

場合には銑鐵一部配合或は加炭によつて行はれる一般普通の實例である。

終りに爐容8噸爐に於ける Cr-Mo 鋼の作業實例を附記す。作業経過の概況は第13圖及び第14圖に一括して示せり、8分通り熔解のとき試料分析せるに C 0.60% あり、豫定の C 0.40 よりも高目なることを知つたので全熔解前に餘分に鑛石を使用せり。2回除滓法を適用し第一次酸化期の地金に對する鋼滓比は65%にして第2次酸化期に移るとき8分通り除滓せり。又第2次酸化期では少量の鑛石投入に止め専ら昇熱と第1次酸化期の過酸化の防止を計れり。酸化末期の C% は0.14にして略豫定通りなり。還元配合材には少量のフェロシリコンを加へ、又還元中期の最高カーバイドは大體1%見當とせり。還元初期鋼滓中の CaO 73% あり、螢石で調節せるが豫め配合材に少量の SiO<sub>2</sub> 質のもの加ふべきであらうと考へる。還元鋼滓の調整としてその初期は専ら C 粉及び螢石添加により行ひ後半期は珪素粉を使用せり。

## V. 結 論

鹽基性電爐製鋼法を作業上より仔細に検討すれば技術上種々の問題あるべく、殊に原料地金及び爐の型式等に就きても亦重要研究項目であるが、茲に精鍊上の問題につき一應結論を與へると次の如くである。

- 1) 製出鋼の品質的に揃つたもの且順調なる連續作業を望むためには合理化せる一定の標準作業方式を選定せねばならぬ。
- 2) 特に高温作業なることを考慮しなるべく酸化及び還元操作を迅速に處理し、爐材の熔蝕に留意して作業方式を設定すべきである。
- 3) 爐の觀測に對してはなるべく計器分析設備を動員し、一方理論の應用、判斷の適確を期し鋼を作る者自身が鋼の甲乙を直接鑑定すべく訓練せらるべきである。
- 4) 酸化精鍊に對しては2回除滓法を推奨する。還元精鍊に就きては強制脱酸劑の活用に將來性があるやうである。

## 代 用 鋼 の 吟 味

(日本鐵鋼協會第27回講演大會講演 昭・17. 4. 東京)

富 川 直 正\*

### EINIGE UNTERSUCHUNGEN UEBER NICKEL-FREIE BAUSTAEHLE

Naomasa Tomikawa

**ZUSAMMENFASSUNG:**—Bei der Abschreckung Cr- und Cr-Mo-Stähle kristallisiert der nadelartige Ferrit sich leicht heraus, so muss man, um ihnen hohe Festigkeit zu geben, verhältnismässig niedrige Anlasstemperaturen wählen. Der nadelartigen Ferrit haltende Stahl hat natürlich die niedrigere Kerbzähigkeit als der aus Martensit angelassene, aber der erstere steht doch dem letzteren an der Ermüdungsgrenze nicht nach.

Die Oelabschreckung, die nach der Raschabkühlung durch Wasser bei einem Temperaturgebiet, etwa 600°C, folgt, verhindert die Präzipitation des nadelartigen Ferrits und man erhält damit die gleiche Resultat betreffs der Abschreckungseffekt als die völlige Wasserabschreckung und ausserdem kann man die Härterissen vermeiden.

Aus den Ergebnissen, dass Cr-Mo-Stähle höhere Dauerstandfestigkeit und schwächere Brüchigkeitsanfälligkeit durch Langzeitserhitzung als Ni-freie Stähle haben, mag man schliessen, dass die erstere für die an der hohe Temperatur und hohem Druck ausgesetzte Scheibe vielmehr geeignet sind.

### 目 次

- |            |          |
|------------|----------|
| I. 緒 言     | IV. 焼戻脆性 |
| II. 質量効果   | V. 試作製車  |
| III. 疲 勞 限 | VI. 結 言  |

### I. 緒 言

研究委員會が設けられ、其一部に於ては造機材料、特に其當時商工省より發表された暫定代用規格鋼5種類に就き規格の検討、試作品の製作、其材質調査等を受持つた。此等鋼種に就ては其後他社に於ても同様に検討が加へられ、其研究結果は已に多數發表もあり、又規格も改良を加へられ臨時日本標準規格として制定されるに至つて居る。此處に當所委員會の研究結果を發表するに當つてもなるべく從來

昭和15年6月三菱重工業株式會社社長崎製鋼所に代用鋼

\* 三菱重工業會社社長崎製鋼所

の發表とは重複せぬやう、試作翼車の成績等に重點を置く事にしたい。

## II. 質量效果

代用鋼が従來のニツケルを含む特殊鋼に較べ幾分劣ると言ふ事は已に周知の事實で今更蛇足を加へる必要もないが其程度を示す方法として太さの異なる丸棒に就き、夫々性能曲線を求め、規格に合格する温度範囲の廣狹を調べ、組織と關聯して考察し水焼入の効果を含味したから其結果を説明したい。

先づクロム鋼第1種であるが、酸性高周波爐にて 400kg 鋼塊を熔製し、壓延機で 26mm, 50mm 及び 100mm の丸棒に壓延する。實驗に用ひられた鋼塊の成分は第1表の如く炭素及びマンガンは規格の下限に近く、クロムは規格の中庸にある。

第1表 クロム鋼成分

	C	P	S	Cu	Mn	Si	Cr
	%	%	%	%	%	%	%
規格	0.30~0.40	<0.035	<0.035	—	0.50~0.80	<0.35	0.80~1.20
B-794	0.30	0.024	0.005	0.20	0.50	0.26	1.04

26mm 及び 50mm 丸棒は單長 125mm, 100mm 丸棒は 200mm の長さに切斷し、870°C に燒準後 850°C から燒入した。尚保持時間は夫々 1, 2, 4h である。26mm 丸棒は油燒入と水燒入を比較し、50mm 以上は規格に依り全て水燒入した。

燒入温度を 500°C から 700°C迄の間、階段的に變へ油中冷却してその材料試験の結果から性能曲線を求める。50mm 以上の丸棒は周邊及び中央から試験片を採り比較する。全て試験結果は試験片 2~4 本の平均値を採り第 2~4 表が得られた。

第2表 クロム鋼 26mm 丸棒

燒入温度	降伏點 kg/mm <sup>2</sup>	抗張力 kg/mm <sup>2</sup>	伸 %	絞 %	シャルピー	
					ブリネル	kgm/cm <sup>2</sup>
燒入	>C0	>75	>15	>45	>10	—
油燒入 500°C	102.0	110.2	14.3	47.6	5.5	341
550°C	91.1	101.7	18.0	54.0	6.9	316
600°C	80.8	90.5	20.3	60.2	15.2	274
620°C	73.6	85.3	21.7	63.1	17.4	260
650°C	67.2	80.8	24.0	66.5	20.9	246
670°C	63.7	78.2	25.0	66.2	22.6	229
700°C	58.9	74.1	26.0	68.2	28.1	223
水燒入 500°C	106.0	119.3	14.0	48.0	6.4	347
550°C	99.1	106.3	18.0	54.5	9.3	311
600°C	85.6	94.7	19.0	55.1	14.4	285
620°C	80.4	90.7	21.7	61.4	17.0	272
650°C	76.0	85.6	23.0	59.7	19.9	255
670°C	71.3	83.4	25.0	66.5	20.4	248
700°C	62.8	77.3	26.7	68.1	26.7	229

第3表 クロム鋼 50mm 丸棒 (水焼入)

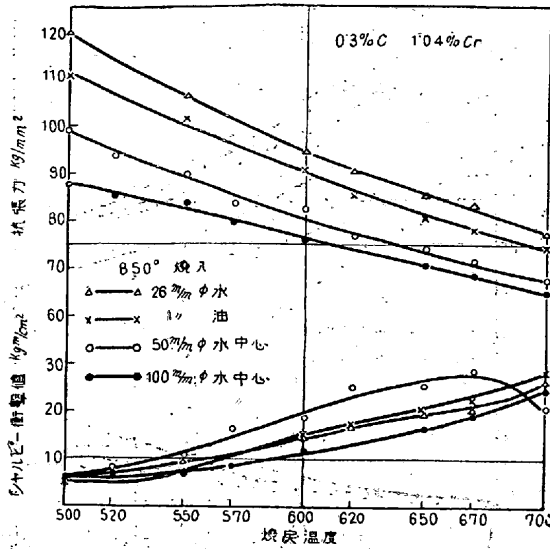
燒入温度	位置	降伏點 kg/mm <sup>2</sup>	抗張力 kg/mm <sup>2</sup>	伸 %	絞 %	シャルピー	
						ブリネル	kgm/cm <sup>2</sup>
500°C	周邊	88.7	104.3	17	52.5	6.2	307
	中心	80.6	98.8	17	49.0	6.0	293
520°C	周邊	88.7	101.7	17	55.0	7.5	302
	中心	81.2	93.6	19	54.0	8.4	285
550°C	周邊	82.2	94.2	20	58.7	11.0	285
	中心	77.3	89.7	20	58.7	10.9	269
570°C	周邊	75.1	89.1	22	62.3	15.5	266
	中心	70.8	83.8	21	61.4	16.1	255
600°C	周邊	67.6	82.9	23	65.5	17.3	252
	中心	66.9	82.5	23	67.3	18.9	255
620°C	周邊	66.3	80.6	25	60.5	20.2	235
	中心	63.0	76.7	26	59.6	25.0	229
650°C	周邊	63.4	76.7	26	60.5	22.8	226
	中心	61.1	74.1	27	59.6	25.3	229
670°C	周邊	59.1	74.1	26.5	62.3	23.2	232
	中心	57.2	71.5	26	64.9	28.4	223
700°C	周邊	58.2	71.2	28.5	63.1	24.3	207
	中心	51.3	67.6	29	63.5	20.9	201

第4表 クロム鋼 100mm 丸棒 (水焼入)

燒入温度	位置	降伏點 kg/mm <sup>2</sup>	抗張力 kg/mm <sup>2</sup>	伸 %	絞 %	シャルピー	
						ブリネル	kgm/cm <sup>2</sup>
500°C	周邊	77.3	91.0	18	51.0	5.7	285
	中心	74.1	87.1	17	49.0	6.0	262
520°C	周邊	73.4	89.7	19	51.0	6.2	262
	中心	73.4	85.1	21	52.0	6.7	262
550°C	周邊	78.0	91.0	18	54.0	6.5	269
	中心	71.5	83.8	21	54.9	6.5	255
570°C	周邊	69.5	86.4	21	58.7	7.8	262
	中心	62.4	79.9	21	56.8	8.6	248
600°C	周邊	62.4	79.9	23	61.4	9.2	229
	中心	59.8	76.0	24	58.7	11.9	229
620°C	周邊	60.4	76.0	25	61.4	12.0	229
	中心	59.1	74.1	26	67.3	13.5	217
650°C	周邊	59.1	74.1	26	65.7	16.7	217
	中心	53.9	70.8	24	65.7	16.3	223
670°C	周邊	57.8	74.1	26	67.3	18.6	223
	中心	52.6	68.9	26	67.3	19.0	201
700°C	周邊	53.9	70.2	28	69.0	20.1	192
	中心	48.7	65.0	28	69.0	24.3	197

試験結果を考察すれば燒入温度の上限を決める強度は抗張力、下限を決める靱性はシャルピー衝撃値である事が知られる。換言すれば抗張力が合格すれば降伏點は必ず合格する、衝撃値が合格すれば伸も絞も規格に合格する。其故抗張力と衝撃値の性能曲線から質量效果を比較すれば足りる。第1圖は第2表以下を比較したもので、簡明にする爲に周邊より採取した試験片の結果は省略する。

26mm 丸棒では油燒入と水燒入と比較して衝撃値は大差はないが、抗張力は水燒入の方常に高い値を示して居る。規格に合格する燒入温度範囲は共に 100°C 以上もあり熱處理容易と思はれる。



第1圖 クロム鋼第1種

50mm 丸棒では強度は落ちるが靱性が増すので焼戻温度範囲は尙 100°C 程ある。然し同一抗張力で比較すれば 26mm 丸棒の成績に較べ衝撃値は稍劣るやうである。又規格の熱処理温度範囲に比し低い温度で焼戻しなければならぬやうになる。

更に 100mm 丸棒では規格に合格する焼戻温度範囲が約 25°C に減じ安心して熱処理する事が不可能となる。現場的に安心して熱処理出来る爲には 40°C 以上欲しいから水焼入でも 80mm 位が最大直径でないかと思はれる。即ち 100mm 丸棒では抗張力と共に衝撃値も落ちる爲に焼戻温度範囲が急に狭くなつて居る。

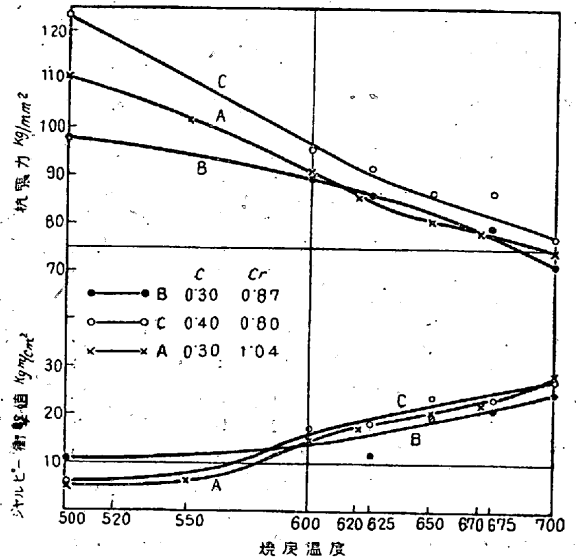
焼入効果は質量の外に成分的にも考慮の必要がある。

第5表の如き成分、即ち A は前述のもの、B は炭素が規格の下限に近くクロムも少いもの、C は炭素が規格の上限にある代りクロムが規格の下限にあるものに就き、26mm 丸棒 油焼入にて性能曲線を比較すれば第2圖が得られる。

第5表 クロム鋼成分

	C	P	S	Cu	Mn	Si	Cr
	%	%	%	%	%	%	%
規格	0.30~0.40	>0.035	<0.035	—	0.50~0.80	<0.35	0.80~1.20
A	0.30	0.024	0.005	0.20	0.50	0.26	1.04
B	0.30	0.015	0.012	0.27	0.55	0.29	0.87
C	0.40	0.019	0.006	0.24	0.63	0.34	0.80

A と B はクロムの多少の比較であるが特に低温焼戻の際大差が見られクロムの少いものは強度は劣るが靱性は良い。然し高温に焼戻されると衝撃値は寧ろクロムの多い方が良くなつて来る。此事は前述 26mm と 50mm 丸棒の比較と同様で、クロムは焼入効果を増す事著しい事が想像される。



第2圖 クロム鋼第1種

B と C の比較は炭素の多少の比較であり、その影響はクロムと同様、寧ろクロムよりも焼入効果に影響する事が知られる。

この鋼種は炭素及びクロムの焼入効果に及ぼす影響が相当大であるから質量大なるものは特に成分的に規格の上限を狙はねばならぬ。

次にクロムモリブデン鋼に就ても同様な実験を施行した。用ひられた鋼塊の成分は第6表に見る如く規格に比しマンガン、クロムは下限に近く、モリブデンは上限、炭素は中庸を示す。

第6表 クロムモリブデン鋼第1種成分

	C	P	S	Mn	Si	Cr	Mo
	%	%	%	%	%	%	%
規格	0.27~0.37	<0.035	<0.035	0.36~0.60	<0.35	1.0~1.5	0.20~0.30
B-795	0.33	0.025	0.011	0.30	0.18	1.09	0.30

850°C より焼入して、材料試験結果は第7~9表に示す如く、この場合に於ても強度では抗張力が焼戻温度の上限

第7表 クロムモリブデン鋼第1種

焼入	焼戻温度	降伏点	抗張力	伸	絞	シャルピー	ブリネル
		kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	%	%	kgm/cm <sup>2</sup>	
油焼入	500°C	110.2	120.4	14.3	44.8	5.8	375
	550°C	103.5	112.4	16.7	49.0	7.3	356
	580°C	97.5	105.7	17.7	51.0	9.4	324
	600°C	86.7	96.8	20.3	56.5	11.4	293
	620°C	85.5	96.2	20.3	58.1	13.5	293
	650°C	76.4	88.8	22.3	60.8	15.2	276
	670°C	73.9	84.7	23.3	63.1	16.1	260
水焼入	500°C	116.0	124.5	11.0	42.1	5.8	358
	550°C	102.7	112.4	15.7	49.0	7.2	341
	580°C	102.4	109.5	17.7	55.1	9.5	341
	600°C	95.1	102.4	17.7	52.8	11.7	315
	620°C	87.1	96.8	18.5	57.8	12.3	294
	650°C	78.9	89.5	20.7	58.1	14.4	269
	670°C	76.3	86.9	21.3	58.6	15.4	260

を定め、衝撃値が下限を決めるやうであるから此等の性能曲線を求めて第3圖が得られる。

第8表 クロムモリブデン鋼 50mm 丸棒(水焼入)

焼戻位置	降伏點 kg/mm <sup>2</sup>	抗張力 kg/mm <sup>2</sup>	伸 %	絞 %	シャル ピー kgm/cm <sup>2</sup>	ブリネ ル	
500°C	周 邊	107.6	120.9	16	46.2	6.3	347
	中 心	93.6	111.8	15	44.8	6.3	331
520°C	周 邊	102.1	113.7	17	49.0	7.3	341
	中 心	96.2	107.2	16	46.9	7.6	331
550°C	周 邊	100.1	108.9	17	54.0	8.2	321
	中 心	91.6	102.0	18	54.0	9.8	302
570°C	周 邊	89.7	102.0	17.5	55.3	10.5	298
	中 心	84.5	96.2	19	58.7	12.2	285
600°C	周 邊	86.4	95.8	20	60.0	13.0	293
	中 心	79.3	89.7	21	63.1	15.0	269
620°C	周 邊	78.3	89.0	23	61.4	14.6	255
	中 心	68.9	83.8	24	63.1	16.6	248
650°C	周 邊	72.8	86.1	25	63.1	15.8	252
	中 心	68.2	81.2	24	63.1	17.6	235
670°C	周 邊	68.6	80.9	25	65.7	16.9	248
	中 心	63.0	76.7	26	67.3	18.4	223
700°C	周 邊	61.1	74.4	27.5	67.3	19.2	229
	中 心	60.4	72.8	29	67.3	21.3	212

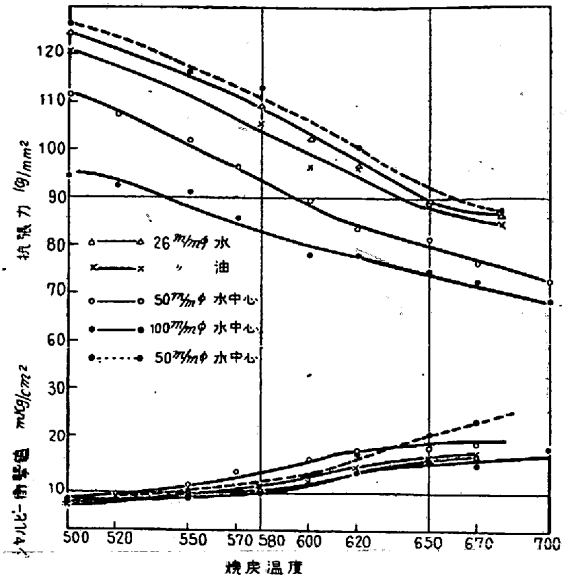
第9表 クロムモリブデン鋼 100mm 丸棒(水焼入)

焼戻位置	降伏點 kg/mm <sup>2</sup>	抗張力 kg/mm <sup>2</sup>	伸 %	絞 %	シャル ピー kgm/cm <sup>2</sup>	ブリネ ル	
500°C	周 邊	96.5	109.2	15	46.9	4.7	341
	中 心	78.0	94.2	18	48.0	6.3	277
520°C	周 邊	88.4	104.0	17	49.0	4.5	311
	中 心	73.4	92.3	17	45.8	6.7	285
550°C	周 邊	86.4	98.1	19	54.0	5.5	293
	中 心	71.5	91.0	20	51.0	6.6	269
570°C	周 邊	72.8	91.0	21	60.5	10.5	277
	中 心	70.2	85.8	19	53.0	8.6	269
600°C	周 邊	74.1	88.4	21	61.4	9.6	277
	中 心	61.1	78.0	24	59.6	13.8	223
620°C	周 邊	66.9	83.2	23	64.9	12.4	255
	中 心	58.5	78.0	24	61.4	16.7	217
650°C	周 邊	61.7	79.9	22	64.0	14.9	248
	中 心	57.2	74.7	23	63.1	14.9	212
670°C	周 邊	63.7	78.6	25	64.9	15.7	223
	中 心	55.2	72.8	25	64.9	14.0	212
700°C	周 邊	53.9	74.1	26	67.3	17.5	229
	中 心	50.0	68.2	26	67.3	17.5	217

第3圖から知られる事はクロムモリブデン鋼第1種はクロム鋼第1種と異り 26mm 丸棒では油焼入と水焼入では殆ど差が認められぬ事である。この場合規格に合格する焼戻温度範囲は約 90°C あり熱処理容易である。

50mm 丸棒はクロム鋼同様水焼入にて抗張力は減じても衝撃値が良くなるので焼戻温度範囲が尙 65°C ある。但規格に定められた熱処理温度より低目の焼戻温度を選ばねばならぬ。

100mm 丸棒では抗張力と共に衝撃値も下るので遂に規格に合格する焼戻温度範囲が無くなる。



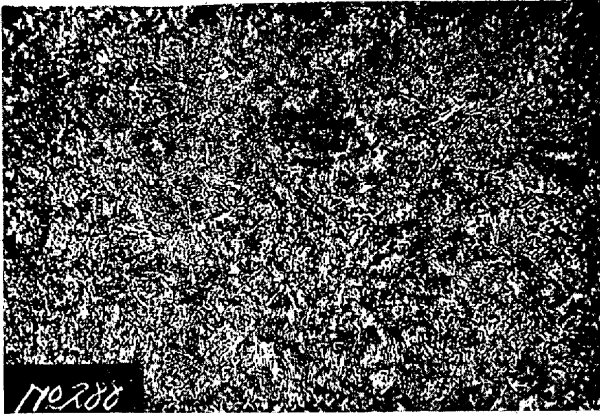
第3圖 クロムモリブデン鋼第1種

此處に於ても成分的に考察の必要がある。例へば前述のものに較べ炭素(0.35%), クロム(1.17%), マンガン(0.56%) が僅かに多い別のチャージで 50mm 丸棒、水焼入の性能曲線を求め破線を以て第3圖に加へれば圖に於て明かなやうに抗張力甚だ高く B-795 の 25mm 丸棒よりも高い値を示す。即ちこの場合でも成分を上限に採れば相當大きな質量のもの迄規格が適用される事を知る。

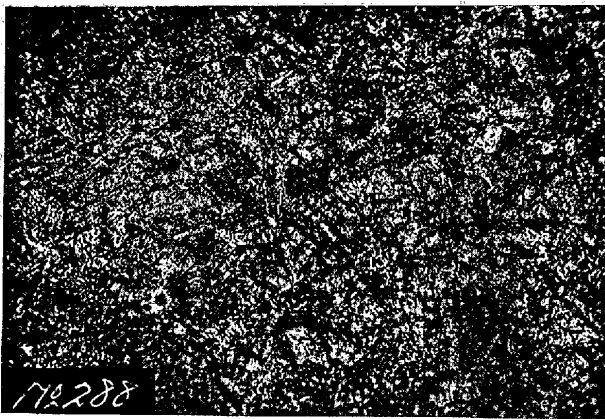
以上の如き性能曲線の變化は是を組織的に説明すれば一層明瞭と成る。即ち 26mm 丸棒では油焼入でも完全にマルテンサイト組織に迄焼入する事が出来るが質量大になるに連れ焼入効果が不完全と成り、ベイナイト組織、又は針狀堆鐵の析出が始まる。此事は焼入硬度に現れ、例へばクロムモリブデン鋼の水焼入硬度は 26mm 丸棒にてブリネルの約 530, 50mm 丸棒にて約 430, 100mm 丸棒にて約 330 である。規格に合格する爲には焼入硬度 400 以上なければ危い。而して焼入硬度 400 臺のものは低温焼戻では靱性が良いが、高温焼戻ではマルテンサイト組織、即ち 500 以上のものを焼戻したものに劣る。焼入硬度 300 臺のものは針狀フェライトの析出甚だしく、抗張力、衝撃値共に低い値を示す。

寫眞は B-795 水焼入、600°C 焼戻の 100 倍率顯微鏡組織である。

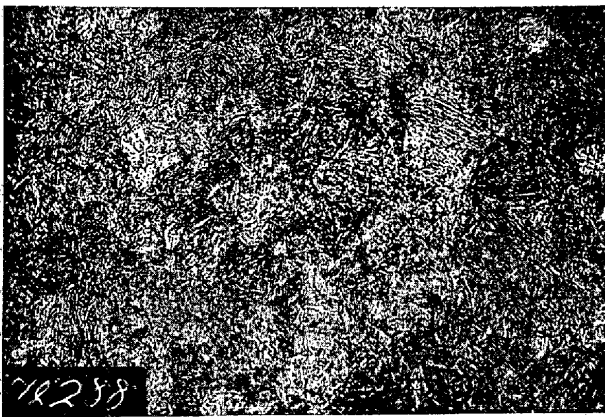
規格に合格する爲には少くともこの針狀フェライトの析出を防がねばならぬ。然し針狀フェライトの析出は 600°C 附近であるから少くとも此温度迄を急冷すれば後は比較的徐冷してもよい、故に 50mm 以上の丸棒でも完全な水焼



100mm 丸棒; 850°C, 水焼入; 600°C, 油冷 × 100



50mm 丸棒; 850°C, 水焼入; 600°C, 油冷 × 100



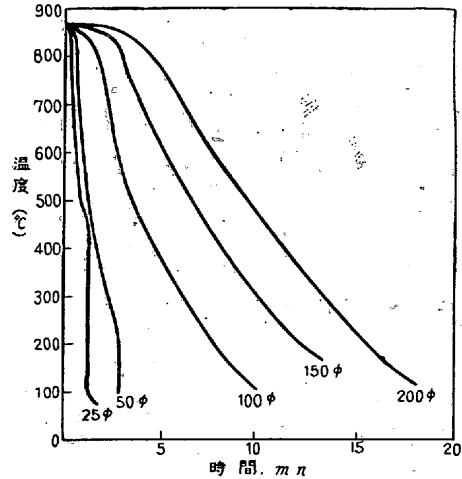
26mm 丸棒; 850°C, 水焼入; 600°C, 油冷 × 100

第 10 表 50mm 丸棒水冷の効果 (600°C 焼戻)

水時	冷間	位置	降伏点	抗張力	伸	絞	シャル	ブリネ
			kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>				
油焼入	10 s	周辺	77.7	91.0	20.5	56.4	9.2	269
		中心	75.4	86.4	21	56.8	11.5	255
	30 s	周辺	83.9	93.6	18.5	53.9	10.0	277
		中心	70.2	83.2	20	58.7	10.0	248
水焼入	60 s	周辺	83.2	93.0	19.5	58.7	13.1	277
		中心	73.4	85.8	19	58.7	12.4	255
	90 s	周辺	88.4	98.2	19	57.7	11.1	285
		中心	78.0	88.4	20	58.7	13.0	262
水焼入	周辺	86.8	97.2	17.5	55.0	10.0	285	
	中心	79.3	90.3	20	58.7	12.0	269	
水焼入	周辺	86.4	95.8	20	60.0	13.0	293	
	中心	79.3	89.7	21	63.1	15.0	269	

入は必要で無く或時間後は油焼入でも良い筈である。その方が焼割の危険も少い。

クロムモリブデン鋼 50mm 丸棒を水冷後油焼入する事とし、その水冷の時間を變へて成績を比較して第 10 表が得られる。即ち水冷 1~1.5mm 後油焼入すれば完全に水焼入したものと變りが無い。第 4 圖はこの鋼種を水焼入した



第 4 圖

代用鋼の水焼入時に於ける冷却曲線 相當の成績を示して居る。然し餘り大なるもの、200mm 以上では中心が 600°C 迄下るのを待てば内外の温度差大となり焼割の危険を避ける事が困難となる。

クロムモリブデン鋼第 2 種に就ては研究未済であるが、是に近似の成分のものに就き 25mm 丸棒から 250mm 丸棒迄 (長さは直径の 2.5 倍以上) の質量効果を調査した。規格に比し炭素高く、マンガン及びクロムが稍不足するものである。

平均直径 475mm の鹽基性 2t 鋼塊から鍛造し、870°C で焼準、850°C から油焼入、620°C に焼戻後油中冷却して第 11 表が得られた。この成分でもクロムモリブデン鋼第 2

第 11 表 クロムモリブデン鋼

C	P	S	Mn	Si	Cr	Mo	Ni
%	%	%	%	%	%	%	%
0.25~0.35	<0.035	<0.035	0.80~1.15	<0.40	2.30~2.80	0.20~0.40	—
0.39	0.030	0.005	0.60	0.31	2.06	0.37	0.48
直径	位置	降伏点	抗張力	伸	絞	シャル	ブリネ
250mm	周辺	>80	>100	>14	>40	>7	—
20mm	周辺	89.7	105.3	19	54.0	6.1	293
	中心	87.7	101.4	19	49.0	6.7	277
150mm	周辺	87.7	104.0	20	56.8	6.5	293
	中心	85.1	99.4	20	54.0	6.6	277
100mm	周辺	86.4	103.3	22	58.7	7.7	302
	中心	84.5	99.4	20	54.0	7.8	285
50mm	周辺	89.0	105.9	21	56.8	8.8	311
	中心	84.5	100.7	21	58.7	11.7	293
25mm	周辺	96.2	109.2	19	54.0	9.8	311
	中心	95.5	107.9	20	58.7	10.9	302

種1號の規格に100mm迄合格して居る。又100mm以上250mm迄大差無い成績を示して居る。組織を見ると100mm以上では針狀地鐵の析出が始め、然し其割合は150~250mmでは大差が無い。

### III. 疲 勞 限

上述のやうに代用鋼は一般に從來のニツケルを含む特殊鋼に較べ質量効果の點で多少劣るから強度を得る爲に低温で焼戻しなければならぬ場合がある。この場合衝撃値は落ちるものとして、疲勞限に及ぼす影響も調査して置きたい。

第6表の成分を有するクロムモリブデン鋼の26mm丸棒を用ひ、焼入状態を變へ、小野式疲勞試験機に依る疲勞限の比較を行ふ。即ち第12表に見るやうに焼入方法を水冷、油冷及び衝風冷却に變化させると、焼入硬度は夫々ブリネル硬度534, 429, 331と成る。冷却曲線及び焼入硬度から、油焼入、衝風焼入は40mm及び100mm丸棒を水焼入した場合の中心に於ける成績に相似するものと思はれる。

第12表 熱處理法

符號	焼 入	ブリネル 硬 度	焼戻	ブリネル 硬 度
2 A	880° 水 燒入	534	650° 油冷	262
2 B	880° 油 燒入	429	630° 油冷	262
2 C	880° 衝風燒入	331	560° 油冷	262

是等を同一硬度262を得るやう焼戻温度を變へて熱處理する。

材料試験の結果は第13表に見るやうに、衝風焼入のものは殊に衝撃値が低いが疲勞限の對抗張力比は遜色が無い。

第13表 機械試験成績

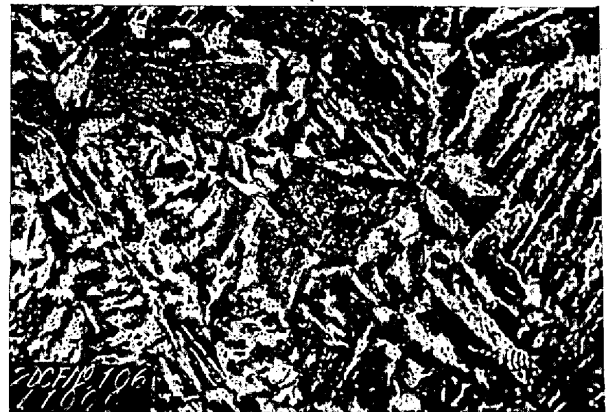
符號	降伏點 kg/mm <sup>2</sup>	抗張力 kg/mm <sup>2</sup>	伸 縮 %	絞 %	シャル ピー kgm/cm <sup>2</sup>	疲勞限 kg/mm <sup>2</sup>	疲勞限 抗張力
2 A	78.0	89.7	25	64.0	14.0	45.2	0.504
2 B	72.1	87.0	23	62.9	14.0	42.4	0.487
2 C	76.0	89.2	20	56.8	3.3	42.8	0.480



880°C, 水焼入; 650°C, 油冷 × 1000



880°C, 油焼入; 630°C, 油冷 × 1000



880°C, 衝風焼入; 560°C, 油冷 × 1000

尙顯微鏡組織を比較すれば寫眞の如く、衝風焼入のものに針狀地鐵が見られる。

### IV. 焼 戻 脆 性

高温高压のボイラー用螺釘、又はタービン翼車等耐熱鋼として用ひられる場合、長時間加熱に依る脆化が問題になる。文献に依ればクロムモリブデン鋼は從來のニツケルを含む鋼よりも此點秀れて居ると言はれて居るが、ニツケルクロム鋼第5種は焼戻脆性が甚しいと言はれ、又長時間加熱に依る脆化は焼戻脆性と關係が深いとも言はれる故調査の必要がある。

第14表の如き成分を有するクロム鋼第1種、クロムモリブデン鋼第1種及びニツケルクロム鋼第5種の26mm丸棒を油焼入(ニツケルクロム鋼第5種のみ空冷)の場合と150mm丸棒を油焼入した場合の冷却曲線に似せて冷却さ

第14表 化學成分

	C	P	S	Cu	Mn	S	Ni	Cr	Mo
クロム鋼第1種	0.30	0.015	0.012	0.27	0.55	0.29	—	0.47	—
クロムモリブデン鋼第1種	0.35	0.016	0.012	0.20	0.56	0.35	0.22	1.17	0.30
ニツケルクロム鋼第5種	0.28	0.032	0.011	0.29	1.15	0.35	1.10	2.85	0.30

第 15 表 焼 戻 脆 性

鋼 種	焼入寸法 mm	焼戻温度	冷却	2h 加 熱		500°×250h		500°×500h	
				シャルピー kgm/cm <sup>2</sup>	ブリネル	シャルピー kgm/cm <sup>2</sup>	ブリネル	シャルピー kgm/cm <sup>2</sup>	ブリネル
クロム鋼第1種	25	500°	空冷	11.0	277	6.1	268	5.3	277
		650°	油冷	19.0	236	9.0	236	10.0	229
		650°	爐冷	17.0	236	9.7	243	—	—
	150	500°	空冷	13.9	184	12.1	178	12.0	172
		650°	油冷	17.0	173	11.2	168	13.0	164
		650°	爐冷	14.2	173	12.0	168	11.7	168
クロムモリブデン鋼第1種	25	500°	空冷	5.4	265	8.4	259	12.7	259
		650°	油冷	20.4	251	19.3	251	19.4	251
		650°	爐冷	21.2	251	21.4	251	19.1	251
	150	500°	空冷	3.1	265	5.4	259	4.9	259
		650°	油冷	9.8	222	10.5	215	9.8	215
		650°	爐冷	9.0	215	10.8	215	10.4	208
ニッケルクロム鋼第5種	25	500°	空冷	1.3	401	1.7	330	1.7	307
		650°	油冷	11.5	259	1.7	251	1.1	251
		650°	爐冷	1.7	259	2.0	251	2.7	251
	150	50°	空冷	1.3	401	1.9	307	1.5	307
		650°	油冷	7.4	251	1.9	251	1.3	243
		650°	爐冷	1.6	251	1.5	243	1.7	243

せた場合とに就き 500°C 焼戻, 650°C 焼戻後の油冷と爐冷を比較し, 又其各々を 500°C に 250 h, 500 h 保持して硬度と衝撃値の變化を調べた. 實驗結果を纏めて第 15 表が得られる.

クロム鋼は質量効果の爲 25mm と 150mm では硬度の差が大であるが, 焼戻脆性は共に僅かに認められる程度である. 然し 500°C に長時間加熱されると共に脆化を起し, その割合は焼入効果のあつた 25mm の方が著しい.

クロムモリブデン鋼も質量効果に依る硬度及び衝撃値の差はあるが, 焼戻脆性及び長時間加熱に依る脆化は共に殆ど認められぬ.

ニッケルクロム鋼第5種は質量効果の影響は無いが, 焼戻脆性は顯著に現はれ, 長時間加熱脆性も甚しい. 650°C に焼戻して後急冷して二次焼戻脆性を防いでも長時間加熱されると脆化するとすれば耐熱鋼として使用の場合には注意しなければならぬ. 上記實驗に依つても兩脆性は關係が深い事が解るから共に結晶粒界への炭化物析出が原因であらう. 此事に就ては後章に再述したい.

### V. 試 作 翼 車

上述の試験に依り代用鋼の質量効果其他は殆ど明かとなつて居るが, 是丈では使用者側を仲々納得させる事が出来ない. 試作品の材質調査が同時に急がれる譯である. 當所では従來のニッケルを含む特殊鋼の造機部分品を各種試作した. 此處では試作翼車に就き材質調査の結果を纏める.

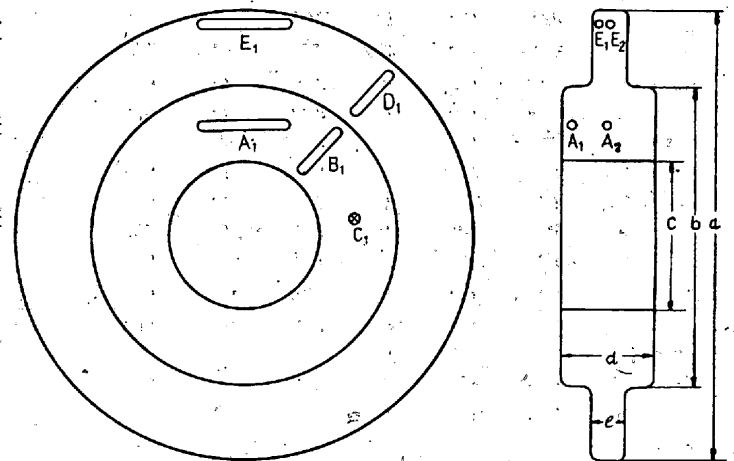


表 5 圖 試験片採取位置

6 枚の翼車の大きさ, 成分及び熱処理法は第 5 圖, 第 16 表以下の通りである. 便宜上 2 群に分ち符號 A, B 及び

第 16 表 翼車寸法 (第 5 圖参照)

符號	a mm	b mm	c mm	d mm	e mm	打上重量 kg
A	1100	470	60	160	50	780
B	1950	975	450	290	140	3700
C	1170	960	340	160	80	1900
D	760	550	120	110	50	480
E	760	550	120	110	50	480
F	760	550	120	130	50	500

第 17 表 翼車成分

	C%	P%	S%	Mn%	Si%	Ni%	Cr%	Mo%
A	0.34	0.023	0.011	0.56	0.32	—	0.99	—
B	0.35	0.016	0.012	0.56	0.35	0.22	1.17	0.30
C	0.32	0.018	0.005	1.33	0.25	1.79	1.88	0.48
D	0.29	0.013	0.010	0.43	0.32	0.68	1.84	0.25
E	0.33	0.019	0.009	1.01	0.46	1.34	2.27	0.44
F	0.31	0.026	0.009	0.47	0.28	1.67	2.82	0.51



第18表 熱處理法

符號	燒準	燒入	燒戻	備考
B	870° 爐冷	水冷2mm 850° 油燒入	700° 油冷	
B	870° 空冷	870° 油燒入	630° 油冷	
C	870° 空冷	870° 油燒入	650° 油冷	
D	830° 空冷	850° 水燒入	600° 油冷	
E	880° 空冷	850° 油燒入	650° 油冷	燒割
F	870° 爐冷	850° 油燒入	630° 油冷	

Cの翼車に就て説明すればAはクロム鋼で従來のニツケル鋼の代用となるもの、B及びCは夫々クロムモリブデン鋼及び低ニツケルクロムモリブデン鋼でニツケルクロム鋼の代用となるものである。第5圖の要領に依り試験片を採取し試験の結果は第19表の通りである。

Aはクロム鋼第1種の1t鋼塊から鍛造したもので、完

第19表 機械的性質(其1)

符號	試験片位置	降伏點 kg/mm <sup>2</sup>	抗張力 kg/mm <sup>2</sup>	伸%	絞%	シャルピー kgm/cm <sup>2</sup>	ブリネ ル
A	A <sub>1</sub>	46.8	68.9	25	63.1	10.0	207
	A <sub>2</sub>	38.3	66.3	28	58.7	12.3	187
	D	46.1	71.5	27	58.7	16.4	207
	E	45.5	68.2	31	67.3	17.9	197
	B	A <sub>1</sub>	61.7	79.9	20	49.0	7.2
B	A <sub>2</sub>	57.8	71.5	20	43.7	6.5	207
	B <sub>1</sub>	61.1	76.0	19	43.7	6.5	—
	C <sub>1</sub>	62.4	78.0	15	39.3	5.2	241
	D	61.7	80.6	21	54.0	6.5	229
	E <sub>1</sub>	63.0	80.6	22	58.7	7.2	235
C	E <sub>2</sub>	59.1	75.4	22	56.8	—	229
	A <sub>1</sub>	75.4	91.0	22	54.0	12.0	269
	A <sub>2</sub>	74.1	90.3	22	54.0	13.4	262
	B <sub>1</sub>	70.8	91.0	22	54.0	10.0	269
	C <sub>1</sub>	68.9	88.4	19	38.3	6.7	262
R <sub>1</sub>	79.3	92.3	24	54.0	11.8	277	

全水焼入の代りに前述の理由から水冷2mm後油焼入して居る。是は従來3%ニツケル鋼を用ひ第5圖A、位置に於て抗張力63kg/cm<sup>2</sup>、降伏點41kg/mm<sup>2</sup>、アイゾット4kgmを要求されて居た翼車の代用と成るもので第19表の結果から十分代用出来る事が知られる。内部の方は稍降伏點の降下が著しく、組織的にも針狀地鐵の振出が多かつたが、水冷の時間をも少し長くすれば良いと思はれる。

高溫度に於ける抗張力も400°Cで72.8kg/mm<sup>2</sup>、500°Cで52.5kg/mm<sup>2</sup>を示し、ニツケルクロム鋼第2種にも匹敵する値を示した。只疲勞限は小野式にて26.0kg/mm<sup>2</sup>抗張力の約40%で稍低いやうである。

Bはクロムモリブデン鋼第1種で作つた大型翼車で11t鋼塊から鍛造した。かゝる大型翼車は水焼入すれば熱應力大となり焼割の危険があるので油焼入した。従來は3%ニツケル0.7%クロム鋼を用ひ抗張力75kg/mm<sup>2</sup>、降伏點55kg/mm<sup>2</sup>、アイゾット4.5kgmを要求されて居たもので、是

も十分代用出来る事が解る。内部の組織は初析の地鐵とパーライトであつた。

Cは3t鋼塊を用ひた中型翼車である。従來3.5%Ni-0.7%Cr鋼を用ひ、抗張力90kg/mm<sup>2</sup>、降伏點75kg/mm<sup>2</sup>、アイゾット6kgmを要求されて居たもので、降伏點が稍不足して居る。ニツケルクロム鋼第5種に比しクロム少く、ニツケル、モリブデンが多いが、焼戻溫度を下げ、降伏點を上げる事が出来るからこの鋼種も十分代用鋼として用ひられる。第2群符號D以下は主として高温高壓で用ひられる小型翼車で、材料試験結果は第20表の如し。

第20表 機械的性質(其2)

符號	試験片位置	降伏點 kg/mm <sup>2</sup>	抗張力 kg/mm <sup>2</sup>	伸%	絞%	シャルピー kgm/cm <sup>2</sup>	ブリネ ル
D	A <sub>1</sub>	78.6	92.9	21	58.7	12.1	285
	C <sub>1</sub>	76.7	87.7	8	9.7	7.9	285
	D <sub>1</sub>	83.2	94.9	21	56.8	9.7	293
	E <sub>1</sub>	82.5	94.2	22	58.7	10.5	285
E	A <sub>1</sub>	84.5	97.5	21	53.0	8.0	293
	C <sub>1</sub>	—	90.3	—	—	5.1	269
	D <sub>1</sub>	81.9	98.8	20	46.9	9.0	—
F	E <sub>1</sub>	83.8	98.8	21	54.9	10.2	293
	A <sub>1</sub>	83.8	98.8	20	54.0	8.7	293
	A <sub>2</sub>	76.7	94.2	21	56.8	11.2	277
	D <sub>1</sub>	85.8	101.4	21	58.7	9.9	302
	E <sub>1</sub>	85.8	101.1	21	58.7	9.7	302
E <sub>2</sub>	87.1	101.1	21	58.7	9.3	302	

従來此種の翼車はニツケルクロム鋼で作る場合、3.5%Ni、0.7%Cr鋼で抗張力90kg/mm<sup>2</sup>、降伏點75kg/mm<sup>2</sup>、アイゾット6kgmを要求され、抗張力95kg/mm<sup>2</sup>、降伏點85kg/mm<sup>2</sup>、アイゾット6kgmが要求される時は更にMoを0.5%加へて居た。機械的性質は第20表に見るやうにCr・Mo鋼で十分代用出来る事が解る。尙符號Eは油焼入で焼割を生じ、この程度で翼車では強いてNi・Cr鋼第5種を用ひる必要を認めない。

高温に於ける性質は寧ろNi・Cr鋼よりもCr・Mo鋼が優秀である。即ち短時間(40mm)高温引張試験にて400°Cにて86kg/mm<sup>2</sup>、500°Cにて72.2kg/mm<sup>2</sup>を示し、クリープ

第21表 クリープ限界(0.005%/h)

	450° kg/mm <sup>2</sup>	500° kg/mm <sup>2</sup>	550° kg/mm <sup>2</sup>
クロムモリブデン鋼(D翼車)	50	32.8	2.1
ニツケルクロム鋼第3種	28.8	15.2	6.7

限界も第21表に見るやうに大である。FはNi・Cr鋼第5種の焼戻脆性を考慮に入れ、Mnを減じ、Moを加へ

※(脚註)最初の3~6hに於ける1h伸速度0.005%/hを以てクリープ限界とする迅速測定法に依る。數値は兩鋼種の代表的なものとは言へないが高温に於ける性質の優劣を示す。



た鋼種であるが、高温抗張力  $400^{\circ}\text{C}$  で  $86.0\text{kg/mm}^2$ ,  $500^{\circ}\text{C}$  で  $72.2\text{kg/mm}^2$ , Cr・Mo 鋼に匹敵する値である。長時間加熱に依る脆化も少く第 22 表の結果が得られた。此表から一旦脆化した衝撃値も更に  $630^{\circ}\text{C}$  に再加熱後急冷すれば恢復する事が解り、焼戻脆性と長時間加熱による脆化の関係が一層明かとなる。

第 22 表 F 翼車長時間加熱脆性

熱 處 理 法	シャルピー $\text{kgm/cm}^2$	ブリネル
$650^{\circ}\times 1\text{h}$ , 油冷	9.6	277
$650^{\circ}\times 1\text{h}$ , 爐冷	6.0	277
$450^{\circ}\times 100\text{h}$ , 油冷	4.9	293
$500^{\circ}\times 100\text{h}$ , 油冷	5.0	285
$450^{\circ}\times 100\text{h}$ , 油冷後 $630^{\circ}\times 1\text{h}$ , 油冷	9.5	285
$500^{\circ}\times 100\text{h}$ , 油冷後 $630^{\circ}\times 1\text{h}$ , 油冷	9.6	285

高温に使用される品物は一應焼戻脆性を調査して置く必要があらう。然し従來の Ni・Cr 鋼も第 23 表の如き脆化

第 23 表 ニッケルクロム鋼脆性

C%	Ni%	Cr%	熱 處 理 法	シャル ピー $\text{kgm/cm}^2$	ブリ ネル
0.27	3.86	0.92	$850^{\circ}$ , 油冷; $620^{\circ}$ , 油冷 $850^{\circ}$ , 油冷; $620^{\circ}$ , 油冷; $450^{\circ}$ $\times 200\text{h}$	11.8	262
			$850^{\circ}$ , 油冷; $620^{\circ}$ , 爐冷	3.8	262
			$850^{\circ}$ , 油冷; $620^{\circ}$ , 油冷	4.9	262
0.27	3.08	1.00	$850^{\circ}$ , 油冷; $620^{\circ}$ , 油冷 $850^{\circ}$ , 油冷; $620^{\circ}$ , 油冷; $450^{\circ}$ $\times 200\text{h}$	11.7	248
			$850^{\circ}$ , 油冷; $620^{\circ}$ , 油冷	6.0	248
			$850^{\circ}$ , 油冷; $620^{\circ}$ , 爐冷	5.6	248
0.30	3.25	1.02	$850^{\circ}$ , 油冷; $620^{\circ}$ , 油冷 $850^{\circ}$ , 油冷; $620^{\circ}$ , 油冷; $450^{\circ}$ $\times 200\text{h}$	9.9	262
			$850^{\circ}$ , 油冷; $620^{\circ}$ , 油冷	4.5	262
			$850^{\circ}$ , 油冷; $620^{\circ}$ , 爐冷	5.3	262

を示し、試運轉の中にも衝撃値は規格以下に下るのである

が別に故障が起らぬ所から見れば衝撃値は餘り心配しないで良からう。

## VI. 結 言

1) クロム鋼, クロムモリブデン鋼の質量効果を性能曲線の變化から論じた。規格に合格する爲には針狀フェライトの析出を防止しなければならぬ。完全な水焼入に代り適當に水冷後油焼入すれば針狀地鐵の析出を防止する事が出来、且焼割を軽減する。

2) 代用鋼はニッケルを含む特殊鋼に較べ質量効果の點で劣るから低温で焼戻しなければならぬ場合がある。その場合衝撃値は劣るのは已むを得ぬが疲労限は大して遜色がない。

3) 焼戻脆性はニッケルクロム鋼第 5 種に於て特に著しく高温に長時間保持される場合の脆化は注意を要す。クロムモリブデン鋼は此事が無い。

4) 代用鋼で翼車を 6 枚試作したが全々良好な成績を示した。特にクロムモリブデン鋼は高温に於ける性質が寧ろ従來のものより秀れて居る。

5) 従來のニッケルクロム鋼翼車も高温で使用される場合は比較的早く脆化して居た。此種翼車に對する衝撃値の規格は尙検討の必要がある。

以上の報告を發表するに當つては、三菱長崎製鋼所長中村道方氏、代用鋼研究委員會委員長岡田知彦氏、前委員長故大島和夫氏の御厚意と御援助に負ふ所が多い。厚く御禮の言葉を述べ、感謝の意を表する。