

第 11 表 B 洗 炭 成 績

月次	受入 原料石炭	素炭 灰分	洗炭 出來高	歩留	灰分	素骸高	歩留	洗炭滓 出來高	歩留	硬 炭			尾炭	水分 其他	原料石炭 骸炭
										數量	歩留	灰分			
昭和6年度1 ヶ月平均	15,990	14.6	14,736	92.1	12.1	10,087	68.5	1,254	7.9	647	4.1	51.1	46	560	1.58
昭和7年度1 ヶ月平均	15,647	14.7	14,649	93.6	12.5	10,117	69.1	0,997	6.4	454	2.9	60.5	58	484	1.54
昭和8年度1 ヶ月平均	18,068	15.9	16,644	92.1	12.6	11,550	69.4	1,425	7.9	1,093	6.1	51.9	62	270	1.56
4	18,099	15.3	17,157	94.8	12.8	11,960	69.7	0,942	5.2	817	4.5	64.6	61	64	1.51
5	18,697	15.3	17,744	94.9	12.7	12,320	69.4	0,953	5.1	874	4.5	66.0	62	17	1.51
6	18,024	15.3	17,140	95.1	12.5	11,670	68.1	0,885	4.9	748	4.2	67.1	55	81	1.54
7	18,591	15.4	17,744	95.5	12.6	12,070	68.0	0,846	4.5	764	4.1	68.0	47	36	1.54
8	18,458	15.2	17,788	96.4	12.6	11,930	67.1	0,670	3.6	611	3.3	68.9	53	5	1.55
9	17,545	14.4	17,096	97.4	12.7	11,735	68.6	0,448	2.6	424	2.4	72.5	23	1	1.50
10	18,608	14.8	17,744	95.4	12.9	12,560	70.7	0,864	4.6	415	2.2	71.6	60	389	1.48
11	18,648	15.5	17,658	94.7	12.7	12,135	68.7	0,990	5.3	566	3.0	73.3	40	384	1.54
12	18,834	15.9	18,360	97.4	12.4	12,610	68.6	0,474	2.5	389	2.1	68.7	40	45	1.49

講演を終るに當り以上の研究に盡力せられたる従業員の 方々に感謝致します。

## 焼 入 用 冷 却 液 に 就 て

(日本鐵鋼協會第 14 回講演大會講演)

原 於 菟 雄\*

ON THE QUENCHING MEDIUM.

by Otoo Hara

**SYNOPSIS:**— The author investigated the effects of viscosity and vaporisation of several quenching media on cooling velocity. The results are as follows: (1) The relation between the mean cooling velocity ( $v$ ) and the coefficient of viscosity ( $\eta$ ) of oils is given by the equation  $v = a \log 1/\eta + b$ , in the range of temperature from 20°C to 100°C. Where  $a$  and  $b$  are constants which depend upon the characteristics of medium. (2) The addition of small amounts (less than about 1 per cent.) of water to oil, makes the stepped changes in cooling curve abnormal, and retards the cooling velocities at relatively high temperatures, on account of the fact that the vaporisation of water contained in oil occurs during quenching.

### 1. 緒 言

焼入用冷却液に關する研究は古來非常に多く行はれて居り、其の文献も可成多數發表されて居る。而して冷却液の冷却性能を支配する因子として比熱、熱傳導度、氣化潜熱及粘性等が擧げられるが、之等の中何れの因子が最も重大であるかと云ふ問題に就ては、冷却液の性質により一概には斷定し得ないのである。水及水溶液の如く粘性の少いものは C. Benedicks<sup>1)</sup> の云ふやうに氣化潜熱の大なるもの程冷却効果は大であるが、油の如く粘性の大なるものは、寧ろ粘性の大小が最大の因子の如く思はれる。即ち例

へば油の溫度を上昇すれば氣化し易くなり、冷却速度を低下すべきである様に考へられるにも拘らず、却て大となる理由は其の粘性を著しく減少するによるためである。

油の粘性と冷却効果に就ての研究は多數行はれて居るが定量的な研究は甚だ少ない。

又植物性及動物性油は長年使用するに従ひ酸化して粘性を増大する。此の如く粘性を増加した場合、其の冷却効果が如何やうに影響されるかを知ることは、實際作業を行つて行く上に於て必要なことである。尙粘性の他に重要な因子は冷却中に於ける氣化現象である。依て著者は特殊鋼の焼入用冷却液として最も廣く使用されて居る種油、大豆油、魚油並に數年間使用した古魚油等に就て、冷却速度と粘性との關係、及冷却中に於ける氣化現象の冷却速度に及

\* 株式會社日本製鋼所室蘭工場

<sup>1)</sup> J. I. S. I. 1908 II p 153

ばす影響を探るべく、次の実験を行つたのである。

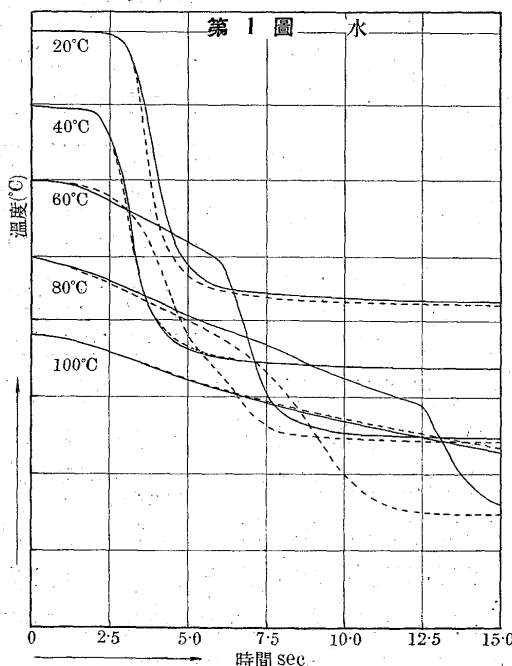
- I 冷却液の温度と冷却速度との関係
- II 冷却液の温度と粘性との関係
- III 冷却速度と粘性係数との関係
- IV 冷却液に水分を加へた場合の粘性及冷却速度
- V 焼入温度と冷却速度との関係
- VI 冷却油の酸化と粘性との関係

## 2. 實 験

**I. 冷却液の温度と冷却速度との関係** 冷却液の温度と冷却速度、硬度及組織との関係は A. McCance<sup>2)</sup> H. G. French<sup>3)</sup> 大日方<sup>4)</sup> 三上<sup>5)</sup> 佐藤<sup>6)</sup> 大畑<sup>7)</sup> 松繩、鈴木<sup>8)</sup> 本多、田丸<sup>9)</sup> 氏等によつて研究されて居るが、冷却速度と粘性との関係を系統的に調査するため、各種冷却液に就て其の温度を 20°C より 100°C まで 20°C 毎に變へ且液を靜止及攪拌の兩状態とし、之を用ゐて焼入した場合の冷却速度を求めことにした。尙水は其の温度の變化に對して粘性に著しい變化を及ぼさないが、各種冷却液を比較する場合に標準

となるべきものであるため、特に實驗を行つたのである而して冷却速度曲線を求める方法は種々あるが、此處では佐藤式自記録焼入膨脹計<sup>10)</sup>を使用した。試

料は Ni 20%, Cr 20%, Fe 60% の變態點のない徑 5mm



長さ 70mm のものであり、焼入温度は常に 830°C を採つた。

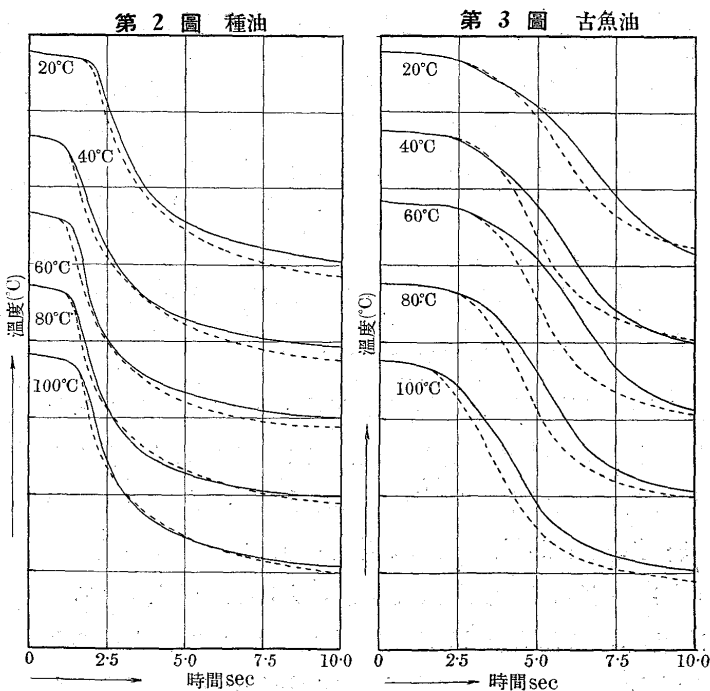
水、種油、大豆油、魚油及數年間使用して古くなつた古魚油並に種油と古魚油とを等量宛混じた混合油に就て温度對時間曲線を求めたが、其中代表として水、種油及古魚油の曲線を示せば夫々第 1、第 2 及第 3 圖の如くなる。

各圖に於て實線は液を靜止した場合で點線は攪拌した場合を示す。

之等の曲線に就て觀るに、一般に液を攪拌した場合の方が、靜止の場合に比較して冷却が急である。殊に粘性の大なる古魚油並に 60°C 及 80°C の水に於て、其の傾向が著しく表はれて居る。

温度對時間曲線では、冷却現象を詳かに觀察することが出來ないので、更に之等の曲線から温度勾配即ち冷却速度を求め、温度對冷却速度曲線を圖示すれば、靜止の場合に就ては第 4 圖~第 9 圖、攪拌の場合に就ては第 10 圖~第 15 圖の如くなる。

1) 冷却液を靜止した場合:—



i) 水 (第 4 圖) 一般に高温の試料を低温の冷却液に焼入すれば、其の冷却は漸次急となり、最大冷却速度に達して後緩慢となるのが普通である。然るに 20°C の場合を觀るに 750°C 附近までは冷却速度を漸次増して來るが、此の温度附近に達すると冷却が遅くなり曲線に階段を作る 40°C の場合には 750°C 及 600°C 附近で階段を作り、60°C では數回作つて居る。此の如き階段は、冷却液の氣

<sup>2)</sup> J. I. S. I. 1914 No. 1 p. 192

<sup>3)</sup> The Quenching of Steels

<sup>4)</sup> 金屬の研究 7~3 p. 161

<sup>5)</sup> 金屬の研究 8~7 p. 398

<sup>6)</sup> 金屬の研究 10~2 p. 63

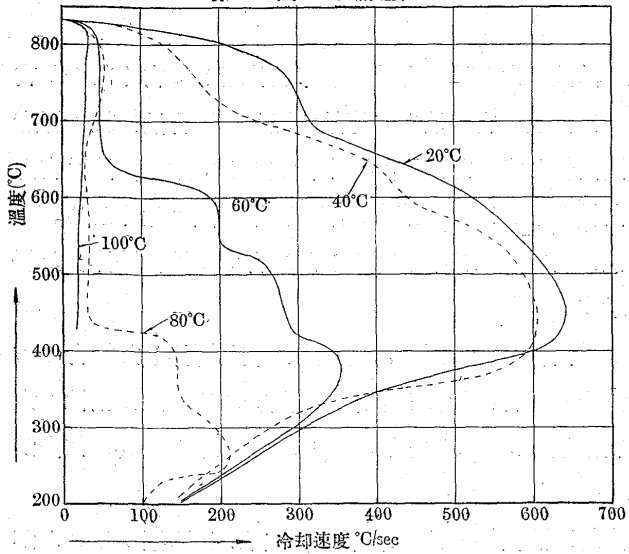
<sup>7)</sup> 鐵と鋼 17~4 p. 273

<sup>8)</sup> 機械學會誌 1933 p. 503

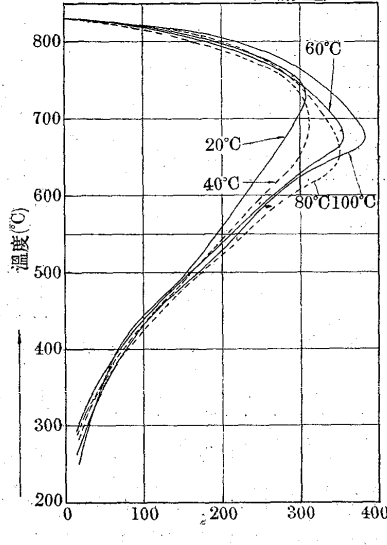
<sup>9)</sup> 理化學研究所彙報 6~7 p. 589

<sup>10)</sup> 金屬の研究 9~4 p. 174

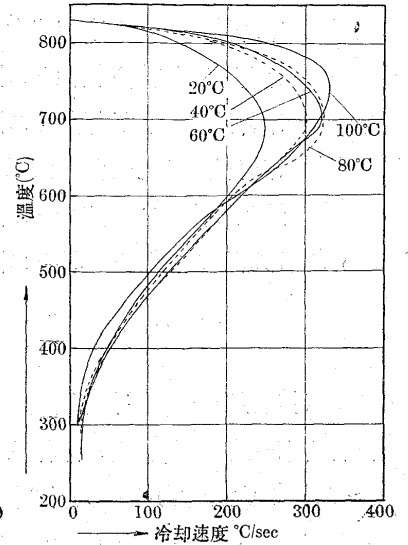
第4圖 水(靜止)



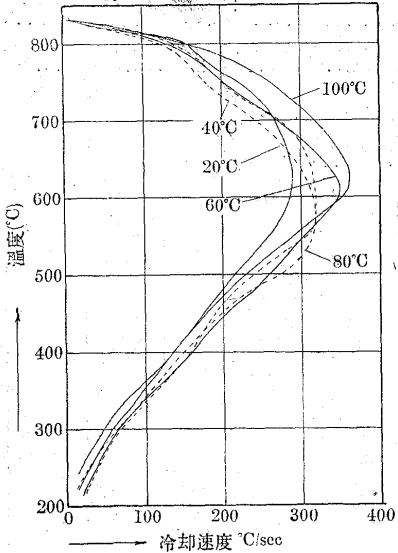
第5圖 種油(靜止)



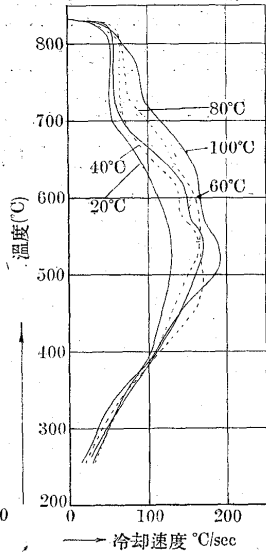
第6圖 大豆油(靜止)



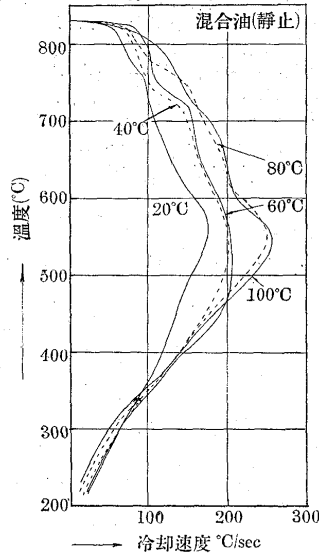
第7圖 新魚油(靜止)



第8圖 古魚油(靜止)



第9圖



近から冷却が急になり 600°C 附近で再び階段を作る。此の階段を作る理由は水の場合に記述した如く試料の表面が氣泡で被はれるためであつて、此の氣泡は魚油中の氣化し易い成分と、其の中に含まれて居る水分とに因るものである。蓋し第1表に示す如く魚油の新しい間は、引火點も高く且水分も僅少であるが、長年月使用した古油は、引火點も低く且他から何等かの原因で水分が混入するためである

泡が焼入試片の表面を包むために生ずるものであることを H, G. French<sup>11)</sup> 及佐藤氏は明らかにして居る、要するに水は沸騰點低く氣化し易いため、溫度を上昇するに従つて氣泡の發生が旺盛となり、冷却速度を減小するのである

ii) 種油(第5圖)及大豆油(第6圖) 焼入後直ちに冷却速度を漸次増大し 700°C 附近で極大値に達しそれより減小する。而して水の場合に表はれたやうな階段はなく又液溫度の高くなるに従て平均の冷却速度は増大する。

iii) 新魚油(第7圖)及古魚油(第8圖) 兩圖を比較してみると、新魚油は 750°C 附近で微かな階段を作るが古魚油は焼入後間もなく冷却速度の變化しない状態になる而して其の程度は液溫度の低い程著しい。次で 700°C 附

又兩油とも油の溫度を高めるに従ひ冷却速度を増大する。

iv) 混合油(第9圖)

粘性が大で且水分を含んで居る古魚油と、粘性が小で水分のない種油とを等量宛混合した油である。從て其の冷却速度は種油と古魚油との中間に位すべきであるが、實驗結果によれば寧ろ古魚油に近い傾向を持つて居る即ち冷却油中に氣化し易い水分等を含有する場合は著しく冷却速度を減小するものであることが知られる。

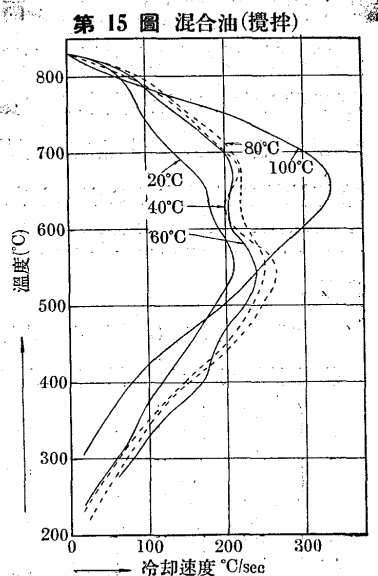
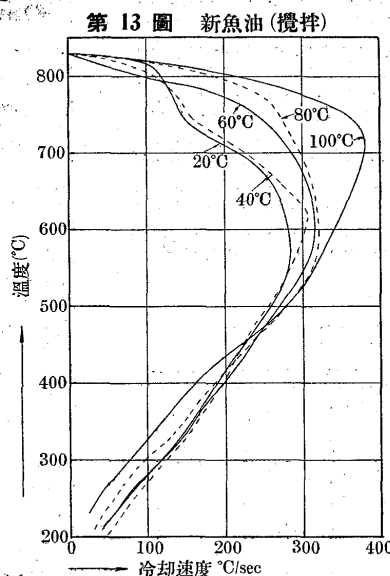
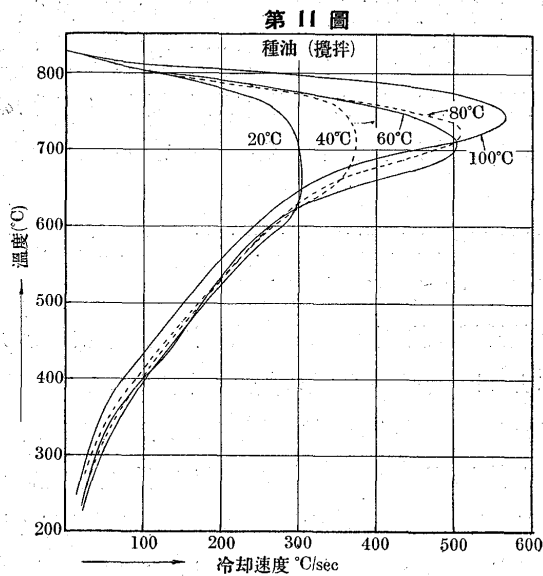
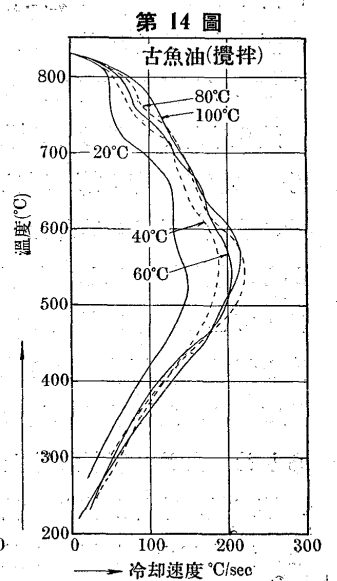
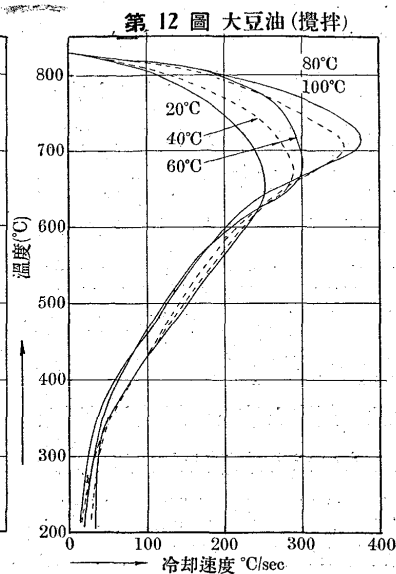
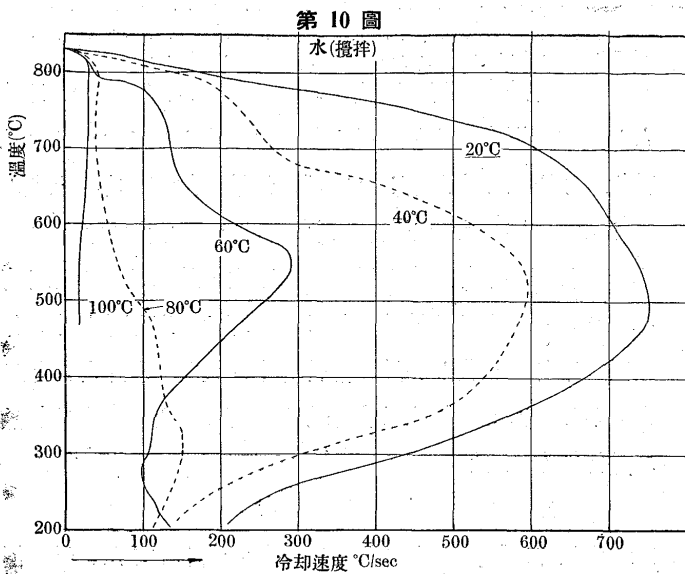
第1表

	引火點°C	水分%
新魚油	205	0.02 以下
古魚油	180	0.30

2) 冷却液を攪拌した場合: 一液を靜止させて之に焼入した場合の冷却は、試料に接觸した液を氣化して浮上するか、又は液に對流を起さしめて新液との接觸を行ひ、其の熱を放散するのである。然るに液を機械的に攪拌して之に焼入すれば、試料の表面に發生した氣泡の除去は容易に行

<sup>11)</sup> The Quenching of Steels

<sup>12)</sup> 金屬の研究 10-2 p. 63



はれ、且新液と接觸する機会が多く、従て酸化も困難となり冷却を促進すべきである。次に實驗結果を簡単に説明する。

i) 水(第10圖) 靜止の場合(第4圖)には20°Cのときに1回40°Cのときに2回も階段を生じたが、攪拌すれば前者に於ては消失し後者に於て1回となり、尙温度の高くなるに従ひ攪拌の影響が著しく表はれ冷却速度を大にする。

ii) 種油(第11圖)及大豆油(第12圖) 兩油ともに靜止の場合に較べて大なる冷却速度を持ち、且液温度の60°C以上となるに及んで、一層攪拌による冷却速度の増大が目立つて来る。之は温度の上昇に伴ひ粘性を減小することに因るのである。

iii) 新魚油(第13圖)及古魚油(第14圖) 靜止

の場合に比較して新魚油は甚だしい相違を認めないが、古魚油は可成り冷却速度を増大する。即ち古魚油は酸化し易く且粘性が大なるため、之を靜止しておけば試料の表面に生じた氣泡は、他の油の場合より大なる大きさに達するまで浮上することなく試料を被覆し、冷却を妨げるのであるが攪拌すれば、氣泡の除去が速かに行はれるため、冷却速度を大にするものと思はれる。

iv) 混合油(第15圖) 他の油と同様に攪拌することによつて、冷却速度を増大する。

3) 考察:— 各種冷却液の冷却速度を比較するため、H. G. French<sup>13)</sup>は720°Cのとき大日方氏<sup>14)</sup>は650°Cのときの冷却速度を採つて居るが、特殊鋼は變態點が非常

<sup>13)</sup> The Quenching of Steels

<sup>14)</sup> 金屬の研究 7~3 p. 161

に降下するので、より低い低温度までを必要とする。又次に記述する理由に基いて、此處では 800°C から 400°C までの平均冷却速度を採つて、比較對照することにした。

焼入冷却中に於ける現象を H. Scott<sup>15)</sup> は次の三段に分つて居る。即ち第一段は Spheroidal State であつて此の状態に於ける冷却は、所謂 Vapour-Cooling であるから、氣化困難にして且氣化潜熱の大なる液ほど冷却速度は大である。第二段は Spheroidal State が終つて、氣泡と母液との對流による Vapour-Liquid-Cooling の状態である。此の状態に於ては、氣泡と液との對流を活潑ならしめるため、粘性の小なるものほど冷却は大である。此の第二段の冷却が終り、試片の表面が液の沸騰點に近づくと、沸騰が止まり對流と熱傳導とに依て放熱するやうになる。之を第三段として居る。而して冷却に最も効果的な状態は、液の種類に依て異なるが、先づ油類に就ては第一及第二段とすることが出来る。故に此處では兩状態を併せ、800°C より 400°C までの平均冷却速度を求めて、各液の冷却性能を比較することにしたのである。各冷却液に就て上記温度範圍に於ける平均冷却速度を示せば第2表のやうになる。

第2表 800°C~400°C 平均冷却速度 (°C/sec)

状態	液温度	水	種油	大豆油	新魚油	古魚油	混合油
靜止	20	366.4	206.4	168.8	225.6	97.7	116.0
	40	321.4	214.6	198.7	230.2	111.6	155.8
	60	122.0	226.4	204.0	246.4	117.4	165.6
	80	33.3	237.6	210.2	249.0	117.4	181.0
	100	18.8	242.8	215.2	258.0	138.8	186.2
攪拌	20	488.4	226.2	182.0	226.4	107.0	152.8
	40	337.6	248.8	180.6	232.0	137.0	189.0
	60	143.8	269.2	196.0	257.6	148.4	198.2
	80	52.4	275.4	215.0	275.0	155.8	200.0
	100	12.9	278.6	220.2	303.0	158.8	216.0

第2表に就て考察するに

i) 水はその温度を高めるに従ひ冷却速度を減小するが他の油は悉く之と相反する。Le Chatelier<sup>16)</sup> は液を攪拌すれば硬化の均等性を増すが、冷却速度を増大するものでないと述べて居る。然るに本實驗の結果攪拌した場合は、常に靜止の場合に比較して大なる冷却速度を有することが判つた。尙 H. Scott<sup>17)</sup> 及 K. B. Millet<sup>18)</sup> 氏は攪拌することが試料の表面に發生する氣泡を除去し、冷却を大ならしめるものであることを述べて居る。

ii) 各油とも其の温度を高めるに従ひ、焼入試片の高温

なるときに大なる冷却速度を持ち、焼入試片の低温となるにつれて冷却速度を減小する。焼入試片の高温なるときに大なる冷却速度を持つ理由は明かでないが、一つの理由として油の温度の上昇に基き氣化の旺盛となることよりも粘性の小となる方が著しいため、母液の對流を容易ならしめることに因るものと想像される。又焼入試片の低温となるにつれて、冷却速度を減小する理由に就ては次の如く考へられる。即ち此の状態に於ける冷却は、所謂冷却中の第三段の冷却に相當し、油の熱傳導率の大なる程冷却効果は大である。而して拔山及吉澤<sup>19)</sup> 氏の研究によれば、白絞油の熱傳導率  $\lambda$  は

$$\lambda = 0.1541(1 - 0.001134t)$$

に示す如く、温度の上昇するに従つて減小するため油の温度の上昇するに従ひ冷却速度を低下するものと思はれる。此處に  $\lambda$  は  $K \cdot \text{cal}/\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$  で  $t$  は温度を表す。尙大豆油及魚油の熱傳導率と温度との關係は著者寡聞にして未だ知らないが、白絞油と同様の傾向を有するものではなからうか。

iii) 魚油は種油及大豆油等の植物性油に比較して、焼入試片の低温なるときに大なる冷却速度を有して居る。此の理由も亦熱傳導の差に因るものと思はれる。即ち志村<sup>20)</sup> 氏の研究によれば、魚油及種油の熱傳導率は夫々 0.229 及 0.147  $K\text{cal}/\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$  であり、前者の方遙かに大である。勿論此處に示した値を以て直ちに著者の使用した油の夫にあてはめることは出来ないであらうが、大體の傾向は推察し得るものと思はれる。又油中に於ける氣化し易き物質の介在量にも影響されると思はれるが、其の機構に就ては明らかでない。

II. 冷却液の温度と粘性との關係 粘性の大小が冷却速度に可成り影響を及ぼすものであることは、既に W. D. S. Walker<sup>21)</sup> Rapatz & Krekeler<sup>22)</sup> 及大畑<sup>23)</sup> 氏の他多數の人によつて研究されて居る。然しながら未だ粘性と冷却速度との關係を、數量的に研究して居ないやうである。依て著者は前述の各油に就て温度を變化した場合の粘性を求め、之と曩に求めた冷却速度との關係を探ねたのである。粘性係數の測定方法は、第16圖に示すやうな最も一般

<sup>19)</sup> 機械學會誌 1934 p. 888

<sup>20)</sup> 秋田鐵山専門學校學術報告 No. 3

<sup>21)</sup> Heat-Treat. & Forg. 1934 p. 334

<sup>22)</sup> Arch. Eisenhüttenwess. 1931 p. 173

<sup>23)</sup> 鐵と鋼 第17年 p. 273

<sup>15)</sup> Heat-Treat. & Forg. 1934 p. 88

<sup>16)</sup> Metallurgist 1930 p. 100

<sup>17)</sup> Heat-Treat. & Forg. 1934 p. 88

<sup>18)</sup> Forg. Stamp. & Heat-Treat. 1925 p. 232

的な方法である。

半径  $R\text{cm}$  長さ  $L\text{cm}$  の管中に油を流過せしめるとき、  
管の両端の圧力差を  $P$  と  
し、 $t$  秒間に流過する油の  
體積を  $V\text{cm}^3$  とすれば、油  
の粘性係数  $\eta$  は

$$\eta = \pi R^4 P t / 8 V L$$

で表はされる。此處に  $P = h\rho g$  であり、 $h$  は落頭、 $\rho$  は油の比重、 $g$  は重力である油を流過せしめる管には、通常毛細管を使用するが、古魚油の如く粘性の甚だ大なるものには、適當でない。依て此處では直径  $0.2928\text{cm}$  長さ  $49.04\text{cm}$  の石英管を用いた。

第16圖に於て  $A$  は測定すべき油を入れる槽であり、之を石英管  $B$  に連結する。 $A$  及  $B$  の溫度を油と同溫度にするため、 $C$  及  $D$  なる外套を作り、其の中に所要溫度の湯を1, 2, 3 及 4 の順に流通せしめ、寒暖計  $E$  で溫度を測定する。又油は他の保温槽で豫め所要溫度になし、之を  $A$  内に一定量注入し、然る後  $F$  なる挾塞器を開いて、 $B$  内を流過せしむ。 $B$  の他端には別にメートルガラスを置き、流出する油を受ける。斯くして一定時間に流出した油量を素早く読み取るのである。尙各油の  $15^\circ\text{C}$  に於ける比重は、第3表に示す通りである。而して溫度の上昇による比重の補正は、次式によつて行つた。

$$\rho_t = \rho_{15}(1 - \alpha t_a)$$

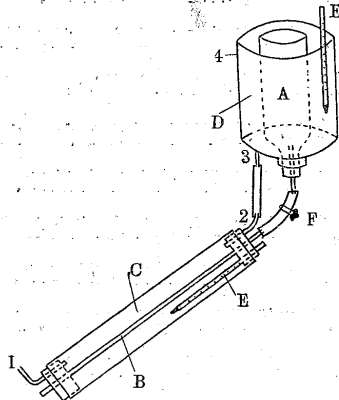
此處に  $\rho_t$  は  $t^\circ\text{C}$  に於ける比重  $\rho_{15}$  は  $15^\circ\text{C}$  に於ける比重、 $t_a$  は  $(t-15)^\circ\text{C}$ 、 $\alpha$  は油の種類によつて定まる定數であり、此の値は Mendeleiev の補正表及最新化學工業大系を參考して植物性油に就き  $0.0005$ 、動物性油に就き  $0.0007$  を採つた。

第3表 比重  $15^\circ\text{C}$

種油	大豆油	新魚油	古魚油	混合油
0.920	0.938	0.930	0.954	0.936

斯くして油の溫度を  $20^\circ\text{C}$  より約  $100^\circ\text{C}$  まで大略  $20^\circ\text{C}$  毎に變化して測定した、粘性係数は、第4表の如くなり之を圖示すれば第17圖となる。

第16圖

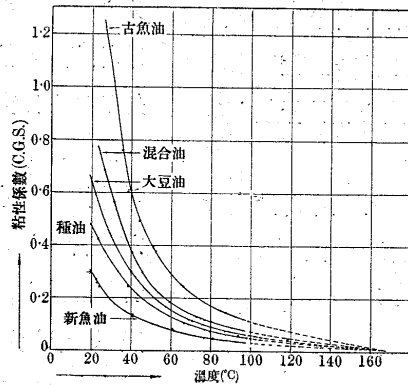


第4表 粘性係數 (C.G.S.)

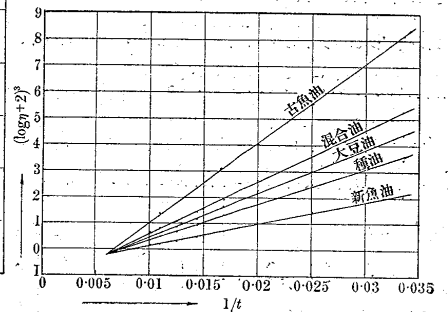
種油		大豆油		新魚油		古魚油		混合油	
溫度 $^\circ\text{C}$	$\eta$	溫度 $^\circ\text{C}$	$\eta$	溫度 $^\circ\text{C}$	$\eta$	溫度 $^\circ\text{C}$	$\eta$	溫度 $^\circ\text{C}$	$\eta$
—	—	20.0	6390	22.1	2713	—	—	—	—
—	—	—	—	22.2	2610	—	—	—	—
23.0	4226	—	—	23.0	2460	27.0	1212	25.8	6980
38.7	2464	40.0	3013	40.0	1363	41.0	6410	39.7	3690
—	—	—	—	40.3	1343	43.0	4930	45.0	2970
—	—	60.0	1468	59.5	0801	50.0	3873	—	—
66.5	1045	—	—	60.5	0765	51.5	3690	59.3	1822
—	—	—	—	—	—	64.5	2493	—	—
—	—	—	—	—	—	66.0	2417	—	—
79.0	0751	80.0	0894	79.5	0480	84.5	1427	80.0	1072
93.0	0604	—	—	—	—	—	—	93.0	0818
98.5	0519	99.2	0611	96.0	0360	98.0	1128	99.0	0769

第17圖に於て各油の粘性係数は、溫度を高めるに從つて初め  $60^\circ\text{C}$  附近までは急に減少するが、夫以上となれば徐々となり遂に漸的になる。而して粘性は新魚油最も小

第17圖



第18圖



さく、次に種油、大豆油、混合油、古魚油の順に大となつて居る。

次に第17圖の各曲線に就て粘性係數と溫度との關係をみるに

$$(\log \eta)^n = K 1/t \dots \dots \dots (1)$$

なる關係式で表はされることが判る。此處に  $t$  は油の溫度  $\eta$  は其の時の粘性係數、 $n$  は實驗結果より求むべき整數、 $K$  は油の種類によつて定まる定數である。

今  $(\log \eta + 2)^3$  と  $1/t$  との關係を圖示すれば、第18圖の如くなつて、各油とも直線で表はされる。之等の直線を延長すれば  $1/t = 0.006$ 、 $(\log \eta + 2)^3 = -0.22$  の點  $P$  で何れも相交はるため、(1) 式を次の如く書き直すことが出来る。

$$(\log \eta + 2)^3 = K(1/t - 0.006) - 0.22 \dots (2)$$

即ち各油に就て  $K$  なる定數を知れば、任意の溫度に於ける粘性を知ることが出来る。依て實驗結果より  $K$  を求め其の最小なるものより順に示せば、第5表第2行の如く

なる。

第 5 表

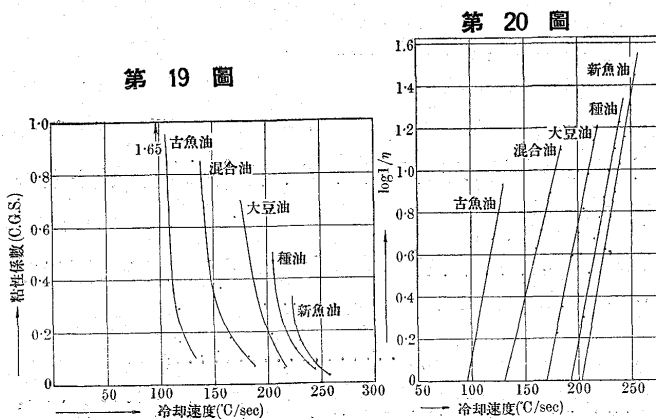
	新魚油	種油	大豆油	混合油	古魚油
K	85.5	140.0	173.50	200.0	308.5
比	1	1.6	2.03	2.3	3.6

此處に求めた K は曩に述べた如く油の種類に依て定まる定數であり、且各油の任意の溫度に於ける  $\eta$  を知るに重要な因子であるため、K を以て各油の粘性を比較するに都合がよい、今新魚油の K を 1 とした場合の比を求むれば第 5 表第 3 行の如くなる。

次に第 18 圖の P 點を逆に計算すれば  $t=166.7^{\circ}\text{C}$ 、 $\eta=0.006$  となり、之を第 17 圖に示せば Q 點となる。此の粘性係數は  $45^{\circ}\text{C}$  の水の夫に相當するが  $1,667^{\circ}\text{C}$  なる溫度が油の如何なる性質に關係するものか、未だ明らかでない。

**III. 冷却速度と粘性係數との關係** 各冷却液に就て溫度と冷却速度、並に溫度と粘性との關係を夫々別個に求めたが、次に夫等の測定値を以て、冷却速度と粘性係數との關係を探ねることにした。

各冷却液の各溫度に於ける靜止の場合の平均冷却速度  $v$  と、粘性係數  $\eta$  との關係を圖示すれば、第 19 圖となる。



同圖より  $\log 1/\eta$  と  $v$  との關係を求めれば、第 20 圖の如くなつて、結局平均冷却速度と粘性係數との關係は (3) 式で表される。

$$v = 1/A \log 1/\eta + B \dots\dots\dots (3)$$

此處に A 及 B は油の種類によつて定まる定數であり、其の値を第 6 表に示す。

第 6 表

	種油	大豆油	新魚油	古魚油	混合油
A	0.027	0.025	0.028	0.027	0.021
B	193	170	203	96	131

(3) 式及第 5 表に就て考察するに、冷却液の冷却速度に關係する最大の因子は、油の種類によつて定まる定數 B

であり、次に粘性係數である。即ち冷却速度は殆んど油の種類によつて定まり、或る一種の油に就ては、其の粘性係數の小となるに従ひ冷却速度を増大する。以上求めた冷却速度と粘性係數との關係は、 $20\sim 100^{\circ}\text{C}$  の溫度範圍に於て成立するものであり、此の範圍外で成立するや否やは實驗を行はねば判明しない。

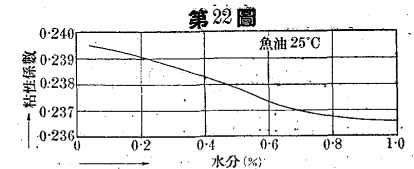
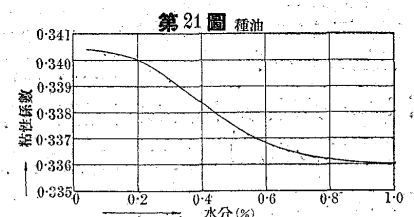
**IV. 冷却液に水分を加へた場合の粘性と冷却速度**

氣化し易き物質を含む冷却油は、氣泡のため冷却速度曲線に階段を作り、平均冷却速度を減小するものであることを先に述べた。實際作業に於ては、一つの油槽に何回となく焼入する場合が屢々あるため、油の溫度を或る限度以上に上昇せしめなくするには、油槽を冷却しなければならない。一般には水を循環させて冷却して居るやうである。故に此の冷却用水の漏洩又は他の何等かの原因で、油槽中に水が入らないとも限らない。若しも水分が入つたならば、其の冷却速度及粘性が水分量によつて如何様に影響されるかを知ることは實際作業を行ふ上に於て必要なことである。

然るに未だ此の問題に就ては研究されて居ない様である。依て水分と粘性並に水分と冷却速度との關係を探ねるため新しい種油と若干使用したが水分を僅かに 0.02% 含む魚油とに就て、水分を 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.7 及 1.0% 宛順次に増加し粘性及冷却速度を測定した。

水分は油中に懸濁の状態に入つて居り、之を常溫に靜置

すれば長時間の後は沈降するが、油が古くなるに従ひ沈降し難くなる。本實驗に於ては、實驗開始前に油を充分に攪拌して水分をよく混入し、其の靜止するのを待つて測定を行つた。

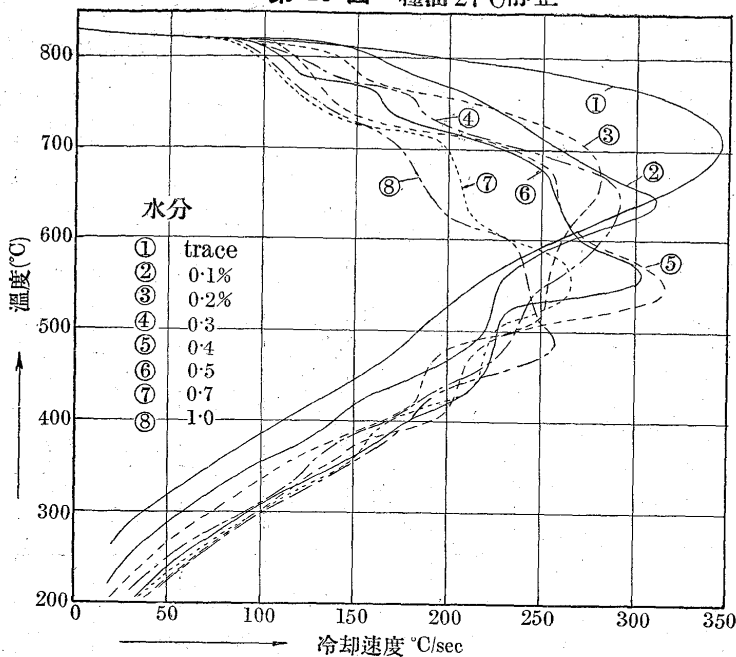


1) 水分と粘性係數 種油に就ては  $29^{\circ}\text{C}$ 、魚油に就ては  $25^{\circ}\text{C}$  で粘性係數を測定した、其の結果を圖示すれば第 21 圖及第 22 圖の如くなる。

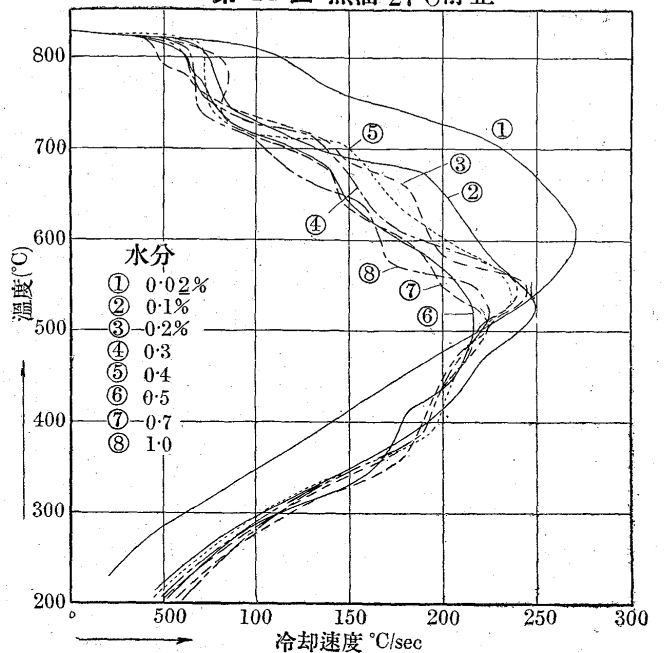
同圖に見る如く、兩油とも水分を増加するに従つて粘性を減小するが、其の量は甚だ少ない。

2) 水分と冷却速度 種油及魚油共に  $27^{\circ}\text{C}$  に保ち、試片を  $830^{\circ}\text{C}$  から焼入して溫度時間曲線を求め、之より溫

第 23 圖 種油 27°C 静止



第 24 圖 魚油 27°C 静止



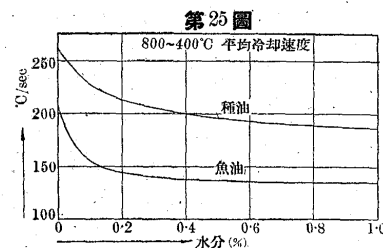
度對冷却速度曲線を求むれば、夫々第 23 圖及第 24 圖のやうになる。兩油ともに水分を加へない場合は、焼入直後より急に冷却速度を増し、最高冷却速度に達して後可成り速かに減小する。然しながら水分を僅か 0.1% 加へれば其の曲線は趣を著しく變へ、古魚油に表はれた如き階段を生じ、其の冷却速度は水分の増加するにつれて、焼入試片の高温なるときに小で低温となるに従ひ大となる。

今之等の理由を考察するに、冷却速度に階段を生ずる原因は、之まで述べ來たつた如く、油中の水分が容易に氣化し、試料の表面を被ふことに因るのである。又水分のあるものが無いものに比較し、焼入試片が冷却して低温度になりたるときに大なる冷却速度を持つ理由は、水の氣化潜熱が大なること、及び氣泡の浮上により母液に活潑なる對流を起さしめることに因るものと思はれる。蓋し水の Vapour-Liquid-Cooling は第 4 圖及第 10 圖にみる如く、他の油類に比較して著しく大である。而して之は C. Benedicks<sup>24)</sup> 及大日方<sup>25)</sup> 氏の述べて居るやうに、氣化潜熱の大なること及母液の活潑なる對流に基因するものと考へられるのである。

此のやうに焼入試片が冷却して低温度となりたるとき大なる冷却速度を持つことは、鋼の Ar<sup>2)</sup> 變態を起すときに試片の内外に大なる温度差を生じ、従て焼割を起し易い。曾て工具鋼を油焼入した時焼割を生じ、其の原因が判らず

困難したが、結局油中に水分の在ることが判明し、新油に取換へて焼割を防止し得た實例がある。

次に種油及魚油に就て 800°C から 400°C までの平均冷却速度を求め之と水分との關係を圖示



すれば第 25 圖の如くなり、兩油共水分を僅か 0.1% 加へることに依て、冷却速度を急に減じ、夫以上 1% までは徐々に減小して居る。即ち極微量でも水分が加はれば、冷却速度に著しき影響を及ぼすものであることが知られる。

要するに油中に水分を加へれば、其の粘性は僅かに減ずるが、水分の氣化が容易なるため、之を氣化し焼入試片の表面を被うて、冷却速度を減小するのである。

**V. 焼入温度と冷却速度との關係** 焼入温度の焼入効果に及ぼす影響に就て C. Benedicks<sup>26)</sup> M. Oknoff<sup>27)</sup> 三上<sup>28)</sup> 及大畑<sup>29)</sup> 氏等は水或は油に就き冷却速度、比容積又は硬度の變化を測定し、何れも焼入温度を高めるに従ひ、焼入効果を大ならしめ得ると述べて居る。然るに古魚油の如く、氣化し易い物質を比較的少量に含有して居る油でも果してさうであるか明瞭でない。依て古魚油と種油とに就き、焼入温度を 750°C より 950°C まで 50°C 毎に變へ

<sup>26)</sup> 前掲

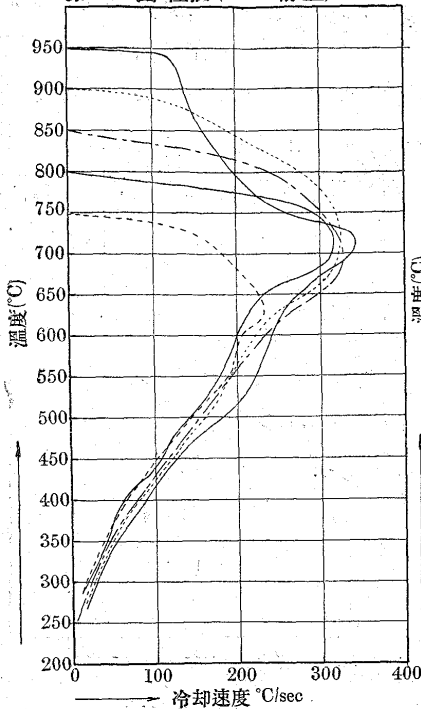
<sup>27)</sup> Rev. Metal. 1925 p. 175

<sup>28)</sup> 前掲 <sup>29)</sup> 前掲

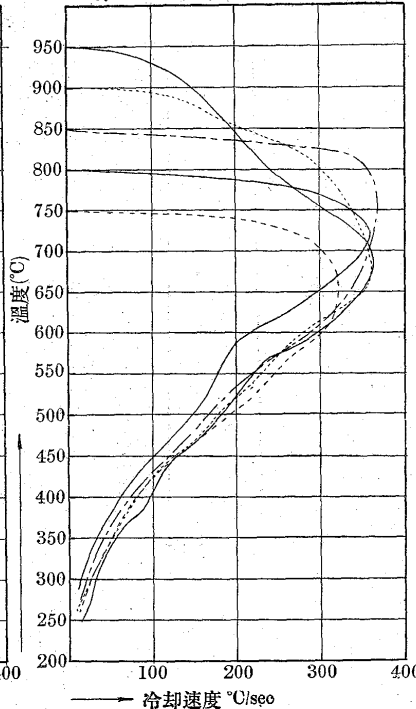
<sup>24)</sup> 前掲 <sup>25)</sup> 前掲



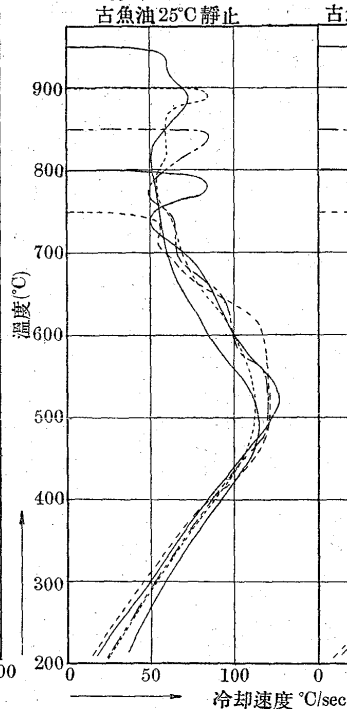
第 26 圖 種油 (27°C 靜止)



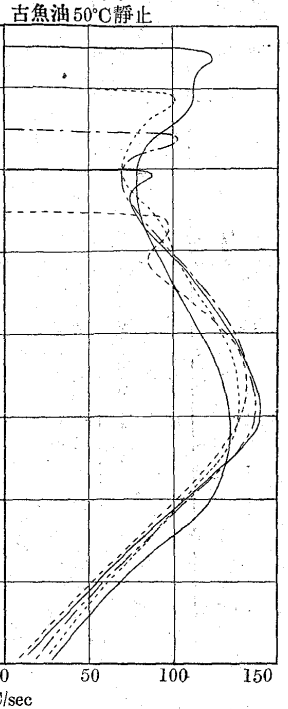
第 27 圖 種油 (靜止)



第 28 圖 古魚油 25°C 靜止



第 29 圖 古魚油 50°C 靜止

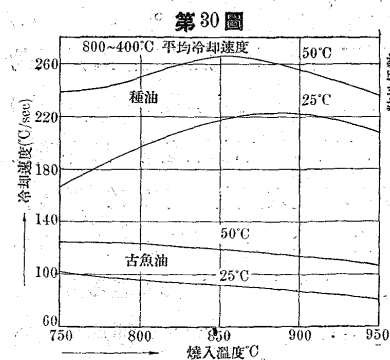


た場合の冷却速度を測定した。此處に種油は今までの實驗により優秀なる冷却油と認められたがため、特に撰んで實驗を行つたのである。而して兩液とも靜止の状態におき、其の溫度を 25°C 及 50°C とした。

斯くして得た溫度對冷却速度曲線は種油に就て第 26 及第 27 圖、古魚油に就て第 28 及第 29 圖の如くなる。

之等の曲線では、燒入溫度と冷却速度との關係を、明かに比較し得ないため 800°C より 400°C までの平均冷却速度を求め、之と燒入溫度との關係を示せば第 30 圖のやうになる。

第 30 圖に於て古魚油は 25°C 及 50°C の場合、共に燒入溫度の上昇するに従つて冷却速度を



減小する。種油は 25°C のときは 900°C まで、50°C のときは 850°C まで燒入溫度の高くなるに従ひ、冷却速度を増大するが、夫以上になれば却て減少する。今之等の理

由を簡単に記述すれば次の如くなる。

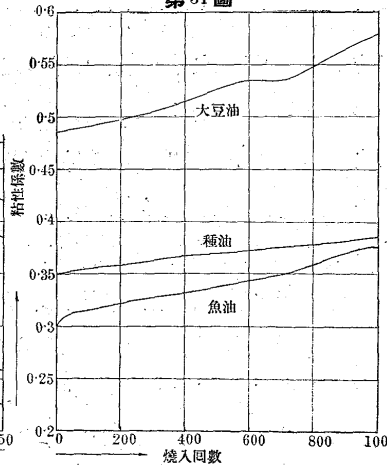
古魚油は氣化し易い物質を比較的少量に含有して居るため、燒入溫度を高めるに従ひ Spheroidal State が益々長くなり、平均の冷却速度を漸減するものと思はれる。

種油も亦古魚油と同様に、燒入溫度を高めると Spheroidal State を延長し、冷却効果を減退するのであらうが第 26 及第 27 圖に見る如く 600°C 附近の所謂 Vapour と Liquid との對流に因る冷却が大となるため、燒入溫度の或る限度までは、後者の影響により冷却速度を増大する。其の限度を越ゆれば Spheroidal State の方が勝り。

結局平均の冷却速度が減少するに至るものと思はれる。此の事象は油の溫度を異らしめたものに就て明らかである。即ち油温 50°C の場合は 25°C の場合に較べ、同一燒入溫度に對して氣化し易い状態にあるため、後者より低い燒入溫度に於て既に上述の限度を越ゆるのである。

**VI. 冷却油の酸化と粘性との關係** 魚油は新しい間は他の油に比較し粘性も小さく、従つて大なる冷却速度を有して居るが、長期間使用すれば酸化して著しく粘性を増大し、燒入効果を減殺する。即ち酸化の烈しいものは、假令新しい間に於て大なる燒入効果を有して居やうとも、燒入冷却液としては適當なものと思ひ得ないのである。依て F. Rapatz と K.

第 31 圖



Krekeler<sup>30)</sup> 及 W. D. S. Walker<sup>31)</sup> 氏等は、長期間使用しても變質して引火點を低下し、且粘性を増大しない冷却油を希望し、其の目的に副ふものを研究して居り W. D. S. Walker は羊毛脂(Wool fat)が最も理想的であると述べて居る。然しながら焼入回数即ち使用程度と酸化との關係は、太畑<sup>32)</sup>氏の種油と魚油とに就て行つた研究があるのみである。著者は種油、大豆油及魚油の3油に就き、酸化と粘性との關係を求めることにした。

實驗方法は上記3者の新油を各1斗宛別々の罐に入れ、其の溫度を常溫に保ち、之に約 850°C に加熱した直径 70mm, 長さ 120mm の鋼材を焼入して酸化を促進せしめたのである。而して焼入を2回行ふ毎に粘性係数を測定し合計 100 回の焼入を行ひ 50 回の粘性測定を行つた。粘性係数測定時の溫度は常に 26°C である。

斯くして求めた焼入回数と粘性との關係は第 31 圖の如くなり、各油ともに焼入回数を増すに従つて、漸次粘性を増大する。而して増加の割合は種油最も少なく大豆油最も大である。

次に種油及魚油の新油と數年間使用した古油との 26°C に於ける粘性係数を示せば、第 7 表の如くなり、魚油は種油に比較して著しく粘性を増大することが知られる。故に魚油及大豆油は長期間使用する冷却油としては種油に比較し遙かに劣るものと看做されるのである。

第 7 表 粘性係數

種油		魚油	
新油 0.35	古油 0.48	新油 0.3	古油 1.23

### 3. 結 論

特殊鋼の焼入用冷却液として廣く使用されて居る種油、大豆油、新魚油、古魚油及種油と古魚油とを等量宛混じた混合油並に水の 20°C~100°C のものに就き、主として冷却速度と粘性との關係及冷却中に於ける氣化現象と冷却速度との關係を探るべく、種々の實驗を行つた。夫等の實驗結果を總括すれば次の如くなる。

1) 冷却油は其の溫度を高めるに従ひ平均冷却速度を増大する。而して植物性油は焼入試片の高温なるときに、動物性油は試片の低温なるときに、比較的大なる冷却速度を持つ。又平均冷却速度は新魚油最も大で、次に種油、大豆油、混合油、古魚油の順に小となり、且各冷却液とも靜止の場合より攪拌した場合の方が、冷却速度大である。

2) 冷却油の粘性と溫度とは

$$(\log \eta + 2)^3 = K(1/t - 0.006) - 0.22$$

なる關係式で表はされる。此處に K は油の種類に依て定まる定數であり、其の値を實驗結果より求めた。

3) 冷却速度と粘性との關係は

$$v = 1/A \log 1/\eta + B$$

で表はされる。此處に A 及 B は油の種類に依て定まる定數であり實驗に依て求めた。

4) 冷却油に水分を加へれば、粘性は僅かに減少する。然しながら水分の氣化によつて、冷却速度曲線に階段を生じ、平均冷却速度を著しく減少する。又水分のある冷却油は、焼入試片が冷却して低溫度となるときに比較的大なる冷却速度を持つため、焼割を生ずる機会が多い。

5) 焼入溫度を高めるに従ひ、古魚油は漸次冷却速度を減少する。種油は或る限界の焼入溫度までは、焼入溫度を高めるに従ひ冷却速度を増大し、其の限界を越ゆれば減少する。而して其の限界溫度は、油の溫度が高くなるに従つて低くなる。

6) 種油、大豆油及魚油に就て焼入による酸化と粘性との關係を調査し種油は最も酸化し難く、大豆油は最も酸化し易きことを知つた。

7) 以上の結果を總合し、溫和なる冷却液としては種油が他の油に比較し總ての點に於て優秀なることを認めた。

終に臨み本研究の發表を許可せられたる株式会社日本製鋼所並に本研究の遂行に當り絶えず御懇篤な御指導、御鞭撻を賜つた室蘭工場長打越光保氏及改良課長黒川慶次郎氏に謹みて感謝の意を表すると共に、實驗を援助された菊池良三氏其他實驗室諸氏に厚く謝意を表する。(以上)

<sup>30)</sup> 前掲

<sup>31)</sup> 前掲 <sup>32)</sup> 前掲