

本実験を行ふに當り工學士鈴木俊夫、平沼吳兩君の援助を受けた。記して謝意を表する次第である。

文 獻

- 1) Matoba, S. u. T. Unotoro: 鐵と鋼 28 (1942) 651
- 2) Shibata, Z.: 金屬の研究 4 (1927) 40
- 3) Sano, K.: 金屬の研究 12 (1935) 548
- 4) Sano, K.: 金屬の研究 13 (1936) 425
- 5) McCance, A.: Iron & Steel Inst. Sp. Rep. 22 (1938) 331
- 6) Herty, C. H. u. J. M. Gaines: T. A. I. M. M. E. 75 (1927) 434

- 7) Herty, C. H. u. J. M. Gaines: Bl. F. & St. Pl. 15 (1927) 467
- 8) Schenck, H. u. A. T. Tiefenthal: Phys. Chem. Eisenh. I 280
- 9) Schenck, H. u. E. Söhnchen: Phys. Chem. Eisenh. I 281
- 10) Wentrup, H.: Iron & Steel Inst. Carn. Sch. 24 (1935) 103
- 11) Wentrup, H.: Arch. Eisenh. 9 (1936) 535
- 12) Meyer, O. u. F. Schulte: Arch. Eisenh. 8 (1934) 187
- 13) Vogel, R. u. H. Baur: Arch. Eisenh. 6 (1933) 495
- 14) Sato, T.: 鐵と鋼 20 (1934) 155

鋼材節減を目的とする高力鋼の研究

(日本鐵鋼協會昭和 18 年度第 3 回月例講演會講演 昭 18.7.於東京)

藤 原 唯 義*

STUDY OF HIGH STRENGTH STEEL IN VIEW OF SAVING STEEL MATERIAL

Tadayosi Huziwara

SYNOPSIS:—Increase of the iron and steel production is to-day cried out everywhere and a number of researches are carried on answering thereto. However, a study of saving steel material, which has the meaning equal to the production increase, has not satisfactorily performed. The author has continued the fundamental research relating thereto for the past few years, of which the summary is as follows:

For saving steel material it is best to make and utilize a high strength steel and to economize the consumption of the steel material specified by the current municipal building restrictions. The so-called high strength steel does not necessarily mean a high tensile steel, but a material of high yield point and high yield ratio. Following the author's cooperative research with some architect, it was understood that doubling the yield point of steel might save half the consumption of the material. Favorable elements for enhancing the yield point are Si, Cu, P, Ni, etc. However, considering from the viewpoint of their combinations and their resources, Mn and Cr have some prevalence. As the most promising high strength steel at the present the author preferred to mention of Cu-Ni and Mn-P steel. Copper-bearing steel with 0.8~1.0% Cu reveals remarkable superiority in yield point and yield ratio, deserving the name of high strength steel. However, it is liable to suffer cracks in high temperature working, and needs to and about 0.3% Ni for the prevention. Resources of copper may be found in pyrite cinder, and that of nickel in nickel-senpentines from Oyeyama in Tamba, Oh-sima in Wakasa, Ohmiya in Nagano, etc. Utilizing the aforementioned domestic resources favorably steels containing 0.8~1.0% Cu and 0.3% Ni easily might be produced and saving of 60~70% as much as the heretofore structural steel consumption would be actually possible.

今日非常に鐵鋼の増産が叫ばれてをつて、1t の鐵鋼でも餘計に増産して行かなければならぬといふことは、私共耳に肝脈の出来る程聞かされてゐるところであります。一方、鋼材をどうしたら節減出来るか、つまり 1t 使ふところを何とかして 800kg とか 700kg で間に合はすことが出来ないものかといふことは、勿論考へてをられる方もありませうが、まだまだ一般にはあまり考へてをられないやうであります。そこで私は何かの御参考になればと思つて實は今晚「鋼材節減を目的とする高力鋼の研究について」と題して私共の研究に基き些かお話申上げる次第であります。この問題は私共の會社の白石前社長が、何とかして日本的鋼を造れ、我國の鐵で非常に役立つものを造れ、かういふやうなことを 7,8 年前に申され、當時の研究部長であつた今泉博士からも、一つ是非お前達でこれをやれといふやうな話がありました。當時私

共は、それは要するに抗張力の高い鋼を造ればよいんだ、そして抗張力の高い鋼も、なるべく廉いものを使つてやれば良いのだといふ風に簡単に考へて、その方の試験を相當進めた譯であります。

ところが、その後いろいろ實際に當つて見ると、かういふことは冶金の方面の人だけのやる問題ではなく、實際いくら冶金の方面の人が抗張力の高いものを造つても、實際使ふ人、例へば建築家等が使はなければなんにもならない。どうしてもこれは建築方面の人とのコンビで研究して行かなければならぬと氣が付いたので、そこでつい最近になつてその方面の人とも連絡するやうにした次第であります。何故さういふ必要があるかといふことを申上げたいと思ひます。

既に皆様御承知のことと思ひますが、日本の市街建築法に規定する、建築用の鋼材は大體低炭素鋼でありまして、従來は許容應力が 12kg/mm² となつてをつたのですが、最近この許容應力も

* 日本鐵鋼協會技術研究部

う少し上げてもらいといふことで、 14kg/mm^2 に規則が變つたのであります。ところで許容應力とはどんなことか、實は私共も初め知らなかつたのですが、それは次の通りであります。

大體低炭素鋼の建築用鋼材としてはどういふことが必要かといふことから考へなければならぬのであります。こゝに假に橋なら橋があるとして、これに或る荷重がかゝつたとします。そして、つとつと荷重が増して所謂降伏點を超えたとしますと永久變形を起します。更にもつと荷重を増しますと遂にそれが折れる。私共が今まで考へてをつたのは、つとつと曲げて最後に折れる時にどの位荷重がかゝるか、その時に最も荷重の餘計かゝるやうな材料を得る事でありました。ところが、建築の方面から考へますと、さうではなく鋼材に或る力を加へて永久變形を起すとその時は既にその材料は使へなくなる。だから結局建築家の方から言へば、抗張力はどうでもいゝが、降伏點の高いことが必要であることを要求してゐる譯なのです。

そこで先程の許容應力の問題でありますが、普通の低炭素鋼は 23kg/mm^2 位のものが使はれてをり、その安全率が 1.9 と取つてあります。本來ならば 23kg/mm^2 のものであれば實際それだけの荷重をかけ得る譯なのであります。鋼には必ず何等かの缺陷或は故障といふものがありますから、どうしても安全率を考へる必要があります。そこでその安全率を 1.9 とすれば 23kg/mm^2 のものの許容應力は、それを 1.9 で割つた 12kg/mm^2 といふことになります。

併し、最近日本の鋼材も非常によく来て、大分信用も出来て来たので、その 1.9 の安全率を 1.7 に直しました。それで 23kg/mm^2 を 1.7 で割ると 14kg/mm^2 となります。要するに鋼材がよくなれば安全率は相當下げ得る譯であります。少くとも現

今は 1.7 といふ安全率が採用されてをる次第であります。

尙建築法には鋼材の降伏點が 35kg/mm^2 以上になる場合にはその許容應力はもつともつと上げ得ると決められてをります。これは要するに降伏點の高い材料が出来て来るならば、その許容應力は 14kg/mm^2 でなく、もつと高い、例へば 20kg/mm^2 といふやうな許容應力のものになし得ると云ふことであります。

さうなれば、結局材料の節約が出来るとあります。假に從來の 12kg/mm^2 が 20kg/mm^2 となつた場合には荷重に耐へ得る力が約 2 倍になるのであつて、つまり半分の材料で間に合ふといふことが、その方から言ひ得る譯であります。かういふ見地から、私共は降伏點の高い材料を造るといふ事を研究題目にきめた次第であります。

ところが、降伏點ばかり高くてもまだこゝに感心しないことがあります。色々の機械加工などの場合に、抗張力が餘り高いと困ります。それから降伏點に比較して抗張力の高いのは伸が低い。ですから降伏點がなるべく高く抗張力のなるべく低いものが欲しいのであります。

そのためには降伏點を抗張力で割つた、降伏比の高い材料を必要とする事になり、結局今こゝに研究を要すべき問題は、降伏點の高いのと同時に降伏比の高い材料を得ることです。つまり降伏比の高い材料を私共は今望んでをり、これに依つて鋼材の節減を計らうと云ふのであります。

そこで私は降伏點と降伏比の高い材料を特に高力鋼と呼稱する事に致しました。これからその高力鋼の研究の経過をお話申し上げます。

第 1 表 各國に於ける低合金高力鋼の化學成分と機械的性質 その 1

國別	鋼種	化 學 成 分									降伏點 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	降伏比 %	伸 %
		C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo				
獨	Si 鋼	0.1-0.2	0.8-1.2	0.7-0.9	—	—	0.25	—	—	—	36<	50-62	72	20<
	Union Baustahl	0.12-0.18	0.25-0.50	0.7-0.9	—	—	0.5-0.8	—	0.4-0.6	—	—	—	—	—
	Krupp	0.12-0.20	0.3-0.6	1.2-1.6	—	—	0.3-0.6	—	—	—	36<	52-62	69.2	20<
	Maurer Lauchhammer	<0.20	0.5-0.8	0.6-1.0	—	—	0.5-1.0	—	—	—	33-36	52-62	63.5	20
	Gute Hoffnungs Hütte St. 52	0.1-0.2	0.1-0.5	1.0-1.5	—	—	0.3-0.6	—	—	0.1-0.25	—	—	—	—
米	S.A.E. 2115	0.1-0.2	—	0.3-0.6	<0.055	<0.055	—	1.25-1.75	—	—	>31.6	>45.7	69	28
	S.A.E. 3130	0.25-0.35	—	0.5-0.8	"	"	0.5-0.75	1.0-1.5	—	—	45.7	66.8	68.5	25
	Cromansil	<0.14	0.6-0.9	1.1-1.4	"	"	0.4-0.6	—	—	—	35.2	56.3	62.5	18
	C-Mo	0.13-0.25	0.15-0.3	0.5-0.9	"	"	—	—	—	0.4-0.6	29.5-40	50.6-55.5	58.2	20
	Mn-Mo	0.15-0.3	0.2-0.5	1.2-1.75	"	"	—	—	0.8-1.1	0.15-0.25	35.2	52.7	67	—
	Corten	<0.12	0.25-1.0	0.1-0.5	0.07-0.2	<0.055	0.3-0.5	<0.55	0.5-1.5	—	>35.2	>49.2	71.5	22
	Manten	<0.3	<0.3	1.1-1.6	<0.4	<0.4	>0.2	—	—	—	>35.2	>52.7	67	>20
	Yoloy	0.05-0.35	<0.2	0.3-1.0	<0.55	<0.55	0.85-1.1	1.5-2.0	—	—	37.3-59.8	47.8-73.8	78	26
	R. D. S. 1	<0.12	—	0.5-1.0	<0.04	<0.04	0.5-1.5	0.5-1.25	—	>0.1	>38.7	>49.2	79	25
	R. D. S. 1A	<0.30	—	0.5-1.0	<0.04	<0.04	0.5-1.5	0.5-1.25	—	>0.1	>49.2	>63.3	78	15
	Hi Steel	<0.12	<0.3	0.5-0.7	0.1-0.15	<0.05	0.9-1.25	0.45-0.65	—	—	>38.7	>49.2	79	>20
	Armco High Tensile	<0.12	<0.10	>0.20	0.05-0.15	<0.055	>0.35	>0.5	—	>0.05	>35.2	45.7-52.7	77	>25
	Jalten	<0.35	<0.30	1.25-1.75	0.04	<0.05	<0.40	—	—	—	>35.2	>56.3	62.5	>20

第1表 各國に於ける低合金高力鋼の化學成分と機械的性質 その2

國別	鋼種	化學成分								降伏點 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	降伏 比%	伸 %	
		C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr					Mo
米	Mayari R	< 0.12	0.05-0.5	0.5-1.0	0.08-0.12	< 0.05	0.50-0.70	0.25-0.75	0.2-1.0	—	> 35.2	> 49.2	71.5	> 22
	A. W. Dyn El	0.11-0.14	—	0.50-0.80	0.06-0.10	0.35-0.55	0.30-0.50	—	—	—	36.6-42.3	47.8-54.8	74.5	> 25
	N.A.X. High Tensile	0.10-0.18	0.65-0.90	0.60-0.75	< 0.04	< 0.04	< 0.25	0.1-0.25	0.50-0.65	< 0.15	35.2-45.7	49.2-58.8	71.5	> 32
	Lukens Ni-steel	< 0.25	0.15-0.30	< 0.80	< 0.035	< 0.04	—	2.0-2.75	—	—	25.1-33.6	45.7-61.2	55	25
	Lukens C-Mo	< 0.28	0.15-0.30	< 0.80	< 0.035	< 0.04	—	—	—	0.4-0.6	25.1-33.6	45.7-61.2	55	25
	Lukens Cr-Mn	0.35-0.45	0.15-0.40	0.80-1.0	0.05	< 0.05	—	—	0.30-0.50	—	34.8	> 63.8	54.5	18
	Lukens Cr-Cu-Ni	< 0.12	0.15-0.25	0.65-0.85	0.035-0.055	0.035-0.055	0.45-0.65	< 0.75	0.65-0.85	—	25.1	> 47.7	52.5	25
	Lukens Mn-Mo	< 0.25	< 0.25	< 1.65	0.05	< 0.06	—	—	—	< 0.7	42.2-52.7	59.8-66.8	70.5	25
	Otiscoloy	< 0.12	< 0.10	1.0-1.35	0.10-0.14	0.035-0.055	< 0.50	< 0.10	< 0.10	—	35.2-49.2	49.2-59.8	71.5	33
英	Admiralty	0.33	0.15	1.30	—	—	—	—	—	—	—	59-68	—	17
	Chromador	0.22	0.10	0.80	—	—	0.30	—	0.90	—	36	58-68	62	17
	Ducol	0.21	0.16	1.58	—	—	0.35	—	—	—	39	60	65	19
	Andrew Swarnp	0.17	0.16	0.54	0.159	—	—	0.54	0.44	(Al) 0.2	41	59	69.5	17.5
佛	Ac 54	0.18-0.22	0.2-0.4	0.5-0.7	—	—	0.3-0.6	—	0.3-0.5	—	36	54-64	66.6	20
	Ac 50	0.10	0.2	0.5	—	—	0.5	—	0.5	—	30	50-57	60	22
日本(規格)	デー鋼 第1種	0.25>	0.5>	0.8<	—	—	—	—	—	—	31<	48-58	64.5	18<
	〃 第2種	0.35>	0.5>	1.0<	—	—	—	—	—	—	38<	58-68	65.5	18<
	〃 第3種	0.18-0.32	—	1.10-1.70	—	—	—	—	—	—	39<	60-66	65	20<

この研究を始めるに當りまして、先づ外國ではどうであるかといふことを一通り調べて見ました。それは第1表に掲げたやうなものでありまして、ドイツ、アメリカ、イギリス、フランス等には随分多種雑多なものがあります。これを一々解説しませんが、これだけのものを拾つて色々の成分を検討して見ますと、大體に於て何處の國でも、過去の歴史は兎も角として、結局今日は、出来るだけ廉いものを使つて高力鋼を造る。その廉いものはどんなものかといふと、主として珪素、マンガン、銅、クロムといふやうなものであります。但しアメリカは、ニッケルが非常に手に入

り易いので、ニッケルが相當使はれてをり、これは注目すべきことであります。それからアメリカで磷を使つてゐるといふことも非常に面白いことであります。これは私共が實驗した試料の中にも入つてをります。英國でアルミニウムを使つてゐるのがあります。然し大體に於て珪素、マンガン、銅、クロム、それに磷等を使つたものが外國の文獻に相當現はれてゐる様に思はれます。

それで、私共實は色々な材料を造つて試験して見た譯ですが、試験方法として先づ一つの基礎材料を造りまして、ニッケルとか珪素、マンガン、銅、クロムといふものを適當に配合し、更にそ

第2表 試作試料の化學成分と機械的性質 その1

符號	化學成分								燒準狀態				燒鈍狀態			
	C	Si	Mn	S	P	Cu	Cr	降伏點 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸 %	降伏比 %	降伏點 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸 %	降伏比 %	
Cr	1	0.26	0.71	0.55	0.022	0.018	0.46	—	41.4	59.4	23.7	69.7	38.2	54.9	24.6	69.6
	2	0.26	0.72	0.55	0.022	0.015	0.46	0.61	44.1	64.6	22.8	68.3	39.3	59.9	23.6	65.6
	3	0.25	0.71	0.54	0.022	0.016	0.47	1.17	41.0	63.2	23.0	64.9	37.4	60.6	23.5	61.7
	4	0.27	0.73	0.55	0.021	0.016	0.49	1.71	45.5	74.3	20.4	61.2	38.2	65.8	20.3	58.1
C	1	0.15	0.70	0.49	0.016	0.027	0.45	0.85	39.8	55.0	28.5	72.4	34.4	52.4	26.7	65.6
	2	0.20	0.72	0.52	0.017	0.029	0.44	0.84	40.0	61.0	23.9	65.6	39.3	57.0	25.3	68.9
	3	0.32	0.72	0.56	0.021	0.029	0.44	0.86	45.5	72.5	21.8	62.8	40.3	65.3	22.6	61.7
Mn	1	0.16	0.50	0.27	0.023	0.026	0.44	0.77	36.1	50.9	35.0	66.9	33.1	50.1	36.4	66.1
	2	0.16	0.54	0.58	0.022	0.026	0.44	0.75	38.7	56.1	34.1	68.8	34.6	53.7	34.0	64.4
	3	0.17	0.57	0.92	0.025	0.028	0.44	0.82	42.9	60.1	35.4	69.7	36.9	56.4	34.5	65.4
	4	0.17	0.60	1.24	0.026	0.027	0.45	0.85	40.3	64.8	28.4	58.9	38.3	61.3	30.4	62.5
	5	0.19	0.60	1.63	0.026	0.035	0.46	0.80	59.0	92.9	15.0	52.7	40.9	63.9	30.8	64.0

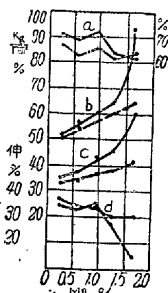
第2表 試作試料の化学成分と機械的性質 その2

符 號		化 學 成 分								焼 準 状 態				焼 鈍 状 態			
		C	Si	Mn	S	P	Cu	Cr	Ni	降伏點 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸 %	降伏比 %	降伏點 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸 %	降伏比 %
Ni	1	0.16	0.25	0.5	0.022	0.025	0.88	0.60	-	33.3	53.0	36.6	63.0	36.1	53.3	35.0	66.5
	2	0.17	0.32	0.87	0.019	0.023	0.88	0.60	0.31	36.9	58.0	32.7	63.6	38.1	55.9	35.0	68.0
	3	0.17	0.25	0.86	0.019	0.025	0.88	0.61	0.54	41.4	60.1	30.0	69.0	38.4	56.2	34.5	68.5
Si	1	0.25	0.43	0.45	-	-	0.52	0.80	-	38.3	61.1	23.5	62.5	37.2	58.6	24.4	63.5
	2	0.24	0.75	0.49	-	-	0.50	0.78	-	43.3	65.3	24.8	66.5	41.5	63.0	24.8	66.0
	3	0.26	1.13	0.62	-	-	0.45	0.75	-	48.4	69.5	25.5	69.5	44.1	66.1	24.1	66.7
	4	0.26	1.42	0.57	-	-	0.47	0.77	-	47.4	70.0	23.1	67.8	44.8	67.4	23.5	66.0
Cu	1	0.14	0.15	0.51	0.019	0.040	-	-	-	29.7	45.2	41.6	65.7	-	-	-	-
	2	0.14	0.23	0.50	0.018	0.039	0.39	-	-	30.1	46.0	41.9	65.5	-	-	-	-
	3	0.16	0.18	0.55	0.019	0.039	0.81	-	-	34.4	49.6	36.7	69.5	-	-	-	-
	4	0.15	0.15	0.52	0.019	0.038	1.09	-	-	36.1	50.9	36.3	71.0	-	-	-	-
P *	1	0.05	0.08	0.48	0.035	0.063	-	-	-	28.2	42.2	31.0	67	-	-	-	-
	2	0.05	0.08	0.49	0.033	0.070	-	-	-	30.0	45.4	31.4	70	-	-	-	-
	3	0.05	0.08	0.48	0.035	0.079	-	-	-	31.4	44.6	30.4	71	-	-	-	-
	4	0.06	0.09	0.52	0.035	0.111	-	-	-	31.7	44.8	32.2	74	-	-	-	-

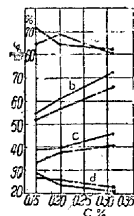
* トーマス鋼

の中に、特に炭素の影響を見る場合には他の成分を大體一定にして置いて、炭素を 0.15, 0.20, 0.32% と増し、又クロムの影響を見る場合にはクロムを 0.61-1.17-1.71% といふ風に(第2表参照)漸次増加して、その影響を見ました。

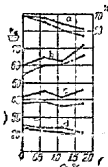
ところが、第1~4圖に現れて来るやうに、炭素が段々増すに従つて降伏比が下るといふ影響があります。それからクロムも



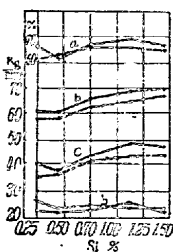
第4圖 Mn の機械的性質に及ぼす影響
 焼準状態 焼鈍状態
 a: 降伏比 b: 抗張力
 c: 降伏點 d: 伸
 C 0.17 Si 0.5~0.6
 Cu 0.45 Cr 0.80



第1圖 C の機械的性質に及ぼす影響
 焼準状態 焼鈍状態
 a: 降伏比 b: 抗張力
 c: 降伏點 d: 伸
 Si 0.70 Cu 0.46 Cr 0.85

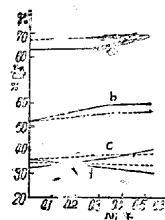


第2圖 Cr の機械的性質に及ぼす影響
 焼準状態 焼鈍状態
 a: 降伏比 b: 抗張力
 c: 降伏點 d: 伸
 C 0.26 Si 0.70 Cu 0.46

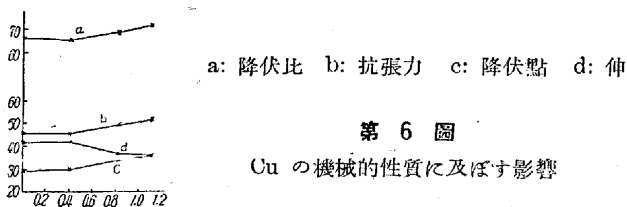


第3圖 Si の機械的性質に及ぼす影響
 焼準状態 焼鈍状態
 a: 降伏比 b: 抗張力
 c: 降伏點 d: 伸
 C 0.24~0.26 Cu 0.45~0.50
 Cr 0.75~0.80

増加するに従つて降伏比は下ります。ところが珪素が増すにつれて降伏比は上ります。マンガンは反對に増すに従つて降伏比は下

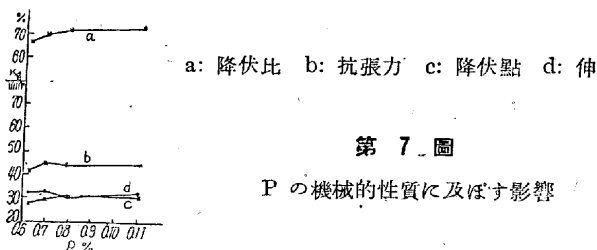


第5圖 Ni の機械的性質に及ぼす影響
 焼準状態 焼鈍状態
 a: 降伏比 b: 抗張力
 c: 降伏點 d: 伸



第 6 圖

Cu の機械的性質に及ぼす影響



第 7 圖

P の機械的性質に及ぼす影響

かう考へて見ますと、これだけの圖面を見ただけで、降伏比を上げる力のあるものは大體珪素、ニッケル、銅、磷である。これは何れも高力鋼を作る目的に對してはいいものであると言へます。

結局、以上の研究の結果、私共はこれらを適當に配合して高力鋼を試作し、これを直径 10mm のコンクリートバーに壓延したのであります。さうしてその試作品について研究するため、先程申しましたやうに、建築方面の人にその材料を渡して、實際コンクリートの中にそれを入れて實地に即した試験をして貰ひました。これは工業大學の建築科の三見教授にやつて貰つたのであります。實はこの材料として1號と2號といふものを試験して貰ひました。3號といふのは從來の普通のものです。

第3表に就いてちよつと御説明申上げたいのは、1號の試料は珪素、マンガンが高い特徴をもつた、現に私共の方でドリルパイプの材料に使つてゐる所の比較的高力なものであります。2號の

第 3 表 高力鋼のコンクリート試験

試料番號	試料化學成分							
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu
1	0.26	0.46	1.15	0.011	0.029	—	—	—
2	0.23	0.51	0.67	0.014	0.034	0.39	0.58	0.43
3	0.18	0.18	0.59	0.019	0.018	—	—	—

抗張試験成績

試料番號	處理	直径	標點距離	降伏點	抗張力	伸	降伏比
1	壓延の儘	10.7	80	56.9	67.4	25.2	85
2	"	10.7	80	66.5	74.1	24.0	90
3	"	10.7	80	42.0	55.0	55.0	76

降伏時變形及相當應力

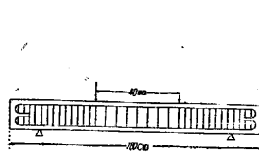
番 號	變形度	應力度 kg/mm ²
1	2.4	48
2	2.3	46
3	1.2	24

方は、先程の研究の結果に基づき、珪素を高くし、マンガンは普通にして、ニッケル、クロム、銅等を適當に配合したものであります。一寸申上げて置きますが、クロムではあまり降伏比は上りませぬけれども(第2圖参照)大東亞共榮圈の中に相當大量に埋藏されてをりますし、又降伏點は相當上るものですから、これを入

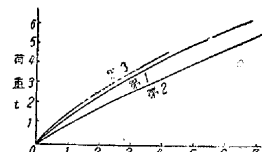
れたのです。兎に角かういふものを作つて、これが實際從來のバーに比べてどれ程優るか、果して材料節減といふことが出来るかどうかを試験した譯であります。

その前に、材料試験の結果に就て申しますならば、第3表にありますやうに、降伏點は1號が 56.9, 2號が 66.5 で、非常によかつたといへます。

この試料を使つて、實際にコンクリートの中に入れて試験しました。即ち第8圖のやうなものを造つて、これにコンクリートを



第 8 圖 試験體配筋圖



第 9 圖 梁中央撓み一荷重曲線

入れて荷重を加へて試験をしたのであります。その時の試験の結果が第9圖でありまして、横が撓み、縦が荷重を示します。そして徐々に荷重を加へて行きますと3號の試料は4の邊で折れてしまふ。つまりコンクリートがぐしやつとなつてしまひます。ですから、コンクリートに入れた場合に、從來のものだと、4なら4といふ荷重の時に駄目になります。ところがこの強い方の試料を使ふと5~6といふやうな荷重になつても尙耐へることが、この實驗から判つた次第であります。即ち高力な材料を使へば許容應力を高め得ることが證明された譯であります。さういふ報告を實際の建築家から貰ひました。それで私共もこれは確かに降伏比の高い材料を造れば材料の節減はそれに比例して出来るものであると云ふことを知つたのであります。

先程の話に戻りますが、要するに降伏點が 35kg とか 40kg といふものを造れば、從來のものを 23kg と假定すれば、今迄 1t の鋼材を使つてをつたものが 700kg とか 600kg 使へば足りるのであります。さういふ家を造つても危くないと言ひ得るのであります。

以上で大體私共の研究の目的は達成せられ一段落した譯であります。今晚特に私の申上げたいことは、この高力鋼に對する原料のことです。先程も申しましたやうに、珪素、マンガン、磷、クロムといふものを使ふのは非常に良いことでありますが、こゝに特に注目して戴き度いのは銅であります。銅が非常に高力鋼に對して面白い性質を現はしてゐるといふことを特に申上げたいのであります。

これを第4表で御覽に入れますが、實は私共の方でこの目的のために含銅鋼の試験をした譯ではなく、銅がどの程度ニッケルの代用になるかを研究してゐたところ、その研究のデータが高力鋼の方のデータに合致して來たのであります。

第4表にありますやうに、他のものは大體一定にして置いて、銅を 0.3% から 0.5, 0.8, 1.0% と段々増して行きますと、燒準状態に於ける降伏點が非常によく上つて來ます。尙面白いことは、これに熱處理を加へると一層降伏點が上ります。こゝに熱處理といふのは析出硬化處理のことでありまして 500°C の溫度で 4h 置つか、520°C に 2h 置つかであります。第4表に示す如く非常に良く

第4表 Cu-鋼 Ni-Cu-鋼の機械的性質

	C	Mn	Si	S	P	Cu	Ni	燒準 870°	析出硬化 500°×4h	析出硬化 550°×2h
1	0.14	0.50	0.23	0.018	0.039	0.39	—	30.1	29.0	27.6
2	0.16	0.53	0.11	0.019	0.038	0.58	—	30.9	31.4	29.3
3	0.16	0.55	0.18	0.019	0.039	0.81	—	31.4	44.4	38.4
4	0.15	0.52	0.15	0.019	0.038	1.09	—	36.1	52.8	45.6
5	0.15	0.59	0.21	0.019	0.039	0.37	0.30	32.7	32.7	30.9
6	0.16	0.52	0.14	0.017	0.038	0.57	0.29	32.5	34.0	30.9
7	0.16	0.52	0.16	0.019	0.038	0.84	0.28	34.7	46.3	38.7
8	0.16	0.55	0.19	0.017	0.038	1.09	0.26	37.3	53.3	46.6

延伸率 25~41%

第5表 Cu-Ni-Cr 鋼の機械的性質

化學成分

C	Mn	Si	S	P	Cu	Ni	Cr
0.20	0.37	0.12	0.006	0.033	0.93	0.33	1.07

熱處理と機械的性質

熱處理	降伏點	伸	降伏比
870×40 AC	45.3	31.8	70
870×40 500×2h A-C	59.1	26.0	76
870×40 500×4h A-C	60.0	22.0	75
870×40 550×2h A-C	53.6	27.0	74
870×40 550×4h A-C	52.0	29.8	77
870×40 600×2h A-C	50.1	31.8	75
870×40 600×4h A-C	49.9	29.0	77

降伏點が上るのであります。假に例をとつて見ますと、0.81%の銅を加へた場合に、析出硬化をした結果は44.4kgであります。さうすると、従来普通炭素鋼が23kgであつた場合には、これが44.4kgでありますから、約倍であり1tの鋼材を使ふ處が半分の鋼材で間に合ふことになり、銅の効き目は頗る大きいことになります。その他にも銅の入つたのがありますが、何れも同じやうな結果を現はしてをります。

その銅の面白い性質に就てもつと申し上げたいと思ひます。含銅鋼は従来も相當多く作られてをりましたが、従來の含銅鋼の目的

は、上述の様な高力鋼を作るのが目的ではなくて、耐蝕鋼といつても、水の中の耐蝕鋼ではなくて、空中に曝した場合に比較的耐蝕性の良い鋼といふやうなものに使はれてをつたのです。然も含有される量も大體0.2%から0.4%といふ所でありました。といふのは、それ以上入れても大して耐蝕性を向上しないことゝ、あまり餘計に入ると高温加工の場合に鋼に割れを發生するためあります。ですから銑鐵を作る場合に銅が入ることを非常に嫌がるのであります。こんなことで従來は含銅鋼といつても銅含有量の非常に少いものしか使はれてゐなかつたし、銅によつて力を出さうといふこともあまり考へられてゐなかつたのです。ところがからやつて試験して見ると、中々銅が捨て難い性質をもつてゐる事が判ります。

銅の高力鋼として一番面白いのは、析出硬化處理の點であります。析出硬化とは簡単に言へば、一度鋼中に固溶した銅が温度を上げて來ますと析出し、それがために硬くなる事でありませう。銅が焼入れに依つて硬くなる場合も何れもさういふことによるのであります。含銅鋼を高温度から普通空冷した場合、銅は鋼中に熔け込んだ儘析出しないでをりますが、それを再加熱して先程申上げたやうに550°C附近で何時間か保つて置きますと、銅は析出しそのため材力が非常に強くなります。これが普通の鋼乃至特殊鋼ですとこのやうな熱處理では材力は餘り良くならないので、例へ

第6表 Cu-Ni-Cr 系低合金鋼の機械試験

試片 番號	化學成分								燒準			析出硬化			燒入、燒戻		
	C	Mn	Si	S	P	Cu	Ni	Cr	降伏點 kg/mm ²	伸%	降伏比 %	降伏點 kg/mm ²	伸%	降伏比 %	降伏點 kg/mm ²	伸%	降伏比 %
1	0.16	0.44	0.16	0.023	0.024	0.85	0.25	—	35.8	34.0	70	41.0	31.8	77	44.9	31.6	77
2	0.21	0.46	0.17	0.022	0.024	0.84	0.32	0.87	39.6	30.0	67	42.2	30.0	70	68.2	23.6	87
3	0.21	0.48	0.16	0.017	0.019	0.85	0.30	1.01	40.5	29.8	67	43.9	29.2	70	71.4	24.0	88
4	0.22	0.49	0.19	0.019	0.020	0.82	0.32	1.24	38.8	26.0	60	45.2	25.0	68	77.1	23.6	88
5	0.22	0.47	0.14	0.020	0.022	0.82	0.34	1.52	41.2	28.0	63	47.6	26.0	69	76.9	22.8	89
6	0.23	0.48	0.16	0.023	0.023	1.05	0.21	—	37.9	31.0	67	43.1	28.2	75	63.0	25.0	85
7	0.23	0.48	0.16	0.020	0.019	1.02	0.36	0.89	38.4	30.6	65	43.7	26.2	70	75.0	23.0	89
8	0.23	0.46	0.16	0.021	0.018	1.00	0.22	1.00	40.4	27.8	63	46.1	25.2	67	75.5	23.8	89
9	0.23	0.47	0.16	0.019	0.020	1.00	0.30	1.22	54.4	19.2	70	48.5	25.2	68	78.2	22.2	90
10	0.23	0.47	0.10	0.020	0.023	1.00	0.34	1.50	—	—	—	45.7	26.6	67	83.8	23.8	90
11	0.23	0.48	0.23	0.024	0.024	1.23	0.39	—	40.8	28.4	70	48.1	24.4	76	59.4	25.0	82
12	0.24	0.48	0.18	0.023	0.023	1.28	0.37	0.81	43.3	28.0	68	47.1	24.4	72	81.1	24.0	91
13	0.22	0.48	0.21	0.022	0.023	1.29	0.31	1.00	43.9	24.4	66	47.4	24.0	71	77.5	22.0	90
14	0.21	0.44	0.20	0.021	0.023	1.29	0.31	1.24	43.5	24.4	65	48.1	24.8	71	78.9	22.4	91
15	0.22	0.43	0.20	0.020	0.022	1.29	0.32	1.45	51.8	17.2	70	59.3	24.0	80	84.3	23.8	92
16	0.21	0.43	0.23	0.023	0.023	1.51	0.25	—	42.5	28.8	74	48.6	26.0	80	62.5	24.4	86
17	0.23	0.44	0.21	0.024	0.027	1.56	0.32	0.80	52.2	23.4	74	48.7	23.8	73	84.2	18.6	92
18	0.23	0.44	0.21	0.023	0.023	1.51	0.31	1.00	49.0	21.2	70	48.9	26.0	71	79.9	20.8	88
19	0.23	0.48	0.23	0.020	0.013	1.53	0.30	1.15	49.0	15.4	70	49.8	25.0	73	81.8	20.2	88
20	0.22	0.44	0.21	0.022	0.024	1.59	0.31	1.50	78.7	8.2	78	64.1	21.0	86	84.0	22.6	91
21	0.20	0.49	0.13	0.016	0.019	0.88	0.28	1.09	44.2	27.8	65	54.5	26.4	75	63.6	26.0	84
22	0.20	0.59	0.19	0.030	0.030	1.46	0.30	1.33	63.1	19.2	81	71.5	22.4	86	70.8	27.0	93
23	0.20	0.48	0.23	0.029	0.014	1.14	0.24	1.40	61.2	15.6	79	65.0	20.4	78	67.0	25.6	86
24	0.20	0.37	0.12	0.006	0.033	0.93	0.33	1.07	45.3	31.8	70	59.1	26.0	76	86.0	20.8	88

ば油焼入をするとか或は水焼入をするとか、しないと本當の材力を現はさない。然るに含銅鋼は、高温度からたゞ空氣中で冷して置いてそれを或る温度まで上げて来れば、それで熱處理が出来る。かういふ點が非常に含銅鋼の面白い點であります。面白いといふ意味は、實際に大量に鋼材を扱ふ場合に非常に都合がいいのではないかと考へるのであります。普通の鋼材でも焼入、焼戻をすれば強くなるのでありますけれども、兎に角これを大量焼入、焼戻をすることは大變であります。いくら材力がよくなつても、この澤山のもの焼入、焼戻をすることは設備の上から言つても中々出来ることではありません。ところが含銅鋼の方は、普通に空中放冷して、あと廢熱か何かを利用して550°Cまで上げてやれば、それによつて非常に強力な材料が得られる。この點が含銅鋼の面白い點ではないかと、それで私は特にこれを高調したいのであります。

第6表は普通に焼準した場合と析出硬化處理乃至焼入焼戻處理をした場合との降伏比を比較するために示したのであります。析出硬化をしますと降伏比がずつとよくなつてをりますし、これを焼入、焼戻した場合は、勿論焼入、焼戻をすると非常によくなりますけれども、先程申し上げたやうにこの處理をするために非常に煩はしいことをしなければならぬ。この點で、どうしてもこれは析出硬化處理くらゐの所で使ふといふことを考へるのが一番いいのではないかと考へるのであります。

いま一つこゝに含銅鋼に對して問題が残つてをります。それは先程申しましたやうに、銅を入れると高温加工した場合に割れが出来。これが防げなければ、折角高力鋼を作つて材料節減をしても何もならない。これをどうして防ぐか問題であります。これに就ては昭和13年頃研究した所、それを防ぐには少量のニッケルを使へば良いことが判つたのです。これは勿論當時他の文獻にもあつたのであります。私共はこれをはつきりと試験で證明することが出来ました。それをこゝにお目に掛けます。要するに、含銅鋼の悪い點である所謂割れ疵をどうしたら防げるか、それには少量のニッケルを添加すれば良いといふことを申述べて結局含銅鋼の利用法といふことに持つて行き度いのであります。それに就てはこれから寫眞で御説明致し度いと思ひます。扱て含銅鋼の割れ疵を防ぐためにニッケルをどの程度入れたら良いかといふ試験であります。その試験をするために銅とニッケルを色々に配合した6kgの鋼塊を作つて、これを20mm位のバーに壓延しまして、一方は高温度でぐつと曲げる。そうするとニッケルを入れない鋼は盛んにビリ疵を發生するが、これにニッケルを入れると一向にビリ疵を發生しない。それからいま一つは、豫め酸洗して後冷間で曲げると曲がるのと折れるのとある。ニッケルを入れない銅ばかりの鋼は折れる。

寫眞1Bに於てC₂は銅を0.2%、C₃は0.3%、C₄は0.5%、

〔註 寫眞2~7 低ニッケル含銅鋼の屈曲部に於ける割疵發生狀況

鍛鍊加熱温度 1200°C

C₂N₁, C₃N₂, C₄N₃, ……はそれぞれ Cu 3%

Ni 0.1%, Cu 0.3%, Ni 0.2%, Cu 0.3%

Ni 0.5% を示す

(A) は高温屈曲, (B) は冷間屈曲〕

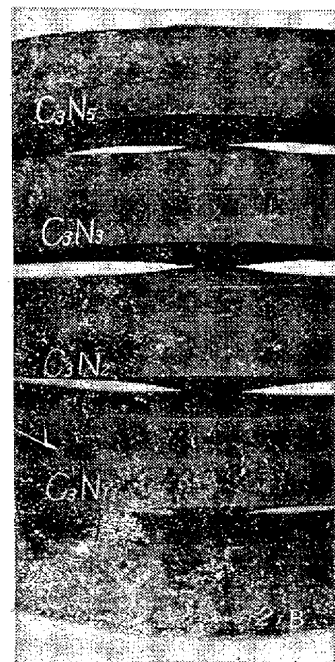
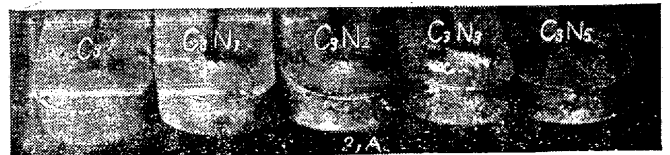


C₂, C₃, C₄, ……はそれぞれ含銅量 0.2, 0.3, 0.5% を示す。

鍛鍊加熱温度 1200°C

(A) 高温屈曲, (B) 冷間屈曲

寫眞1 含銅鋼の屈曲部に於ける割疵の發生狀況

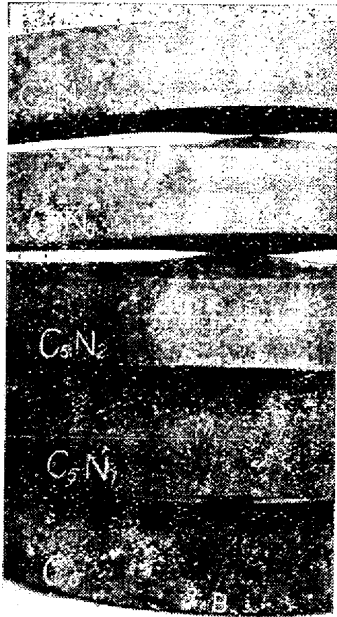


寫眞2

C_8 は 0.8%, C_{10} は 1.0%, C_{15} は 1.5% 入れ、冷間で曲げたものであります。冷間でやると非常にはつきり現れて来る。即ち銅含有量が 0.2%, 0.3%, 0.5% までは冷間で曲げて一向折れない。ところが 0.8% になると折れさうになる。それから 1.0%, 1.5% となると完全に折れてしまふ。銅の非常に悪い影響がはつきり現れてゐる。寫眞 1B は熱間でやつた場合ですが、0.5% 位までは大してビリ疵が現れてをりませんが、0.8% 位からだんだん現れて来てをります。

寫眞 2B の C_8 は銅が 0.3% 入つたもの、 C_8N_1 はニッケルが入らぬもの、 C_8N_2 はニッケルを 0.2%, C_8N_3 は 0.3%, C_8N_4 は 0.5% 入れたものです。かうやつて見ますと、少くとも 0.3% の銅の影響といふものは僅かのニッケルで完全に防げることが判ります。

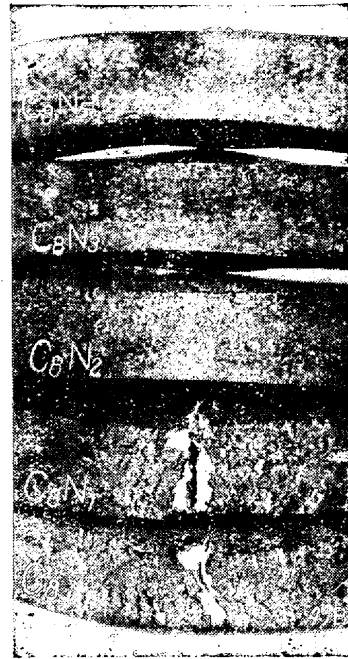
寫眞 3B の C_8 は銅を 0.5% 入れた場合であります。この場合も、前にもありましたやうに、ニッケルを入れなくてもさう大



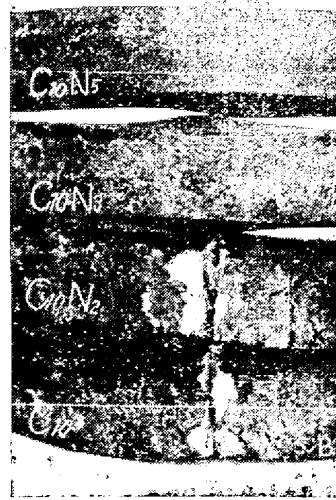
寫眞 3

して悪くありませんが、僅かのニッケルを入れれば完全に防げることが判ります。

寫眞 4B の C_8 は含銅量 0.8% のもので非常に悪いが、その悪いのをどの程度のニッケルで防げるかといふことを見たのであります。寫眞 4A に於けるやうに熱間ですとニッケルを僅か入れれば問題はないのであります。問題になるのは冷間の場合で、冷間の場合が一番よく判ります。冷間の場合、ニッケルを入れないのは必ず悪い。それで、0.1% 位ニッケルを入れてもあまり感心しません。0.2% 入れると少しよくなります。0.3% 入れると非常に良くなる。0.5% 入れると大丈夫です。(寫眞 4B) 少くとも銅が 0.8% 入つたものはニッケルを 0.2% 以上入れないといかぬといふことがこれで判ります。

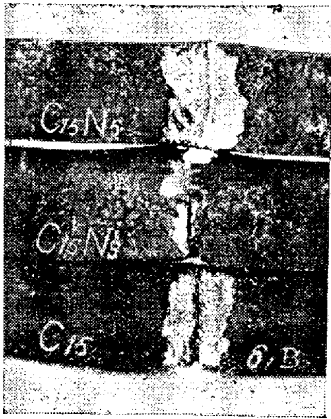
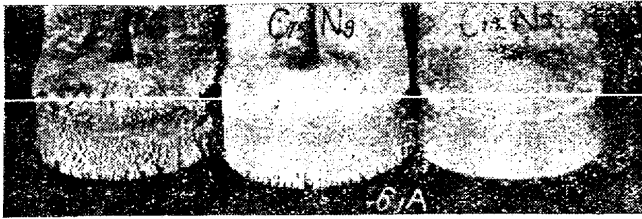


寫眞 4

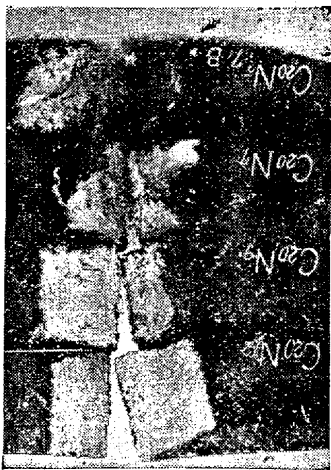
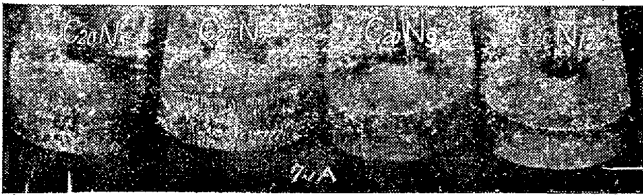


寫眞 5

寫眞 5 の B に於て C_{10} は銅が 1% 入つたものに就ての試験であります。銅が 1% 入つてをりますと、 $C_{10}N_2$ の如くニッケルを 0.2% 入れてもあまり効き目はありません。 $C_{10}N_3$ の如く 0.3% 以上入れないと効き目がありません。熱間の方は 0.2% でも 0.3% でも宜しいのであります。 (寫眞 5A) 少くとも冷間で見ますと 0.3% 以上入れないといかぬといふことが判ります。



寫眞 6

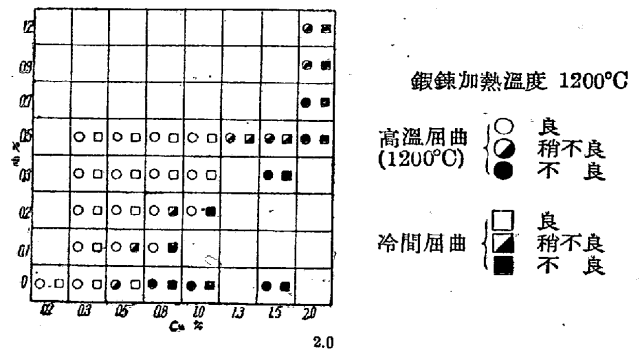


寫眞 7

次に 1.5% の銅を入れた場合はどういふことになるかといふと寫眞 6 B の如くニッケルを 0.3~0.5% 入れても冷間の方ではあまり感心しません。しかし熱間の方であれば相當効き目がある。(寫眞 6 A) かういふことを示したものであります。ですから、要するにあまり銅の高いものはニッケルを少し位入れてもいかぬといふことであります。

寫眞 7 B は銅を 2% 入れた場合で、これにはニッケルを少し位入れても効き目がない。但し熱間の方ならば 0.5% 入れますと相當よくなります。(寫眞 7 A)

只今申上げましたことを判り易く説明するために第 10 圖を掲げます。丸は高温加工の場合に、疵が出たか出なかつた事を表はし、四角は冷間で疵が出たか、出なかつたかを表はします。真



第 10 圖 含銅鋼及低ニッケル含銅鋼の鍛錬試験成績

黒いのは非常に悪く出来たものであります。半黒はやゝ悪く、白のは無疵を表はしたのであります。さうすると、銅を 0.3% まで入れたものはニッケルを入れなくてもどうやら問題にする必要はなく、0.5% 入れると少し悪い。けれどもニッケルを 0.2% 入れればこれは問題にならない。0.8% になりますと非常に悪い、さうして 0.1% 位のニッケルではあまり役に立たない。0.2% 入れると少し効いて来るのであります。少くとも 0.3% 入れないと本當のいゝ効き目がない。それから銅が 1% になりますとどうしても Ni を 0.3% 入れないといけません。

大體こゝで見たところで、私共が高力鋼として使ふ含銅鋼は、大體 1% 限度で、1% 位銅を入れると非常に高力鋼の目的に副ひ、さうしてそれにニッケルを 0.3% 入れると割れ疵の影響はすつかり防げる。かういふことが大體今までの研究の結果で判つて参りました。

即ち材料を節減するための高力鋼を作るには、まづ銅を利用する。その銅はどの位入れたらいいかといふと、大體 0.8~1.0% それに對して悪い影響を防ぐためにニッケルを大約 0.3% 入れたら宜しい。

次は資源問題であります。御承知の通り銅は日本としては非常に貴重品でありますから、銅を外から持つて来て入れることはとても許されません。それでは何處から持つて来るかといふと、それはパイライトシンダーであります。パイライトシンダーの中には銅が相當含まれてゐる。このパイライトシンダーだけを熔鑛爐で吹けば大體 1% 程度の銅は樂に出来、資源的にも、銅を外から入れる必要はなく、しかも世間で嫌つてゐるものを使ふのであるから二重の利益があります。これで先づ銅を含む鋼が出来ます。今度はニッケルであります。これは日本の大江山方面に非常に大きなニッケル鑛土の山がありまして、これは私共の會社でも相當に使つてニッケル原鐵を作つてをりますが、この大江山鑛土を製鍊しますと高いのは 2%、普通平均して 1.5% から 1.6% 位のニッケル鐵が出来ます。この大江山ニッケル鑛土は無盡藏であります。

これをこのパイライトシンダーに丁度 0.3% 位入るやうに配合すればいい。さうすれば、銅の方も多少減つて、大體 0.8% から 1% 位となりニッケルは 0.3% となるから結局この二つの鑛石

の配合によつて目的の高力鋼が出来さうです。その鑛石は日本に非常に豊富にあるのですから、少くとも資源的の心配はありません。さうしてそのニッケルと銅によつて出来たものは従来の鋼の半分で済みます。つまり 1t 使ふところが 500kg で済むことになるのですから非常な利益になるのです。禍を轉じて福となすといつた工合で、嫌がられる銅を完全に利用し、日本の資源だけで而も少量で済む所の高力の材料が出来るのでありますから、これを國家的に考へて非常に有利なことであると思ひますので、今晚特に皆様の前に御紹介申上げた次第であります。

尙最後にいま一つ申上げて置きますが、第7表のオーチスコロイ鋼といふのであります。これは米國のオーチス會社の作った鋼であります。これを見まして非常に面白いことは、炭素は非常

第7表 オーチスコロイ鋼試験成績

原料	C	Si	Mn	P	S	Cu
規格	0.12 >	0.1 >	1.00~1.35	0.1~0.14	—	0.3~0.5
平爐鋼	0.10	0.07	1.19	0.121	0.034	0.56
轉爐鋼	0.09	0.03	1.01	0.117	0.021	0.32

原料	熱處理	降伏 點 kg/ mm ²	抗張 力 kg/ mm ²	降伏 比 %	伸 長 %	絞 絞 %	シャル ピー kgm/ cm ²	硬 度 ブリ ネ ル
平爐鋼	壓延儘	41.6	53.7	77.5	36.0	62.4	19.2	—
轉爐鋼	"	38.3	50.7	75.5	32.0	52.9	14.4	146
平爐鋼	燒 準	40.3	53.6	75.2	34.0	64.9	29.7	—
轉爐鋼	"	35.4	50.7	69.8	37.4	61.4	25.7	143
平爐鋼	燒 鈍	39.0	51.7	75.4	41.2	69.4	30.0	—
轉爐鋼	"	36.4	49.1	74.1	40.0	71.3	28.2	143

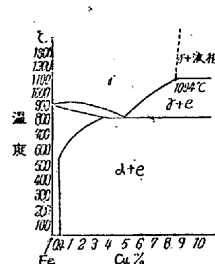
に少く、珪素も低い。マンガンは高く大體 1% から 1.35% 程度であり、磷も高く 0.1% から 0.4%、又銅が 0.3% から 0.5%。これを見ると、マンガンはちよつと高いがこれとても鐵合金として極く普通のものでありますから、結局原料費のかゝる材料は一つも入つてゐない譯です。磷は人の嫌がる成分ですし、銅にしてもパイライトシンダーから持つて来れば何でもない。かういふものを使つて、これが申々良い性質を現はしてをります。實は私共の方で試作品を作つて見ました。一つは平爐鋼で、一つは轉爐鋼で作りました。その試験結果は大體壓延のまゝで、降伏點が 41.6 と 38.3、降伏比は 77.5 と 77.5 となりました。大體降伏比は 70 以上あれば非常に優秀なものと思なければなりません。又燒準したものは、降伏點が 40.3 に 35.4、降伏比が 75.2 に 69.8 となつてをります。燒鈍したものは實際問題としてはあまり重要性はありません。大體燒準した場合と壓延のまゝが問題であります。何れにしても、非常に廉い材料と申しますか、或は不良材料といはれるものを使ひまして、かういふ立派な高力鋼が出来るといふこと、或は實際に建築用鋼材として使つたらどうか、少くとも、先程申上げましたやうに 35kg とか 40kg の降伏點と致しますと、從來使つた材料の大體半分或は 6 割で済む譯であります。他の性

質に於て、伸も決して悪くなく、シャルピーの衝撃値も何等申し分ありません。使用原料は極く下等なものでかういふ立派な材料が得られるといふことは、資源の問題が八釜しく論ぜられてゐる今日、私共が大いに注目すべき點で宜しくかういふものを使つて、高力材料を作り鋼材の節減を計るべきであると感じる次第であります。特にこれを高調したいと思ひ御紹介した次第であります。どうか一つかういふ見地に立つて、お互に、一層増産も考へると同時に出来るだけ僅かの材料で間に合はして行かうではないかと提言し度いのであります。これを以て私の講演を終ります。

質 疑 應 答

問 銅があれだけ入るとなぜ高力鋼になるかといふこと、ニッケルをあれだけ入れるとなぜその性質が改善されるかといふ點について御説明を願ひたいと思ひます。

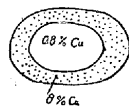
答 次圖は銅が 10% 位入つたときのダイアグラムであります。



附圖 1

この圖に於て銅が 8% 位入り温度が 1094°C 以上になると γ プラス液相が出来る。それで銅がなぜ割れ疵を出すかと申しますと、大體 0.8% 位の加熱鍛錬を繰り返すと鐵の方は非常に酸化し易いからスケールとなつて落ちるが、銅は酸化しにくいからそこに沈積する。ですから 0.8% といふものは、初めは大した量の銅ではありませんが、何回か高温加熱をして漸次コンセントレートされると、この部分の銅は 7% 或は 8% といふ風に相當に多くなります。

さうすると 1094°C 附近に熱せられた場合、それが液相線に達するから割れ疵が出来て来る。それで實は説明が長くなるので寫真には出しませんでした。1094°C 以下に熱すれば割れは出来ないといふ寫真があつたのです。それに依ると 1094°C 以下の温度で鍛錬した場合は假令銅が相當入つてゐても割れは出ないのです。この事實も前のダイアグラムで良く説明出来ると思ひます。それではニッケルを入れると何故いふか



附圖 2 加熱鍛錬

といふと、これは人の學説であります。ニッケルを入れると液相線の温度が上がる。つまり液相線がずつと上つて 1200°C とか何とかまで上がる。それがためにその温度で鍛錬しても割れ疵が出来ない。かう云ふ説がありますが、これは私自分で證明してをりませぬし、たゞ人の學説を信用して自分の實驗と符合させただけをお答へして置きます。序に申上げたいのは、先程觸れた析出硬化といふ問題であります。これはどういふことかといひますと、大體 1% 程度の銅が入つても α 鐵に非常に溶け易く 60°C 邊に温度を保たないと析出を起しません。

つまり空冷したのでは銅の析出は全然見られません。それ故析出硬化する爲には一度空冷したものを再び 550°C 位に數時間加熱する必要があります。この點が良く此ダイアグラムで説明出来ます。