

構成用特殊鋼材の物理的性質に及ぶタングステン

モリブデン、バナジウムの影響

(日本鐵鋼協會第 18 回講演大會講演 昭和 12 年 10 月)

菊田多利男*
芥川武*

ON THE EFFECT OF TUNGSTEN, MOLYBDENUM AND VANADIUM ON THE PHYSICAL PROPERTIES OF THE NICKEL-CHROMIUM STEEL AND STAINLESS STEEL

T. Kikuta and T. Akutagawa

SYNOPSIS:—We studied on the effect of tungsten, molybdenum and vanadium on the transformation points and mechanical properties of a few kind of Ni-Cr steel and stainless steel.

Specimens were prepared in a 35k.v.a. high frequency induction furnace, remelting raw materials of carefully refined basic electric arc furnace steel. One of the above elements, W, Mo and V, was added to the molten steel, and after casting, ingot was forged and rolled to a rot of 20mm in diameter.

At first, transformation points were determined by the thermal dilatation method, and then hardness, tension and impact tests on the same sample were carried out after various heat treatments.

As for Ni-Cr steel, it is found that molybdenum is the most powerful in the descending effect on the Ar₁ transformation, followed by tungsten, and vanadium is feeble. The effect of these elements on the tensile strength of Ni-Cr steel is difficult to appreciate in the case of tempering at the low temperatures such as 300°C after quenching, but when the tempering temperature is raised to 500~600°C, the effect becomes remarkable; that is vanadium is most affective and tungsten is rather feeble.

In the case of the stainless steel, containing 18% chromium and 8% nickel, tungsten, molybdenum and vanadium act to increase the tenacity. On the stainless steel of 13% chromium type, it is found that the above three elements slightly affect on the physical properties.

I. 緒 言

Ni・Cr 鋼, 13% Cr 鋼 及 18/8 不銹鋼は現今の標準構成用特殊鋼材として兵器其他に盛んに用ひられつゝあることは周知の通りである。近時機械方面の發達に伴ひこれ等構成用特殊鋼に對する要求も次第に厳しくなつて來たので鋼に於ても Ni・Cr 鋼の Ni 及 Cr の含有量を變へ或は更に他の元素を加へて強度を大ならしめ又は焼入効果を大ならしめる等の研究が諸所で行はれた結果現在では抗張力對重量の比が他の鐵並に非鐵合金に比較して著しく大なる 160kg Ni・Cr 鋼も各國で採用されてゐる狀況であるが進んでは一層強度, 靱性の大なる鋼も要

求されてゐる。不銹鋼はその發達が比較的新しいために物理的性質に及ぶ他元素の影響に關しては比較的文獻も少く、又從來は要求も低かつたのであるが航空機々體其他に於て低温加工鋼が發達すると共に此の方面でも製作容易で而も優秀なる性質が必要とせられるに至つたのである。

著者は先づ構成用強靱特殊鋼に於る代表的なものとして從來砲身, 航空機發動機材, 其他一般兵器に極めて廣く使はれてゐた 86kg Ni・Cr 鋼及び現行規格上の最強力鋼た

第 1 表 化 學 成 分 (%)

鋼 種	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	W	Mo	V
86kg Ni・Cr 鋼	0.25~0.32	<0.35	<0.60	<0.03	<0.03	2.5~3.5	0.6~1.0	—	—	—
160kg Ni・Cr 鋼	0.28~0.35	<0.35	<0.60	<0.03	<0.03	4.0~5.0	1.0~1.8	<1.0*	<0.6*	<0.25*

但 * は必要に応じて含有せしめ得。

機 械 的 性 質 並 に 熱 處 理

鋼 種	降伏點 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	延伸率 %	斷面收縮率 %	シャルピー 衝撃値 m-kg/cm ²	ブリネル 硬 度	熱 處 理
86kg Ni・Cr 鋼	> 70	> 86	> 18	> 50	> 12	250~302	820~870°C 油焼入, 550~620°C 油又は水
160kg Ni・Cr 鋼	—	>160	> 7	> 25	> 5	>447	780~850°C 空冷, (焼戻 250°C 以下)

* 日立製作所安來工場

する 160 kg Ni·Cr 鋼を撰んで其の變態點、機械的性質に及ぼす W, Mo, V の三元素の影響を調べ又添加して有效なる量の範圍を決定した。而て 86 kg 及 160 kg Ni·Cr 鋼の成分及機械的性質は第 1 表の如くである。

又不銹鋼としては 18/8 鋼及 13% Cr 鋼に對し共に低炭素のものに就て W, Mo, V の影響を實驗した。

II. 實驗の方法

弧光式鹽基性電氣爐で雲伯砂鐵系材料を配合して一度入念に精鍊した原料鋼材を 35 kVA 高周波電氣爐で再熔解し、之に W, Mo, V を配合し 8~9 kg の鋼塊をつくり、鍛冶、壓延して 20 mm の丸棒とした鋼塊の斷面が 70 mm² 以上あるから鍛延係數は約 16 となる。従て鍛鍊効果は充分であると言ふことが出來やう。

次にこれ等試料を燒鈍軟化後夫々豫め定めた燒入溫度に 30 分間保持した後油中又は空中冷却し更に種々の溫度に 1 時間燒戻した上、ブリネル硬度試験（鋼球直徑 10 mm 荷重 3.000 kg）抗張試験（30t アムスラー試験機又は 50t バックトン試験機に依る）並にシャルピー衝撃試験を行った。（但し 18/8 鋼は燒入溫度のみを變化せしめた）抗張試験片は JES 標準抗張試験片第 4 號を用ひ衝撃試験片も JES の規定に依た。

又別に熱膨脹測定用試片を採取して變態點を測定した。

III. 86kg Ni·Cr 鋼及び 160kg Ni·Cr 鋼の變態點に及ぼす W, Mo, V の影響

試料の化學成分を第 2, 3 表に、本多式熱膨脹計による

變態點の測定結果を第 4 表に示す。加熱時及爐中冷却時の加熱或は冷却速度は變態點附近を何れも 5~7°C/min とした。空中冷却と言ふのは爐を引抜て靜かな大氣中に於て石英管中にて冷却したのである。又最高加熱溫度は 900°C に一定しこの溫度に 5 分間保持後爐中冷却又は空中冷却した。

第 2 表 86kg Ni·Cr 鋼化學成分 (%)

記號	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	W	Mo	V
A.	0.31	0.11	0.39	0.017	0.007	3.29	0.87	—	—	—
A. Mo 1	0.30	0.20	0.59	0.014	0.005	3.37	0.81	—	0.12	—
A. Mo 2	0.27	0.21	0.49	0.020	0.003	3.38	0.86	—	0.49	—
A. Mo 3	0.30	0.23	0.51	0.010	0.004	3.40	0.83	—	0.78	—
A. Mo 4	0.28	0.21	0.38	0.010	0.003	3.35	0.84	—	1.56	—
A. W 1	0.28	0.16	0.50	0.015	0.005	3.34	0.85	0.21	—	—
A. W 2	0.27	0.19	0.51	0.016	0.003	3.39	0.83	0.39	—	—
A. W 3	0.29	0.17	0.51	0.014	0.004	3.37	0.84	0.77	—	—
A. W 4	0.28	0.19	0.49	0.015	0.003	3.36	0.82	1.50	—	—
A. V 1	0.27	0.19	0.53	0.009	0.006	3.39	0.84	—	—	0.12
A. V 2	0.27	0.23	0.49	0.013	0.007	3.43	0.80	—	—	0.20
A. V 3	0.28	0.20	0.53	0.012	0.004	3.37	0.85	—	—	0.39
A. V 4	0.27	0.24	0.55	0.014	0.007	3.36	0.81	—	—	0.79

第 3 表 160kg Ni·Cr 鋼化學成分 (%)

記號	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	W	Mo	V
B.	0.30	0.13	0.41	0.010	0.006	4.16	1.69	—	—	—
B. Mo 1	0.30	0.16	0.36	0.003	0.004	4.29	1.82	—	0.23	—
B. Mo 2	0.29	0.15	0.42	0.014	0.003	4.25	1.77	—	0.41	—
B. Mo 3	0.27	0.18	0.37	0.012	0.004	4.26	1.72	—	0.78	—
B. Mo 4	0.27	0.23	0.50	0.008	0.004	4.23	1.64	—	1.57	—
B. W 1	0.29	0.17	0.52	0.012	0.004	4.31	1.65	0.17	—	—
B. W 2	0.32	0.17	0.49	0.014	0.004	4.23	1.77	0.47	—	—
B. W 3	0.30	0.26	0.55	0.013	0.003	4.29	1.72	0.76	—	—
B. W 4	0.28	0.24	0.53	0.017	0.003	4.23	1.68	1.90	—	—
B. V 1	0.26	0.18	0.49	0.003	0.005	4.32	1.63	—	—	0.12
B. V 2	0.25	0.21	0.53	0.009	0.004	4.30	1.69	—	—	0.21
B. V 3	0.24	0.13	0.41	0.012	0.008	4.28	1.70	—	—	0.44
B. V 4	0.29	0.18	0.50	0.009	0.006	4.25	1.75	—	—	0.81

第 4 表

86kg Ni·Cr 鋼				160kg Ni·Cr 鋼							
記號	Ac ₁	爐中冷却		空中冷却		記號	Ac ₁	爐中冷却		空中冷却	
		Ar'	Ar''	Ar'	Ar''			Ar'	Ar''	Ar'	Ar''
A	710~780	Ar'	Ar''	Ar'	Ar''	B	715~770	350~260	200~100		
		615	300~240	520	195~95						
A Mo 1	715~765	485	360	320	125	B Mo 1	710~765	300~200	195	95	
A Mo 2	720~770	385	315	225	130	B Mo 2	710~775	290~160	185	100	
A Mo 3	720~770	405	300	220	100	B Mo 3	710~785	305~205	195	90	
A Mo 4	720~790	385	300	215	110	B Mo 4	710~790	310~220	205	100	
A W 1	720~770	Ar'	Ar''	360	235	B W 1	710~765	330~200	205	85	
A W 2	715~765	620	490~385	330	125	B W 2	710~770	300~185	195	90	
A W 3	720~775	480	360	230	130	B W 3	715~775	285~150	185	110	
A W 4	720~780	425	335	215	110	B W 4	715~780	285~170	185	90	
A V 1	715~770	Ar'	Ar''	335	230	B V 1	715~770	310~255	210	110	
A V 2	720~775	630	445~365	315	225	B V 2	710~780	300~260	200	95	
A V 3	720~785	630	415~345	350	240	B V 3	715~790	405~320	235	155	
A V 4		650	585			B V 4	710~780	385~310	225	155	

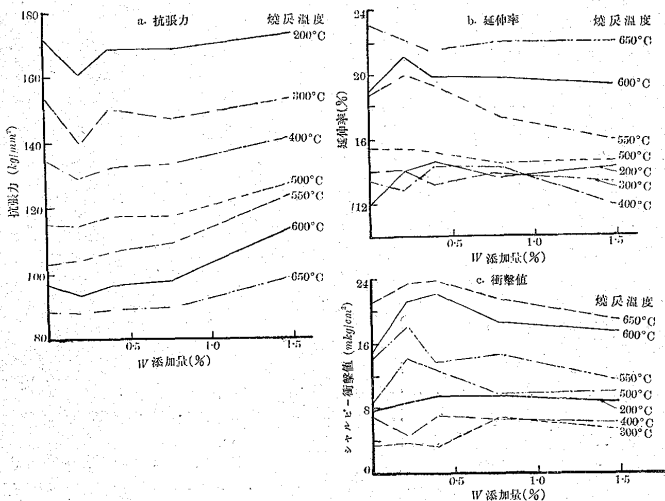
以上の測定結果に依ると、

1. A_{c1} 開始温度は 86 kg Ni·Cr 鋼でも 160 kg Ni·Cr 鋼でも W, Mo, V の添加に依り變化はない。
2. A_{c1} 終了温度或は一定加熱速度に於て炭化物の溶解を完了する温度はこれ等元素の添加により多少上昇の傾向が認められる。
3. A_{r1} は W, Mo の添加により下降することは既によく知られてゐるがその程度は Mo 最大で W 之に次ぎ V は 86 kg Ni·Cr 鋼を爐中冷却するとき及 160 kg Ni·Cr 鋼を爐中及空中冷却するときは却て上昇する。Mo に於ては 0.5% の添加により既に充分なる焼入効果が得られ、而も夫以上多く含有せしめてもより大なる効果は期待

されない。又 86 kg Ni·Cr 鋼に 0.5% 程度の Mo を添加したものは Mo を加へない 160 kg Ni·Cr 鋼と略同等の變態點降下を生ずる。即ちこの種中 Ni·Cr 鋼でも、Mo の添加により高 Ni·Cr 鋼と同様の空氣焼入硬化性を附與せしむることが出来る。

4. 160 kg Ni·Cr 鋼に對しては一般にこれ等元素の影響が 86 kg Ni·Cr 鋼に比して弱い。
5. 86 kg Ni·Cr 鋼に於ては Mo を加へると少量にても A_{r1}' は消失し A_{r1}'' のみとなる。W も少量ならば二段變態を示すけれど 0.4% になると A_{r1}'' のみとなる。V は前記の如く寧ろ焼入効果を減ぜしめる作用あり含有量 0.4% に達すると爐冷では A_{r1} のみとなる。これは V が極めて安定なる炭化物を生成すること及鋼の結晶粒を微細化する作用のあるためであると考へられる。160 kg Ni·Cr 鋼に就ても同様の傾向が認められる。

第 1 圖 86kg Ni·Cr 鋼に及す W の影響

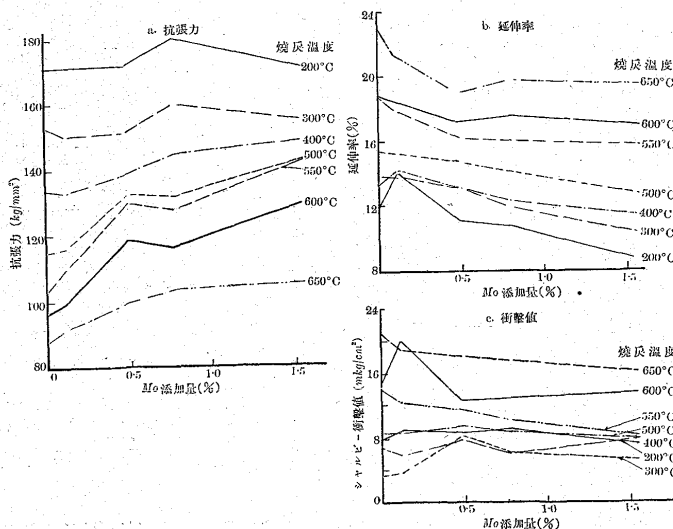


IV. 86kg 及 160kg Ni·Cr 鋼の機械的性質に及す W, Mo, V の影響

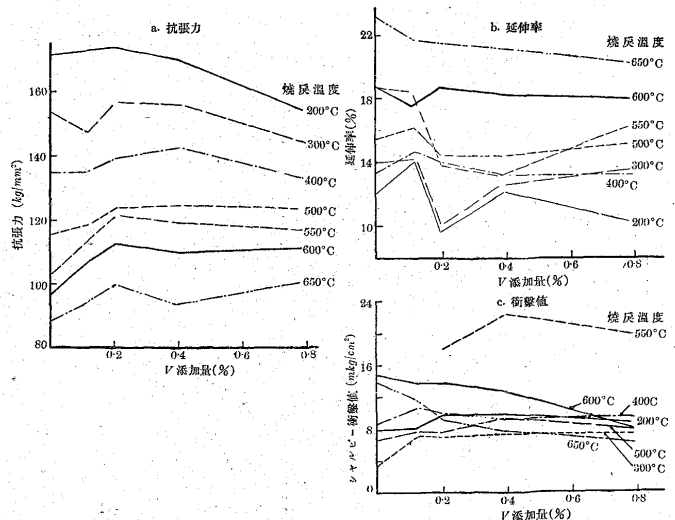
前述の抗張試験片及衝擊試験片を 86 kg Ni·Cr 鋼は 850°C, 160 kg Ni·Cr 鋼は 825°C に夫々 30 分間保持後前者は油焼入 後者は空中冷却した後再び 200, 300, 400, 500, 550, 600, 650 及 700°C の各温度に 1 時間加熱焼戻した上油中冷却して各試験に供した。但し 200°C 焼戻のものは油煮を行た。

實驗結果を第 5~6 表及第 1 圖~第 8 圖に示す。

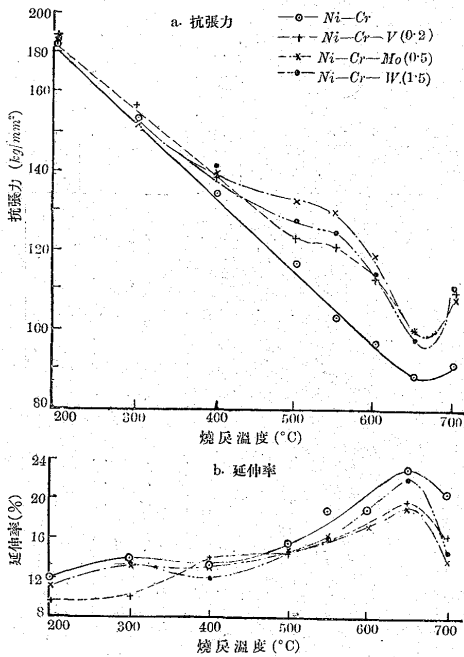
第 2 圖 86kg Ni·Cr 鋼に及す Mo の影響



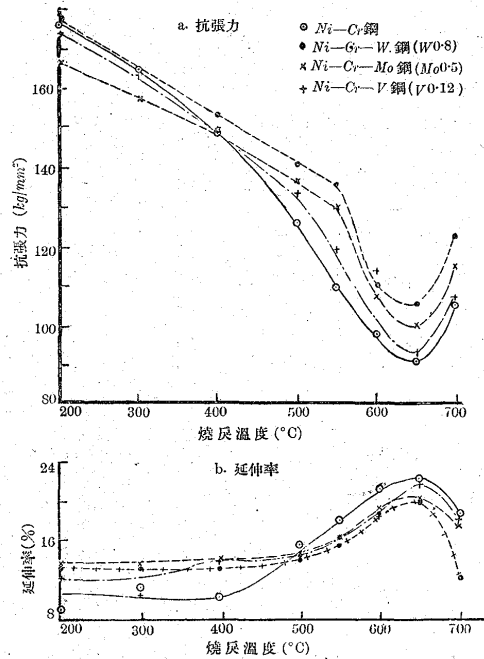
第 3 圖 86kg Ni·Cr 鋼に及す V の影響



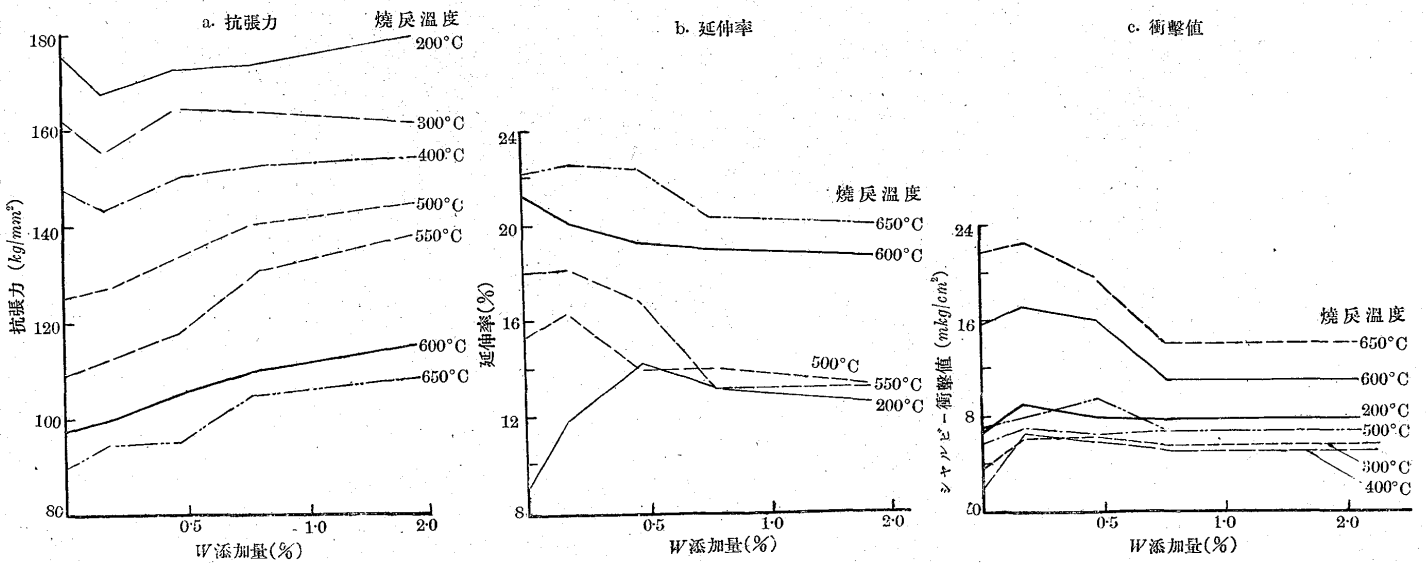
第4圖 86kg Ni·Cr 鋼焼戻曲線



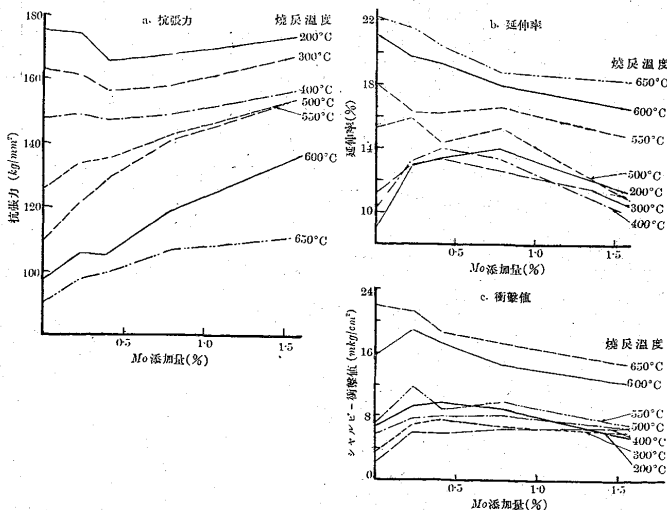
第8圖 160kg Ni·Cr 鋼焼戻曲線



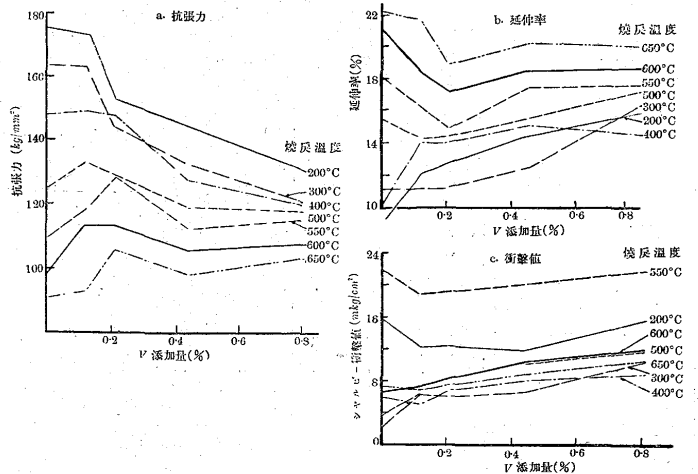
第5圖 160kg Ni·Cr 鋼に及す W の影響



第6圖 160kg Ni·Cr 鋼に及す Mo の影響



第7圖 160kg Ni·Cr 鋼に及す V の影響



第 6 表 160 kg Ni・Cr 鋼の機械的性質に及す W, Mo, V の影響

記號及 主要成分	熱 處 理		降伏 點 kgf mm ²	抗張 力 kgf mm ²	延伸 率 %	斷面 收縮 率%	破 面 の 形 狀	ブリ ネル 硬 度	シャル ピエ リ 値 m·kg /cm ²	記號及 主要成分	熱 處 理		降伏 點 kgf mm ²	抗張 力 kgf mm ²	延伸 率 %	斷面 收縮 率%	破 面 の 形 狀	ブリ ネル 硬 度	シャル ピエ リ 値 m·kg /cm ²
	焼入 °C	焼戻 °C									焼入 °C	焼戻 °C							
B C=0.30 Ni=4.16 Cr=1.69	825° 空冷	200° 油煮		175.2	8.9	27.3	Cup	477	6.6	B. W.3	825° 空冷	200° 油煮		179.5	12.4	40.0	Cup	486	7.7
	"	300° "		163.2	11.1	43.3	"	477	3.6		"	300° 油		161.5	12.5	44.1	"	444	5.5
	"	400° "		147.7	10.2	37.3	"	415	2.1	C=0.30	"	400° "		154.0	13.6	47.8	"	429	5.1
	"	500° "	121.9	125.0	15.4	51.2	Rd.F	375	5.7	Ni=4.29	"	500° "		144.5	13.2	45.9	"	415	6.7
	"	550° "	116.6	109.0	18.0	57.4	"	306	7.0	Cr=1.72	"	550° "		138.0	13.1	40.2	Rd.Cup	388	6.7
	"	600° "	88.8	97.3	21.2	66.6	"	285	15.6	W=0.76	"	600° "		115.0	18.6	59.2	Rd	280	10.9
	"	650° "	77.0	90.2	22.2	67.9	Rd.Cup	262	21.7		"	650° "		108.5	20.0	62.8	"	321	14.1
	"	700° "		104.6	18.7	48.0	Cup	277	8.9		"	700° "		125.0	12.2	26.7	Cup	346	8.0
B.Mo.1 C=0.30 Ni=4.29 Cr=1.82 Mo=0.23	825° 空冷	200° 油煮		174.5	12.9	38.4	Cup	477	9.2	B. W.4	825° 空冷	200° 油煮		179.5	12.4	40.0	Cup	486	7.7
	"	300° 油		161.6	13.0	50.0	"	444	6.9		"	300° 油		161.5	12.5	44.1	"	444	5.5
	"	400° "		149.0	13.2	48.9	"	429	5.9	C=0.28	"	400° "		154.0	13.6	47.8	"	429	5.1
	"	500° "		133.7	15.9	55.6	Rd.Cup	395	7.6	Ni=4.23	"	500° "		144.5	13.2	45.9	"	415	6.7
	"	550° "		121.3	16.8	57.1	"	363	11.6	Cr=1.68	"	550° "		138.0	13.1	40.2	Rd.Cup	388	6.7
	"	600° "		106.7	19.7	66.3	"	302	18.7	W=1.90	"	600° "		115.0	18.6	59.2	Rd	280	10.9
	"	650° "		97.1	21.6	67.3	"	277	21.1		"	650° "		108.5	20.0	62.8	"	321	14.1
	"	700° "		94.8	22.4	69.2	Rd	293	10.7		"	700° "		125.0	12.2	26.7	Cup	346	8.0
B.Mo.2 C=0.29 Ni=4.29 Cr=1.77 Mo=0.41	825° 空冷	200° 油煮		166.0	13.5	47.0	H.Cup	461	9.7	B. V.1	825° 空冷	200° 油煮		173.1	12.0	39.6	H.Cup	469	7.3
	"	300° 油		156.4	13.5	50.7	Cup	415	7.6		"	300° 油		162.8	10.3	34.9	Cup	444	6.5
	"	400° "		147.9	14.0	51.1	"	415	5.9	C=0.26	"	400° "		148.8	13.9	53.6	Cup.Rd	429	6.3
	"	500° "		135.3	14.4	51.4	"	410	7.9	Ni=4.32	"	500° "		132.8	14.2	48.1	Rd	388	5.0
	"	550° "		129.3	16.2	56.7	H.Cup	388	8.8	Cr=1.63	"	550° "	115.3	118.5	16.3	55.0	"	345	6.7
	"	600° "		106.3	19.3	65.4	Rd.Cup	302	17.2	W=0.12	"	600° "	108.2	113.2	18.4	61.1	"	341	12.1
	"	650° "		99.4	20.4	65.0	Cup	331	18.5		"	650° "		92.4	21.7	67.4	Rd.Cup	269	18.8
	"	700° "		114.5	17.5	45.3	"	352	11.8		"	700° "		106.9	18.1	50.0	Cup	306	13.1
B.Mo.3 C=0.27 Ni=4.26 Cr=1.72 Mo=0.78	825° 空冷	200° 油煮		168.0	14.0	47.6	Cup	477	9.0	B. V.2	825° 空冷	200° 油煮		152.1	12.6	35.0	H.Cup	461	8.2
	"	300° 油		158.0	8.9	34.4	H.Cup	415	6.8		"	300° 油		144.3	11.2	34.9	Cup	375	?
	"	400° "		149.2	13.4	48.7	Cup	415	6.5	C=0.25	"	400° "		147.2	10.6	35.0	Cup.Rd	401	6.1
	"	500° "		142.5	15.3	54.1	"	415	8.1	Ni=4.30	"	500° "		129.0	14.3	46.1	"	388	6.8
	"	550° "		140.8	16.6	58.0	Cup.Rd	401	9.8	Cr=1.69	"	550° "		128.5	14.6	50.8	Rd	394	7.3
	"	600° "		117.9	18.0	64.4	"	375	14.5	V=0.21	"	600° "		113.1	17.1	54.5	"	265	12.3
	"	650° "		106.2	18.8	60.5	"	326	11.6		"	650° "		105.2	18.9	61.9	Cup.Rd	302	19.2
	"	700° "		118.7	17.7	45.0	Cup	336	11.3		"	700° "		115.5	16.0	44.4	Cup	293	13.2
B.Mo.4 C=0.27 Ni=4.23 Cr=1.64 Mo=1.57	825° 空冷	200° 油煮		174.2	11.3	37.3	H.Cup	461	5.4	B. V.3	825° 空冷	200° 油煮		126.4	14.2	37.7	Cup	341	10.4
	"	300° 油		167.4	11.4	41.2	Cup	461	6.1		"	300° 油		132.1	12.4	33.7	H.Cup	375	10.0
	"	400° "		157.1	10.0*	30.9*	Cup.F	444	6.5	C=0.24	"	400° "		127.3	15.1	39.6	"	352	6.7
	"	500° "		154.5	10.9	31.0	Cup	429	6.5	Ni=4.28	"	500° "		118.9	18.4	51.0	Cup	352	8.0
	"	550° "		154.4	14.8	51.1	Rd.Cup	444	6.9	Cr=1.70	"	550° "		112.1	17.4	55.3	Rd	331	8.8
	"	600° "		135.7	(11.9)	(38.0)	(Cup.Sl)	401	12.1	V=0.44	"	600° "		105.3	18.4	60.2	Rd.Cup	321	11.6
	"	650° "		111.0	18.3	61.3	Rd.Cup	321	14.5		"	650° "		97.8	20.2	61.0	H.Cup	277	20.0
	"	700° "		123.8	14.4	38.6	Cup	311	8.1		"	700° "		106.6	18.3	53.0	"	293	?
B. W.1 C=0.29 Ni=4.31 Cr=1.65 W=0.17	825° 空冷	200° 油煮		167.5	11.8	39.4	H.Cup	477	9.1	B. V.4	825° 空冷	200° 油煮		129.9	15.9	46.5	Cup	363	11.9
	"	300° 油		155.6	13.3	51.2	Cup	415	6.1		"	300° 油		120.7	16.5	49.7	H.Cup	363	11.6
	"	400° "		143.6	13.3	48.5	"	401	6.5	C=0.29	"	400° "		120.0	14.4	40.7	"	401	10.4
	"	500° "		126.9	16.3	57.8	Rd	381	7.0	Ni=4.25	"	500° "		118.1	17.2	57.0	Cup	341	8.8
	"	550° "		112.2	18.2	65.5	"	347	7.9	Cr=1.75	"	550° "		115.2	17.5	56.5	Rd	336	10.5
	"	600° "		99.5	20.2	62.7	"	302	17.1	W=0.81	"	600° "		107.9	18.6	61.8	"	307	15.4
	"	650° "		94.3	22.6	66.9	Rd.Cup	289	22.4		"	650° "		103.3	20.0	64.6	Cup.Rd	302	21.7
	"	700° "		118.5	14.3	36.9	Cup	363	8.7		"	700° "		108.8	18.1	62.1	Cup	311	16.9
B. W.2 C=0.32 Ni=4.23 Cr=1.77 W=0.47	825° 空冷	200° 油煮		172.7	14.1	48.2	H.Cup	495	7.9										
	"	300° 油		164.5	9.3	36.9	"	444	6.3										
	"	400° "		150.3	13.3	46.1	"	429	5.8										
	"	500° "		133.6	13.9	50.0	Rd.Cup	388	6.5										
	"	550° "		118.0	16.9	48.5	Rd	341	9.4										
	"	600° "		105.3	19.3	62.7	"	311	16.0										
	"	650° "		95.5	22.4	68.9	"	285	19.5										
	"	700° "		117.0	17.4	44.8	Cup	321	8.2										

以上の實驗結果に依て見るに 86 kg Ni·Cr 鋼並に 160 kg Ni·Cr 鋼に對する W と Mo の影響は互に類似するも V の影響はやゝ異なることが認められる。

86 kg Ni·Cr 鋼に於ては焼戻温度 200 及 300°C の場合 W , Mo が夫々 1.5% 單獨に加へられても抗張力は殆ど變化しない。寧ろ C の影響が強し現はれてゐる。又 Mo を加へたときは 200 及 300°C 焼戻に於ける延伸率を減ずる傾向が認められるが W はさして變化を及さない。シャルピー衝撃値は W , Mo 共 1.5% 以下の添加量ならば 20°C 焼戻では殆ど變化のないことが知られるのみならず 300°C に焼戻すと W , Mo を含まぬものは衝撃値の低下が著しいが、これ等を含むものは衝撃値が左程害せられない。 V は 0.4% 以上加へると焼戻温度の低い際には、却て抗張力を減ずるが延伸率はあまり變化がなく衝撃値は寧ろ 0.12% 以上の添加により略一様に良くなつてゐる。

W , Mo の影響は焼戻温度 400°C 以上になると漸次明かになり添加量と共に抗張力は増し延伸率、衝撃値は減少する。衝撃値は全體を通じて 300°C に於て最低で其後は温度と共に増加するが初めは緩かに 550°C 以上から急に増加の傾向を示す。且又 400°C の焼戻では W , Mo の添加による衝撃値の變化はないが 500°C 以上から明に減少する。機械的性質に對するこれ等元素の効果が最大なのは 550°C に焼戻した場合で 650°C 附近の完全軟化状態では添加元素の影響は可成弱くなる。従て W , Mo の添加により Ni·Cr 鋼の強化を計る場合にも高瀬氏¹⁾の言はれる如く 550~600°C 前後に於て焼戻すを可とする。 V は 400~500°C 焼戻の際抗張力、延伸率及衝撃値に對する影響は殆ど認められない。550°C 以上に焼戻せば、延伸率には大なる變化はないが衝撃値は V の添加量増大と共に低くなる。これは遊離炭化物の凝集によるものと見られる。尙 V 0.2~0.4% を含むものは 550°C に焼戻した場合硬度が上り延伸率、衝撃値が著しく下る。之は“Abram²⁾の所謂”Temper hardening”で通常の焼戻脆性とやゝ異り永澤氏の“第一焼戻脆性”に類するもので冷却速度の大小に依らない。その原因としては Houdremont, Bennek 及 Schrader³⁾は V -炭化物が α 固溶體から析出すると述べ Abram も亦 α 鐵に過飽和状態で固溶された V_4C_3 が析出するためであると述べてゐる。

今 600°C に焼戻したときの W , Mo , V の影響を數

量的に比較すると本實驗の場合には大體

	W	Mo	V
添加量	1.5% 以下	0.5% 以下	0.2% 以下
抗張力増加 (0.1% 當り) kg/mm^2	1.3	5.4	9.0
延伸率減少 (0.1% 當り) %	0.12	0.34	Nil

となり抗張力に對しては $W: Mo: V=1:4:8$ の比率となる。

次に 160 kg Ni·Cr 鋼に於ても變化の傾向は同様であるが低焼戻温度に於て 0.2% 以上の V が抗張力を低下せしめ延伸率を大ならしめる効果が 86 kg Ni·Cr 鋼に於けるよりも著しい。これは Cr の如き V と共に安定炭化物をつくる元素を多く含むためである。又この場合には W , Mo , V を少量添加すれば延伸率、断面收縮率、シャルピー衝撃値等の靱性を示す數値が大となるが餘り多量に加へても其の効果は大とならず反て脆くなる。結局各單獨に加へるべき量としては Mo は 0.8% 以下、 W は相當含有量にゆとりがあり 2% 以下ならば差支へないと思はれる。 V は前述の如く 0.2% 以下が良い、何れにせよ高價なこれ等元素を必要以上に加へることは無意味であるが又一方規定より多少超過又は不足してもそのために機械的性質に致命的缺陷を與へる様な虞はないと云ふことが出来る。

次に焼戻を高温度で行た場合にも前同様抗張力は増し延伸率は低下するが W , Mo , V の影響は 86 kg Ni·Cr 鋼に比し抗張力の増加が少く延伸率の減少が大である。例へば 600°C に焼戻したときは次の如くなる。

	W	Mo	V
添加量 %	2.0 以下	0.8 以下	0.2 以下
抗張力増加 (0.1% 當り) kg/mm^2	1.0	2.7	9.0
延伸率減少 (0.1% 當り) %	0.13	0.4	2.0

V 18/8 不銹鋼の機械的性質に及す W , Mo , V の影響

18/8 不銹鋼に對する W の影響に就ては J. A. Matthews Houdremont-Ehmcke,⁴⁾ 川上博士⁵⁾等の研究により高炭素 (C 0.25% 以上) の場合には W は 18/8 鋼の常温並に高温強度を大ならしめ、特に比例限を高めることが知られてゐたが低炭素の不銹鋼に關しては別に文献がない様である。

著者は第 7 表の如く C 0.1% の 18/8 鋼に就て W , Mo , V の影響を調べた。即ち前記試験片を 950, 1,000

1,050, 1,100, 1,150°C の各温度に 30 分間保持した後 及第 9 圖~第 11 圖に記す。
 水中急冷を行ひ各試験に供した機械的試験結果を第 8 表

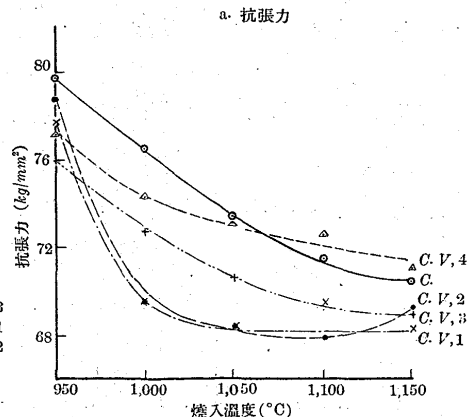
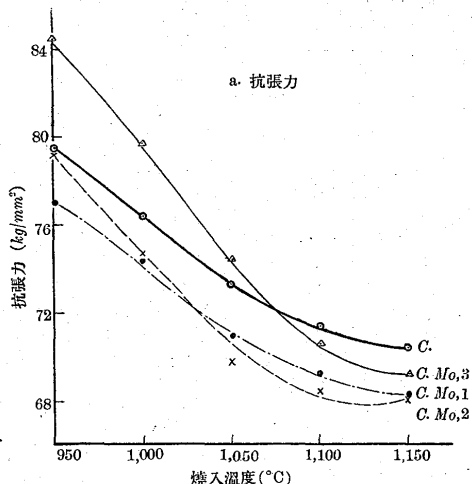
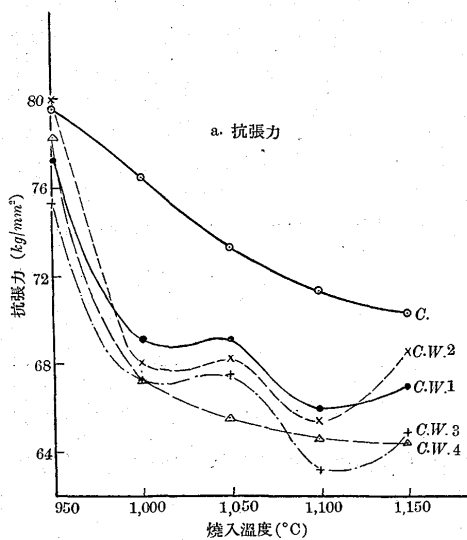
第 7 表 18/8 不銹鋼試料化學成分 (%)

記 號	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	W	Mo	V
C	0.11	0.37	0.47	0.009	0.014	8.41	17.39	—	—	—
C. W. 1	0.10	0.32	0.44	0.012	0.004	8.41	17.52	0.46	—	—
C. W. 2	0.10	0.30	0.55	0.010	0.004	8.21	17.45	0.85	—	—
C. W. 3	0.11	0.25	0.49	0.011	0.003	8.16	17.45	1.73	—	—
C. W. 4	0.12	0.27	2.42	0.011	0.004	8.16	16.53	2.42	—	—
C. Mo. 1	0.11	0.26	0.50	0.014	0.004	8.31	17.52	—	0.51	—
C. Mo. 2	0.10	0.28	0.45	0.010	0.005	8.41	17.10	—	0.88	—
C. Mo. 3	0.10	0.35	0.47	0.020	0.004	7.81	16.37	—	3.89	—
C. V. 1	0.10	0.30	0.49	0.017	0.004	8.26	16.77	—	—	0.19
C. V. 2	0.10	0.34	0.44	0.004	0.004	8.41	16.98	—	—	0.42
C. V. 3	0.10	0.32	0.44	0.004	0.012	8.41	17.05	—	—	0.77
C. V. 4	0.10	0.30	0.60	0.009	0.008	8.36	17.12	—	—	1.13
C. V. 5	0.10	0.38	0.50	0.005	0.009	8.06	16.69	—	—	1.78

第 9 圖 18/8 鋼に及ぶ W の影響

第 10 圖 18/8 鋼に及ぶ Mo の影響

第 11 圖 18/8 鋼に及ぶ V の影響



第8表 18/8 不銹鋼機械的試驗結果

記號	焼入°C	ブリネ ル硬度	抗張力 kg/mm ²	延伸率 %	斷面收 縮率%	シャルピ ー衝擊値 mkg/cm ²	記號	焼入°C	ブリネ ル硬度	抗張力 kg/mm ²	延伸率 %	斷面收 縮率%	シャルピ ー衝擊値 mkg/cm ²
C	950水	181	79.5	43.7	54.5	28.5	C.Mo.2	950水	187	77.0	44.0	61.3	29.0
	1,000〃	174	76.4	48.4	60.1	33.8		1,000〃	174	74.4	47.6	63.3	34.3
	1,050〃	159	73.2	52.9	62.8	破斷不能		1,050〃	170	70.9	51.8	60.0	破斷不能
	1,100〃	159	71.3	55.1	63.6	〃		1,100〃	170	69.2	53.6	60.9	〃
	1,150〃	144	70.3	56.0	67.0	〃		1,150〃	167	68.2	55.5	63.2	〃
C.W.1	950水	179	77.2	43.2	54.4	27.8	C.Mo.3	950水	—	84.4	15.2	49.5	13.0
	1,000〃	170	69.1	55.5	60.9	32.0		1,000〃	201	79.7	38.6	46.0	19.7
	1,050〃	167	69.2	53.7	63.0	34.0		1,050〃	187	74.4	56.6	71.1	22.4
	1,100〃	163	66.0	58.0	61.5	破斷不能		1,100〃	179	70.5	58.0	70.5	切斷不能
	1,150〃	157	67.0	57.8	61.5	〃		1,150〃	163	69.1	58.5	71.8	〃
C.W.2	950水	183	79.9	43.3	56.8	26.4	C.V.1	950水	190	82.8	40.6	59.8	28.1
	1,000〃	174	68.0	54.5	61.5	32.0		1,000〃	170	69.5	54.0	62.4	24.5
	1,050〃	183	68.1	52.5	63.3	破斷不能		1,050〃	163	68.2	57.6	68.0	切斷不能
	1,100〃	159	70.0	55.8	61.5	〃		1,100〃	170	69.3	56.9	65.0	〃
	1,150〃	146	68.5	56.4	64.1	〃		1,150〃	167	68.0	57.8	64.1	〃
C.W.3	950水	179	75.2	45.7	58.4	28.4	C.V.2	950水	179	78.6	46.2	56.6	25.8
	1,000〃	179	67.2	55.4	66.9	29.3		1,000〃	154	69.5	53.7	65.2	切斷不能
	1,050〃	159	67.5	57.0	69.0	破斷不能		1,050〃	156	68.1	54.6	58.7	〃
	1,100〃	156	63.2	62.6	68.4	〃		1,100〃	152	67.6	54.5	57.8	〃
	1,150〃	143	64.9	60.9	69.4	〃		1,150〃	152	69.1	58.0	64.4	〃
C.W.4	950水	179	78.2	42.4	57.3	21.3	C.V.3	950水	163	75.9	47.0	61.0	切斷不能
	1,000〃	179	67.3	56.0	61.6	30.9		1,000〃	167	72.6	54.0	66.6	〃
	1,050〃	163	65.6	61.1	68.6	33.8		1,050〃	156	70.4	56.1	68.2	〃
	1,100〃	156	64.6	61.2	70.5	破斷不能		1,100〃	154	69.5	56.3	67.4	〃
	1,150〃	159	64.5	58.2*	61.2*	〃		1,150〃	149	68.6	55.7	67.5	〃
C.Mo.1	950水	187	79.1	43.2	57.8	30.8	C.V.4	950水	179	77.1	45.6	54.9	28.3
	1,000〃	179	74.6	50.9	65.8	32.6		1,000〃	179	74.2	50.3	62.6	切斷不能
	1,050〃	170	69.7	57.0	67.4	破斷不能		1,050〃	174	72.9	51.8	62.9	〃
	1,100〃	159	68.4	58.4	61.9	〃		1,100〃	170	72.4	53.0	64.2	〃
	1,150〃	145	68.0	57.6	65.8	〃		1,150〃	167	70.8	54.0	64.0	〃

*試片の端部にて切斷す

降伏點はアムスラー試験機にては明確に測定し難かつたので表に記してないが大體抗張力の 45~55% の程度で抗張力の低いものは比率も低く、高いものは比較的高くなつてゐる。又 W, Mo, V の添加により特に降伏點が上るといふ結果は認められなかつたことを付記する。

表及圖に依て知られる如く 18/8 鋼は W, Mo, V の添加に依り始め硬度及抗張力を減じ延伸率及斷面收縮率を増すことがパーライト組織の鋼と異なる點である。即ち W に於ては 1.7% 迄は添加量と共に特に延伸率の増加が目立ち最初 1,100~1,150°C 焼入にて 55% であつたものが約 62% 迄増加してゐる。然るに 2.4% になると最早増加の傾向が認められない。Mo を加へた場合は 0.9% 添加により延伸率は 58% になるが 3.9% になると特に焼入温度低い場合の延伸率が著しく減少する。V に於ては添加量 0.7% 迄は上と同じ傾向を辿るが 1.1% になると再び抗張力は増し延伸率は減少する。要之これ等元素は

Cr と同じく Fe よりも C に對する親和力が強い故 Cr の作用を助けてオーステナイトを安定にする作用のあるためであらう。

但し之等試料を 700 及 750°C に再加熱し 50 時間保持した後顯微鏡にて檢したるに結晶粒境界に炭化物が析出する現象は W, Mo, V を加へたものも別に大なる變異が認められなかつた。

VI 13% Cr 鋼に及す W, Mo, V の影響

13% Cr 不銹鋼試料の化學成分を第 9 表に記す。試験片の熱處理は 950°C に 30 分保持後油焼入し、次で 500, 600, 700, 750, 800 及 850°C に夫々 1 時間保て焼戻した。

機械的試験結果を第 10 表及第 12 圖~第 14 圖に示す。

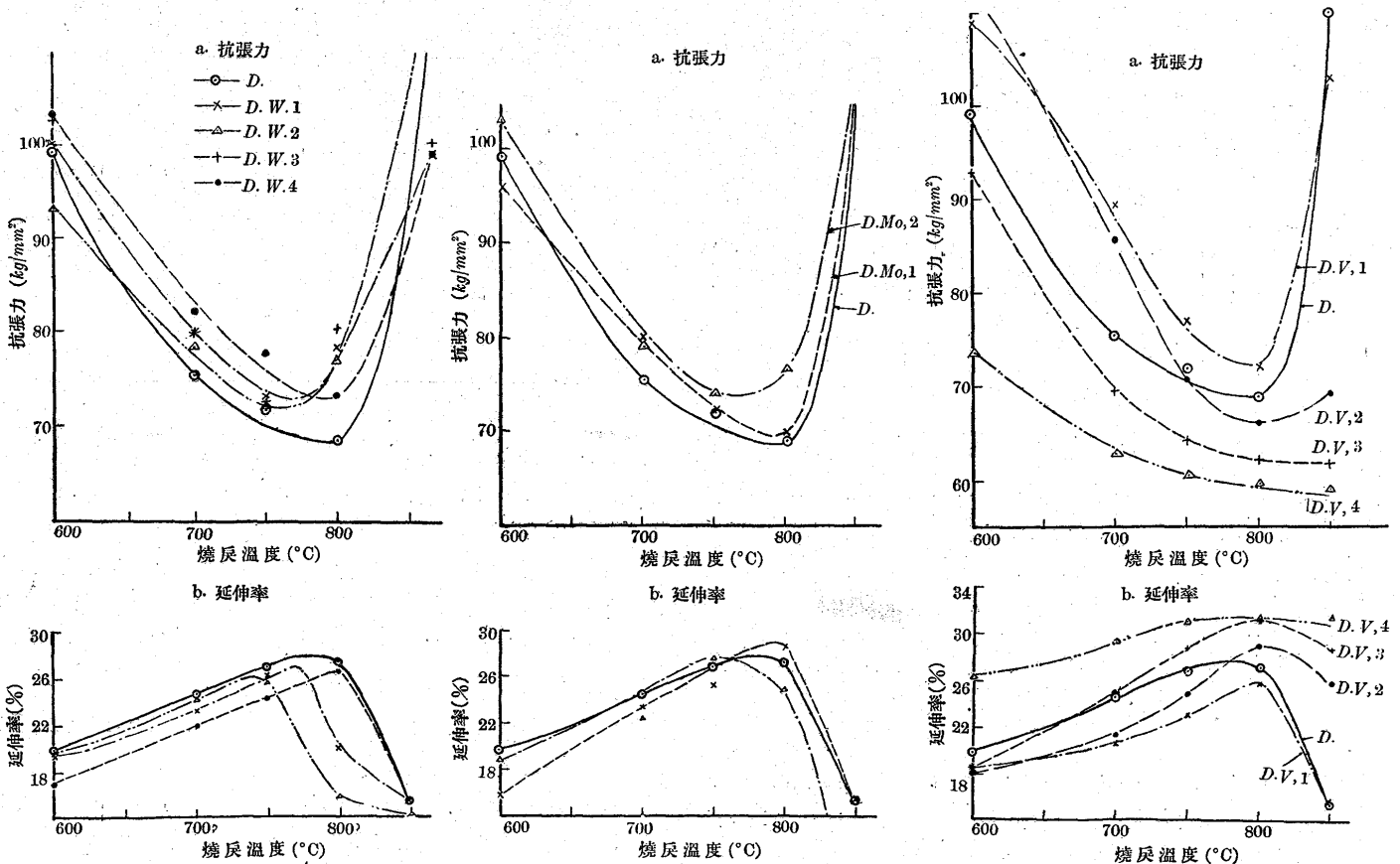
第9表 13% Cr 鋼試料化学成分 (%)

記 號	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	W	Mo	V
D	0.15	0.32	0.45	0.012	0.015	0.61	13.26	—	—	—
D. W. 1	0.16	0.22	0.50	0.017	0.005	0.61	13.47	0.44	—	—
D. W. 2	0.16	0.22	0.50	0.015	0.006	0.62	13.33	0.91	—	—
D. W. 3	0.16	0.22	0.53	0.016	0.005	0.63	13.43	1.30	—	—
D. W. 4	0.12	0.18	0.42	0.012	0.006	0.60	13.09	1.78	—	—
D. Mo. 1	0.15	0.17	0.40	0.010	0.006	0.60	13.10	—	0.52	—
D. Mo. 2	0.15	0.20	0.43	0.013	0.007	0.58	13.47	—	0.97	—
D. V. 1	0.14	0.17	0.50	0.008	0.009	0.64	13.54	—	—	0.19
D. V. 2	0.14	0.15	0.48	0.007	0.013	0.62	13.50	—	—	0.34
D. V. 3	0.14	0.16	0.46	0.015	0.006	0.64	13.43	—	—	0.72
D. V. 4	0.16	0.24	0.51	0.018	0.006	0.61	13.36	—	—	1.00

第12圖 13Cr 鋼に及ぶ W の影響

第13圖 13Cr 鋼に及ぶ Mo の影響

第14圖 13Cr 鋼に及ぶ V の影響



表及圖に明かな如く W は 1.8%, Mo は 1.0% 以下の添加量では機械的性質は殆ど變化なく、只多少抗張力が増し延伸率其他が減少する。シャルピー衝撃値も殆ど變化が認められない。V は 0.2% 前後では W, Mo と同様で

あるが 0.3% 以上になると抗張力、硬度は下り延伸率、断面収縮率、シャルピー衝撃値等は反対に増大する。之は強靱 Ni-Cr 鋼の場合と同じく V の炭化物生成に基くものであらう。

第 10 表 13% Cr 鋼 機械的性質

記 號	焼戻温 度 °C	ブリネ ル硬度	降伏點 kg/ mm ²	抗張力 kg/ mm ²	延伸率 %	断面收 縮率%	シャル ピー衝 撃値 mkg/cm ²	記 號	焼戻温 度 °C	ブリネ ル硬度	降伏點 kg/ mm ²	抗張力 kg/ mm ²	延伸率 %	断面收 縮率%	シャル ピー衝 撃値 mkg/cm ²	
D	500	415	—	144.4	15.3	47.1	2.9	D.Mo.2	500	415	—	141.5	16.4	53.1	2.2	
	600	302	90.7	99.2	19.8	54.1	7.0		600	235	—	103.1	18.8	60.6	14.3	
	700	220	62.7	75.2	25.7	65.9	19.7		700	229	64.1	79.0	21.5	54.0	16.8	
	750	220	57.6	71.9	26.8	68.7	22.6		750	226	58.4	74.0	27.5	68.8	22.1	
	800	199	53.2	68.8	27.2	69.3	—		800	215	—	76.5	25.0	65.9	18.3	
	850	331	—	112.3	15.3	41.2	8.0		850	321	—	105.2	10.8	30.3	—	
D.W.2	500	401	—	141.4	15.5	46.5	2.9	D.V.1	500	415	—	143.5	13.0	35.2	4.4	
	600	285	—	100.1	19.5	59.8	9.2		600	331	—	108.7	18.4	55.0	9.7	
	700	240	71.4	80.2	23.1	64.4	19.7		700	259	—	89.3	20.6	63.2	—	
	750	217	—	73.2	26.2	67.2	22.9		750	210	—	76.8	23.0	61.5	21.2	
	800	215	—	78.5	20.2	63.3	11.1		800	210	—	74.5	25.8	75.1	22.9	
	850	265	—	98.8	15.5	55.0	—		850	302	—	102.6	15.6	57.0	13.2	
D.W.1	500	415	—	144.5	16.5	50.2	7.0	D.V.2	500	375	—	129.3	16.5	50.0	—	
	600	306	—	93.3	19.6	61.0	11.9		600	302	—	103.5	17.5	54.2	8.8	
	700	241	—	78.5	24.1	64.9	18.5		700	241	77.7	85.5	21.3	59.2	16.7	
	750	217	57.6	72.1	25.6	63.7	20.8		750	220	57.6	70.6	24.8	65.4	24.5	
	800	212	—	77.1	15.7	61.6	14.6		800	204	—	66.1	29.0	70.2	23.3	
	850	363	—	114.6	14.1	39.6	8.3		850	210	—	69.2	25.8	64.1	17.6	
D.W.3	500	420	—	141.9	15.7	50.6	5.1	D.V.3	500	302	—	106.6	17.0	50.1	8.0	
	600	321	—	105.1	16.9	51.1	11.2		600	285	—	92.9	18.3	58.7	15.7	
	700	245	—	80.1	21.8	90.5	20.3		700	217	—	69.5	24.9	62.3	20.2	
	750	229	60.2	75.3	26.5	65.1	21.9		750	195	48.0	64.2	28.7	66.6	21.5	
	800	217	—	80.4	20.5	62.8	14.6		800	181	45.4	62.2	31.2	67.8	29.8	
	850	293	—	100.2	16.5	56.0	8.5		850	195	—	61.9	28.7	67.0	25.9	
D.W.4	500	415	—	144.1	15.3	47.6	1.5	D.V.4	500	289	70.6	87.7	22.2	54.6	10.7	
	600	290	—	103.4	17.0	55.0	11.4		600	209	—	71.8	26.2	64.6	13.7	
	700	241	68.0	82.3	21.8	59.7	14.6		700	204	—	62.8	29.3	66.2	19.4	
	750	235	63.6	77.9	24.1	63.6	20.3		750	187	43.4	60.6	31.0	67.4	28.7	
	800	223	57.1	73.4	26.4	66.6	17.0		800	—	—	59.7	31.4	68.2	24.8	
	850	321	—	99.3	15.4	54.6	8.3		850	167	38.9	57.1	31.6	63.2	27.0	
D.Mo.1	500	429	—	145.1	15.8	51.6	4.1									
	600	331	—	96.0	17.9	57.8	9.7									
	700	235	66.0	79.9	23.5	65.4	17.7									
	750	221	57.0	72.2	25.2	66.9	22.2									
	800	207	53.2	69.7	28.4	67.0	16.8									
	850	363	—	107.3	15.4	47.7	8.0									

VII 結 論

鹽基性弧光式電氣爐で雲伯砂鐵系材料を用ひ一度入念精鍊した各種鋼材を原料として 35 kVA 高周波電氣爐で再熔解し之に W, Mo, V を各單獨に配合して 8kg 鋼塊をつくり鍛冶、壓延して試験片を採り。物理的性質——變態點、ブリネル硬度、抗張力、降伏點、延伸率、断面收縮率及シャルピー衝擊値——に及すこれ等元素の影響を調査した。

(1) 86 kg 及 160 kg Ni·Cr 鋼の冷却變態點降下に及す影響は Mo 最も大で W 之に次ぎ V は場合に依り却て臨界冷却速度を大ならしめる。

(2) 86 kg Ni·Cr 鋼の機械的性質に對しては焼戻温度の低い場合にはこれ等元素の影響は著しくないが、400°C 以上になると次第に顯著になり。600°C に焼戻した際には V (0.2%以下) の作用最も強く Mo (0.5%以下) これに次ぎ W (1.5%以下) は最も弱い、然し V は稍多く含有されると却て強度を減ぜしむる作用がある。

(3) 160 kg Ni·Cr 鋼に對しては W, Mo, V は 200

°C の焼戻に於ける抗張力には別段影響は認められないが延伸率、断面收縮率、シャルピー衝擊値等を幾分大ならしめる。その適量は W 2.0% 以下、Mo 0.8% 以下、V 0.2% 以下である。

(4) V を 0.2~0.4% 含有する Ni·Cr 鋼は 550°C 附近に焼戻すと硬度が上り、延伸率、断面收縮率、衝擊値等が減少して “Temper hardening” の現象を起す。

(5) 18/8 不銹鋼に W, Mo, V を添加すると靱性を大ならしめる作用がある。

(6) 13% Cr 不銹鋼に對する W, Mo, V の影響は Ni, Cr 鋼の場合に似てゐるが夫よりも微弱である。

参考文献

- 1) 高瀬孝次 鐵と鋼 第 22 年 2 號
- 2) Abram Journal of the Iron & Steel Inst. 1934 No. II 及 1936 No. II.
- 3) H. Houdremont, H. Bennek & H. Schrade Archiv für das Eisenhüttenwesen 1932~33 Vol 6.
- 4) H. Houdremont & Ehmcke (ibid) 1929 30 Vol 3
- 5) 川上義弘 鐵と鋼 第 14 年 10 號~11 號