

ニッケルを含まざる肌焼鋼の研究

(日本鐵鋼協會第 21 回講演大會講演 昭和 14 年 4 月)

石田四郎・東村三郎

STUDY OF CASE-HARDENING STEELS WITHOUT NICKEL

Shiro Ishida and Saturo Higashimura

SYNOPSIS:— It was intended that metallic materials equivalent or superior to the 110-kg nickel-chromium steels would be made from elements of the domestic resource. The elements *Cr*, *Mn* and *Mo* were thought most efficient among elements of the domestic resource, in so far as the mechanical properties and the mass effect in quenching were concerned. From this viewpoint, chromium-manganese or chromium-manganese-molybdenum steels were preferred and studied, which were found having properties equivalent or superior to the 110-kg nickel-chromium steels. These steels, containing approximately 0.05% *C*, 1.0~2.5% *Mn*, 7.0~9.0% *Cr*, and balance *Fe* (or 0.05% *C*, 1.0~2.5% *Mn*, 5.0~7.0% *Cr*, 0.3~0.5% *Mo* and balance *Fe*), were recommended for applications where heretofore the 110-kg nickel-chromium steels had been used as structural parts.

研究の目的

本研究は國產資源のみを以て 110kg *Ni·Cr* 肌焼鋼と同等以上の性質を有する材料を得んとするにあり。

研究の要領

Ni·Cr 鋼の代用鋼として其の機械的性質及、焼入に對する質量効果を考慮するとき、*Cr*, *Mn*, *Mo* は國產資源として最も有效なる成分元素なりと考へらる¹⁾。

即ち *Ni·Cr* 鋼と同等以上の性質を有する材料は、*Cr·Mn* 鋼又は *Cr·Mn·Mo* 鋼なりと考へらる。蓋し、*Mo* は極めて有效然も國產元素の一つなりとは云へ其の國內產出額、極めて少量なるを以て國內資源のみにて多量に安心して作り得るものは *Cr·Mn* 鋼なるべしと考へざるを得ず。本鋼は焼入に對する質量効果も相當良好なるの特徴を有するものなれども、更により大なる質量効果を要求せらるゝに於ては、*Cr·Mn·Mo* 鋼を選ぶを適當とす可し。

Cr·Mn 鋼に就ての文獻によれば Guillet が、1906 年に發表せる *C* 0.25~0.40% *Mn* 1.0~1.5%, *Cr* 0.5~1.0% の鋼は普通 *Ni·Cr* 鋼の代用となし得べしと云はれ、又日本特殊鋼會社に於て 1927 年マクロンなる名稱のもとに考案發表²⁾せられたるものも前記 Guillet 氏のも

のと頗る近似の鋼なることは、容易に知られる處である。本研究が是等既往のものとは異なる點は既往のものは *C* = 0.3% 前後の構造用鋼なるに反し、本研究は *C* = 0.15% 以下の肌焼鋼なるにあり。

以下最初に *Cr·Mn* 肌焼鋼につき、次いで *Cr·Mn·Mo* 肌焼鋼につき夫々研究の概略を述べし。

クロム、マンガン肌焼鋼

(1) 成分 *Fe·Cr·Mn* の三元平衡圖に就ては W. Köster 文獻あり³⁾。

是を第 1 圖に示す。尙其等鋼材の硬度に就ては同文獻に、研究結果の二三を示しをけり、此の平衡圖及著者の研究結果を綜合し、本研究に於ては第 1 表、第 2 圖の如き配合を撰定研究する事とせり。但し炭素含有量は何れも約 0.05% とす。

(2) 原料、熔解、鍛造 本研究に使用せる原料は、アームコ鐵、マンガン (*Mn* 97.2%, *Fe* 1.4%, *C* 0.1%) クロム (99%) にして熔解は高周波誘導電氣爐に依

第 1 表

No.	Mn%	Cr%	No.	Mn%	Cr%	No.	Mn%	Cr%
1	1.0	2.0	6	2.5	2.0	11	4.0	2.0
2	1.0	5.0	7	2.5	5.0	12	4.0	5.0
3	1.0	7.0	8	2.5	7.0	13	4.0	7.0
4	1.0	9.0	9	2.5	9.0	14	4.0	9.0
5	1.0	11.0	10	2.5	11.0	15	4.0	11.0

* 東京帝國大學航空研究所

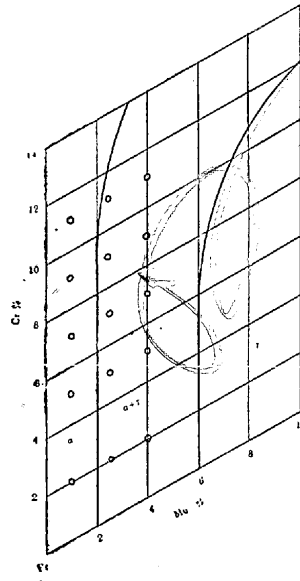
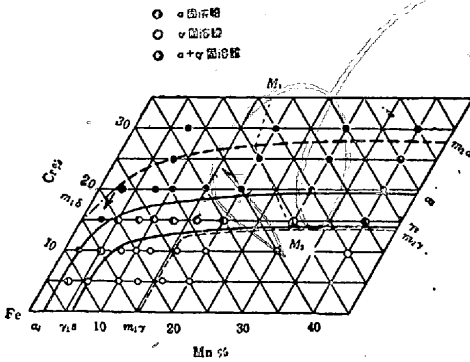
¹⁾ 石田四郎、尾藤加勢士：昭和 10 年 5 月鐵と鋼：*Ni·Cr* 鋼代用としての *Mo* 鋼特に *Cr·Mo* 鋼の研究

²⁾ 昭和 2 年 6 月鐵と鋼

³⁾ 石田四郎、炭素を含む事極めて尠なき鐵—マンガン及鐵—マンガン—X 合金の研究：鐵と鋼：昭和 12 年 8 月参照

第 1 圖

第 2 圖



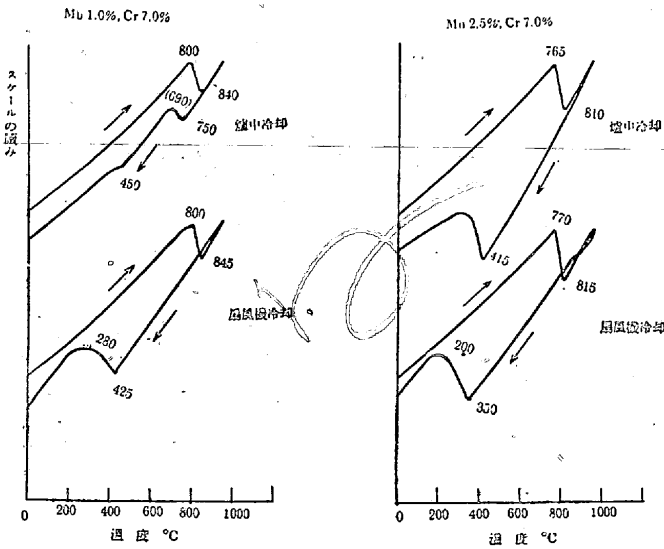
る。試料の全溶解量を 1.5kg となし、アルミナ製坩堝を用ひ上記配合原料を、溶解せしめ、最後に少量のアルミニウムにより脱酸せしめたる後、約 400°C に豫熱せる D=50mm、H=110mm の鑄鐵型に鑄造し、薬灰中にて冷却せり。

鑄塊はこれを 900~1,000°C に加熱後 1/4t 空氣槌にて鍛造し約 12~13mm の丸棒及角棒の二種となす。

(3) 試片寸法 鍛造棒は先づ之を 900°C に加熱

第 3 圖 (a)

第 3 圖 (b)



第 2 表

成分 %	Mn	1.0	1.0	1.0	1.0
	Cr	2.0	5.0	7.0	11.0
Ac ₃ °C		910	840	—	865
焼入温度 °C		950	920	920	920
成分 %	Mn	2.5	2.5	2.5	2.5
	Cr	2.0	5.0	7.0	9.0
Ac ₃ °C		—	820	810	810
焼入温度 °C		870	870	870	870
成分 %	Mn	4.0	4.0	4.0	4.0
	Cr	2.0	5.0	7.0	9.0
Ac ₃ °C		830	—	790	—
焼入温度 °C		870	870	870	870

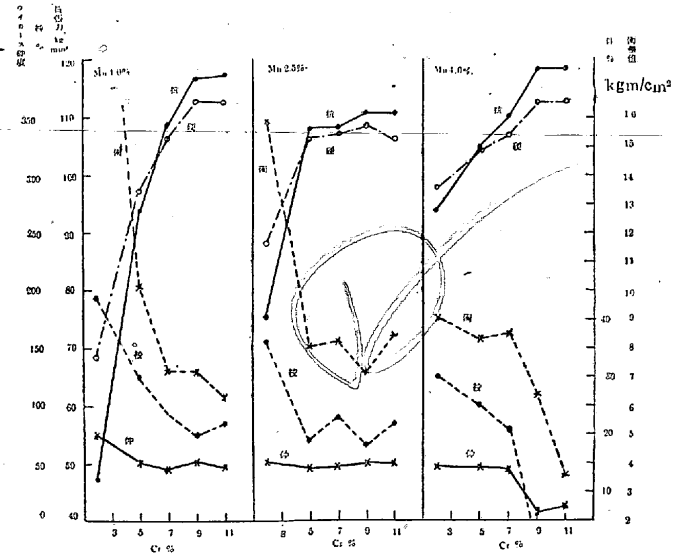
* —は測定せずの意

焼鈍せしめたる後熱膨脹試片は之より製作し、他の試片は總て焼入施行後規定寸法に旋削せり。試験は熱膨脹、硬度、抗張、衝撃等にして、其の、試験片の寸法は、熱膨脹試験片径 5mm 長 100mm: 抗張試験片径 7.0mm 標點距離 30mm: 衝撃試験片(シャルピー型 30mkg)規格標準寸法となす。從て抗張試験片は陸海航路の標準寸法とは異なるを以て本研究に依て得られたる機械的性質(硬度、衝撃値、抗張力、伸)中伸のみは工業的試験としては再検討を要すべし。

(4) 焼入温度の決定 熱膨脹法により Ac₃ 變態點を測定し、之により焼入温度を第 2 表の如く決定せり。

尚膨脹試片を挿入せる石英管を 950°C より扇風機により急冷せる場合の冷却曲線の二三の例を示せば第 3 圖の如し、此の冷却曲線より Cr-Mn 鋼も相當程度 Ar₃ の下降を認め得る。從て焼入に對する質量効果も相當良好なるものと推測し得べし。

第 4 圖



(5) 機械的性質 本試製鋼材の焼入後の硬度、抗張力、伸、絞、衝撃値は第 3 表、第 4 圖の如し。

此の結果に依れば Mn 4% 系のものは抗張力及衝撃値の共に良好なる成分範圍狹く、實際の製造に當りては極めて不安定なる性質を示すものと考へらる。

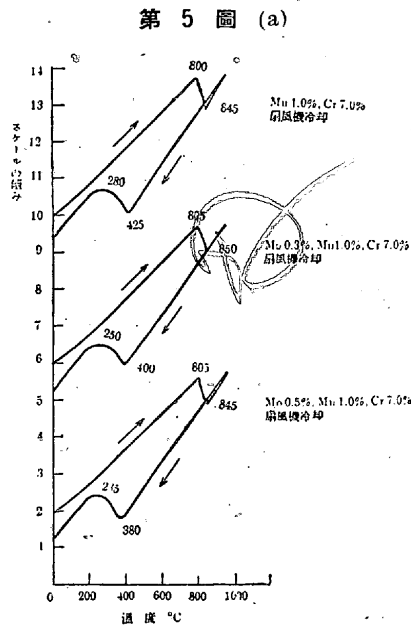
之に反し Mn 1.0~2.5%、Cr 7.0~9.0% 範圍のものは肌焼鋼として相當の機械的性質を有す。陸海航路による肌焼高 Ni-Cr 鋼 (C 0.10~0.15% Ni 4.0~5.0% Cr 0.7~1.0% Mo 0.5% 以下 830~880°C 油冷、750

~820°C油冷)は抗張力 110 kg/mm² 以上, 伸 12% 以上, 絞 40%以上, 衝撃値 7 kgM/cm² 以上にして本鋼の Mn 1.0 ~2.5%, Cr 9%

範囲のものは之と同等の機械的性質を示すものなり.

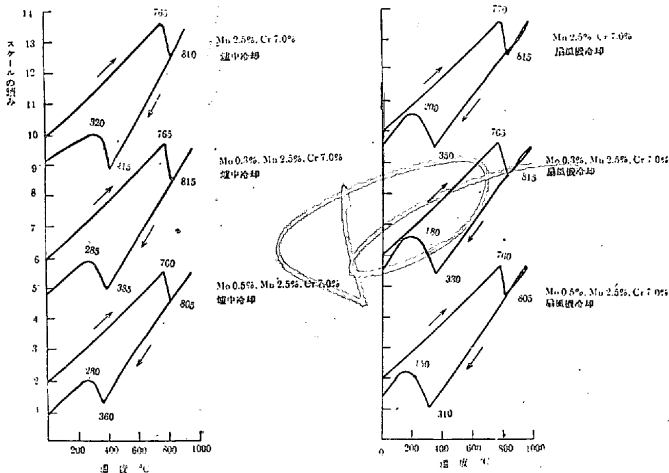
但し, 注意すべきは以上の諸結果は何れも炭素含有量約 0.05% のものに就き得たる結果にして, 工業的には炭素 0.15% 以下と考へざるべからず. 炭素を 0.05%より 0.15%に

増大することに依て抗張力, 硬度は多少増大し, 伸及衝撃値は多少減退するやも知れず将来, 工業実験を要する點なりと考へらる.



第 5 圖 (b)

第 5 圖 (c)

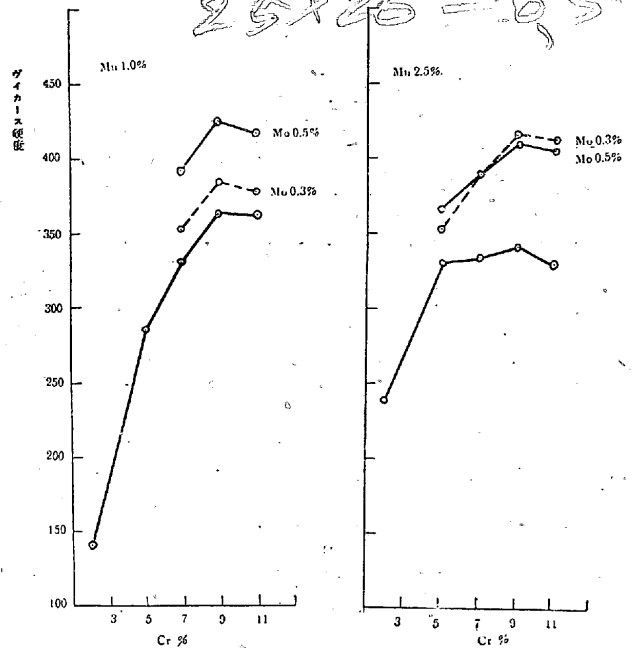


第 3 表

成分 %		焼入状態の機械的性質				
Mn	Cr	ヴァイクス硬度	抗張力 kg/mm ²	伸 %	絞 %	衝撃値 kgM/cm ²
1.0	2.0	142	47.3	20.0	79	—
1.0	5.0	286	93.8	15.0	65	10.1
1.0	7.0	331	108.3	14.0	59	7.2
1.0	9.0	363	116.7	13.3	55	7.2
1.0	11.0	362	117.2	14.3	57	6.3
2.5	2.0	290	75.0	15.3	71	15.8
2.5	5.0	331	107.9	14.0	54	8.0
2.5	7.0	335	108.7	14.3	58	8.2
2.5	9.0	342	110.7	15.0	53	7.1
2.5	11.0	330	110.5	15.0	57	8.4
4.0	2.0	288	93.7	14.3	65	9.0
4.0	5.0	321	104.4	14.3	60	8.3
4.0	7.0	334	109.8	14.0	56	8.5
4.0	9.0	363	118.3	6.5	22	6.4
4.0	11.0	364	118.3	7.5	26	3.6

第 6 圖

第 7 圖



(6) 滲炭 以上の結果肌焼鋼として充分採用し得べしと考へらるC0.05%, Cr 9.0%, Mn 2.5%の鋼材に就て滲炭を行ひ焼入後の表面硬度を測定したるに第 4 表の如し, 但し滲炭剤は木炭 65% BaCO₃ 25%, Na₂CO₃ 10%: 滲炭温度 900~950°C 滲炭時間 10 時間, 滲炭後 850°C 水中焼入.

第 4 表

表面のヴァイクス硬度

907 960 920 926 946 平均 932

即ち肌焼鋼として充分の硬度を示す. 尚滲炭焼入後の組織は第 7 圖の如し.

クロム, マンガン, モリブデン肌焼鋼

本研究は前節 Cr・Mn 肌焼鋼の焼入に對する質量効果を更に良好ならしめんがために Mo を添加し, 併せて其の機械的性質の影響を研究せんとするものなり.

Mo は國産資源とは云へ高價金屬なるにより, 過度に使用することは經濟的ならず本研究に於ては 0.3%, 0.5%

の2種につき試験を行ひたり、前節 *Cr*・*Mn* 肌焼鋼の機械的性質中、相當良好なる性質を示す成分範囲を選び之等に夫々 *Mo* 0.3% 及 0.5% を添加せしめ、第5表の如く試製成分を決定せり。但し炭素含有量は何れも約 0.05% 程度なり。

尙試料の製作、試片寸法、焼入温度等は總て前節 *Fe*・*Cr*・*Mn* 鋼の場合に準ずるものとす。

(1) 焼入に対する質量効果 *Mo* が焼入に対する質量効果に有効なることは一般に認められる處なり。

熱膨脹試験の結果第5圖は 950°C より爐中冷却及扇風機により急冷せる場合の二三例を示す。之に依れば *Mo* の増加に従ひ焼入に対する質量効果も一層改善せらるるを知る。

(2) 機械的性質 *Cr*・*Mn*・*Mo* 鋼の焼入後の機械

第 5 表

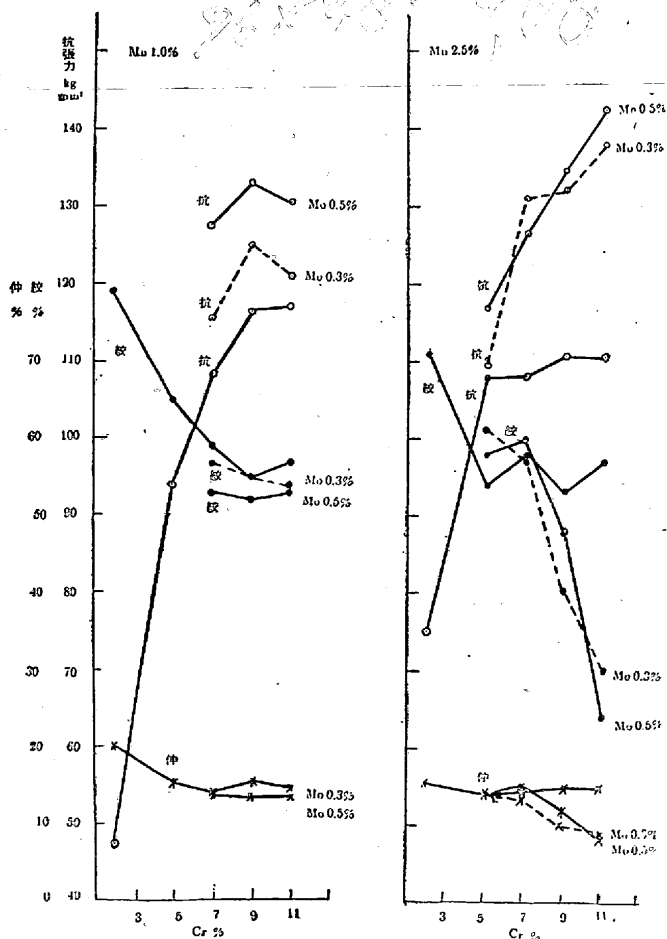
No.	Mn%	Cr%	Mo%	No.	Mn%	Cr%	Mo%
16	1.0	7.0	0.3	23	1.0	7.0	0.5
17	1.0	9.0	0.3	24	1.0	9.0	0.5
18	1.0	11.0	0.3	25	1.0	11.0	0.5
19	2.5	5.0	0.3	26	2.5	5.0	0.5
20	2.5	7.0	0.3	27	2.5	7.0	0.5
21	2.5	9.0	0.3	28	2.5	9.0	0.5
22	2.5	11.0	0.3	29	2.5	11.0	0.5

的性質を示せば、第6表~第8表、第6圖~第11圖の如し之等の内には比較のため *Mo* なき前節の結果を同時に再記せり。*Mo* を添加せるための影響としては、一般に *Mo* の増加するに従て硬度、抗張力を増大し、絞伸、衝撃値を減少す。特に *Cr* 量、*Mn* 量多きもの程、其の傾向著し、従て *Mo* の添加量を 0.3~0.5% となし抗張力を 110kg 以上となすことは容易なるも、絞伸、衝撃値を餘り低下せしめぬためには *Cr*、*Mn* の添加量を限定する必要あり。依て本鋼が 110kg *Ni*・*Cr* 肌焼鋼と同等以上の機械的性質を示す成分範囲は、大約 *Mn* 1.0~2.5%、*Cr* 5~7%、*Mo* 0.3~0.5% なり特に *Mn* 2.5%、*Cr* 7.0%、*Mo* 0.3~0.5% のものは最も優秀にして焼入後硬度 389~391、抗張力 126~131 kg/mm²、伸 13.5~15.0%、絞 57~60%、衝撃値 8.2~8.3 kgM/cm² を示す。

尙以上の結果も前節 *Cr*・*Mn* 肌焼鋼の場合に記載せると同様に、抗張試験片が標準寸法ならざる事と炭素含有量

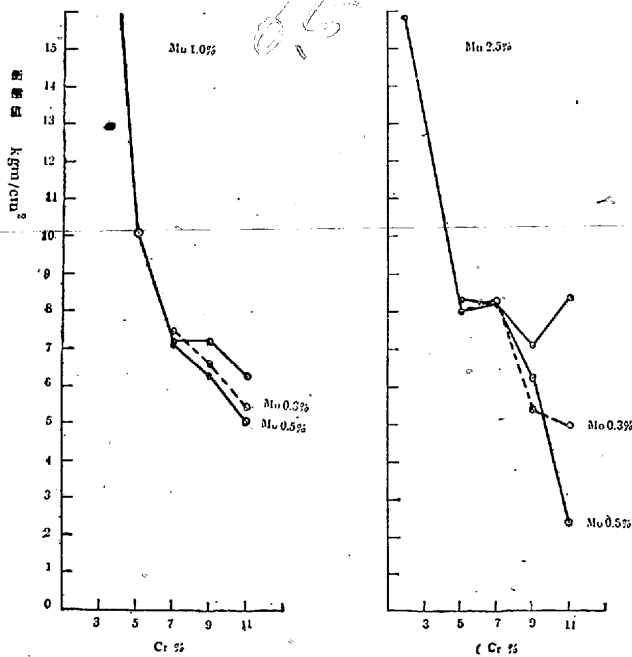
第 8 圖

第 9 圖



第 10 圖

第 11 圖



第 6 表

成分		焼入後のグイツカーズ硬度		
Mn	Cr	Mo なきもの	Mo 0.3% 添加せるもの	Mo 0.5% 添加せるもの
1.0	2.0	142	—	—
1.0	5.0	286	—	—
1.0	7.0	351	352	393
1.0	9.0	363	383	425
1.0	11.0	362	378	417
2.5	2.0	239	—	—
2.5	5.0	331	353	367
2.5	7.0	335	389	391
2.5	9.0	342	417	409
2.5	11.0	330	413	407

が約 0.05% なる事に就ては將來尙、研究すべき點なりと考へらる。

(3) 滲炭 以上の結果肌焼鋼として充分採用し得べしと考へらる Cr・Mn・Mo 鋼數種のものにつき滲炭を行ひ焼入後の表面硬度を測定したるに第 9 表の如し。但し滲炭剤は木炭 65%, BaCO₃ 25%, Na₂CO₃ 10%, 滲炭温度 900~950°C, 滲炭時間 10 時間, 此の結果本鋼も肌焼鋼として滲炭焼入後の硬度なるを知る。

結 論

(1) 炭素含有量 0.05% の他に Cr・Mn 或は Cr・Mn・Mo を含有せしめたる各種鋼に就きての實驗室的研究に依れば Mn 1.0~2.5%, Cr 9%, 或は Mn 1.0~2.5%,

第 7 表

成 分 %		焼入状態の機械的性質								
		Mo なきもの			Mo 0.3% 添加せるもの			Mo 0.5% 添加せるもの		
Mn	Cr	抗張力 kg/mm ²	伸 %	絞 %	抗張力 kg/mm ²	伸 %	絞 %	抗張力 kg/mm ²	伸 %	絞 %
1.0	2.0	47.3	20.0	79	—	—	—	—	—	—
1.0	5.0	93.8	15.0	65	—	—	—	—	—	—
1.0	7.0	108.3	14.0	59	115.6	13.5	57	127.3	13.5	53
1.0	9.0	116.7	15.3	55	125.0	13.5	55	133.0	13.5	52
1.0	11.0	117.2	14.3	57	121.0	13.5	54	130.5	13.8	53
2.5	2.0	75.0	15.3	71	—	—	—	—	—	—
2.5	5.0	107.9	14.0	54	109.5	14.0	61	116.9	14.0	53
2.5	7.0	108.1	14.3	58	130.9	13.5	57	126.4	15.0	60
2.5	9.0	110.7	15.0	53	131.9	10.0	41	134.5	11.8	48
2.5	11.0	110.5	15.0	57	137.9	9.0	30	142.2	8.3	24

第 8 表

成 分 %		焼入状態の衝撃値 kgM/mm ²		
		Mo なきもの	Mo 0.3% 添加せるもの	Mo 0.5% 添加せるもの
Mn	Cr			
1.0	2.0	—	—	—
1.0	5.0	10.1	—	—
1.0	7.0	7.2	7.5	7.1
1.0	9.0	7.3	6.6	6.3
1.0	11.0	6.3	5.5	5.1
2.5	2.0	15.8	—	—
2.5	5.0	8.0	8.0	8.3
2.5	7.0	8.2	8.3	8.2
2.5	9.0	7.1	5.4	6.2
2.5	11.0	8.4	5.0	2.4

第 9 表

成 分 %				滲炭後 焼入温度°C	表面のグレイカーニ硬度	平均硬度
C	Mn	Cr	Mo			
0.05	1.0	7.0	0.3	900	920 870 870 933 882	895
0.05	1.0	7.0	0.5	900	876 946 870 894 920	901
0.05	2.5	7.0	0.3	850	950 894 933 920 900	920
0.05	2.5	7.0	0.5	850	933 920 882 960 870	913

Cr 5~7%, Mo 0.3~0.5% の鋼は、焼入後の機械的性質並に滲炭焼入後の表面硬度に於て、現用 110kg Ni・Cr 肌焼鋼と同等の性能を示す。尙焼入温度に加熱後の冷却に際しての變態温度下降の程度より推測するも是等の鋼は何れも焼入に對する質量效果充分良好なりと考へらる。

(2) 以上の實驗は何れも炭素含有量約 0.05% のものに就き得たる結果なるも工業的には炭素 0.15% 以下と考へざるべからず。炭素を 0.05% より 0.15% に増大することに依て抗張力、硬度は多少増大し、伸及衝撃値は多少減少するやも知れず、將來工業實驗を要する點なりと考へらる。

(3) 以上の諸結果は實驗室に於て熔解量 1.5kg, 炭素含有量約 0.05% の鋼に就き得たる結果にして衝撃試片は標準寸法なるも抗張試験片は徑 7.0mm 標點距離 30mm にして陸海航路の抗張試片とは異なるを以て、本研究に依て得られたる機械的性質(硬度、衝撃値、抗張力、伸)中伸のみは再検討を要す可し。従て適當なる機會を得れば相當重量の熔解をなし總て陸海航路標準寸法による試験を行ひ引續き本鋼により現在 110kg 肌焼鋼を使用し居る發動機部品を作製し實物試験を行ふを安全とす。

40