31.1	33.3	35.1	34.2	31.6	35.8	38.3	39.0	37.4	46a-b
	" (") → 690°(")	25.7	31.2	33.2	35.1	35.5	65.2	66.2	67.5	67.7	68.0	47a-b
	" (") → 730°(")	65.9	66.5	67.0	67.1	67.5	64.9	65.6	66.2	66.5	67.0	48a-b
51	R.T. → 900°(")	45.0	59.0	61.5	62.8	63.4	51.0	60.0	60.1	61.2	60.9	49a-b

Carburization No.	Heat treatment.		Hardness.										Fig. No.
			C1	C2	C3	C4	C5	D1	D2	D3	D4	D5	
49	1,000°(20mins.)→	R.T.	36.6	39.0	42.2	43.5	43.7	36.4	37.2	43.0	49.5	55.1	35a-b
		R.T. → 550°(30mins.)	36.0	37.2	41.0	42.8	43.8	36.0	37.7	41.0	44.2	48.0	36a-b
		" → 600°(50mins.)	34.0	38.6	41.3	42.0	41.8	34.4	36.8	39.8	41.8	45.7	37a-b
		" → 650°(")	32.2	36.5	38.8	38.4	39.5	32.6	34.7	38.0	38.3	44.1	38a-b
		" → 690°(")	61.8	31.3	35.0	37.0	39.5	59.4	48.9	43.1	44.6	49.2	39a-b
		" → 730°(")	63.4	65.8	65.7	66.1	65.2	63.8	64.5	64.2	64.7	63.9	40a-b
	" → 800°(")	62.6	64.9	65.2	66.6	66.3	62.0	63.0	64.0	64.2	64.5	41a-b	
	Ditto; at 1 mm inner part.		54.8	57.5	58.0	57.5	58.5	52.4	56.2	56.9	54.8	54.1	42a-b
50	950°(20mins.)→	R.T.	36.5	38.0	40.0	41.8	42.3	36.7	38.1	42.8	48.1	55.1	43a-b
	" (")→	550°(30mins.)	36.2	39.4	42.0	43.2	41.8	36.5	52.6	60.5	62.3	62.2	44a-b
	" (")→	600°(")	35.0	38.6	41.9	42.0	40.7	60.0	60.8	61.9	62.7	62.1	45a-b
	" (")→	650°(")	61.9	64.3	64.1	66.1	65.8	62.1	61.6	59.9	61.4	59.9	46a-b
	" (")→	690°(")	62.9	64.0	64.2	64.8	65.9	60.7	60.9	61.0	61.4	61.7	47a-b
	" (")→	730°(")	62.5	64.1	64.5	65.2	65.9	59.5	60.7	61.0	61.2	61.9	48a-b
51	R.T.	→ 900°(")	57.0	59.4	60.0	60.2	60.6	60.0	60.1	60.3	60.6	60.2	49a-b

Table 36. Composition of specimen.

Mark	Cr%	W%	Fe%	Mark	Cr%	W%	Fe%
A1	0	0	balance	C3	2.5	3.0	balance
A2	1.0	"	"	C4	5.0	"	"
A3	2.5	"	"	D1	0	7.5	"
A4	5.0	"	"	D2	1.0	"	"
B1	0	1.0	"	D3	2.5	"	"
B2	1.0	"	"	D4	5.0	"	"
B3	2.5	"	"	E1	0	15.0	"
B4	5.0	"	"	E2	1.0	"	"
C1	0	3.0	"	E3	2.5	"	"
C2	1.0	"	"	E4	5.0	"	"

Table 37. Conditions of Carburization.

Carburization No.	Carburizer.	Initial temp.	Carburization temp.	Final temp.	Time interval for heating to Carburization temp.	Time interval at Carburization temp.	Time interval For Cooling to final temp.
		(°C)	(°C)	(°C)	(min)	(min)	(min)
52	60% wood charcoal +40% BaCO ₃	440	1,000	800	75	180	31
53	"	575	"	"	61	180	30
54	100% wood charcoal	522	"	"	62	60	32

Table 38. Initial weight and increased amount of weight.

Carburization No.	Initial weight and increased amount of weight.										Fig. No.
	A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4	C1	C2	
52	8.3996	8.4602	8.4465	8.4660	8.3068	8.4064	8.4710	8.233	8.5566	8.4129	50a-b
	0.0148	0.0179	0.0532	0.0242	0.0449	0.0498	0.0529	0.0470	0.0465	0.486	

Carburization No.	Initial weight and increased amount of weight.										Fig. No.
	C3	C4	D1	D2	D3	D4	E1	E2	E3	E4	
52	8.5420	8.5300	8.7613	8.7652	8.6859	8.6678	9.3079	8.7806	8.8798	9.2347	50a-b
	0.0526	0.0548	0.0469	0.0504	0.0539	0.0561	0.0480	0.0498	0.0529	0.0553	

Table 39. Hardness.

Carburization No.	Heat treatment.	Hardness.										Fig. No.
		A1	A2	A3	A4	B1	B2	B3	B4	C1	C2	
52	1,000°(20mins)→850°(30mins)	64.4	65.1	66.4	68.6	64.3	65.2	66.6	68.7	64.5	65.4	51a-b
	" (")→800°(")	65.1	65.5	67.4	67.9	65.8	66.6	67.8	68.4	65.9	67.3	52a-b
	" (")→750°(")	64.4	66.9	67.2	66.6	66.1	67.5	68.0	67.3	66.8	68.1	53a-b
	" (")→720°(")	65.0	65.4	54.5	35.8	65.7	67.1	53.1	40.5	54.7	56.0	54a-b
53	1,000°(")→ R.T.	24.9	35.1	37.5	36.2	27.7	36.4	38.9	37.2	31.5	38.3	55a-b
	R.T. →720°(30mins)	24.9	35.2	36.3	35.8	28.1	36.4	37.7	37.0	34.0	40.3	56a-b
	" →750°(")	65.0	61.8	42.1	33.9	67.8	63.8	44.1	37.2	58.6	49.6	57a-b
	" →800°(")	65.3	65.7	66.0	64.4	66.6	67.6	68.4	66.0	67.7	68.2	58a-b
	" →900°(")	64.5	67.0	67.8	68.1	64.3	66.8	67.6	68.5	64.9	66.6	59a-b
54	Ditto ; at 1 mm inner part.	32.0	62.3	57.2	39.6	47.0	65.4	62.6	57.7	47.0	64.8	60a-b
54	R.T. →900°(30mins)	34.6	49.3	55.7	51.6	39.0	52.0	57.0	59.0	45.1	54.9	61a-b

Carburization No.	Heat treatment.	Hardness.										Fig. No.
		C3	C4	D1	D2	D3	D4	E1	E2	E3	E4	
52	1,000°(20mins)→850°(30mins)	67.1	63.8	66.5	66.5	67.9	69.2	67.2	67.1	69.3	70.2	51a-b
	" (")→800°(")	68.0	69.1	66.3	67.3	68.7	69.6	67.5	68.4	70.0	70.2	52a-b
	" (")→750°(")	68.6	68.9	67.6	68.4	69.0	69.5	69.1	69.3	69.0	69.5	53a-b
	" (")→720°(")	42.7	39.8	55.9	55.4	43.0	41.4	48.6	51.4	41.0	42.0	54a-b
53	1,000°(20mins)→ R.T.	40.2	40.2	31.9	38.6	40.8	42.3	33.3	39.4	41.6	44.4	55a-b
	R.T. →720°(30mins)	40.0	39.9	33.5	37.9	39.3	41.4	35.3	39.9	40.1	43.7	56a-b
	" →750°(")	42.8	38.8	56.0	43.6	39.6	39.8	53.7	41.5	39.7	40.6	57a-b
	" →800°(")	69.4	66.7	68.2	69.1	68.9	65.4	67.9	68.8	68.0	61.5	58a-b
	" →900°(")	67.6	68.6	67.0	67.6	68.6	69.4	66.9	67.5	68.7	69.6	59a-b
54	Ditto ; at 1mm inner part.	61.9	56.3	39.3	49.7	52.8	41.7	28.7	33.8	35.0	31.6	60a-b
54	R.T. →900°(30mins)	60.0	62.5	40.2	47.8	54.3	59.7	27.8	43.0	49.9	55.2	61a-b

Table 40. Composition of specimen.

Mark	Cr%	V%	Fe%	Mark	Cr%	V%	Fe%
A1	0	0	balance	C1	0	0.5	balance
A2	1.0	"	"	C2	1.0	"	"
A3	2.5	"	"	C3	2.5	"	"
A4	5.0	"	"	C4	5.0	"	"
A5	8.0	"	"	C5	8.0	"	"
B1	0	0.2	"	D1	0	1.0	"
B2	1.0	"	"	D2	1.0	"	"
B3	2.5	"	"	D3	2.5	"	"
B4	5.0	"	"	D4	5.0	"	"
B5	8.0	"	"	D5	8.0	"	"

Table 41. Conditions of Carburization process.

Carburization No.	Carburizer.	Initial temp. (°C)	Carburization temp. (°C)	Final temp. (°C)	Time interval for heating to Carburization temp. (min)	Time interval at Carburization temp. (min)	Time interval for Cooling to final temp. (min)
55	60% wood charcoal + 40% BaCO ₃	403	1,000	850	71	180	15
56	"	466	950	850	50	180	15
57	"	500	950	850	59	180	15
58	100% wood charcoal	530	1,000	800	58	45	30

Table 42. Initial weight and increased amount of weight.

Carburization No.	Initial weight and increased amount of weight.										Fig. No.
	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	
55	8.4355	8.3900	8.3277	8.3852	8.2321	8.4293	8.4158	8.3482	8.3163	8.3109	62
	0.0460	0.0487	0.0562	0.0552	0.0339	0.0473	0.0527	0.0561	0.0528	0.0366	
56	8.4000	8.3660	8.3271	8.3788	8.2926	8.3822	8.3505	8.3230	8.3367	8.3326	63
	0.0302	0.0350	0.0392	0.0274	0.0202	0.0337	0.0363	0.0406	0.0227	0.0165	
57	8.4258	8.4091	8.2765	8.3604	8.2578	8.4101	8.4030	8.3475	8.3260	8.3123	64
	0.0307	0.0357	0.0393	0.0219	0.0194	0.0321	0.0373	0.0428	0.0191	0.0127	

Carburization No.	Initial weight and increased amount of weight.										Fig. No.
	C1	C2	C3	C4	C5	D1	D2	D3	D4	D5	
55	8.3860	8.3890	8.4054	8.3818	8.2841	8.3701	8.4057	8.3746	8.3468	8.2955	62
	0.0322	0.0452	0.0564	0.0478	0.0413	0.0226	0.0411	0.0502	0.0442	0.0424	
56	8.4029	8.3510	8.3427	8.3222	8.3294	8.4012	8.4027	8.3561	8.3231	8.2874	63
	0.0231	0.0340	0.0400	0.0240	0.0232	0.0158	0.0330	0.0409	0.0278	0.0336	
57	8.3723	8.3742	8.3858	8.3668	8.2855	8.3773	8.3628	8.3426	8.3116	8.2977	64
	0.0224	0.0344	0.0407	0.0230	0.0253	0.0183	0.0284	0.0415	0.0282	0.0321	

Table 43. Hardness.

Carburization No.	Heat treatment.	Hardness.										Fig. No.
		A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	
55	R.T. → 900°(40mins)	66.2	67.9	69.5	69.1	65.5	64.8	68.4	69.5	69.7	66.4	70a-b
	Ditto ; at 1mm inner part.	40.1	49.3	62.8	49.0	46.6	27.3	42.4	57.2	46.0	43.7	71a-b
56	950°(30mins) → R.T.	20.7	32.6	34.8	29.8	20.9	27.4	34.3	34.0	28.5	20.5	65a-b
	R.T. → 760°(25mins)	63.5	66.1	60.9	25.4	22.7	64.8	65.5	51.3	23.3	20.3	67a-b
57	" → 830°(")	64.3	65.4	66.8	64.4	55.9	66.0	66.2	66.5	66.3	50.0	69a-b
	900°(20mins) → 720°(30mins)	52.4	38.3	32.5	24.6	23.0	45.1	38.0	30.2	23.1	19.8	66a-b
58	" (") → 760°(")	63.0	66.5	67.4	52.2	31.5	48.8	66.0	67.1	35.5	21.1	68a-b
	R.T. → 900°(")	48.5	62.9	64.8	60.1	50.7	40.3	55.3	60.9	54.2	48.6	72a-b

Carburization No.	Heat treatment.	Hardness.										Fig. No.
		C1	C2	C3	C4	C5	D1	D2	D3	D4	D5	
55	R.T. → 900°(40mins)	43.7	68.0	69.2	69.1	67.2	41.3	67.8	69.1	68.6	66.0	70a-b
	Ditto ; at 1mm inner part.	30.3	41.5	50.3	44.5	42.0	17.0	37.2	49.0	43.2	37.9	71a-b

56	950°(")→	R.T.	25.4	33.2	33.1	27.4	20.4	15.6	32.0	32.3	25.6	24.1	65a-b
	R.T.	→ 760°(25mins)	55.5	64.0	44.7	26.9	24.0	36.2	64.6	42.8	25.7	25.2	67a-b
	"	→ 830°(")	56.3	65.5	67.9	65.9	48.0	28.5	67.6	68.4	65.0	53.7	69a-b
57	900°(20mins)→	720°(30mins)	40.5	35.0	30.5	24.5	22.7	38.7	33.0	28.6	24.9	24.7	66a-b
	" (")→	760°(")	49.3	65.9	66.9	37.1	25.7	47.6	67.2	67.8	41.4	31.2	68a-b
58	R.T.	→ 900°(")	41.2	58.2	63.6	55.8	47.8	34.5	51.1	57.0	53.1	48.4	72a-b

Table 44. Composition of specimen.

Specimen.	a	b	c	d	e	f	g
Elements: %							
Cr%	3.33	4.50	5.50	2.61	3.33	3.50	0
W%	24.00	16.50	18.00	16.00	7.50	13.50	0
Mn%	0.33	0.28	0.33	0.22	0.45	0	0
Si%	0.40	0.22	0	0.33	0.50	0	0
V%	0.50	0.72	0.50	1.11	0	0	0
Fe%	balance	balance	balance	balance	balance	balance	100

Table 45. Condition of Carburization process.

Carburization No.	Carburizer.	Initial temp. (°C)	Carburization temp. (°C)	Final temp. (°C)	Time interval for heating to Carburization temp. (min)	Time interval at Carburization temp. (min)	Time interval for Cooling to final temp (min)
59	60% wood charcoal + 40% BaCO ₃	405	1,000	800	71	180	22
60	"	540	950	800	45	180	19
61	100% wood charcoal	530	1,000	800	64	60	25

Table 46. Initial weight and increased amount of weight.

Carburization No.	Initial weight and increased amount of weight.							Fig. No.
	a	b	c	d	e	f	g	
59	8.5665	8.2737	7.9914	8.3022	7.7393	8.1780	7.5116	73
	0.0423	0.0441	0.0396	0.0428	0.0419	0.0424	0.0421	
60	8.5306	8.2469	8.0300	8.3179	7.7263	8.2867	7.6131	
	0.0358	0.0364	0.0348	0.0360	0.0312	0.0310	0.0297	
61	8.6675	8.1927	8.0031	8.3568	7.7389	8.1620	7.5925	
	0.0173	0.0179	0.0148	0.0163	0.0144	0.0149	0.0140	

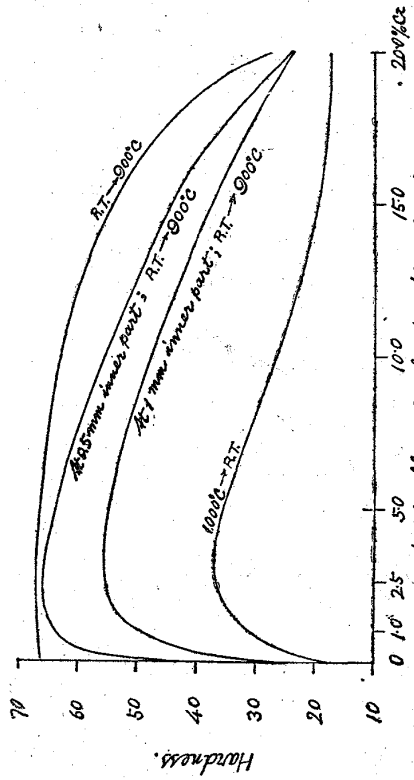


Fig. 4 (Table 4; Carburization No. 8).

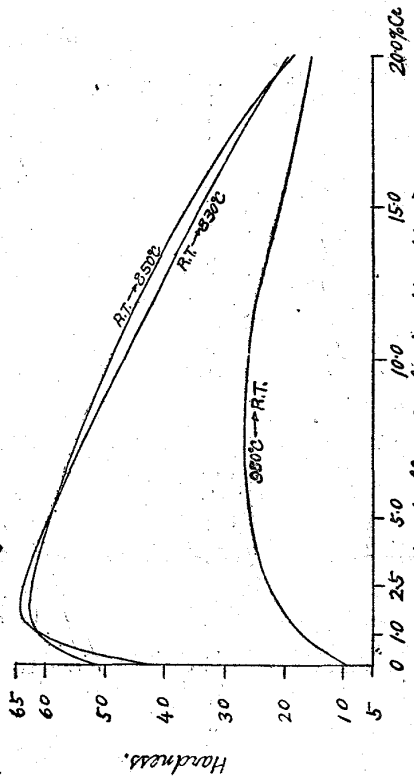


Fig. 5 (Table 4; Carburization No. 5).

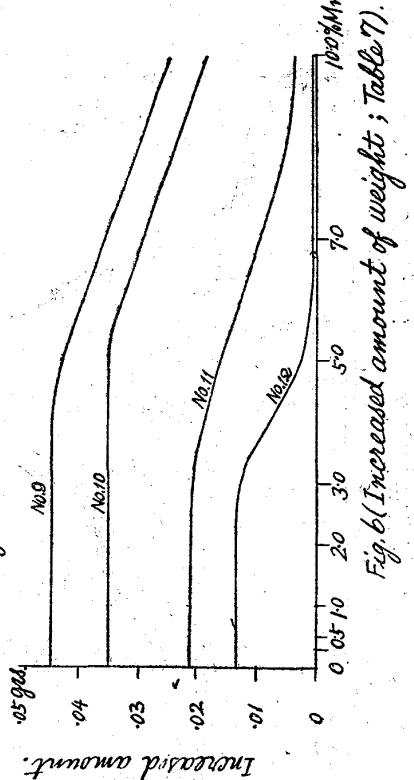


Fig. 6 (Increased amount of weight; Table 7).

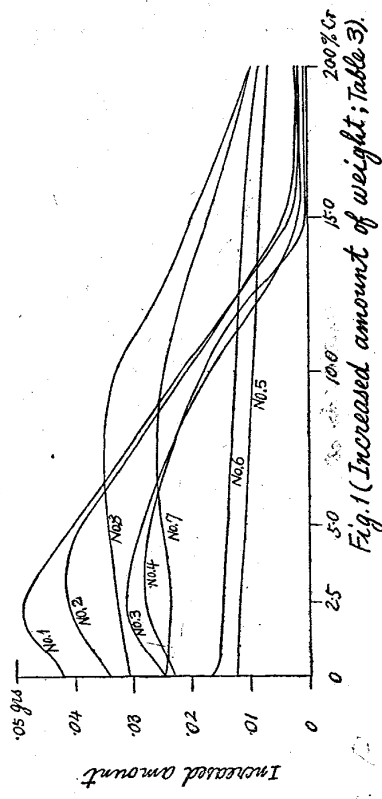


Fig. 1 (Increased amount of weight; Table 3).

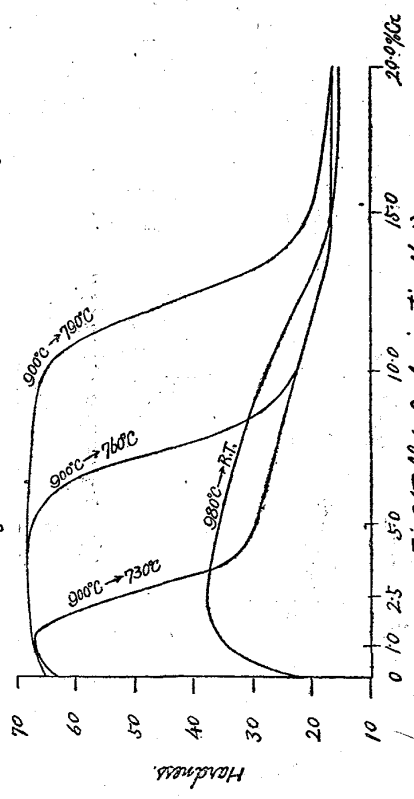


Fig. 2 (Table 4; Carburization No. 1).

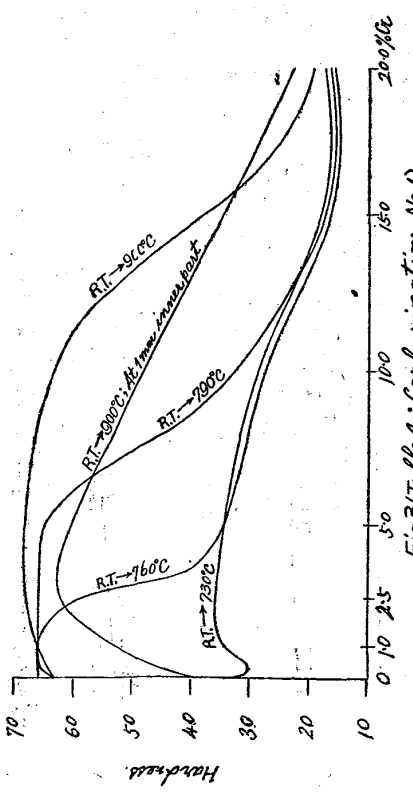


Fig. 3 (Table 4; Carburization No. 1).

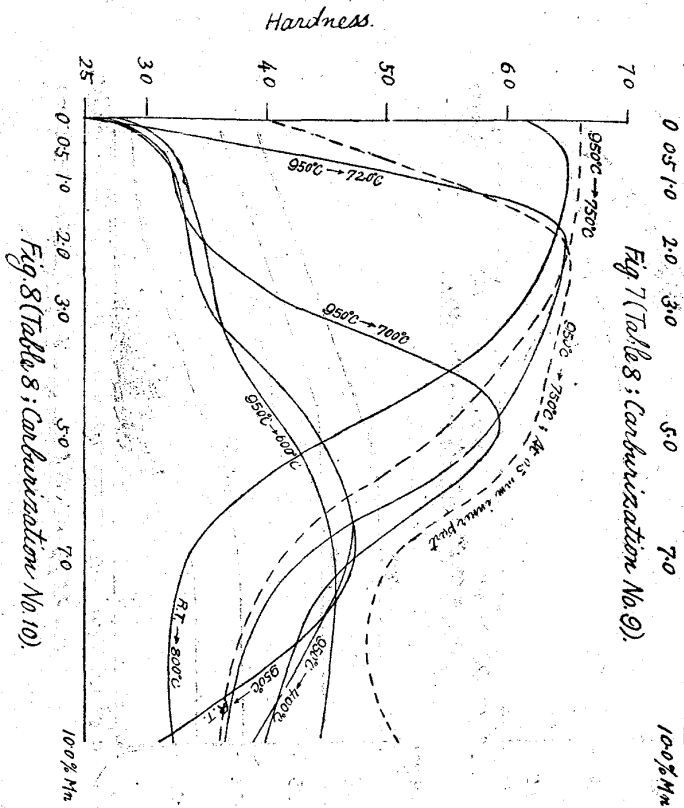


Fig. 7 (Table 8: Carburization No. 9).

Fig. 8 (Table 8: Carburization No. 10).

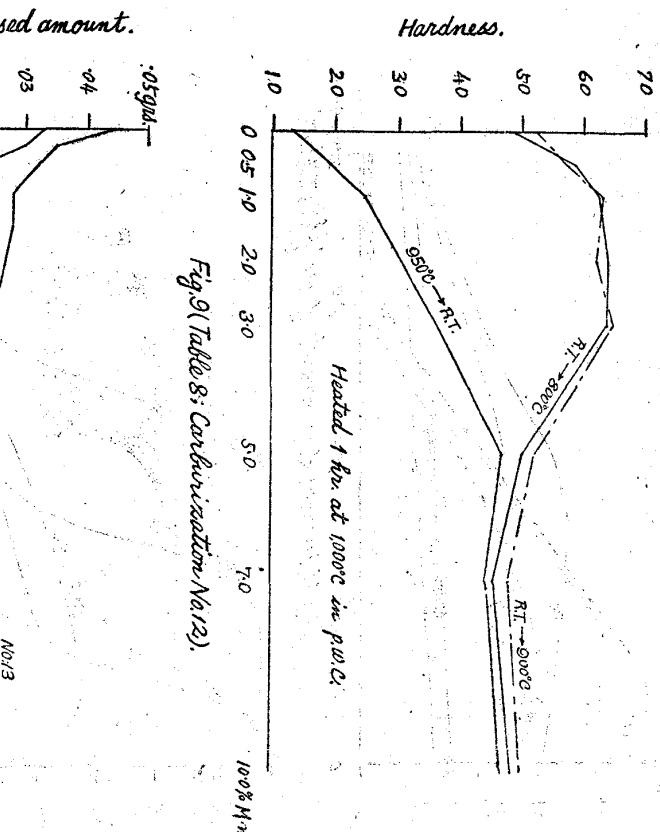
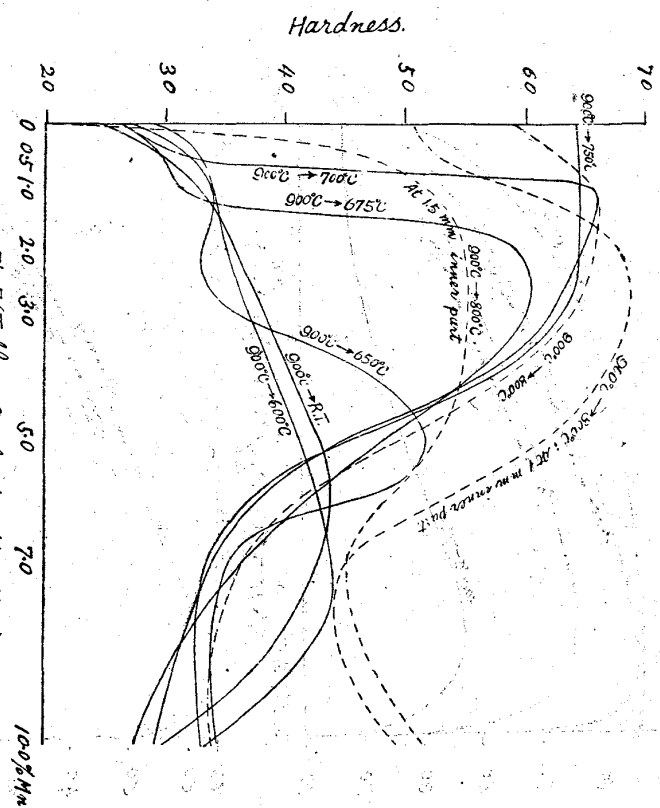


Fig. 9 (Table 8: Carburization No. 12).

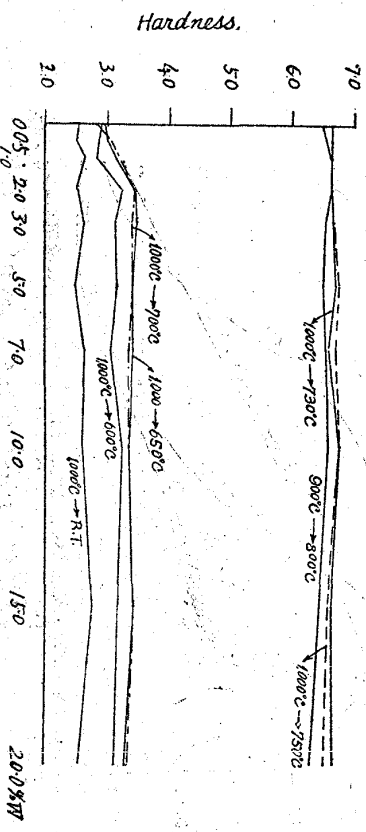


Fig. 10 (Increased Amount of weight: Table 11).

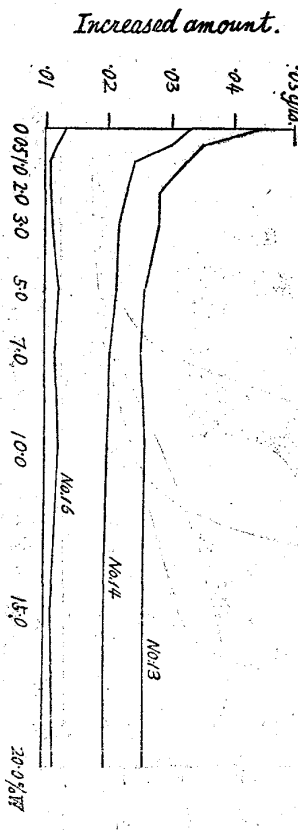


Fig. 11 (Table 12: Carburization Nos. 13, 14, 15).

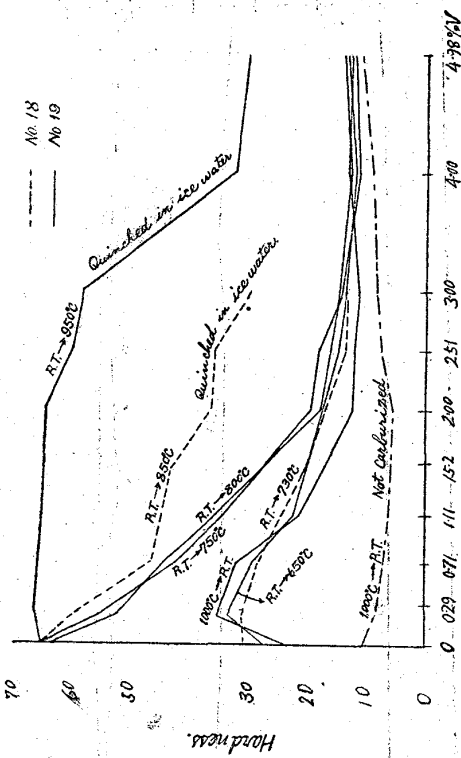


Fig. 15 (Table 16; Carburization Nos. 18 & 19).

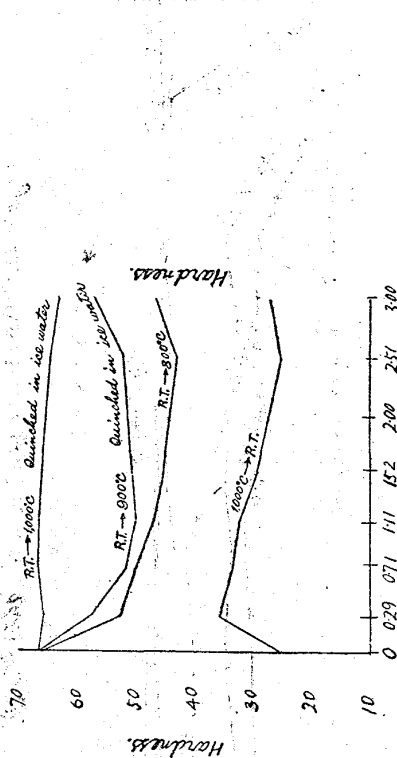


Fig. 16 (Table 16; Carburization No. 25).

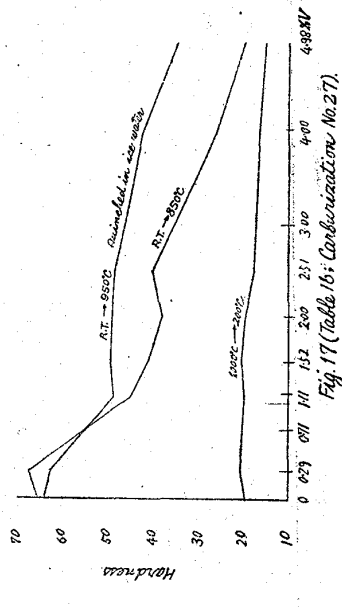


Fig. 17 (Table 16; Carburization No. 27).

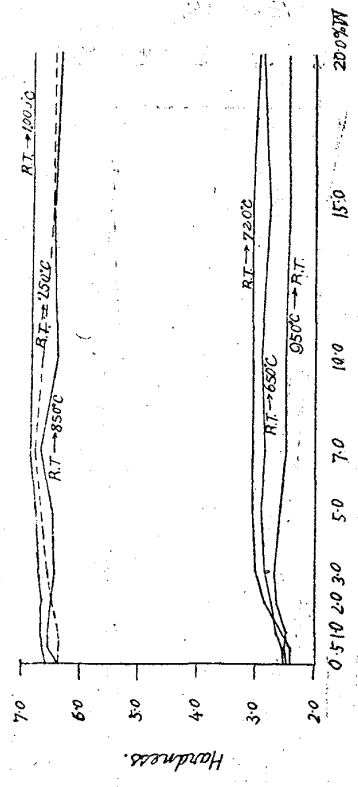


Fig. 12 (Table 12; Carburization Nos. 13 & 14).

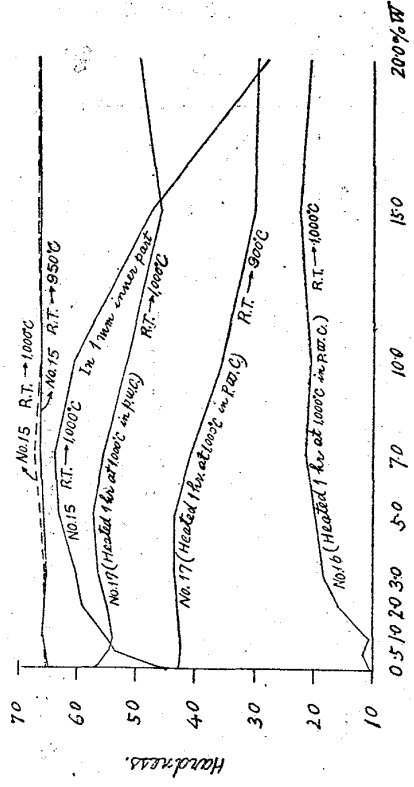


Fig. 13 (Table 12; Carburization Nos. 15 to 17).

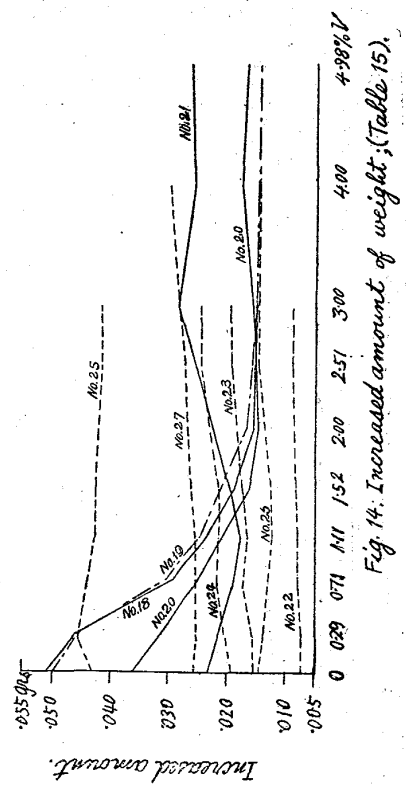


Fig. 14. Increased amount of weight; (Table 15).

Increased amount.

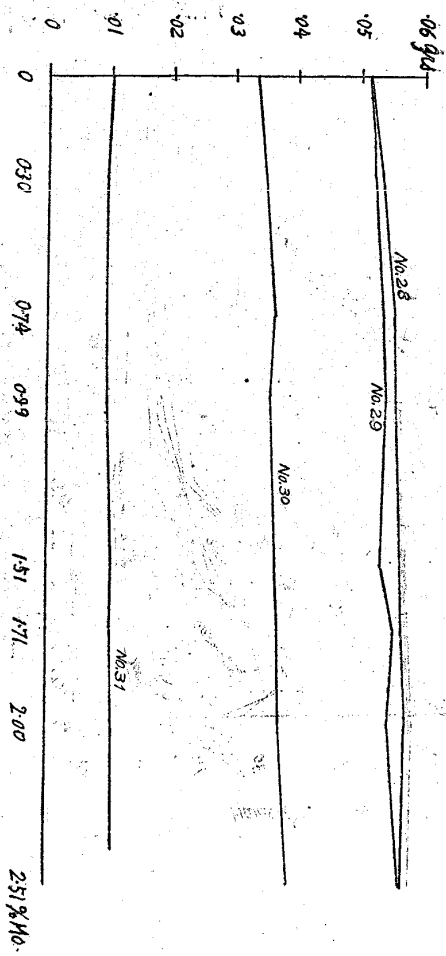


Fig. 18 Increased amount of weight (Table 19).

Hardness.

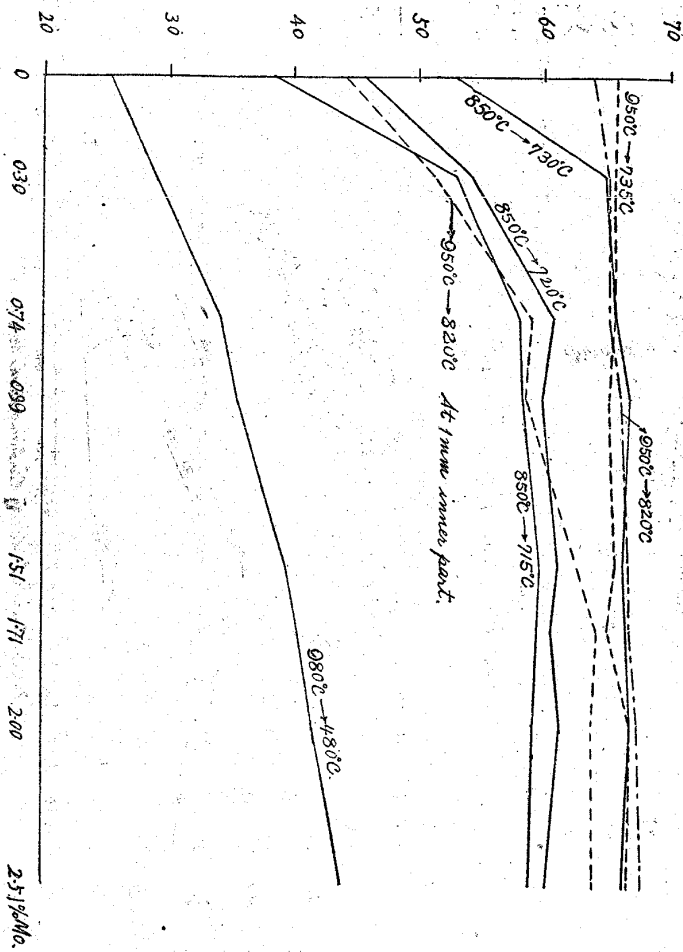


Fig. 19 (Carburization No. 28; Table 20).

Hardness.

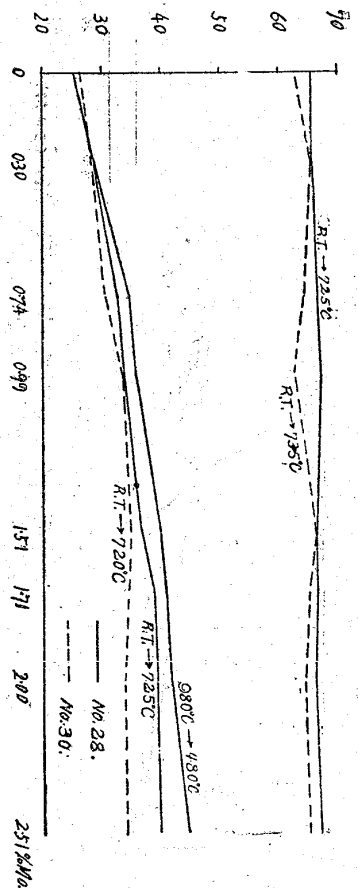


Fig. 20 (Carburization Nos. 28 & 30; Table 20).

Hardness.

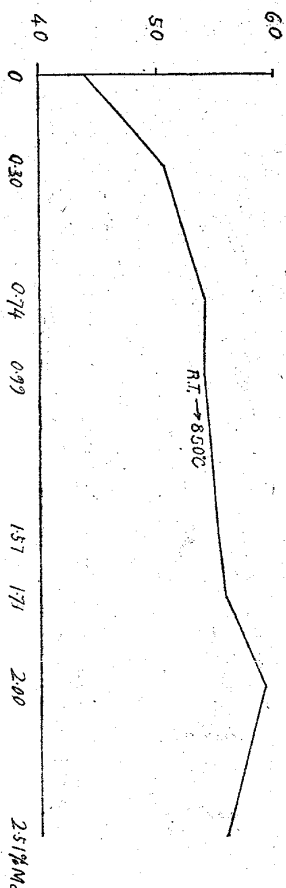


Fig. 21 (Carburization No. 31; Table 20).

Increase of weight.

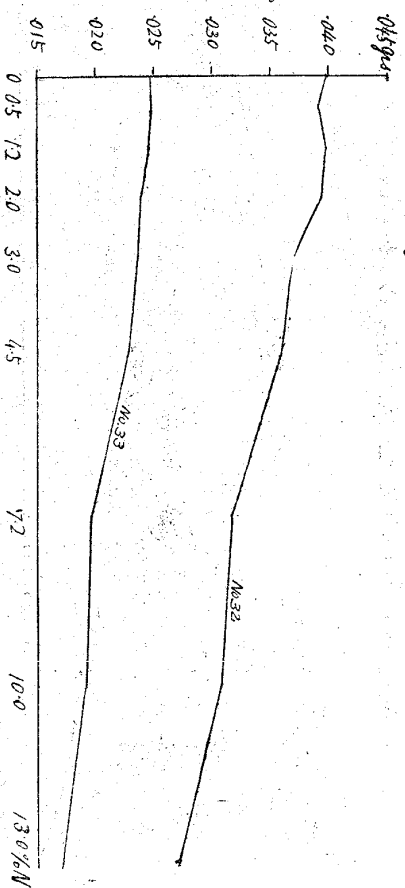
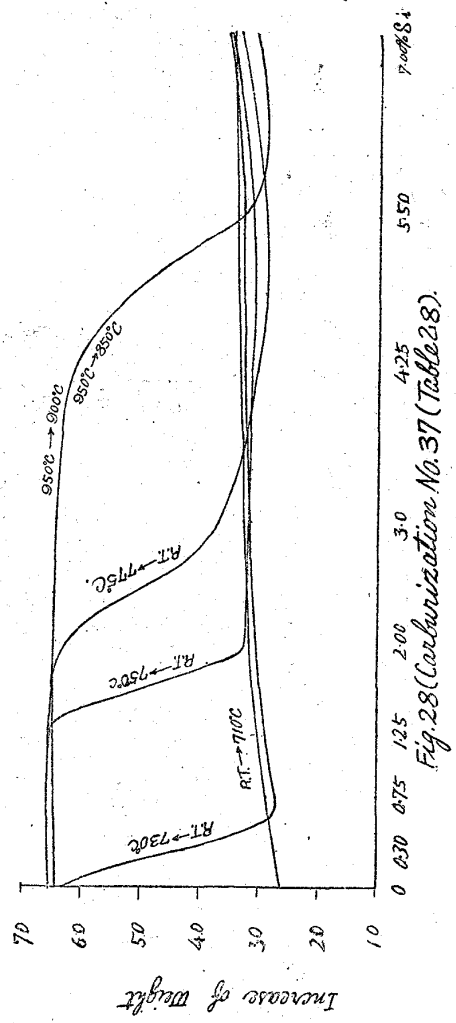
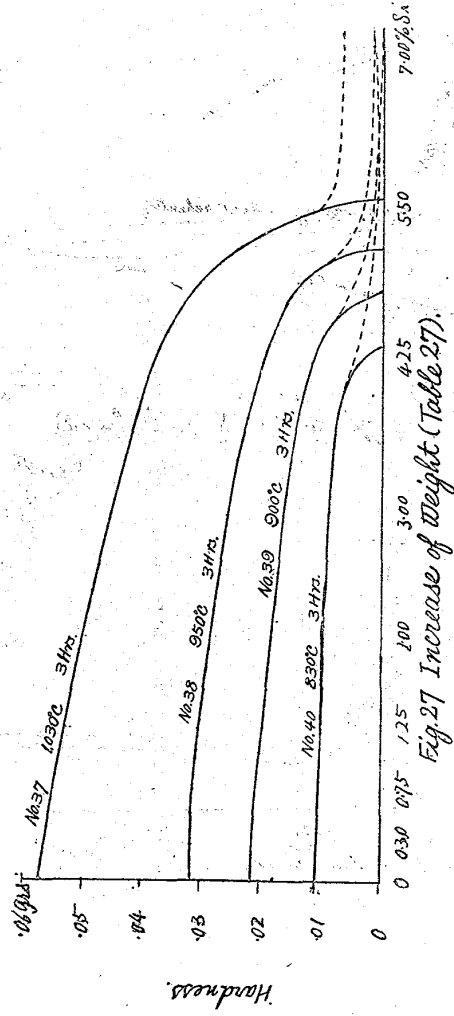
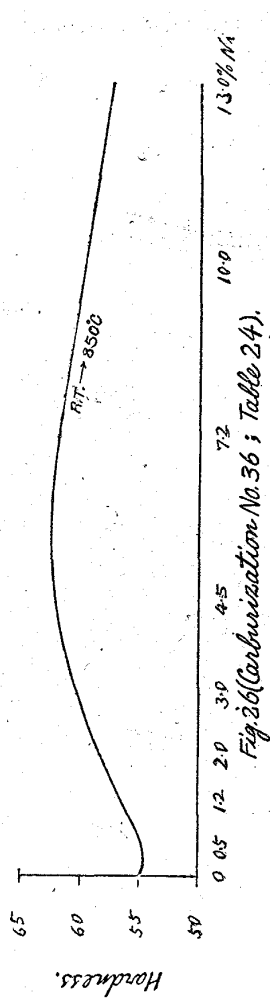
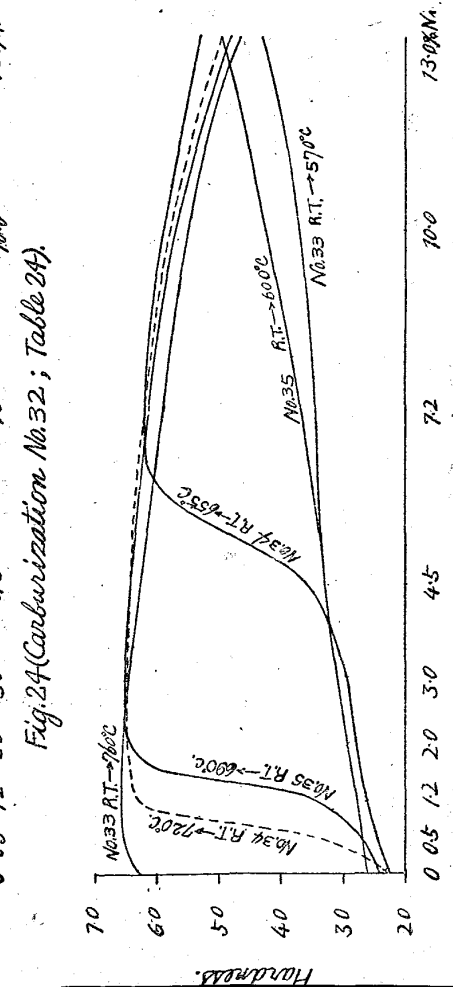
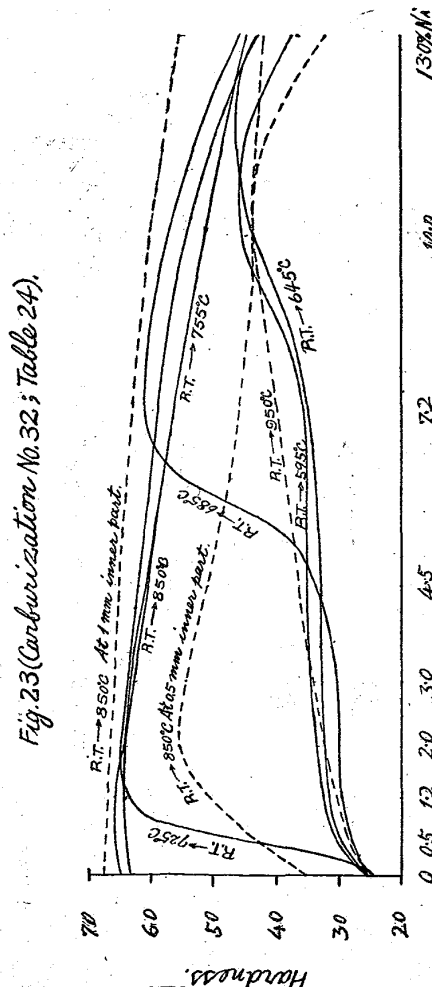
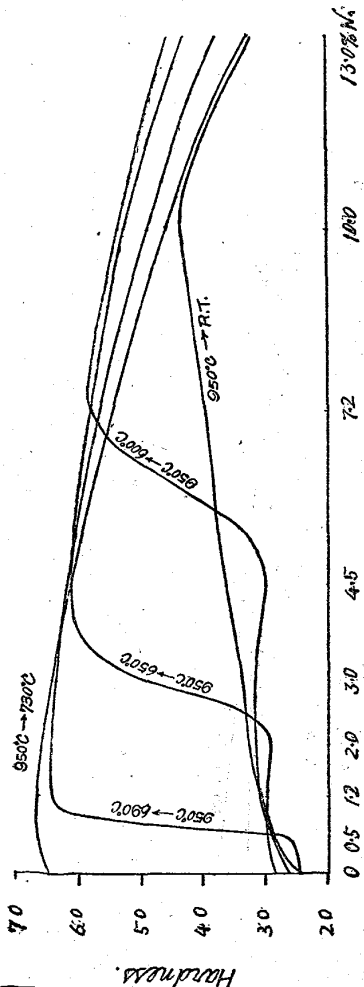
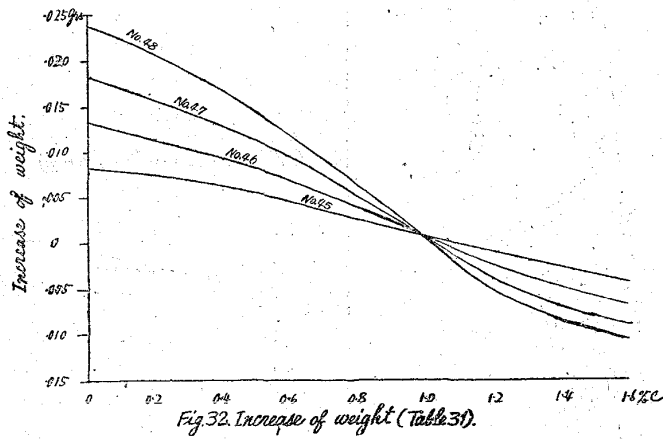
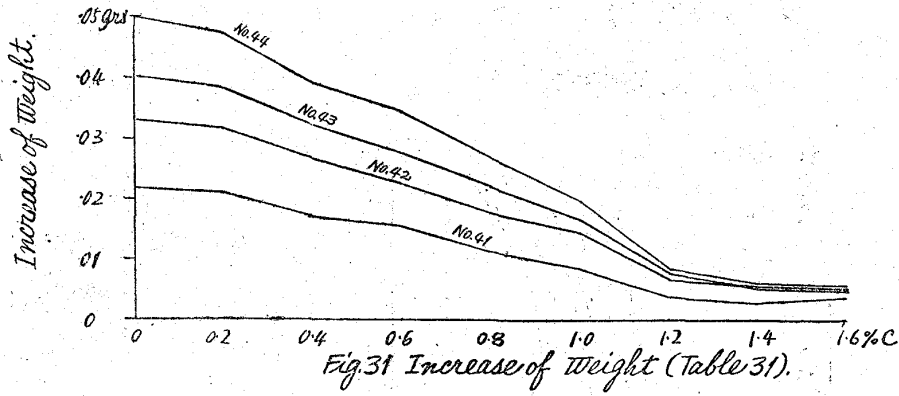
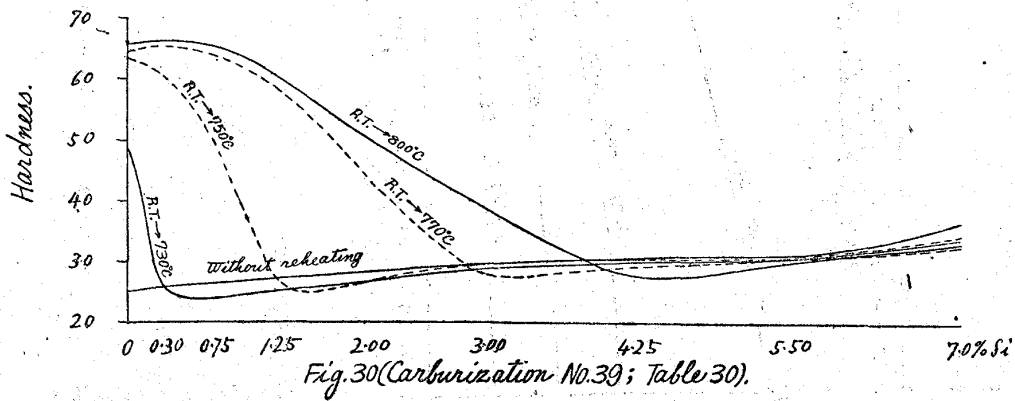
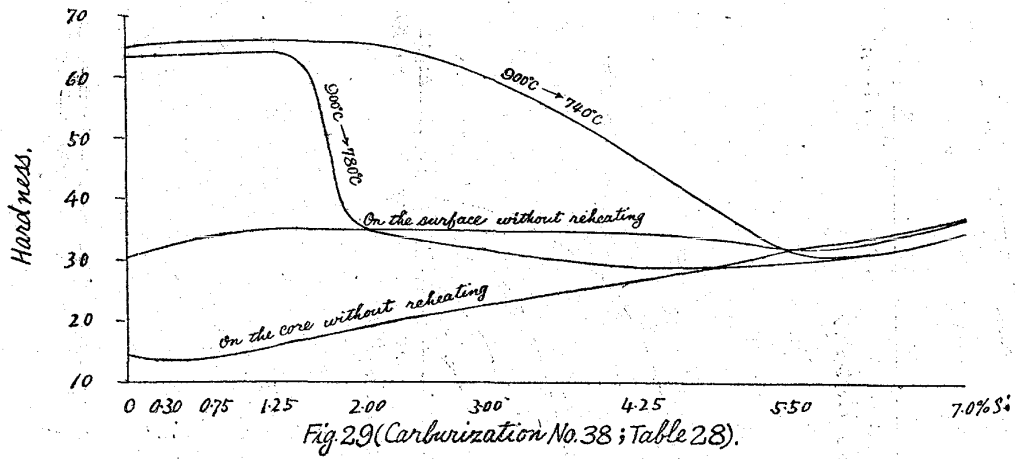


Fig. 22: Increased amount of weight (Table 23).





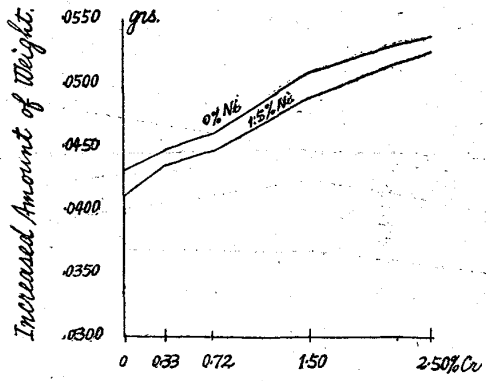


Fig. 33a (Carburization No. 49).

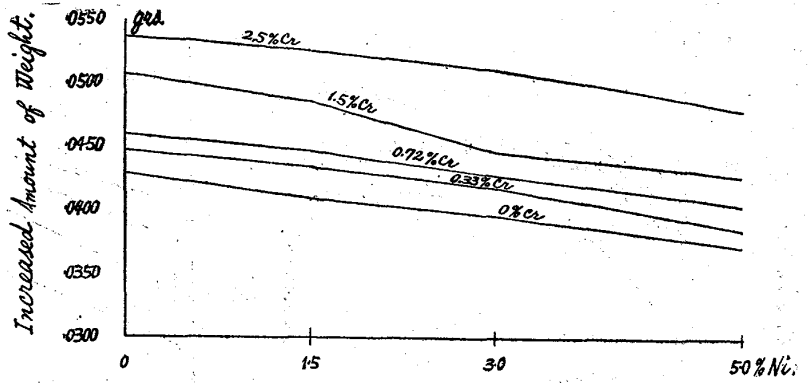


Fig. 33b (Carburization No. 49).

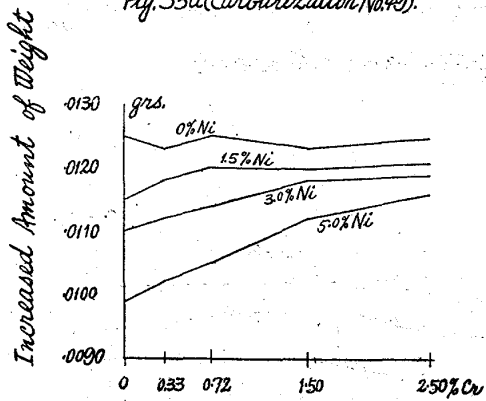


Fig. 34a (Carburization No. 51).

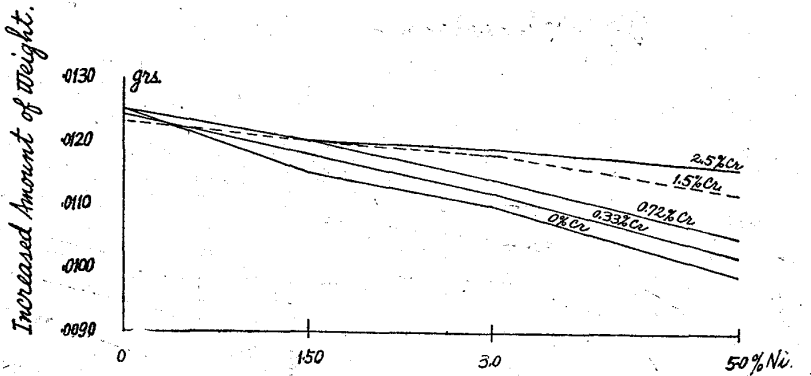


Fig. 34b (Carburization No. 51).

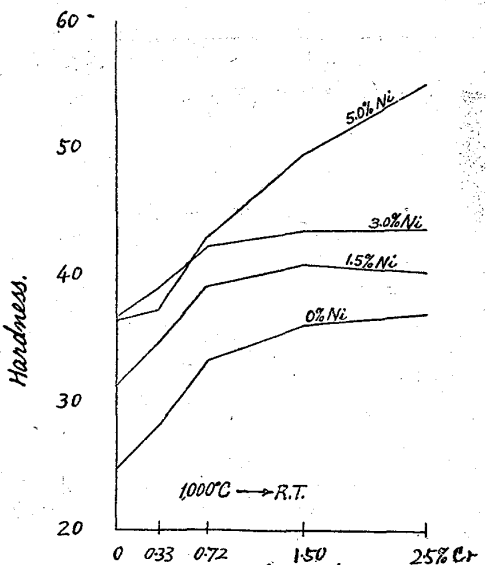


Fig. 35a (Carburization No. 49).

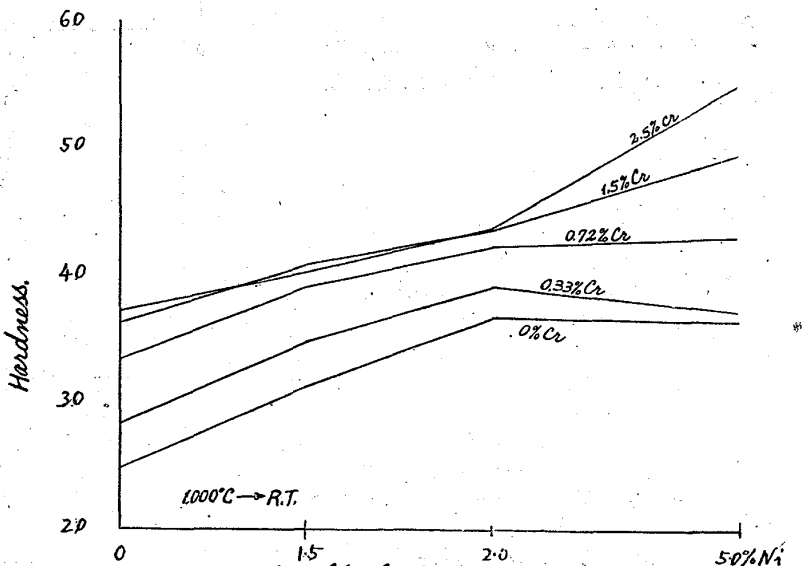


Fig. 35b (Carburization No. 49).

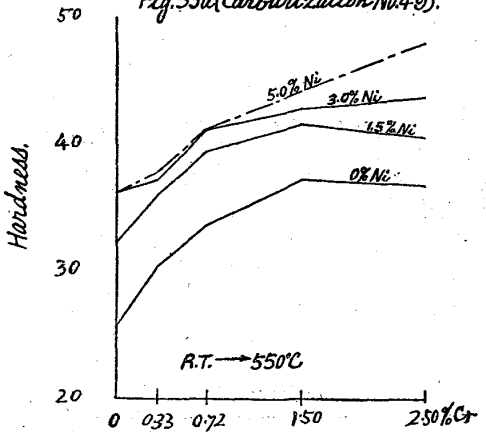


Fig. 36a (Carburization No. 49).

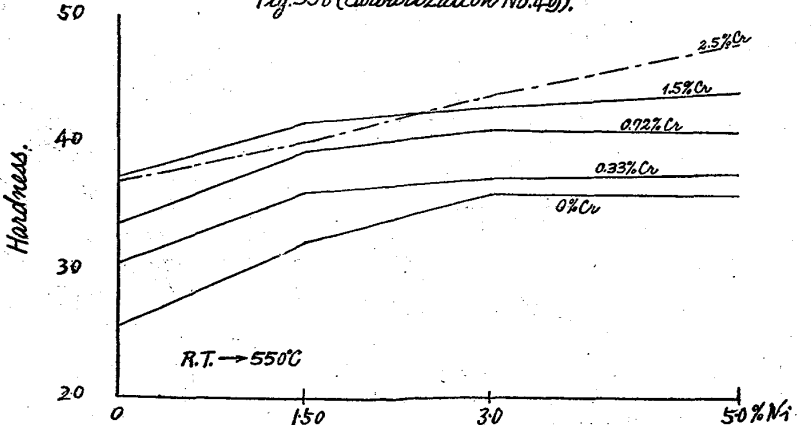


Fig. 36b (Carburization No. 49).

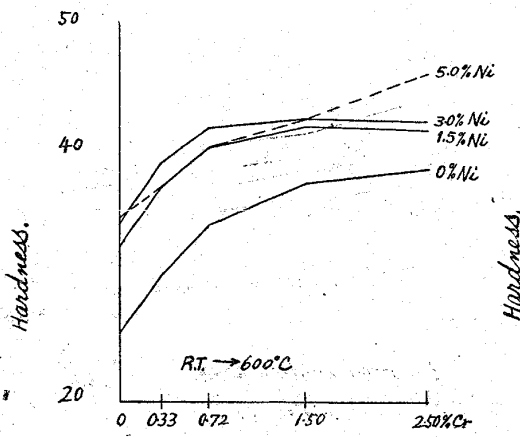


Fig. 37a (Carburization No. 49).

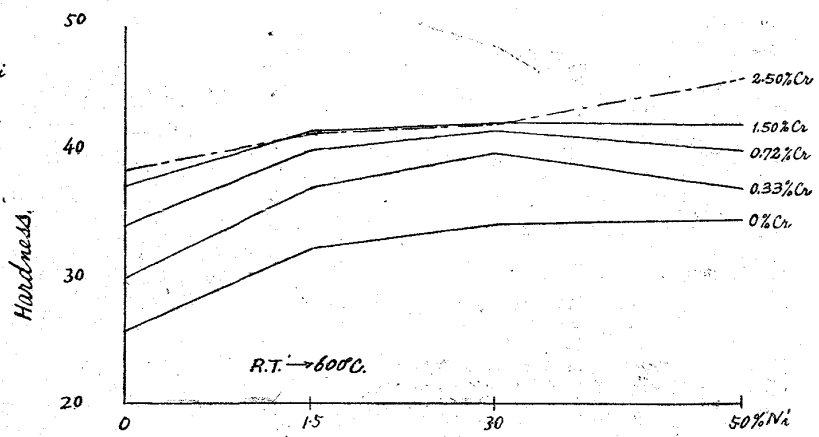


Fig. 37b (Carburization No. 49).

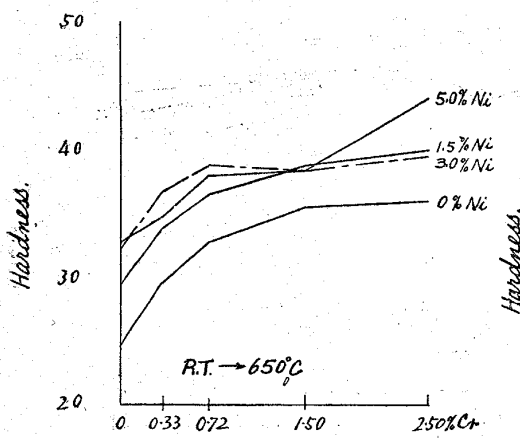


Fig. 38a (Carburization No. 49).

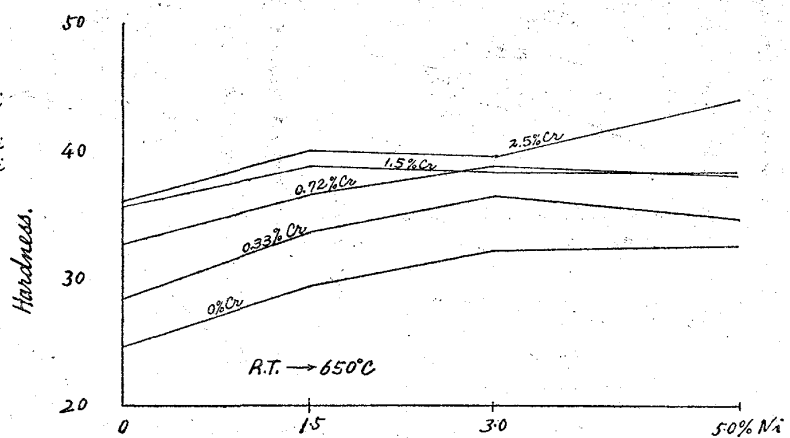


Fig. 38b (Carburization No. 49).

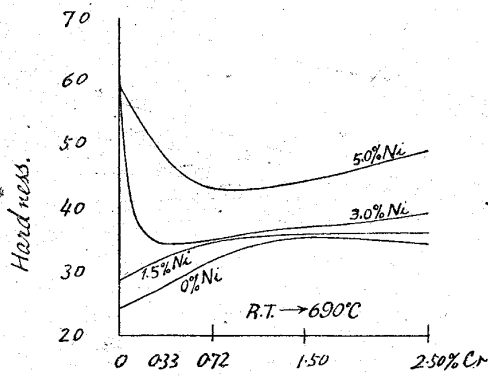


Fig. 39a (Carburization No. 49).

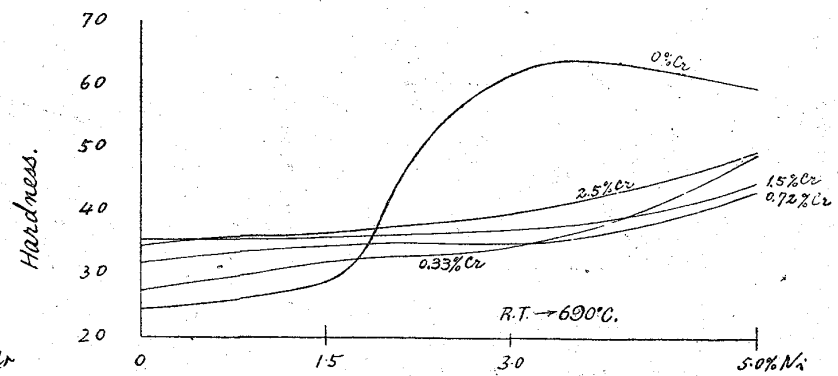


Fig. 39b (Carburization No. 49).

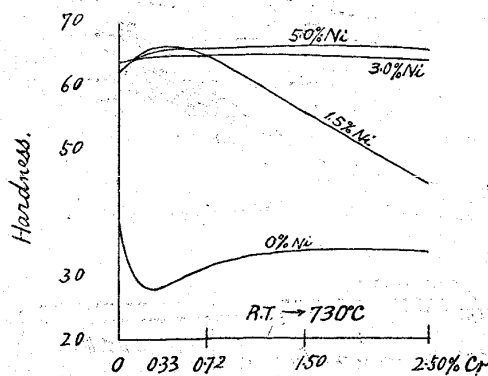


Fig. 40a (Carburization No. 49).

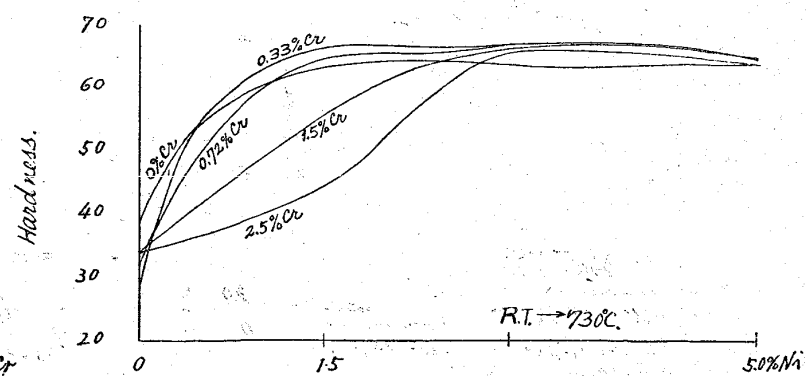


Fig. 40b (Carburization No. 49).

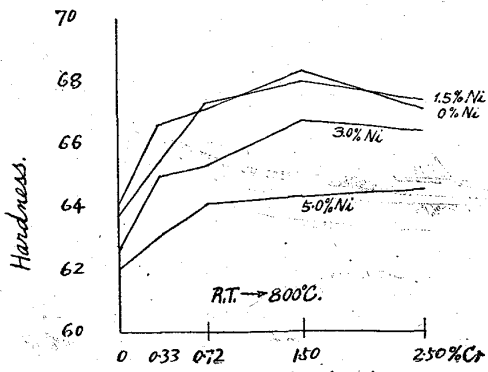


Fig. 41a (Carburization No. 49).

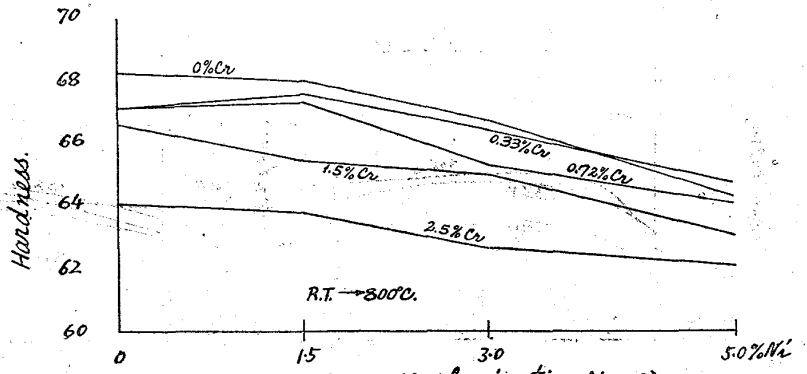


Fig. 41b (Carburization No. 49).

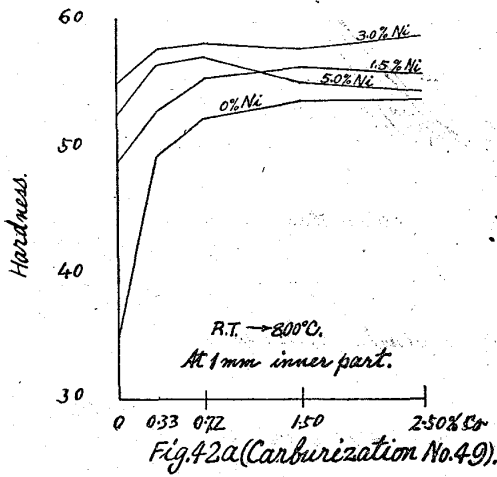


Fig. 42a (Carburization No. 49).

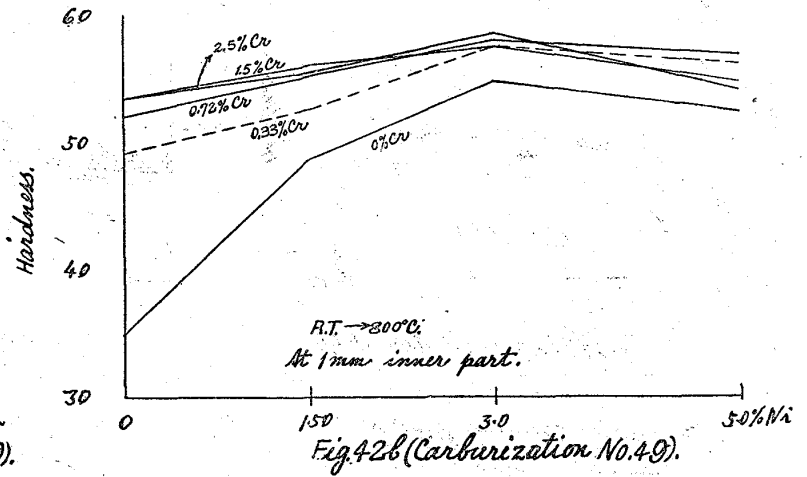


Fig. 42b (Carburization No. 49).

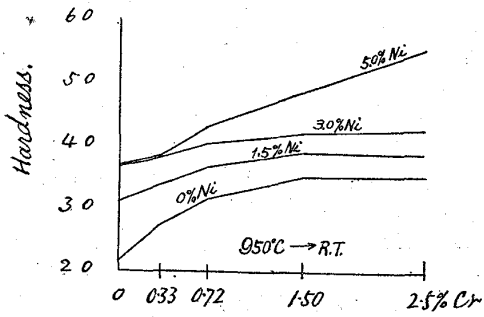


Fig. 43a (Carburization No. 50).

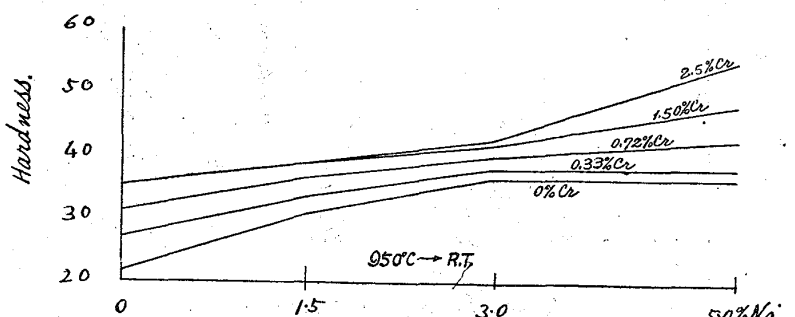


Fig. 43b (Carburization No. 50).

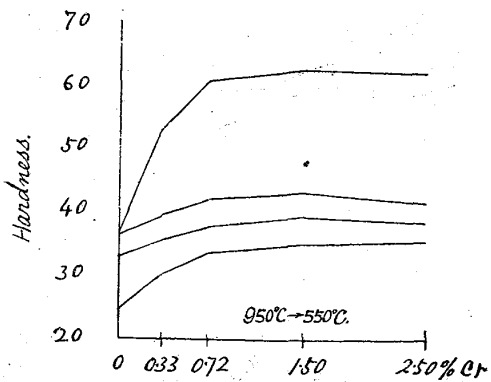


Fig. 44a (Carburization No. 50).

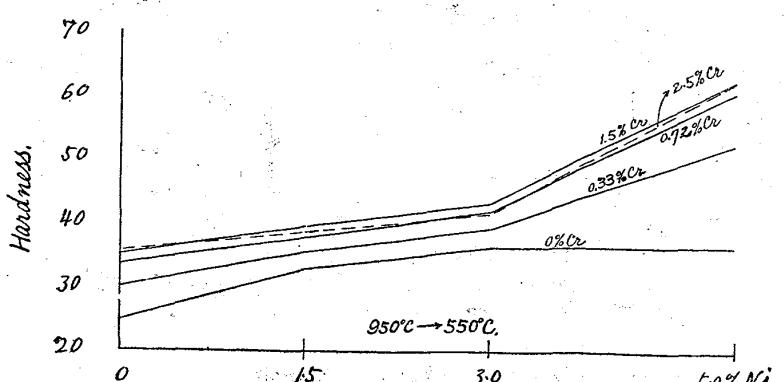


Fig. 44b (Carburization No. 50).

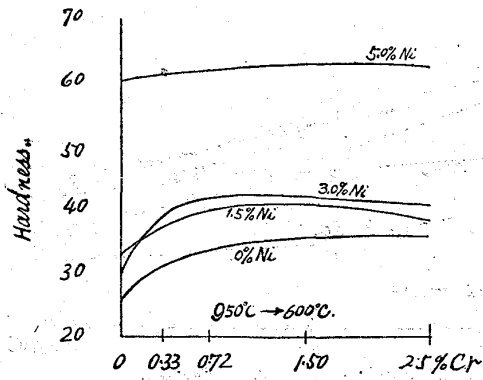


Fig. 45a (Carburization No. 50).

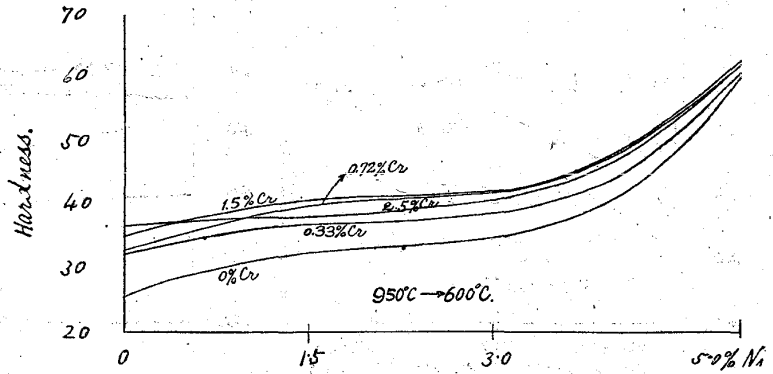


Fig. 45b (Carburization No. 50).

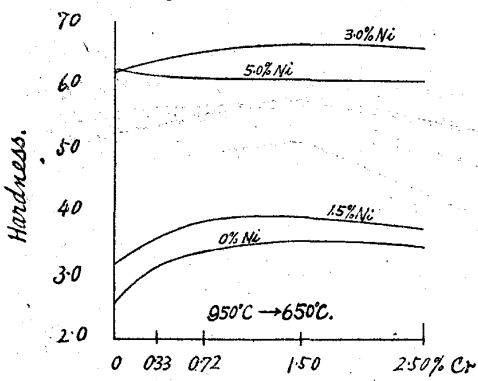


Fig. 46a (Carburization No. 50).

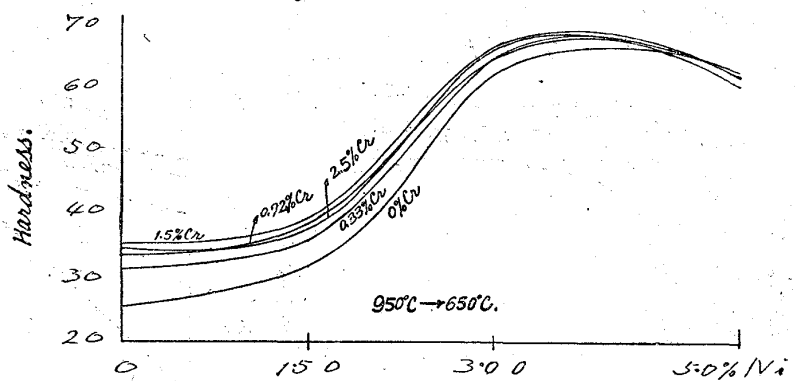


Fig. 46b (Carburization No. 50).

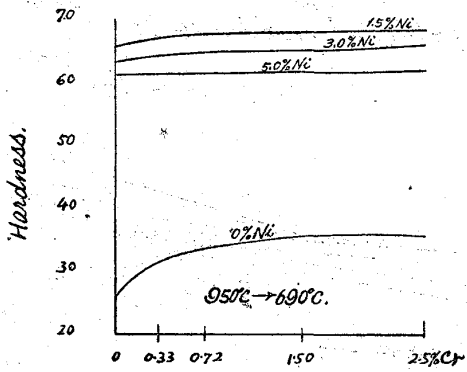


Fig. 47a (Carburization No. 50).

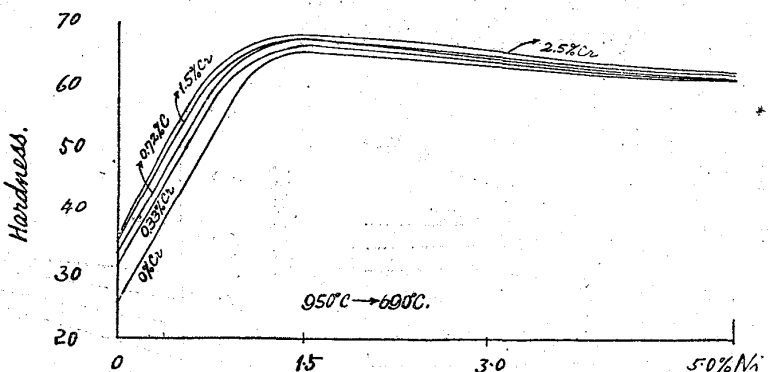


Fig. 47b (Carburization No. 50).

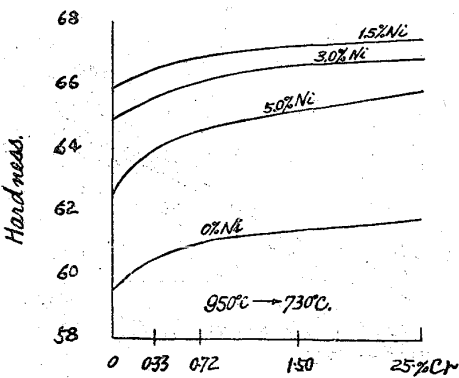


Fig. 48a (Carburization No. 50).

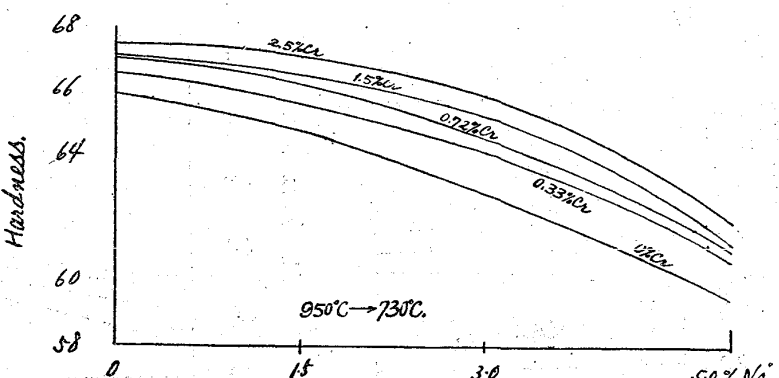


Fig. 48b (Carburization No. 50).

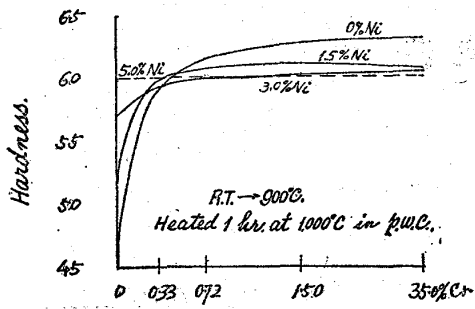


Fig. 49a (Carburization No. 51).

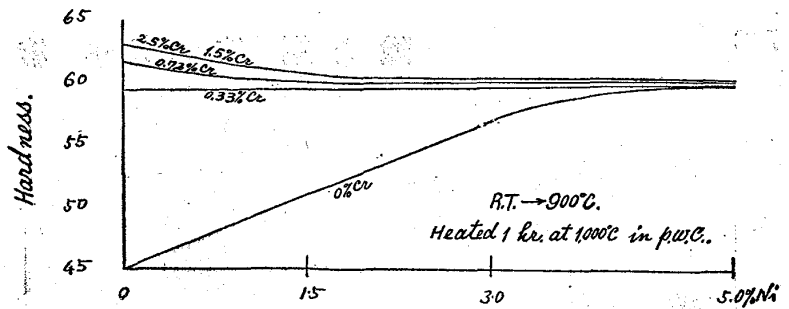


Fig. 49b (Carburization No. 51).

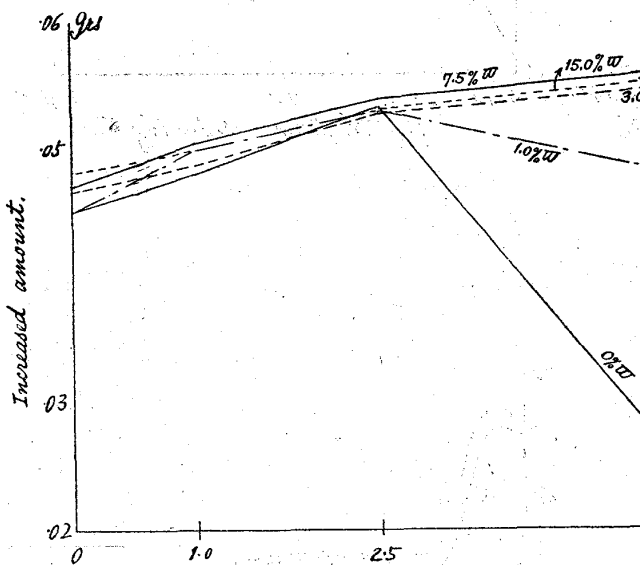


Fig. 50a. Increased amount of weight (Table 38; Carburization No. 52).

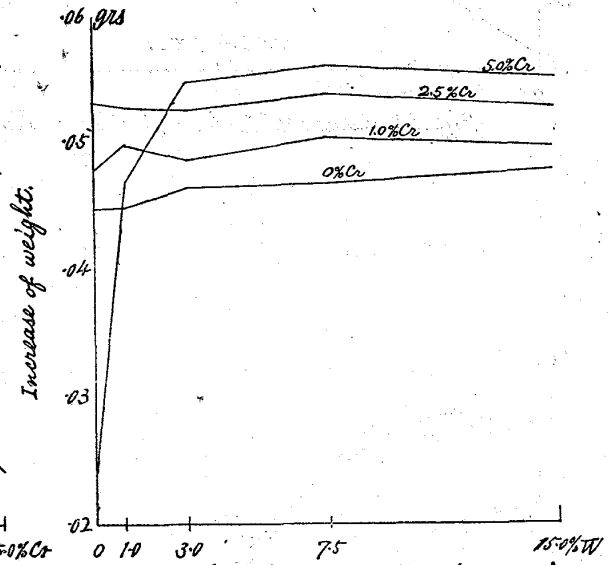


Fig. 50b. Same as in Fig. 50a.

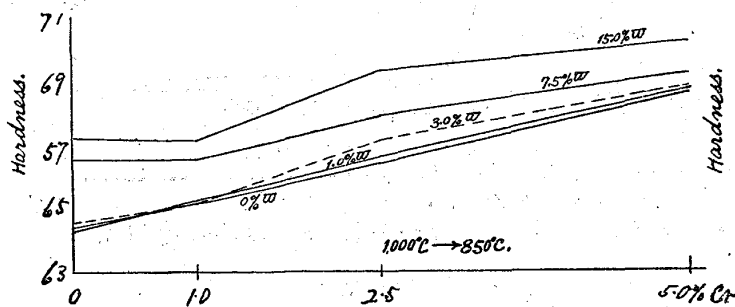


Fig. 51a. Hardness (Table 39; Carburization No. 52).

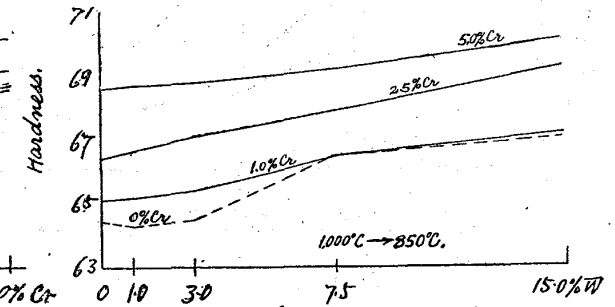


Fig. 51b. Same as in Fig. 51a.

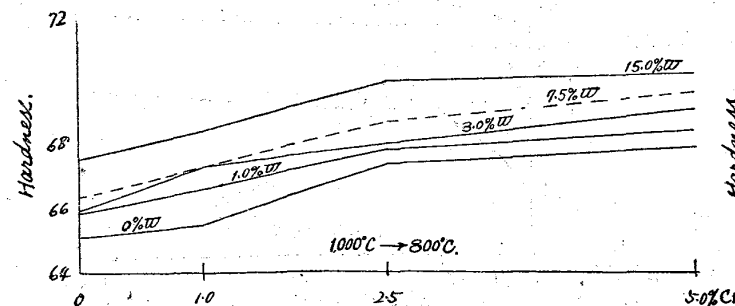


Fig. 52a. Hardness (Table 39; Carburization No. 52)

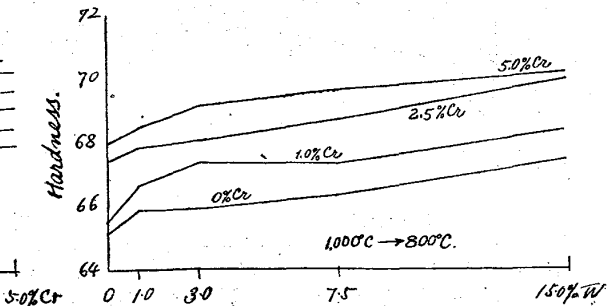
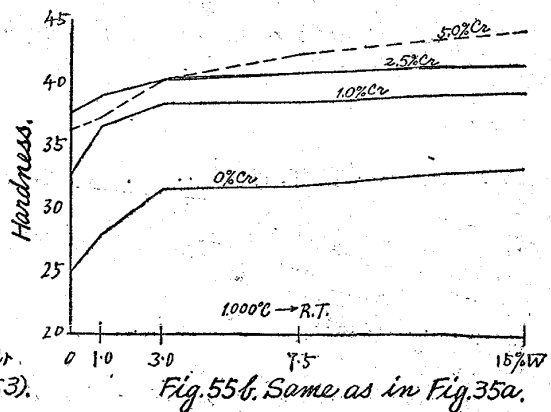
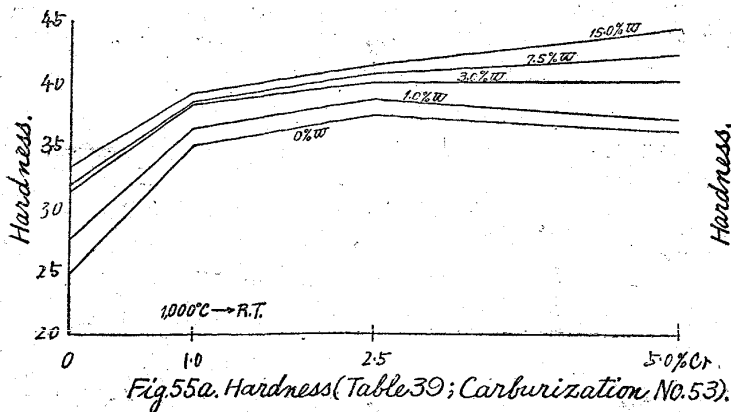
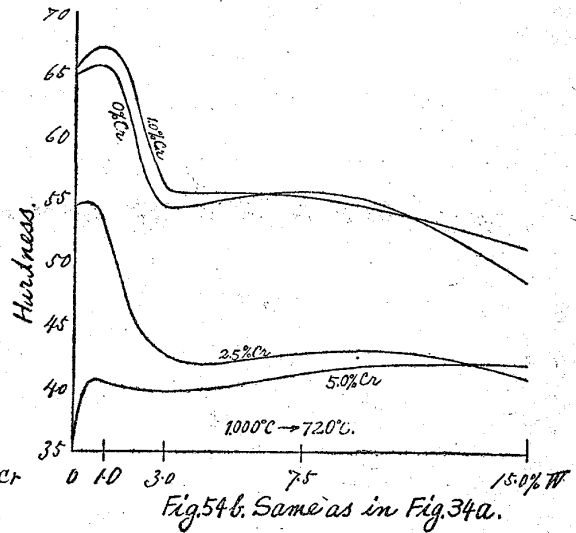
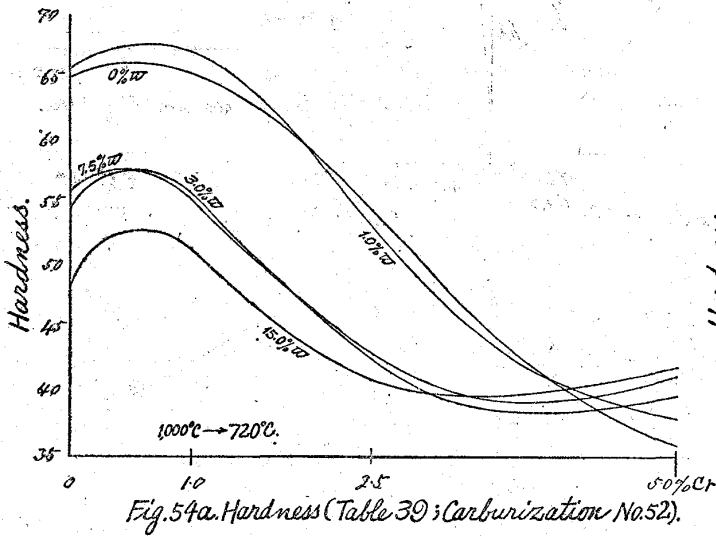
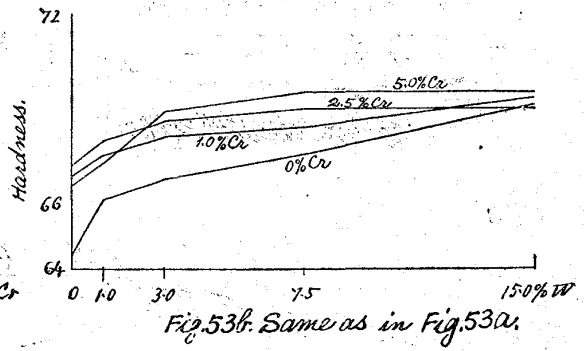
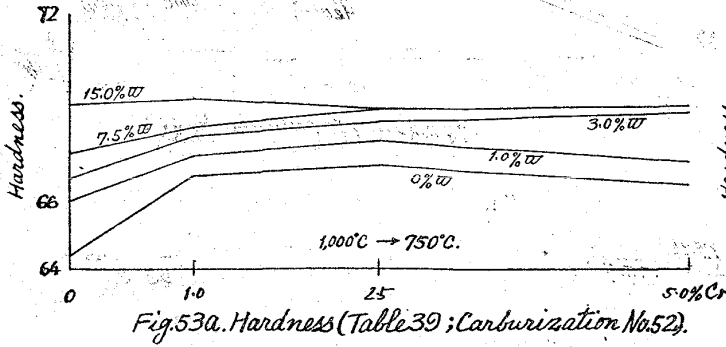


Fig. 52b. Same as in Fig. 52a.



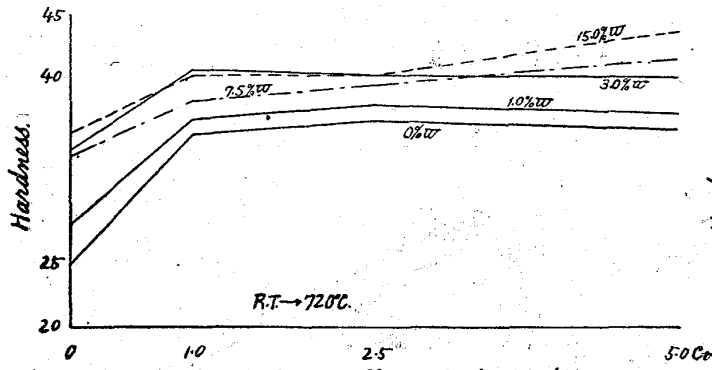


Fig. 56a. Hardness (Table 39; Carburization No. 53).

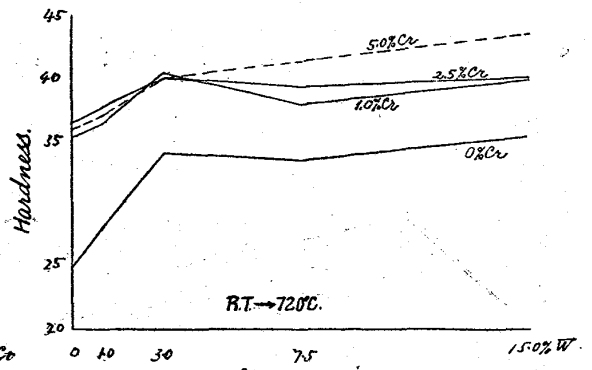


Fig. 56b. Same as in Fig. 56a.

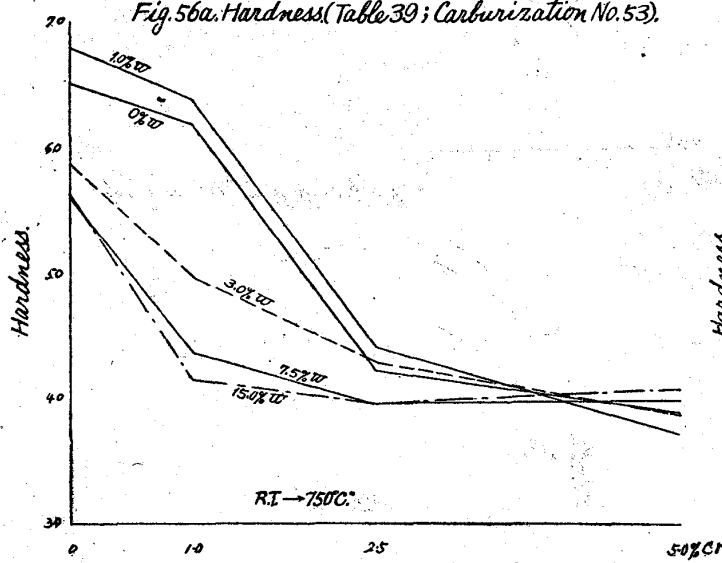


Fig. 57a. Hardness (Table 39; Carburization No. 53).

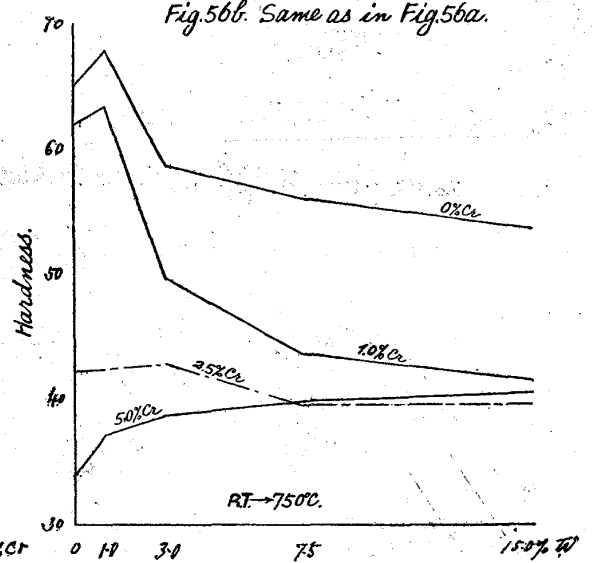


Fig. 57b. Same as in Fig. 57a.

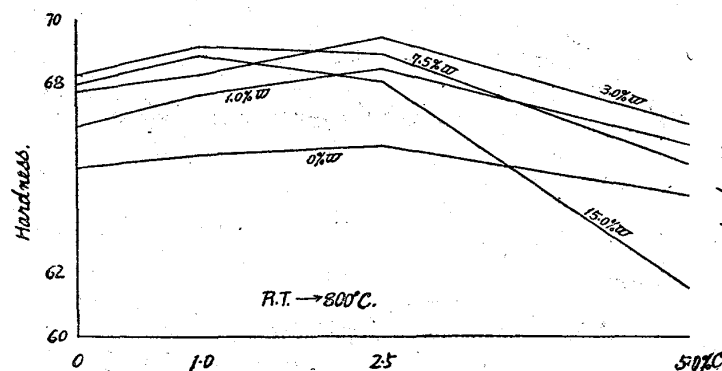


Fig. 58a. Hardness (Table 39; Carburization No. 53).

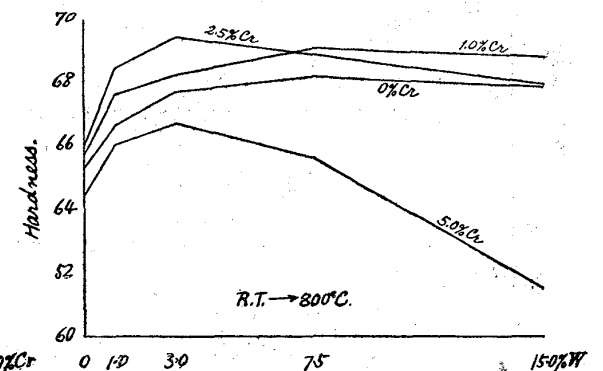


Fig. 58b. Same as in Fig. 58a.

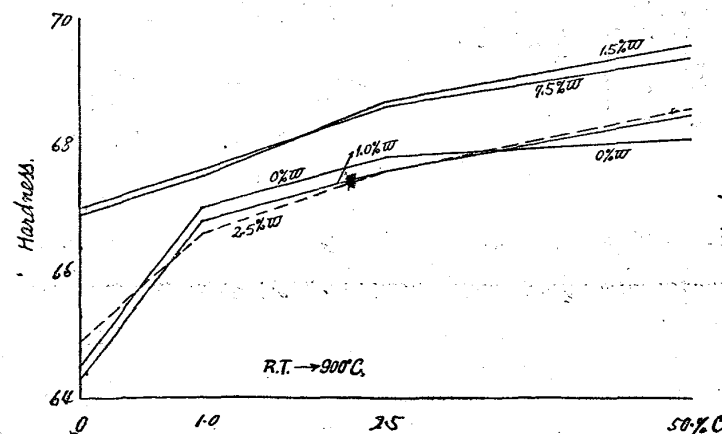


Fig. 59a. Hardness (Table 39; Carburization No. 53).

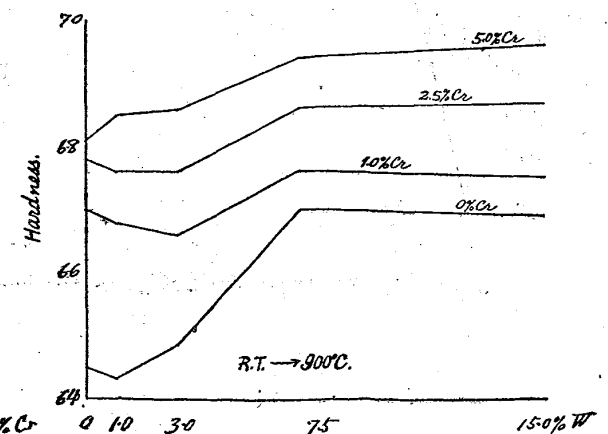


Fig. 59b. Same as in Fig. 59a.

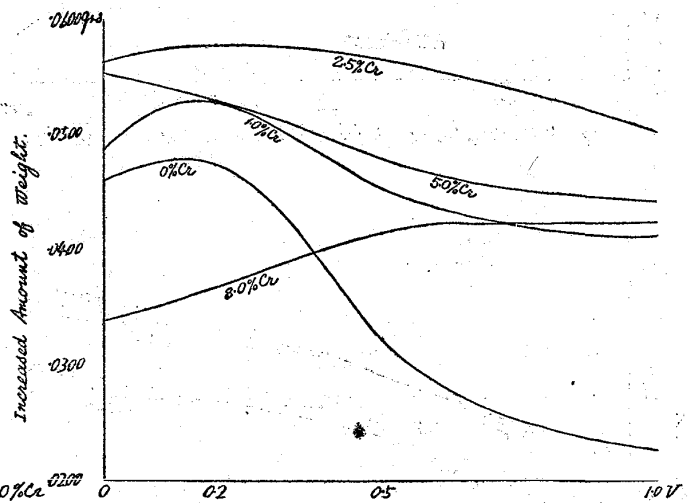
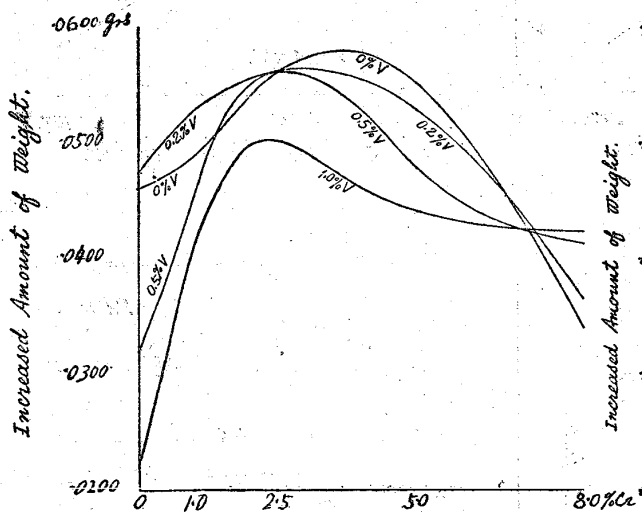
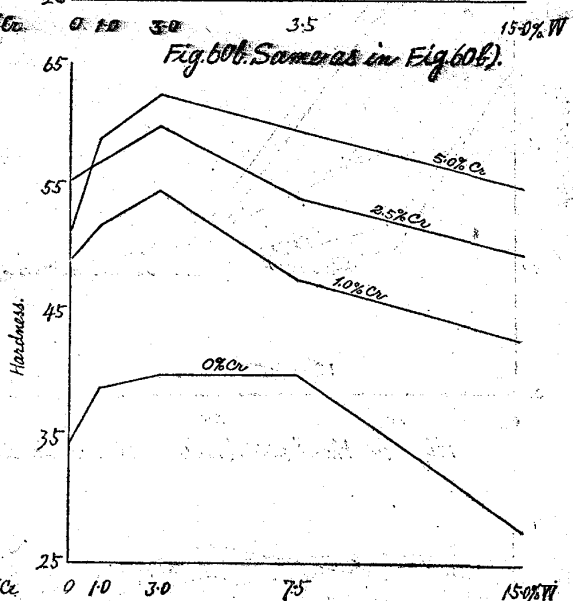
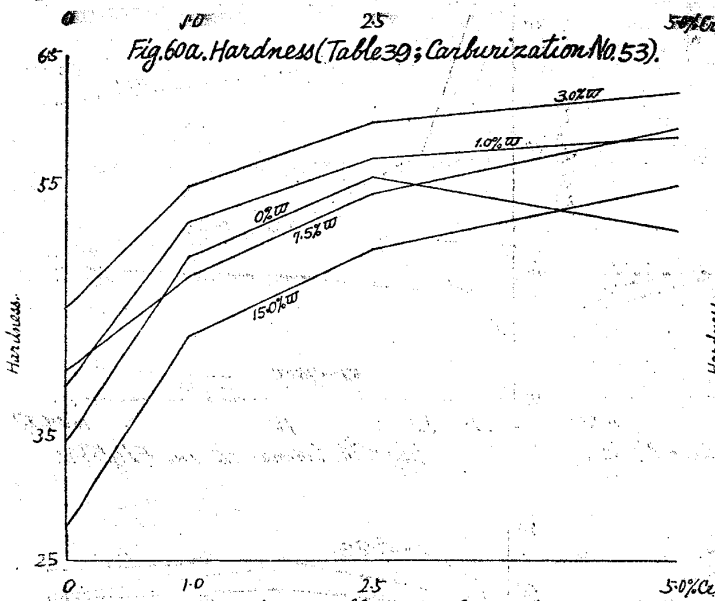
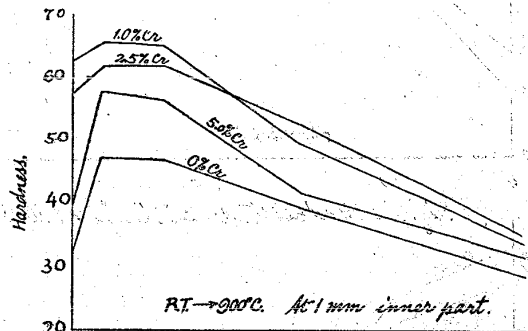
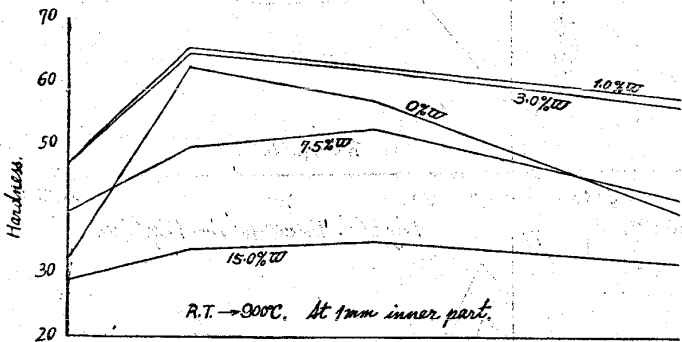


Fig. No. 62a: Increased Amount of Weight (Carburization No. 55), Fig. 62b. Increased Amount of Weight (Carburization No. 55).

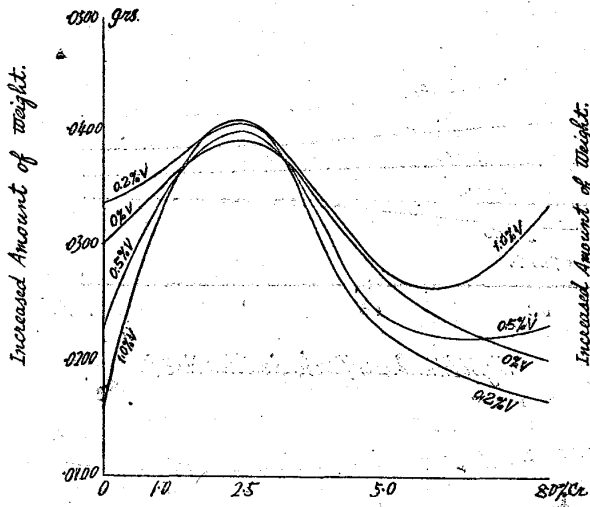


Fig. 63a. Increased Amount of Weight (Carburization No. 56).

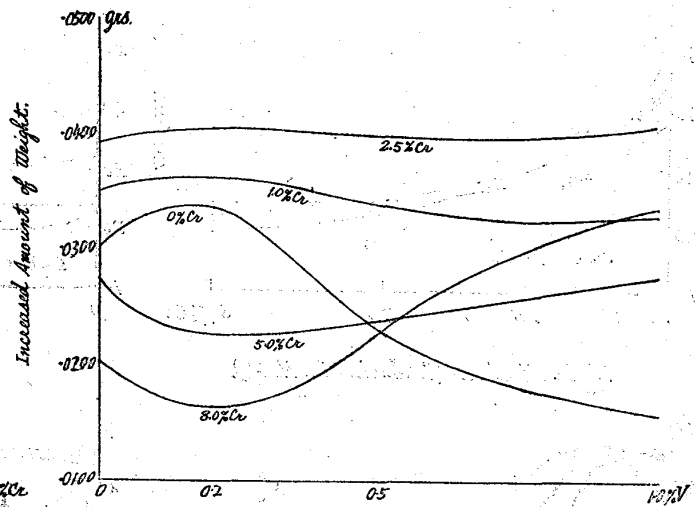


Fig. 63b. Increased Amount of Weight (Carburization No. 56).

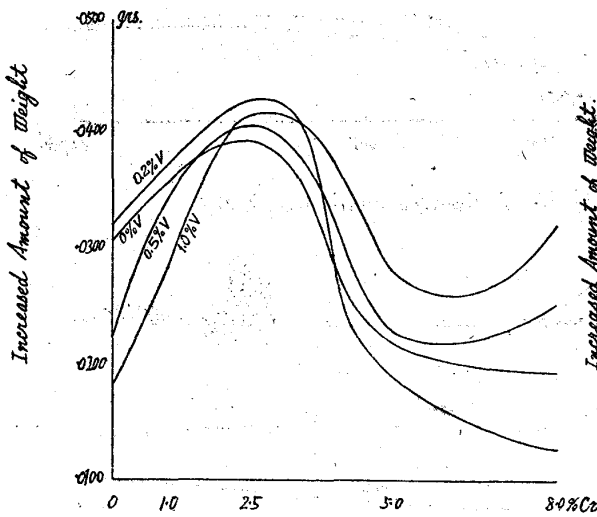


Fig. 64a. Increased Amount of Weight (Carburization No. 57).

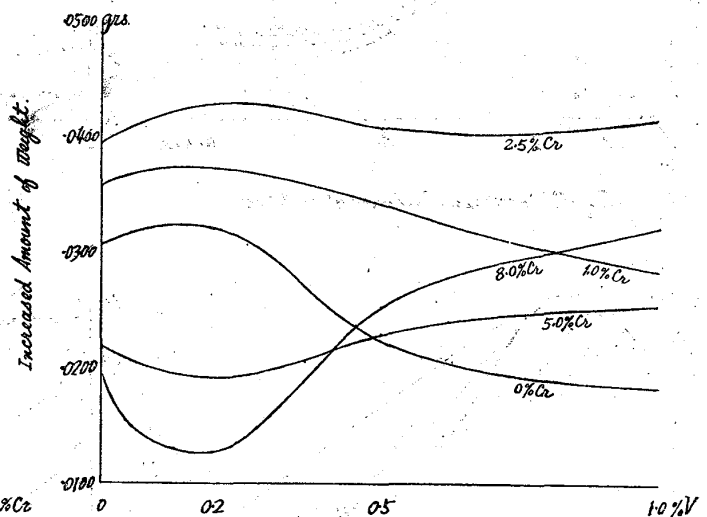


Fig. 64b. Increased Amount of Weight (Carburization No. 57).

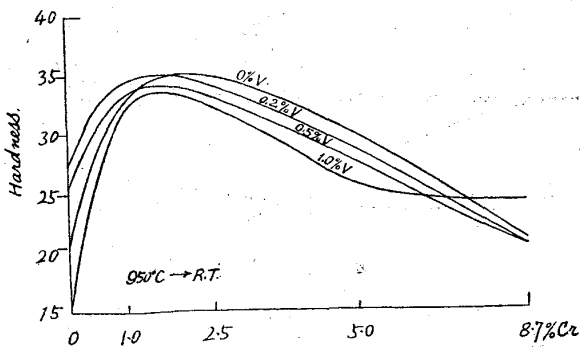


Fig. 65a. Hardness (Carburization No. 56).

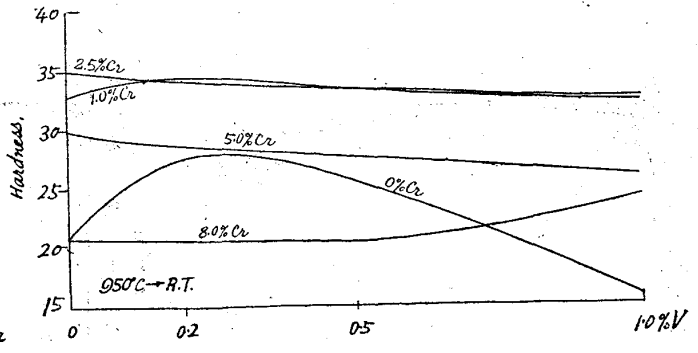


Fig. 65b. Hardness (Carburization No. 56).

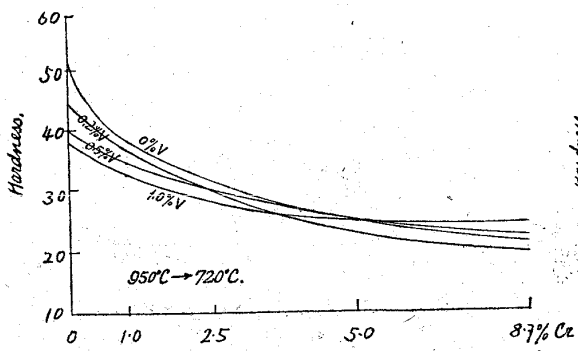


Fig. 66a. Hardness (Carburization No. 57).

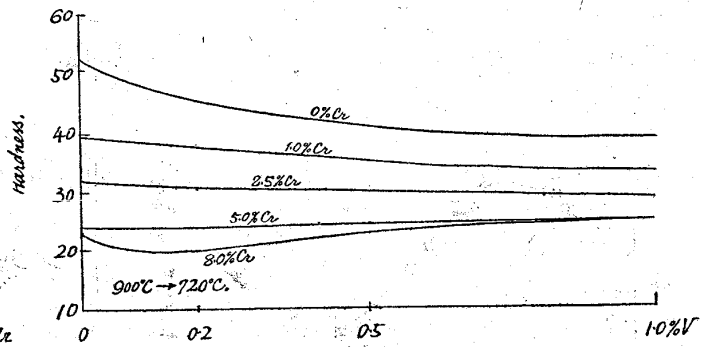


Fig. 66b. Hardness (Carburization No. 57).

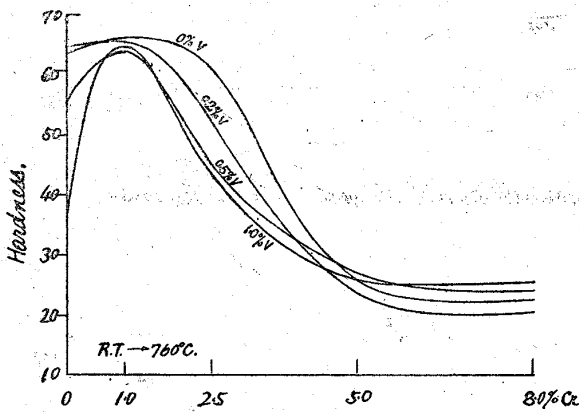


Fig. 67a. Hardness (Carburization No. 56).

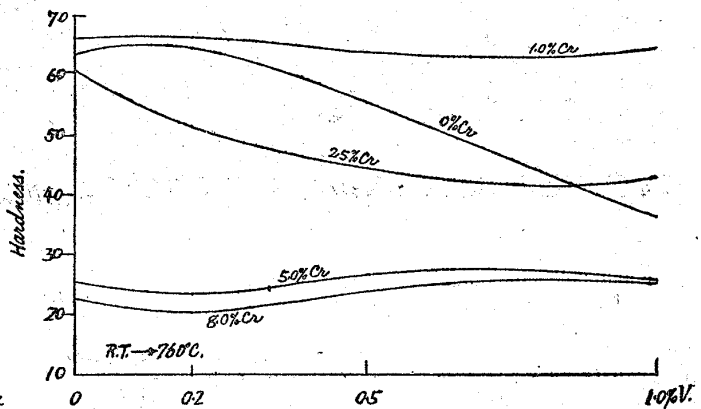


Fig. 67b. Hardness (Carburization No. 56).

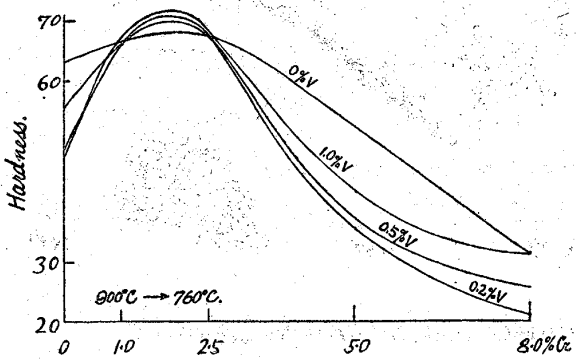


Fig. 68a. Hardness (Carburization No. 57).

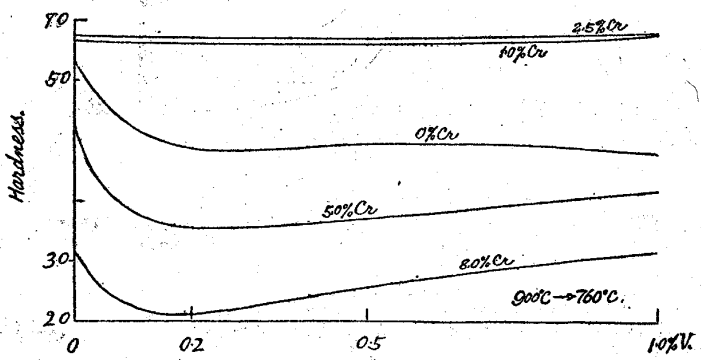


Fig. 68b. Hardness (Carburization No. 57).

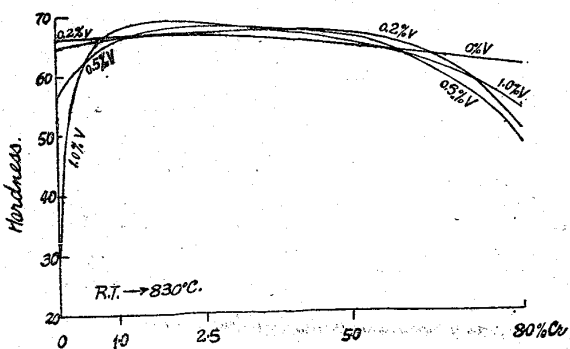


Fig. 69a. Hardness (Carburization No. 56).

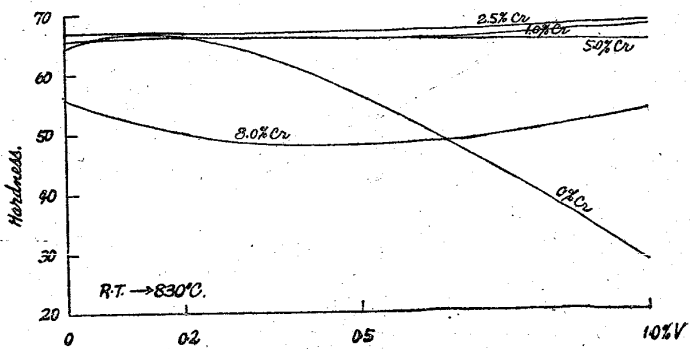


Fig. 69b. Hardness (Carburization No. 56).

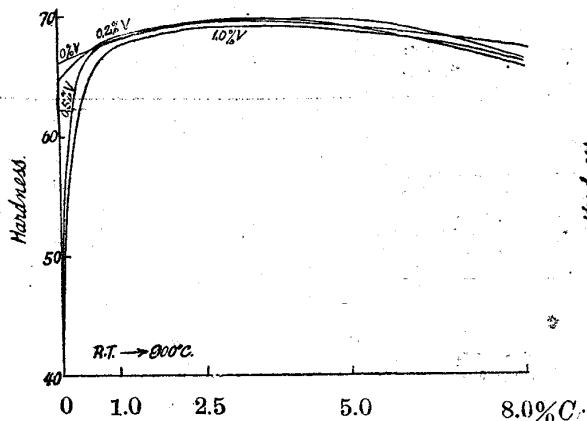


Fig. 70a. Hardness (Carburization No. 55).

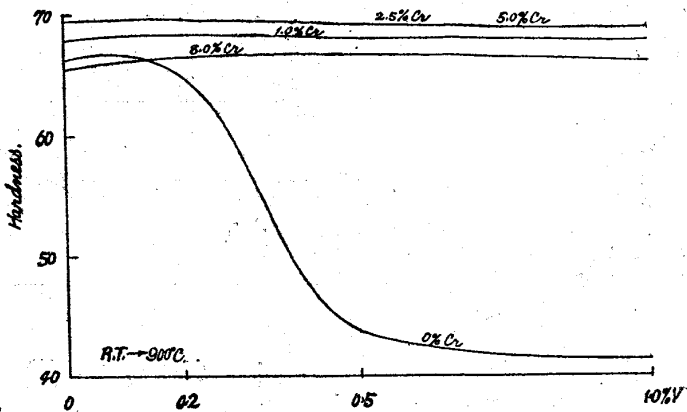


Fig. 70b. Hardness (Carburization No. 55).

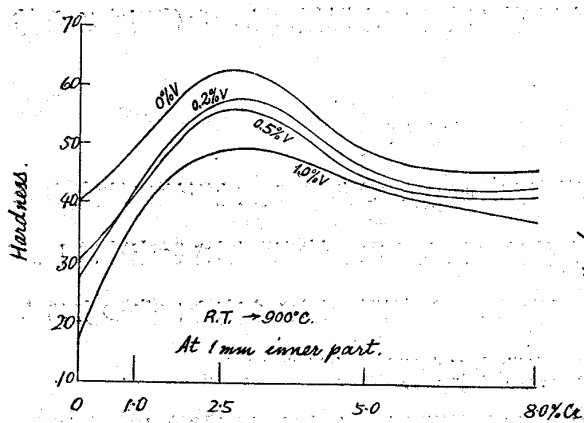


Fig. 71a. Hardness (Carburization No. 55).

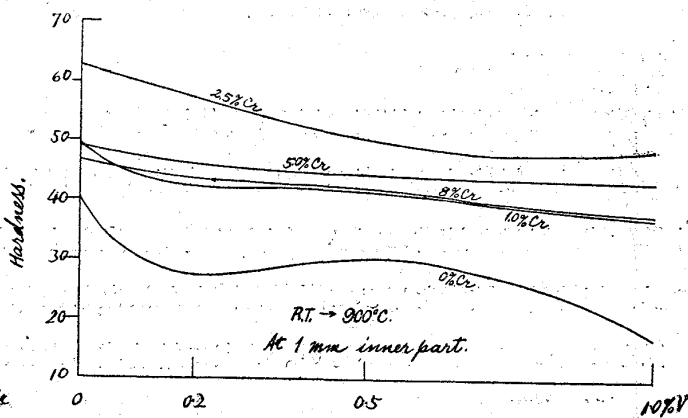


Fig. 71b. Hardness (Carburization No. 55).

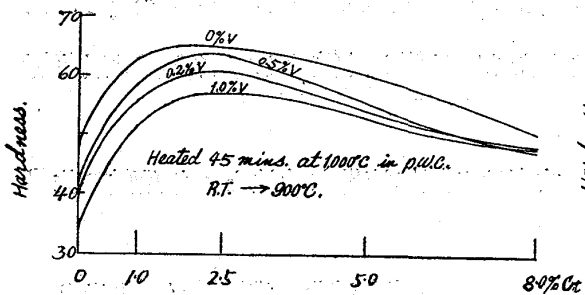


Fig. 72a. Hardness (Carburization No. 58).

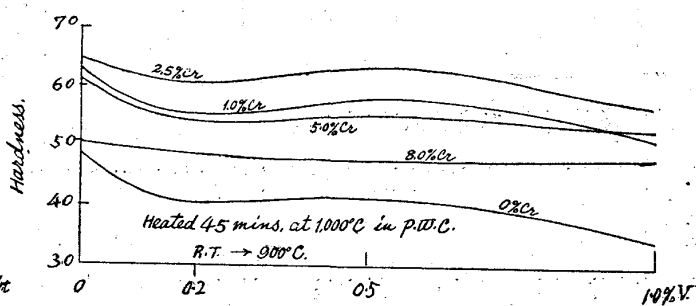


Fig. 72b. Hardness (Carburization No. 58).

○ Carburization No. 59.
 × " " No. 60.
 * " " No. 61.

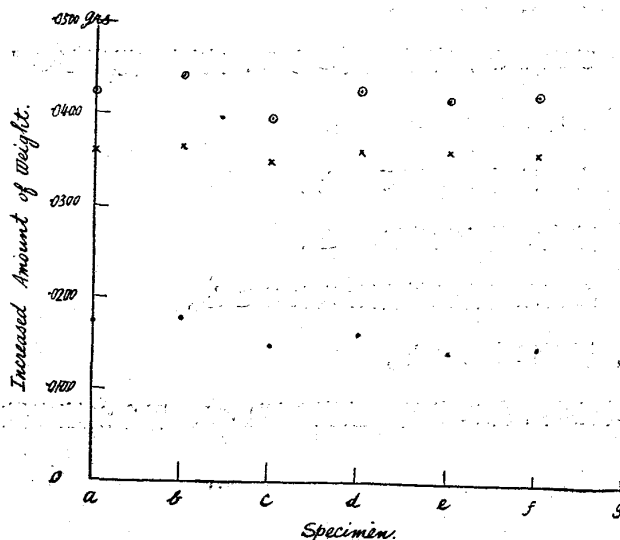


Fig. 73 (T. 11. 11)