

VII. 結 論

以上を要約すれば次の如くである。

(1) 10⁻⁶mm Hg 程度の高度の真空中で純鐵に對する炭素の溶解度を測定せるに 1,130° と 1,140° との間に於て溶解度曲線に飛躍のある事を認めた。

(2) これを著者が純鐵に對する窒素の吸収の研究に依つて發見した 1,100° と 1,150° との間に於ける窒素吸

收の飛躍と同じ原因即ち鐵の化學親和力に關する變態に依るものと考へ、鐵は 1,137±4°C に化學變態を有するものであると決定した。

(3) この變態は鐵に對する窒素の吸着並に吸収の研究に依つて創めて認知せられたので窒素の元素記號の N を採つて A_N 點と命名する。

(4) この變態は窒素及び炭素の溶解に關しては非可逆的である。

焼入用冷却劑の冷却能力に關する研究 (第 1 報)

(日本鐵鋼協會第 24 回講演大會講演 昭和 15. 10)

俵 信 次*

EXPERIMENTAL RESEARCH ON THE COOLING POWER
OF VARIOUS QUENCHING MEDIA (REPORT I)

Sinji Tawara, Kogakuhakushi

SYNOPSIS:—In the present research, the cooling power of various kinds of the quenching media was measured more accurately than in the result of the other similar methods, by using a specially devised apparatus. Consequently, the so-called "three stages" in cooling on the cooling curve of quenching media was explained and their "characteristic points" were precisely determined. Thence a "temperature-cooling velocity curve" was plotted for each quenching medium and its threefold tendencies were classified. Besides, the effect of the temperature of quenching media on the cooling power and on the differential cooling velocity were explained.

目 次

- I. 緒 言
- II. 従 來 の 研 究
- III. 試 料
- IV. 實 験 装 置
 - 1. 焼入装置 2. 測熱體 3. 電流計及び記録装置
 - 4. 溫度補正裝置
- V. 實験方針及び方法
- VI. 實 験 結 果
 - 1. 溫度—時間曲線 2. 溫度—冷却速度曲線 3. 焼入油の冷却能力に及ぼす水分の影響 4. 焼入油の冷却能力に及ぼす焼入溫度の影響 5. 焼入油の冷却能力に及ぼす油の酸化程度の影響 6. 異種の油を混合せる際の冷却速度
- VII. 結 論

I. 緒 言

焼入用冷却劑の冷却能力は鋼材の焼入效果に影響を及ぼ

すのみでなくこれが如何に因つては焼割れの原因ともなる爲鋼材熱處理上極めて重要である。又大鋼材熱處理の際は多量の冷却劑を使用するのでこれが能力劣化の遲速は經濟上大問題である。然るにその冷却能力を支配する因子として種々の物理的及び化學的性質が挙げられるが之等の内何れの因子が最も重要であるかと謂ふことは未だ明かにされて居ない。仍て著者は特殊の方法に依り冷却劑の冷却能力を正確に測定し上述の諸關係を究明し之等成果より鋼材熱處理用として最も適したる冷却劑を求むる目的にて本研究を行つた次第である。

II. 従 來 の 研 究

この種の研究は C. Benedicks¹⁾ が焼入の際に於ける油の熱吸収能力に就て實驗したのが最初でその後 A. M. Portevin 及び M. Garvin²⁾ は種々の鋼材を水に焼入して冷却狀況を求めたが本研究は主として鋼の組織に關する

¹⁾ Benedicks, C: J. Iron Steel Inst. 77 (1908) II 153.

²⁾ Portevin, A. B., Garvin, M.: J. Iron Steel Inst. 99 (1919) I 469.

* 海軍技術研究所材料研究部

第1表 燒入油の諸性質

名 稱	記號	製造者名	粘 度 (レッドワツ) (ド器の秒數)				水分 %	揮 發 分 6h			引火點 °C	比 重 15°/4°C	比 熱	酸 價
			20°C	40°C	60°C	80°C		135°C	170°C	200°C				
種 白 絞 油	D	日清製油會社	464	188	100	65	0.08	0.11	0.27	0.25	182	0.9139	0.577	0.140
綿 質 油	E	岡村製油所	287	126	74	53	0.09	0.09	0.18	0.28	230	0.9210	0.443	0.085
大 豆 油	F	小西宗七商店	282	137	83	58	0.07	0.07	0.13	0.25	195	0.9249	0.697	0.160
菜 種 油	G	日清製油會社	409	185	104	70	微量	0.06	0.12	0.18	210	0.9140	0.740	1.750
生 亞 麻 仁 油	H	吉原製油會社	2,261	107	65	50	0.07	0.08	0.17	0.40	180	0.9310	0.410	0.343
古 菜 種 油	I		2,733	1,001	585	240	0.70	0.26	0.70	0.77	160	0.9410	0.545	6.005
古 菜 種 油	J		6,641	1,546	662	334	0.45	0.19	0.39	0.83	216	0.9490	0.351	7.311
鯨 油	K		310	133	77	55	0.08	0.08	0.30	0.59	210	0.9210	0.426	1.255
脫 臭 魚 油	L		7,521	767	318	165	0.25	0.27	0.43	1.08	175	0.9590	0.307	1.254
變壓器油(第一種)	M		98	49	38	33	痕跡	1.40	5.7	9.6	140	0.9010	0.589	0.043
礦 油	N		1,568	367	117	63	無し	0.25	0.70	4.05	180	0.9530	0.364	0.086
燒入油 No. 2	P	Andrews 商會	385	86	61	49	無し	0.15	0.57	1.07	195	0.8920	0.905	0.160
" No. 23	Q	大和製油會社	190	76	55	40	痕跡	1.02	2.38	3.37	150	0.8810	0.745	0.120
" No. 24	R	"	170	74	51	40	"	1.42	4.95	5.91	135	0.8940	0.819	0.170
" No. 25	S	"	540	172	83	59	"	0.31	1.95	2.26	173	0.8890	0.753	0.070
K.K.K.印 No. 2	T	中村眞勝商店	259	94	54	44	無し	1.00	3.26	11.20	135	0.9210	0.850	0.140
" No. 5	U	"	620	206	87	54	痕跡	0.19	0.75	2.68	180	0.9270	0.640	0.170
ホートン油 No. 2	V	Houghton 會社	227	92	56	43	無し	0.24	0.95	6.33	165	0.8880	0.752	0.890
" No. 5	W	"	472	171	81	56	微量	0.16	0.45	1.47	180	0.8950	0.726	0.960
N.T.K.印 No. 2	X	日本特殊油脂會社	298	109	59	44	痕跡	0.39	1.23	6.16	160	0.9269	0.591	0.090
" No. 5	Y	"	640	198	89	53	微量	0.30	1.98	5.56	170	0.9379	0.761	0.090

ものである。

次に N. B. Pilling 及び T. D. Lynch³⁾ は初めて組織的に各種燒入液の研究をした。彼等は Si 5% を含有せるニッケル合金製圓筒 (50mm×6.4mm) を燒入し中心部の冷却状況を正確に記録し冷却曲線に生ずる所謂三段階を明かにした。その後 H. J. French⁴⁾ は種々の鋼試験片を用ひ極めて廣範圍に涉つて燒入温度、試験片形状及び表面状況等が燒入効果に及ぼす影響を實驗した。F. Wever⁵⁾ は直径 4mm のクロム・ニッケル合金製球を用ひ 32 種類の冷却剤に就て實驗し之等を冷却能力に依りパーライト區域及びマルテンサイト區域にて夫々 2 群に分類した。K. G. Speith 及び H. Lange⁶⁾ は直径 1~2cm の銅球を冷却液中に燒入しその際の液の状況をシェリーレン法に依り撮影し種々論じて居る。更に直径 20mm の銀球を燒入しその中心温度を測定し水、油及び水にペクチンを混じた溶

液等に就き冷却能力を測定した。T. F. Russell⁷⁾ は同形の銀球を用ひ各種油の温度が冷却能力に及ぼす影響を求めた。又 A. Rose⁸⁾ も同じく銀球を用ひ空気、水及び各種油の冷却能力を正確に求めた。更に水と油の乳濁、水硝子溶液等の組成が燒入後能力に及ぼす影響を測定し極めて興味ある結果を得た。本邦に於ては大日方⁹⁾ 三上¹⁰⁾ 大畑¹¹⁾ 原¹²⁾ 氏等の優れたる研究があるが殊に原氏は佐藤式自記録燒入膨脹計を用ひ種油、魚油、大豆油の温度及び含有水分等が冷却能力に及ぼす影響を詳細に研究し現場的に有益な成果を得て居る。

III. 試 料

本研究にては水、食鹽水、石鹼水その他燒入油として使用し得る可及的多數の動植物油及び礦物油に就て實驗した。夫等の物理的並に化學的諸性質を第 1 表に示す。尙動植

³⁾ Pilling, N. B., Lynch, T. D.: Trans. A.I.M.E. 62 (1920) 669.

⁴⁾ French, H. J.: Trans. A.S.S.T. 17 (1930) 646

⁵⁾ Wever, F.: Arch. Eisenhüttenwes. 5 (1931/32) 175.

⁶⁾ Speith, K. G., Lange, H.: Mitt. Kais. Wilh.-Inst. Eisenforsch., Düsseldorf 17 (1935) 175.

⁷⁾ Russell, T. F.: J. Iron Steel Inst. 2nd Report of the Alloy Steels Research Committee (1939) 283.

⁸⁾ Rose, A.: Arch. Eisenhüttenwes. 13 (1939/40) 345.

⁹⁾ 大日方一司: 金屬の研究 7 (昭 5) 161

¹⁰⁾ 三上美和吉: 金屬の研究 8 (昭 6) 398

¹¹⁾ 大畑宇治郎: 鐵と鋼 17 (昭和 6) 273

¹²⁾ 原於菟雄: 鐵と鋼 20 (昭和 10) 802

物油は一般に開罐直後と或る期間經過後の冷却能力に相當差異あることを認めため本研究に於ては開罐後定期的に冷却能力を測定し一定値に達したものをを用ひて實驗した。これが詳細に關しては後述する。

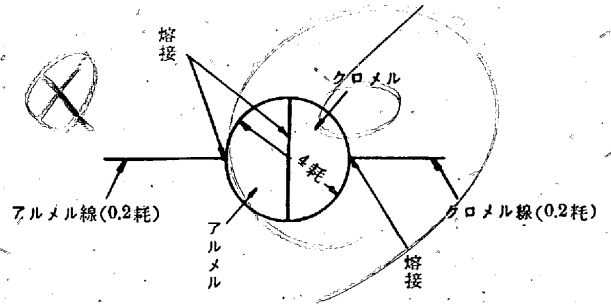
IV. 實驗装置

本研究に使用した装置は鋼焼入剤の冷却能力を極めて正確に記録し得るものである。

1. 焼入装置

本装置は試料(冷却剤)にて高温(焼入温度)に加熱せる測熱體(小球)を冷却せしめその際の温度變化を正確に表示するもので第 1 圖に其の説明圖を示す。

圖中 E はニクロム線(21 番線)を螺旋形に捲き耐火管内に入れた簡單なる加熱體なり。これに 6~9 A の電流を通じ極めて速に且確實に測熱體を所要焼入温度に加熱し得た。 K (測熱體)は第 2 圖に詳細を示す如く直径 4mm の球にしてクロメル及びアルメルより成る半球を熔接して製作したものである。仍て K は焼入體と熱電對の熱接點との兩用を兼ねその示す温度は兩半球の接觸面(直径 4mm の圓形平面)に於けるクロメル-アルメルの平均熱起電力である。次に K の兩側の第 2 圖に示す位置に直径 0.2mm のクロメル及びアルメル熱電對線を熔接し支持棒 C (クロメル製)及び A (アルメル製)にて張り K を C と A の中



第 2 圖 測 熱 體

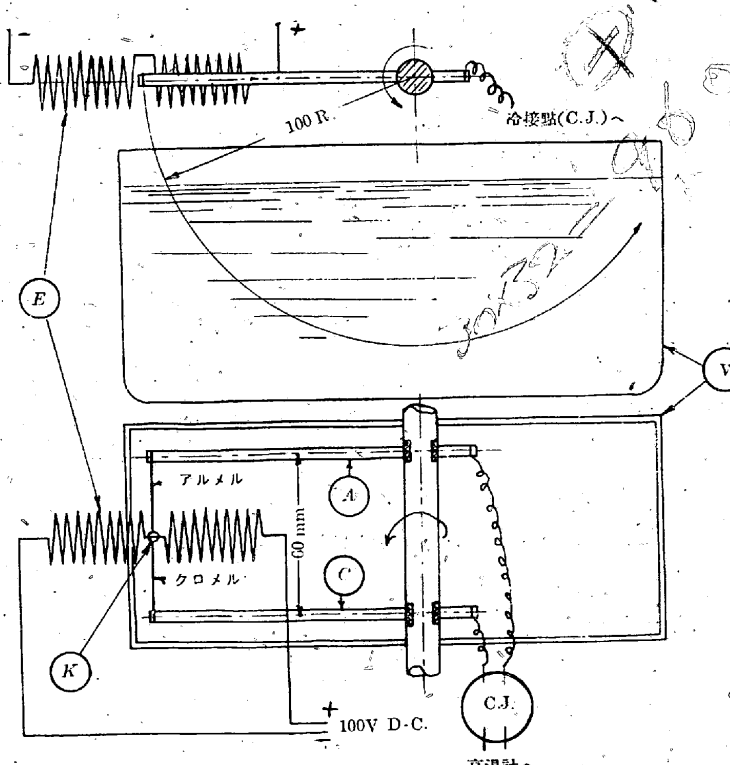
央に位置せしめる。故に熱起電力はクロメル C 及びアルメル A を經て冷接點に導かれるから冷却の際 C 及び A の先端が冷却剤中に滲漬しても測熱上等差支へがない。

熱電對は米國 Hoskin 會社製にして水、ナフタリン、硫黃の各沸點及びアンチモン、銀、銅の各凝固點に對して補正したるものを用ひ、使用による熱起電力劣化を防止する爲實驗の都度石油及びベンジンで充分洗滌した。 V は容量 1.5l の試料容器にして試料を高温にした場合の試験に使用する爲特にテレックス硝子で製作した。尙之等は何れも鋼板製覆中に設置された硝子窓にて外部から觀測し得る如くした。次に測熱體(K)を加熱體より冷却剤中に移行するには手動を避け直流電動機に依り軸を回轉し常に一定速度で行ひ更に K は冷却曲線記録中終始同一速度で靜止せる冷却剤中を運動する如くした。その速度は齒車裝置にて

約 7cm/s に減速した。以上の如く測熱體挿入方法を大體一定に行つたのでこれが冷却狀況に及ぼす誤差は殆ど無視し得たのである。又加熱體と冷却劑表面との距離は約 4cm であるから測熱體が冷却剤に入る迄の温度降下は後掲の冷却曲線に見る如く殆ど認め得ない。

2. 測 熱 體

本實驗に於ては最初測熱體として純銅又は純ニッケル製球の外部にクロメル及びアルメル熱電對線を熔接したるものを使用したが、試験の結果液體冷却剤を用ひたる際の焼入體表面に於ける冷却狀況は極めて亂雜にして正確に記録することの不可能なることが判つた。仍て種々研究の結果多少表面温度とは異なるが己むを得ず本測熱體を採用した次第である。これは米國 Hoskin 會社製直径 6.5mm のクロメル及びアルメル熱電對線より旋盤にて直径 4mm の球を製作し各々を半球に研磨し斷面を研磨紙 "0" 程度に仕上げたるものを



第 1 圖 燒 入 装 置

點熔接器にて慎重に熔接したるものである。尙その材料たる熱電對は前述せる如き各點に於て補正せるものを使用し且實驗の都度石油及びペンデンにて充分洗滌し熱起電力の劣化を防止した。然るに同一測熱體にて實驗を重ねる時は冷却劑による熱起電力劣化或は加熱による熔接部の剝脫等の爲起電力に異状を生ずる恐れがあるので使用回數 30 回に及びたる毎に標準油（種白絞油の冷却能力一定となりたるものを密閉硝子壺中に保存せるもの）にて冷却曲線を畫き 700°C と 300°C 間の冷却時間を測定し許容範圍（1.50 ~ 1.15 秒）外となりたる場合は廢却することにした。尙新に製作せる測熱體もこの試驗を行ひ許容範圍内の冷却時間を示すもののみを使用した。

3. 電流計及び記録裝置

燒入裝置にて測定せる溫度變化を正確に記録する裝置は著者前論文¹³⁾に記載せるものと同様にして電流計にはアイントーベン・ザイテンガルバノメーターを使用した。只本實驗の場合には前實驗に比し記録せんとする溫度變化急速なるを以 1/25 秒毎に時間を記録せしむる如く、タイム・マーカーを改造し測定の正確を期した。

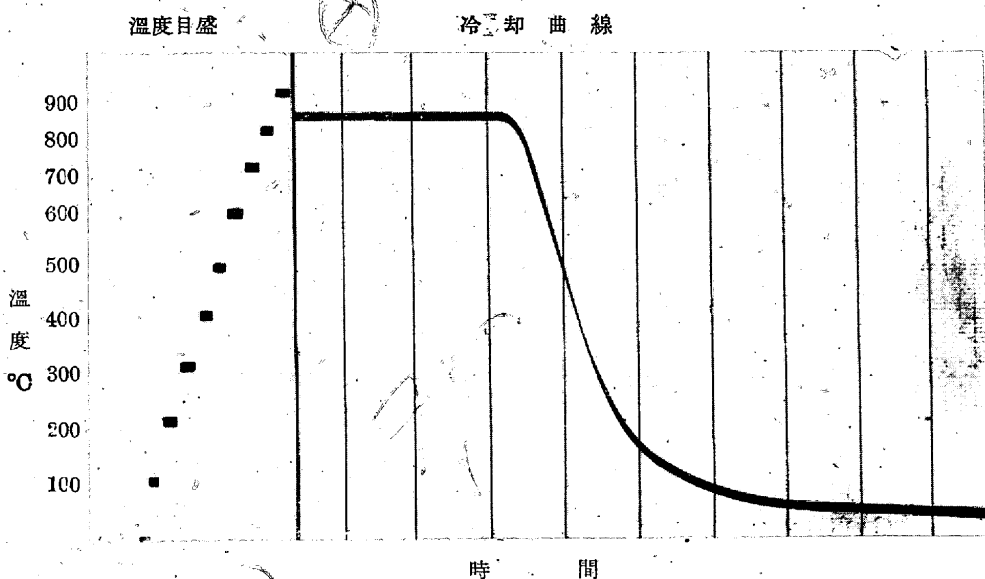
4. 溫度補正裝置

電流計の感度を補正し、溫度目盛を正確に示す裝置にして前記論文に記載せるものと全く同様なるを以て説明を省略する。

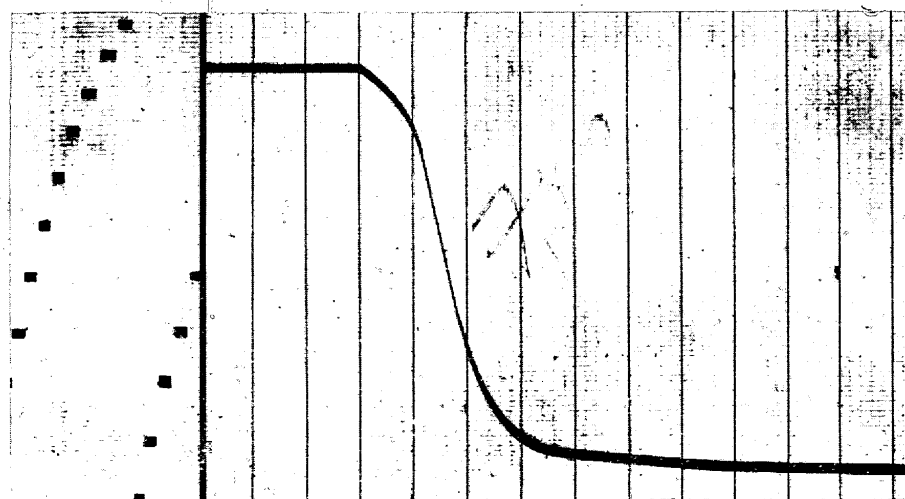
V. 實驗方針及び方法

先づ各種試料の 20, 40, 60, 80 及び 100°C に於ける冷却曲線を畫き、これより各冷却劑の冷却能力及び燒入體各溫度に於ける冷却速度を求めた。次に含有水分の冷却能力に及ぼす影響及び長時間高温加熱による冷却能力劣化等に就き研究した。今後引續き本實驗により求めたる冷却劑の冷却能力と夫に鋼材を燒入したる際の燒入深

度との關係を探求し本成果を實地作業に應用せんとする次第である。次に實驗操作の大要を述べれば、先づ測熱體に熱電對を熔接し裝置内に裝備しこれを加熱體中に保持する。他方實驗せんとする冷却劑を容器に入れ所定溫度に加熱し裝置内に置き又溫度補正裝置は豫め實驗直前に電位差計で補正する。電流計、カメラ等の用意整へば加熱體に電流を通じ測熱體を燒入溫度に加熱し 1~2mn 保持後電動機にて支持棒（C 及び A）を回轉し、K を冷却劑中に冷却せしめる。而してその際冷却状況を記録し冷却曲線を求め 700°C ~ 300°C を冷却するに要する時間（秒）にて冷却能力を比較した。又これより冷却速度を正確に測定し各種冷却劑の溫度—冷却速度曲線を求め種々考察を行つた。猶冷却速度曲線は冷却曲線上各 100°C 毎例へば 800~700°C, 700~600°C …… の如き溫度間の平均冷却速度を求め、夫等の中間溫度例へば 750°C, 650°C …… の冷却速度として圖示し

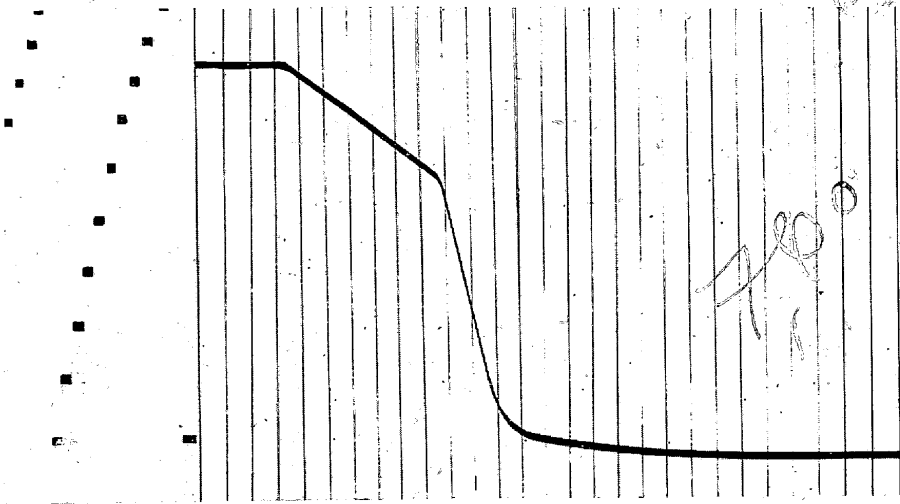


第3圖(1) 水道水の冷却曲線 (20°C)

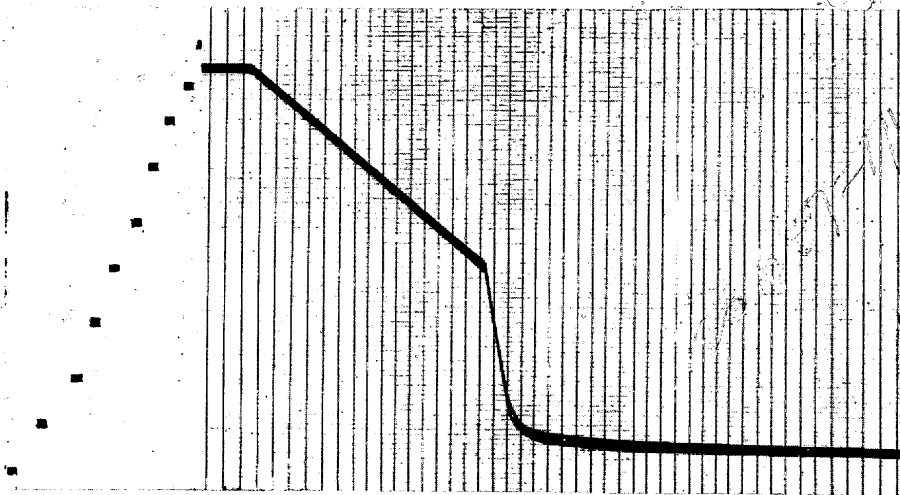


第3圖(2) 水道水の冷却曲線 (40°C)

¹³⁾ 著者: 鐵と鋼 23 (昭 12) 875



第 3 圖 (3) 水道水の冷却曲線 (60°C)



第 3 圖 (4) 水道水の冷却曲線 (80°C)

本実験に於ては、80°C 以上の場合は省略した。これを見るに 20°C の場合は第一段階 (蒸気膜安定期) 殆ど認められず。従て第一段階と第二段階の境界点 (以下変点と稱す) も認め得ない。然るに 40°C の場合は 720°C, 60°C の場合は 570°C, 80°C は 400°C に各変点を明瞭に認め温度上昇と共に変点の降下著しく、冷却速度の低下大なることを認め得た。これは温度上昇に従ひ蒸気膜生成能力及びその安定度大となるに因るものと思考せられる。又水道水の温度と変点との関係は第 4 圖に示す如く、連続的に變化するが第一段階に於ける冷却速度は 50°C 附近に於て急激に低下する。以上より水道水は低温の場合冷却速度著しく大であるが高温にては小となり、その差夥しき爲現場用冷却剤としては危険多く一般に不向である。

(2) 食鹽水 (B)

水道水に NaCl 5% を溶解せるものを使用した。その際の冷却曲線は水道水の場合と略類似せるを以て省略するが變点は 20° 及び 40°C にては殆ど認めら

たるものである。又焼入温度は總て 850°C を採用した。

VI. 実験結果

1. 温度 1 時間曲線

全試料の 20, 40, 60, 80 及び 100°C に於ける冷却曲線を求めた。本曲線により各冷却剤の冷却状況 (所謂冷却の三段階等) を従來の諸研究結果に比し極めて明瞭に認め夫等の冷却能力の特性を充分明かにし得た。尙冷却の三段階に關しては前掲諸論文及び H. Scott¹⁴⁾ の論文に詳しく述べてあるから省略する。

(1) 水道水 (東京市水道水) (A)

第 3 圖 (1)(2)(3) 及び (4) は夫々水道水 20, 40, 60 及び 80°C の際の冷却曲線を示す。圖中横軸は時間を示し各線は 1/25 秒毎に記録されたものである (太線は 1/5 秒)。又縦軸は温度にして下方より順次 100°, 200°... 1,000°C を示す。以下の冷却曲線もこれに準ずる。

れず 60°C の場合 755°C, 80°C の場合に於て 410°C となり何れも著しく上昇し第一段階を縮小する傾向を示す。これは食鹽水は水道水に比し沸點高き爲と思考せられる。又食鹽水の冷却速度は水道水より大にして、20°C の場合後者の 1,550°C/s (800~100°C の平均冷却速度) に對し 2,100°C/s である。これは比熱及び熱傳導率等の影響であるが更に高温の場合は變點發生温度による影響も加はりその差益々大となる。

(3) 石鹼水 (C)

水道水に石鹼 1% を溶解せるものを使用す。この場合變點は著しく下降し 20°C に於ても既に 655°C, 40°C にては 490°C, 60°C は 400°C, 95°C にては 300°C となる。これは蒸気膜の安定度大なるによるものでこの結果石鹼水は高温に於ける冷却速度小であるが低温にては著しく大となる傾向を示す。

(4) 植物油

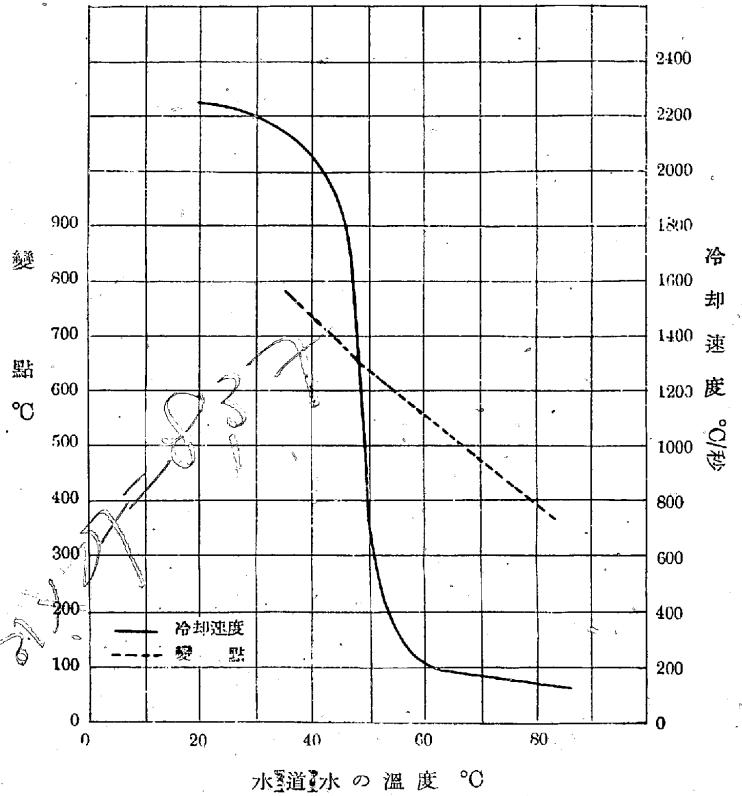
(a) 種白絞油 (D), 綿實油 (E), 大豆油 (F), 茶種油 (G),

¹⁴⁾ Scott, H.; Trans. A.S.M. 22 (1934) 68.

及び亞麻仁油(H)等5種類に就て實驗した。第5圖に各油の20°Cに於ける冷却曲線を示す。

これを見るに綿實油は第一段階及び變點最も明瞭にして大豆油、種白絞油、菜種油これに次ぎ、生亞麻仁油は極めて不鮮明である。次に温度による冷却状況の變化は殆ど無く只80°C以上の場合700~300°C間を冷却するに要する時間(大體第二段階に相當す)が多少長くなる傾向があり、その内菜種油、大豆油は其の差大きく、種白絞油これに次ぎ、綿實油、生亞麻仁油は小である(第2表参照)。又變點は何れも700~750°Cの範囲内にて油の温度に比例して上昇する。20°及び100°Cの場合その差は、綿實油35°C、種白絞油30°C、大豆油及び生亞麻仁油20°Cにして菜種油は750°Cに一定する。

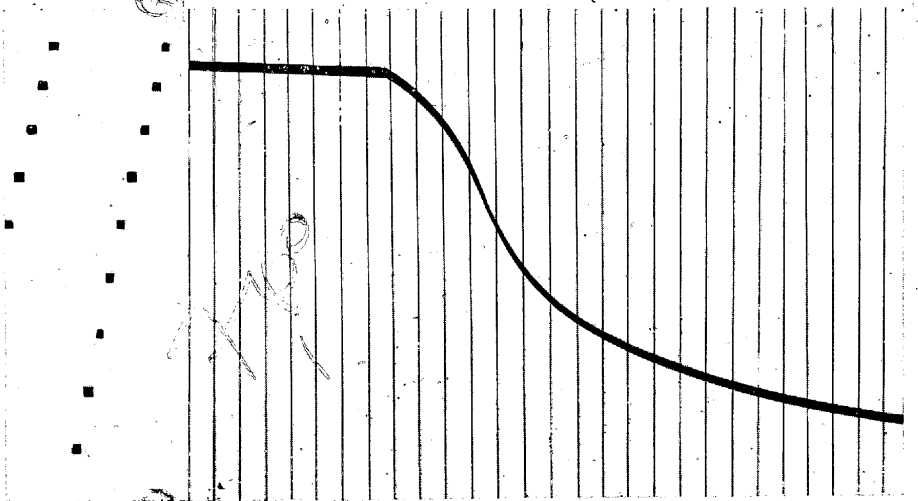
(b) 古菜種油 古菜種油(I)及び(J)に就て實驗した。(I)は某工廠熱處理工場に於て大正11年油タンク完成以來使用せるものにして、その間隔月に少量の新油を補充せるものである。第3表に示す如く古油は新油に比し酸價及び粘度著しく大である。次に(J)は昭和10年月より昭和13年9月迄約3ケ年、某製鋼所熱處理工場に於て使用せるものにして粘度は新油の135(レッド、ウッド器の秒數)に對し1211にて可成り大きく



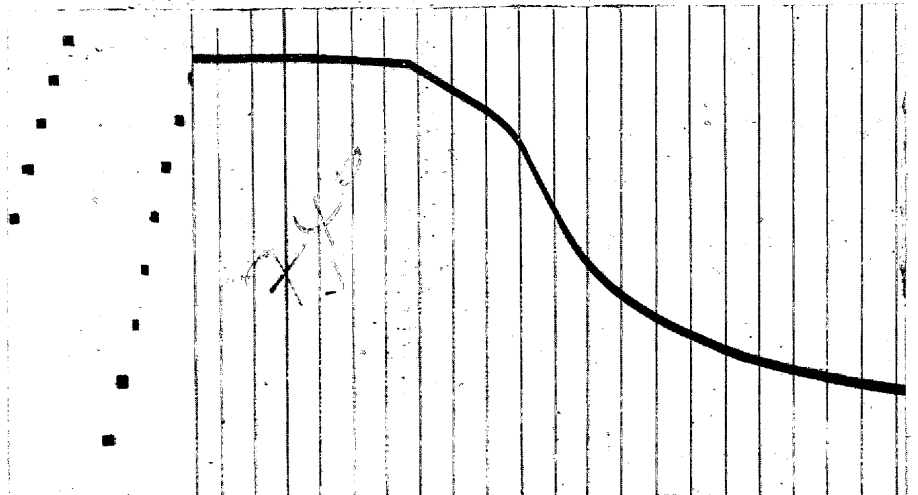
第4圖 水道水の變點及び第一段階の冷却速度に及ぼす温度の影響

第2表 植物油の實驗結果

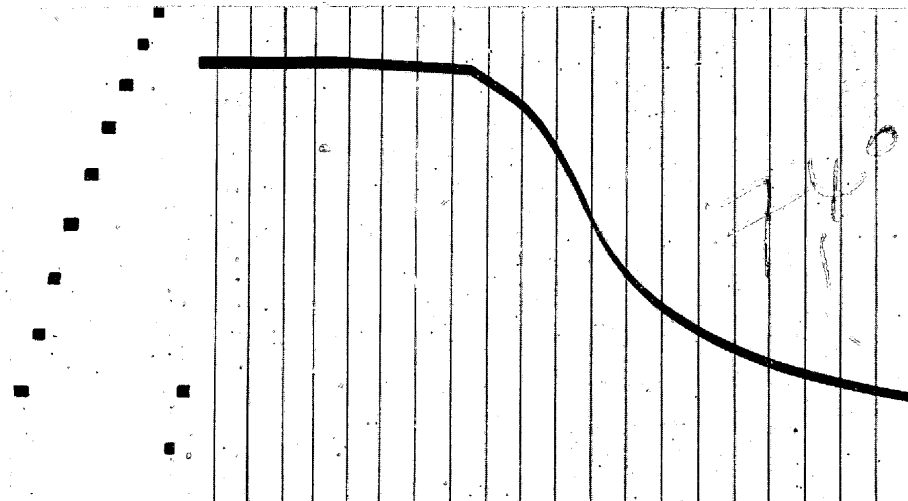
名稱	記號	實驗番號	溫度 °C	變點 °C	700~300°C 冷却時間
種白絞油	D	8	20	710	1'12 ⁵
	"	9	40	720	1'13
	"	10	60	720	1'15
	"	11	80	730	1'26
	"	12	100	740	1'28
綿實油	E	17	20	700	0'97
	"	18	40	720	0'92
	"	19	60	730	0'96
	"	20	80	735	1'01
	"	21	100	"	1'08
大豆油	F	4	20	710	0'96
	"	5	40	720	0'97
	"	6	60	720	1'02
	"	7	80	725	1'11
	"	8	100	730	1'26
菜種油	G	1	20	750	1'12
	"	2	40	750	1'11
	"	3	60	750	1'12
	"	4	80	750	1'16
	"	5	100	750	1'36
生亞麻仁油	H	12	20	710	0'90
	"	13	40	710	0'89
	"	14	60	720	0'90
	"	15	80	725	0'99
	"	16	100	730	1'06



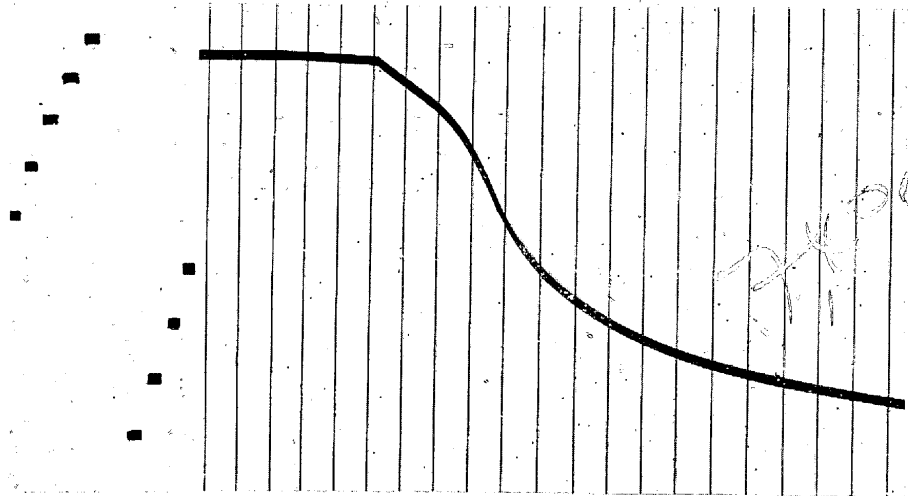
第5圖(1) 植物油(20°C)の冷却曲線 種白絞油



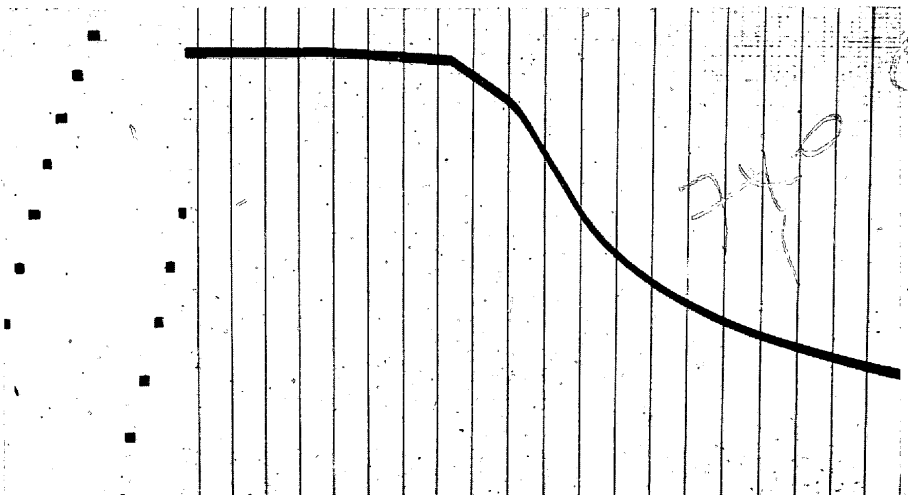
第5圖(2) 植物油(20°C)の冷却曲線 綿實油



第5圖(3) 植物油(20°C)の冷却曲線 大豆油



第5圖(4) 植物油(20°C)の冷却曲線 菜種油



第5圖(5) 植物油(20°C)の冷却曲線 生亞麻仁油

第3表 新古菜種油の諸性質

		古油	新油
比重	(15°C)	0.94	0.915
凝固點	°C	-5°C以下	-5°C以下
酸價		10.44	0.55
鹼化價		180.92	103.91
沃引		78.76	103.84
引火點		209°C	223°C
粘度	(レッド・メーター・秒數)		
	50°C	541.1	140.0
	90°C	157.9	59.4

第4表 古菜種油の實驗結果

名稱	記號	實驗番號	溫度 °C	變點 °C	700~300°C 冷却時間
古種油	I	12	20	650	1'58s
		13	40	660	1'56
	"	14	60	670	1'44
		15	80	700	1'40
	"	16	100	—	—
		J	12	20	700
	"	13	40	710	1'40
		14	60	710	1'39
	"	15	80	720	1'40
		16	100	720	1'43

第5表 動物油の實驗結果

名稱	記號	實驗番號	溫度 °C	變點 °C	700~300°C 冷却時間
鯨油	K	10	20	790	1'12s
		11	40	"	1'12
		12	60	"	1'20
		13	80	"	1'22
		14	100	"	1'38
脱臭魚油	L	9	20	680	0'96
		10	40	690	0'97
		11	60	690	1'03
		12	80	720	1'19
		13	100	725	—

に比し大なるは粘度等に依る他この場合は變點が 700°C 以下にある爲冷却速度小なる第一段階が測定範圍内に含まれるに因るものと想像せられる。

(5) 動物油

鯨油(K)及び脱臭魚油(L)にて實驗した。之等の冷却曲線は特に異状なきを以て省略する。變點は鯨油の場合脱臭魚油

なつて居る。

第4表を見るに冷却に要する時間(700~300°C)は新油(第2表G参照)に比し特に低温に於ける場合著しく大にして冷却能力劣化を示すも 100°Cにてはその差小となる。次に變點は新油に比し低下し、特に(I)はその程度大である。尙(I)油の20及び40°Cの冷却時間が高温

に比し幾分明瞭に認められ、後者の680~725°Cにて多少低きに對し、前者は790°Cに一定し極めて高き傾向を示す。又冷却時間は何れも温度に比例して大となるも其の程度は鯨油が大である(第5表参照)。

(6) 鑛物油

變壓器油第一種(M)、鑛油(N)、燒入油 No. 2(P) (ア

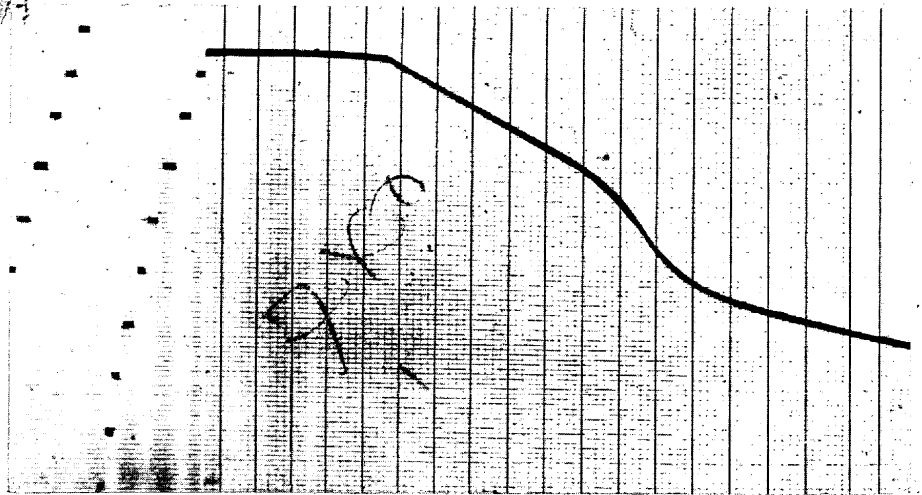
Andrews). 燒入油 No. 23 (Q), No. 24 (R) 及び No. 25 (S) (大和), K.K. K. 印 No. 2 (T) 及び No. 5 (U), ホートン油 No. 2 (V) 及び No. 5 (W). N. T.K. 印 No. 2 (X) 及び No. 5 (Y) に就て實驗した. 之等名稱の多くは第1表に示す如く製造者に依る商品名である. 鑛物油の冷却曲線は第6圖にその例を示す如く動植物油と著しく異り第一段階極めて明瞭にして殆ど一定速度で冷却する.

變點は後者の 700°C 附近に起るに對し 500~600°C にして第6表に示す如く油温度に依り殆ど變化がない. 即ち變壓器油は大體 480°C にて最も低く燒入油 No. 23, No. 25 (大和), N. T.K. No. 2, No. 5 は 530°C, 燒入油 No. 2 (Andrews), 燒入油 No. 24 (大和) は 550°C, 鑛油, ホートン油 No. 5 は 590°C である. 尙これが各油の揮發分含有量と大體比例して居ることは注目値する (第1表参照).

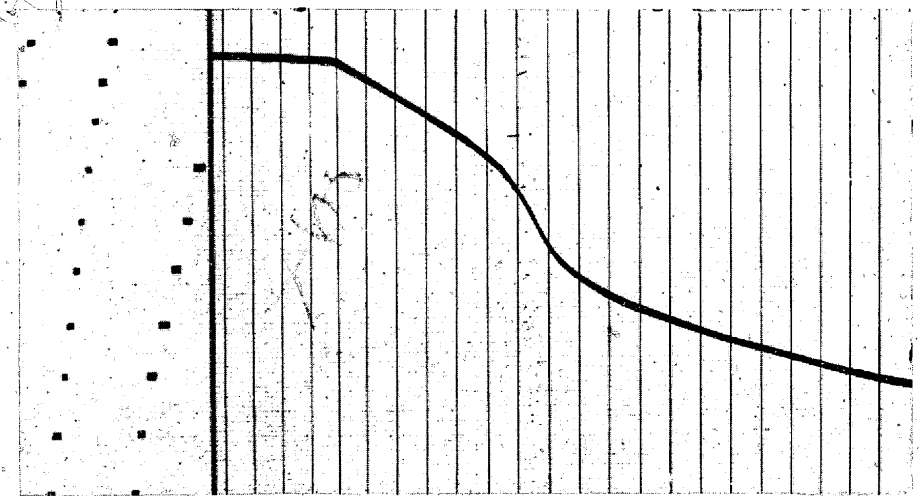
かく變點の比較的低温にあるは鑛物油の場合特に燒入體周圍に生成する蒸氣膜が油による直接の冷却を防げる程度大なるに依るものと思はれる. 又揮發分の大なる程變點が降下する事實よりこれも多少影響することが想像される. 次に 700~300°C 間の冷却時間は動植物油に比し長くなるが, この場合は變點低くその温度範囲内に第一段階が入る爲その儘比較することは全く無意味である. 尙参考の爲第7圖に温度による上述各冷却劑の 700~300°C 間を冷却するに要する時間の變化を示す.

これを見るに A, B 及び C 以外の多くは何れも大體温度の上昇に従ひ僅か右方に傾斜す. 只 I は前述せる如き理由に依り異例を示す.

2. 温度—冷却速度曲線



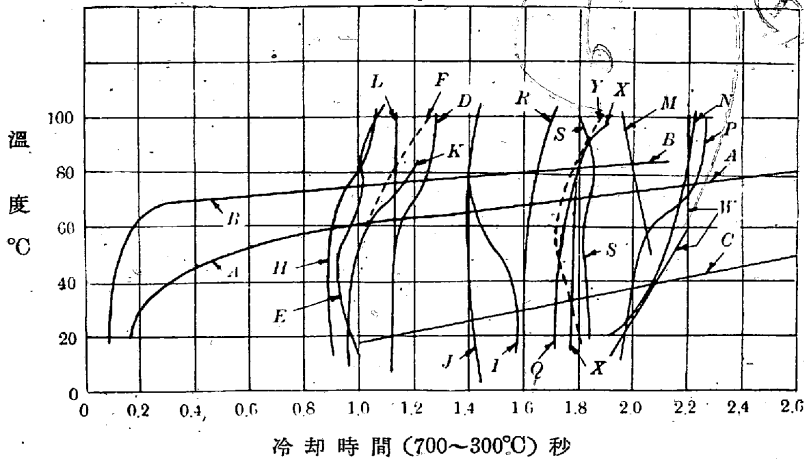
第6圖(1) 鑛物油 (20°C) の冷却曲線 燒入油 No. 25 (大和)



第6圖(2) 鑛物油 (20°C) の冷却曲線 鑛油

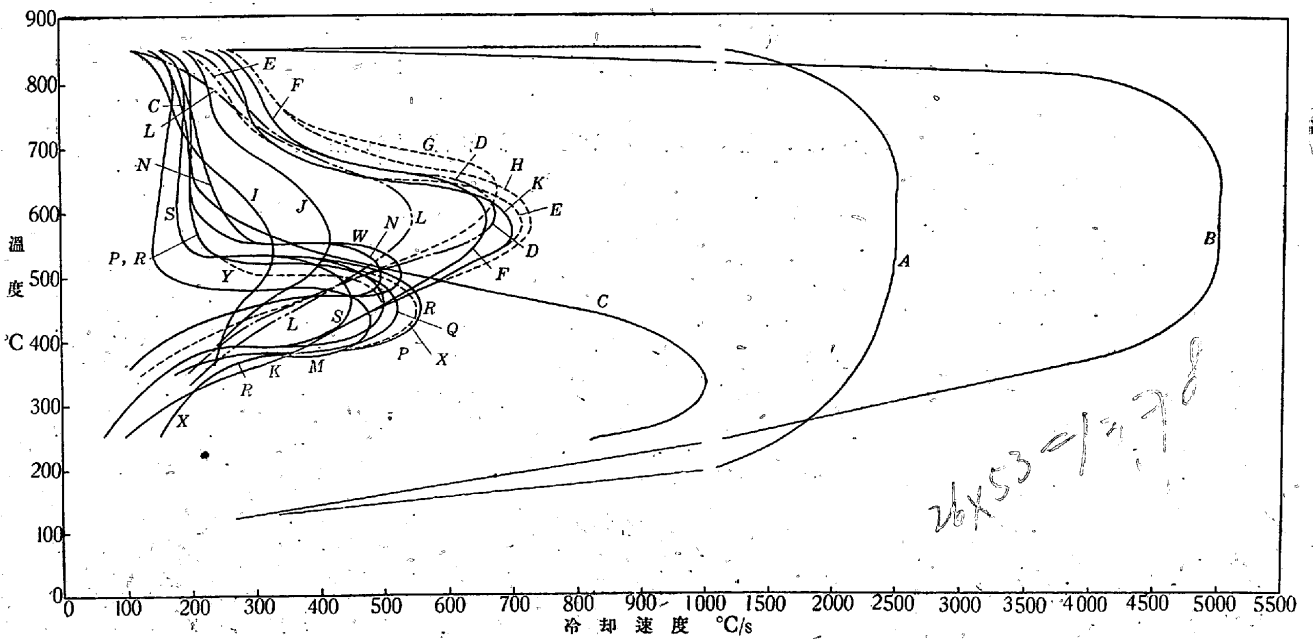
第6表 鑛物油の實驗結果

名稱	記號	實驗番號	溫度 °C	變點 °C	700~300°C 冷却時間	名稱	記號	實驗番號	溫度 °C	變點 °C	700~300°C 冷却時間	
變壓器油 第一種	M	50	20	480	—	K. K. K. No. 2	T	20				
	"	—	40	—	—		"	40				
	"	51	60	480	2'04		"	60				
	"	52	80	—	—		"	80				
	"	53	100	545	1'96		"	100				
鑛油	N	13	20	585	1'92	K. K. K. No. 5	U	20				
	"	14	40	"	2'08		"	40				
	"	15	60	"	2'16		"	60				
	"	16	80	"	2'20		"	80				
	"	17	100	590	2'22		"	100				
燒入油 No. 2 (Andrews)	P	21	20	550	1'97	ホートン油 No. 2	V	20				
	"	22	40	"	2'00		"	40				
	"	23	60	"	2'06		"	60				
	"	24	80	"	2'24		"	80				
	"	25	100	"	2'29		"	100				
燒入油 No. 23 (大和)	Q	19	20	530	1'72	ホートン油 No. 5	W	23	20	595	1'96	
	"	20	40	"	"		"	25	40	595	2'09	
	"	21	60	"	1'74		"	26	60	595	2'21	
	"	22	80	"	1'80		"	27	80	600	2'20	
	"	23	100	"	1'88		"	28	100	595	2'20	
燒入油 No. 24 (大和)	R	18	20	550	1'60	N. T. K. No. 2	X	44	20	530	1'77	
	"	19	40	"	1'60		"	45	40	535	1'76	
	"	15	60	"	1'62		"	46	60	535	1'78	
	"	16	80	"	1'64		"	47	80	555	1'80	
	"	20	100	"	1'70		"	48	100	555	1'94	
燒入油 No. 25 (大和)	S	16	20	535	1'84	N. T. K. No. 5	Y	18	20	540	1'80	
	"	19	40	535	1'84		"	19	40	"	1'76	
	"	20	60	580	1'82		"	20	60	"	1'72	
	"	21	80	600	1'86		"	21	80	"	1'78	
	"	22	100	600	1'80		"	22	100	"	1'88	

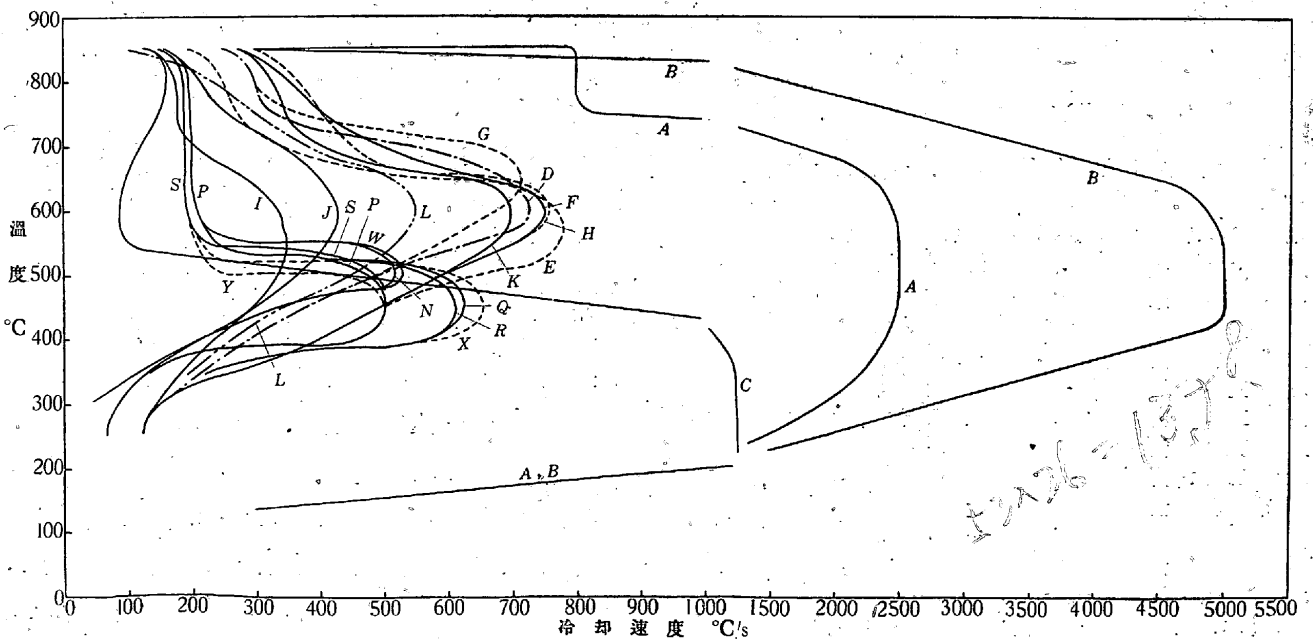


第 7 圖 冷却能力に及ぼす温度の影響

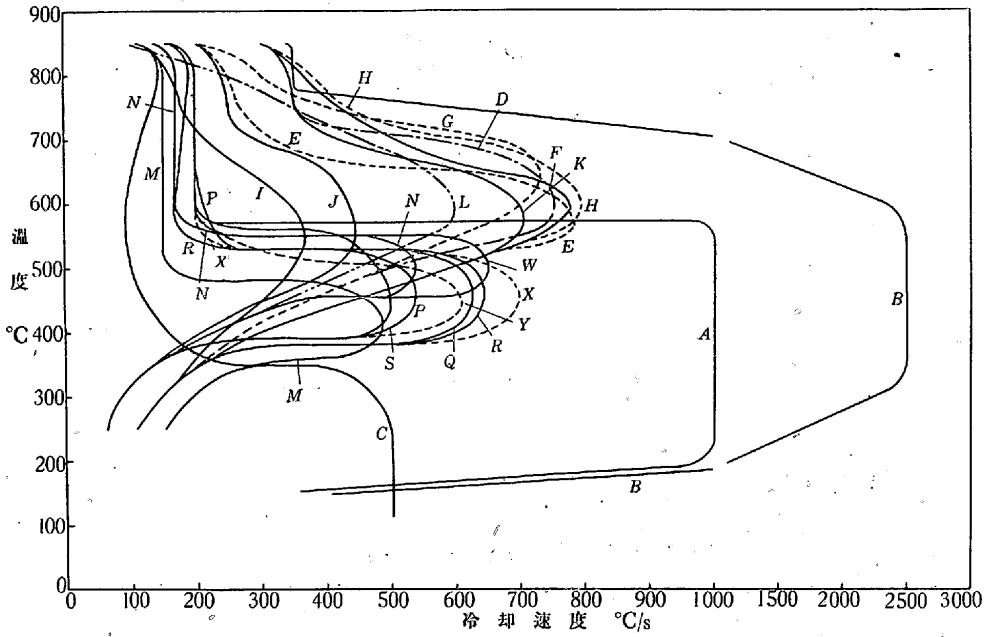
前章に記せる方法にて冷却曲線より各温度に於ける冷却速度を求め、温度—冷却速度曲線を畫いた。第 8 圖に各試料の 20, 40, 60, 80 及び 100°C に於けるものを示した。圖中縦軸は焼入體温度 (°C), 横軸は冷却速度 (°C/s) である。以下順次之等に就て述べる。尙曲線に附せる記號は第 1 表に示したるものと同様であるが便宜上茲に再録する。(次頁右下参照)



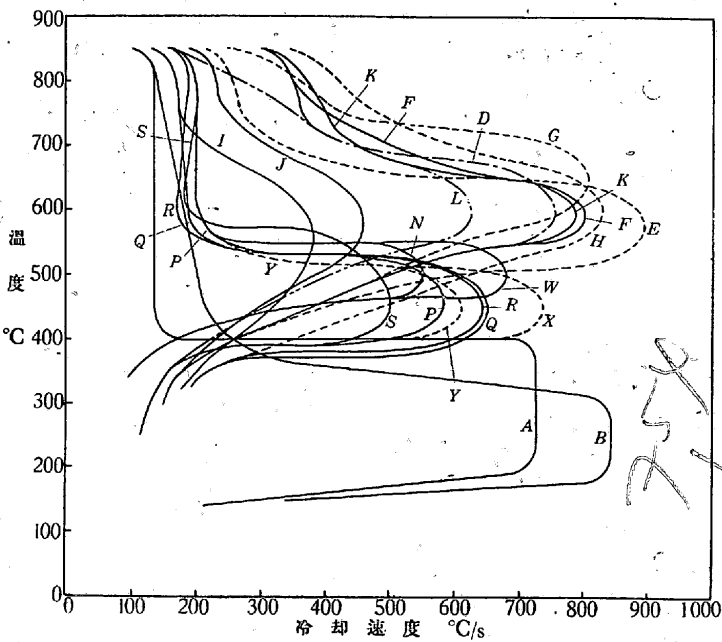
第 8 圖 (1) 冷却剤 (20°C) の温度—冷却速度曲線



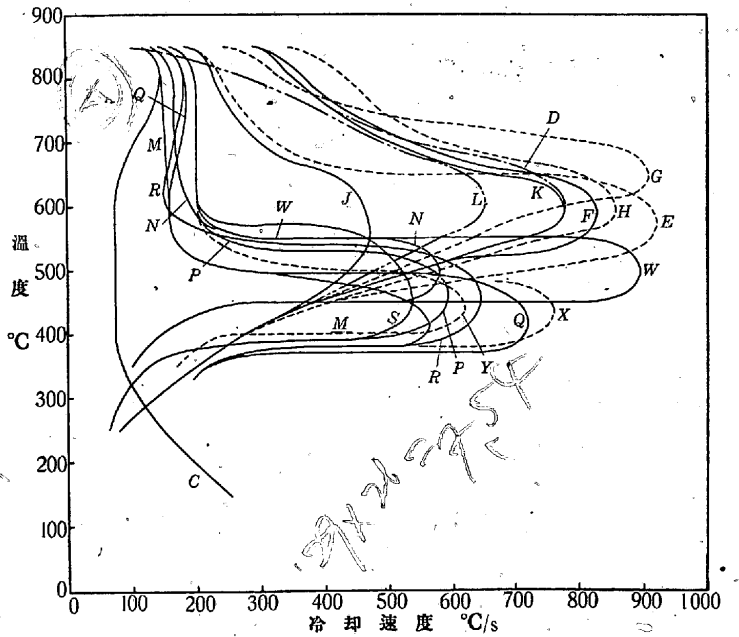
第 8 圖 (2) 冷却剤 (40°C) の温度—冷却曲線



第8圖(3) 冷却劑(60°C)の温度—冷却速度曲線



第8圖(4) 冷却劑(80°C)の温度—冷却速度曲線

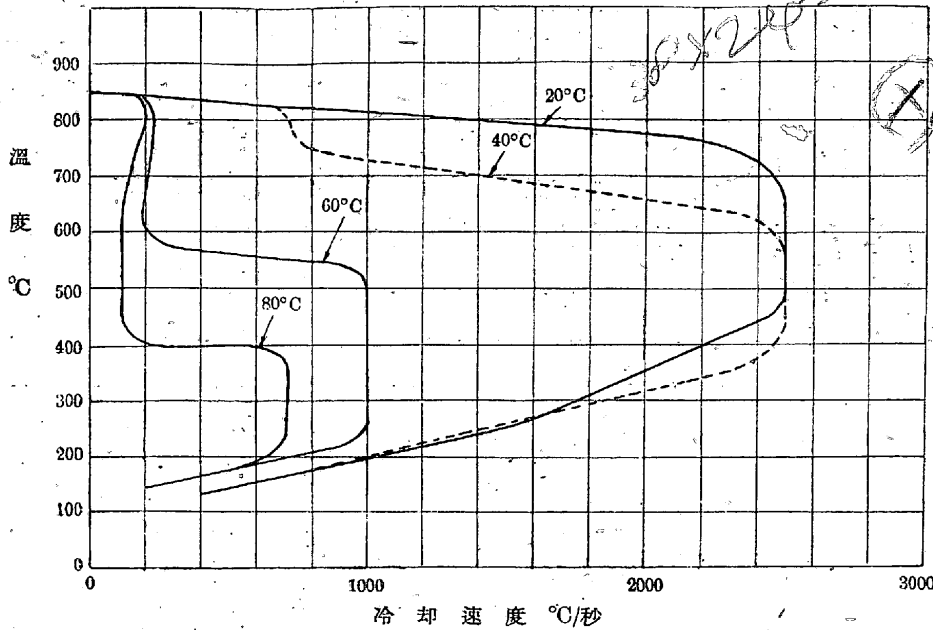


第8圖(5) 冷却劑(100°C)の温度—冷却速度曲線

名 稱	記號	名 稱	記號
水道水	A	燒入油 No. 2 (Andrews)	P
食鹽水	B	燒入油 No. 23 (大和)	Q
石鹼水	C	燒入油 No. 24 (大和)	R
種白絞油	D	燒入油 No. 25 (大和)	S
綿實油	E	K.K.K.印 No. 2	T
大豆油	F	" No. 5	U
菜種油	G	ホートン油 No. 2	V
生亞麻仁油	H	" No. 5	W
古茶種油	I	N.T.K.印 No. 2	X
"	J	" No. 5	Y
鯨油	K		
脫臭魚油	L		
變壓器油(第一種)	M		
鑲油	N		

(1) 水道水 (A)

第9圖を見るに 20°C の場合は燒入直後極めて急速に冷却速度上昇し、既に 700°C にて最高冷却速度 2,500°C/s に達し、400°C 付近より徐々に減少する。40°C にては先づ 714°C/s の一定速度(第一段階)にて冷却し 740°C (變點) に至れば急に冷却速度を増し、600°C 附近にて 20°C の場合と同様 2,500°C/s に達し漸次速度を減じてゐる。60°C に於ては第一段階の冷却速度 200°C/s, 最高冷却速度は 1,000°C/s, 80°C の場合は第一段階 140°C/s にて最高冷却速度は 730/s である。以上の如く温度による冷却



第9圖 水道水の温度—冷却速度曲線

速度の變化著しき爲水道水は現場焼入冷却剤として不適當である。

(2) 食鹽水 (5%) (B)

水道水と良く類似せるも前者に比し温度に影響さるゝ程度少く、40°Cにては未だ變點が認められない。又最高冷却速度は20°及び40°Cの場合5,000°C/sにて水道水より大である。

次に60°C以上にて初めて第一段階が認められ、其の速度60°Cにては350°C/s、80°Cは200°C/sにして最高冷却速度は夫々2,500°C/s及び840°C/sである。これは冷却速度極めて大であるが水道水同様温度によりて著しく影響を受ける缺點がある。

(3) 石鹼水 (C)

石鹼水は20°Cの場合既に第一段階が明瞭に認められ冷却速度小であるが低温に至り急に速度を増し300°C附近にて最高冷却速度(1,000°C/s)に達す。40°C以上の場合は第一段階の冷却速度更に低下するが低温に於ては冷却速度を増大する傾向がある。これ石鹼水は高温に於て蒸氣膜を安定にし而も低温に於て冷却能力著しく大にして焼入用冷却剤として不適當なることを示してゐる。

(4) 植物油

(a) 新植物油 第8圖に於て種白絞油(D)、綿實油(E)、大豆油(F)、茶種油(G)及び生亞麻仁油(H)は極めて類似の冷却速度曲線を示す。之等の最高冷却速度は生亞麻仁油730°C/sにて最も大きく大豆油660°C/sにて最小でその

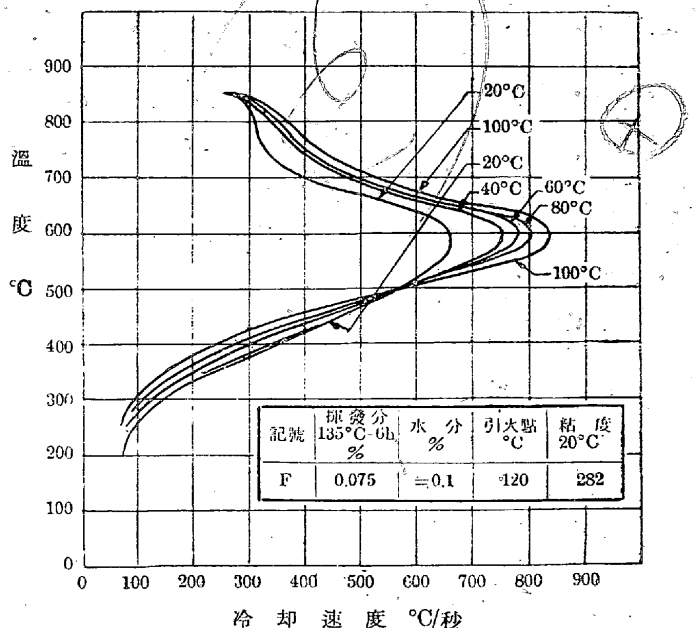
温度は茶種油600°C、綿實油は575°Cにて他は之等の中間である。次に油温度による冷却速度の變化は何れも殆ど同様の傾向を示すを以て特に大豆油の例を第10圖に示した。これに依れば油の温度高き程高温に於ける冷却速度大にして且最高冷却速度も大である。然るに500°C以下に於てはこれと反對に温度低き程冷却速度大となり500°C附近にて各曲線は交錯する。これは動植物油全般に亘る共通の傾向である。

植物油は以上の如く温度による冷却能力の變化少く現場用冷却剤として極めて有用なることを示してゐる。

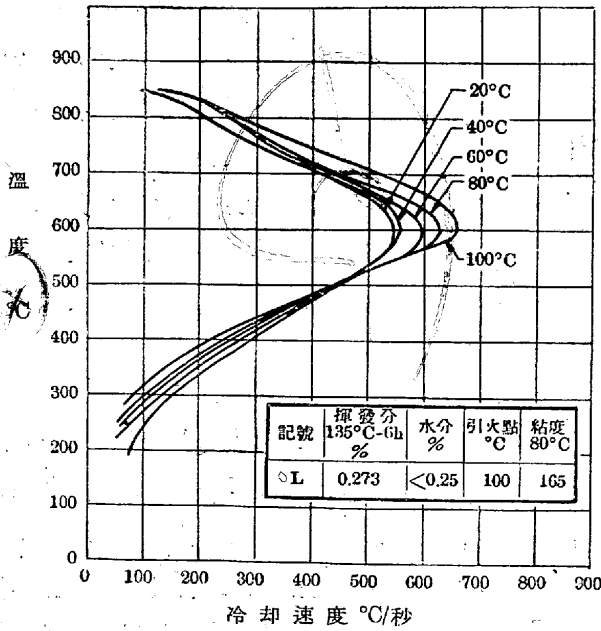
(b) 古茶種油 (I), (J) 第8圖を見るに兩曲線共極めて緩かにして最初より冷却速度低く變點も明かでない。之等の最高冷却速度は550°C附近にして(J)は420°C/s, (I)は330°C/sとなり新油に比し著しく低下する。

(5) 動物油

鯨油(K)、脱臭魚油(L) 第8圖に於て何れも植物油(a)の曲線に極めて類似してゐる。只脱臭魚油は之等に比し最高冷却速度低く550°C/sである。又その温度による影響は第11圖に示す如く植物油の場合と全く同様にて500°C以上は油温度高き程冷却速度大きく以下はその逆となる。



第10圖 大豆油の温度—冷却速度曲線

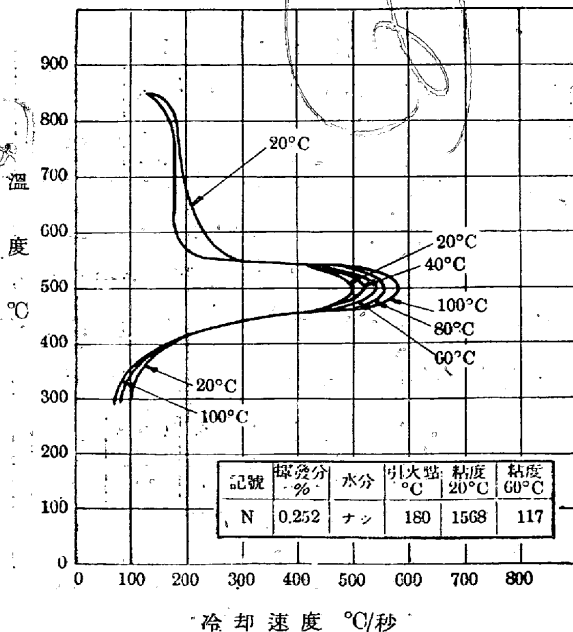


第11圖 脱臭魚油の溫度-冷却速度曲線

(6) 鑛物油

變壓器油第一種(M), 鑛油(N), 燒入油 No. 2(P)(Andrews), 燒入油 No. 23(Q) No. 24(R) 及び No. 25(S)(大和), K.K.K. 印 No. 2(T) 及び No. 5(U), ホートン油 No. 2(V) 及び No. 5(W), N.T.K. 印 No. 2(X) 及び No. 5(Y).

第8圖を見るに之等の曲線は動植物油と著しく異り、何れも先づ第一段階は約 200°C/s の一定速度にて冷却し 500~600°C にて變點に達し第二段階に移り急激に速度を増し直に最高冷却速度に至る。第一段階の速度は鑛油最も大にして變壓器油第一種最小である。



第12圖 鑛油の溫度-冷却速度曲線

最高冷却速度は燒入油 No. 24 (大和) 550°C/s にて最も大きく燒入油 No. 25 (大和) 450°C/s にて最小である。又その溫度は變點に比例しホートン油 No. 5 500°C にて最も高く變點の低き變壓器油第一種は 430°C なり。次に溫度による冷却能力の變化は第12圖に鑛油(L)の例を示す如く動植物油と多少趣を異にし 20°C の場合は最初第一段階に於ては冷却速度最も大なるも變點以下第二段階にては逆になり最高冷却速度最も小である。然るに 450°C 以下では再び冷却速度最大となる。溫度高き程最高冷却速度大なるは動植物油の場合と同様である。

(7) 總括

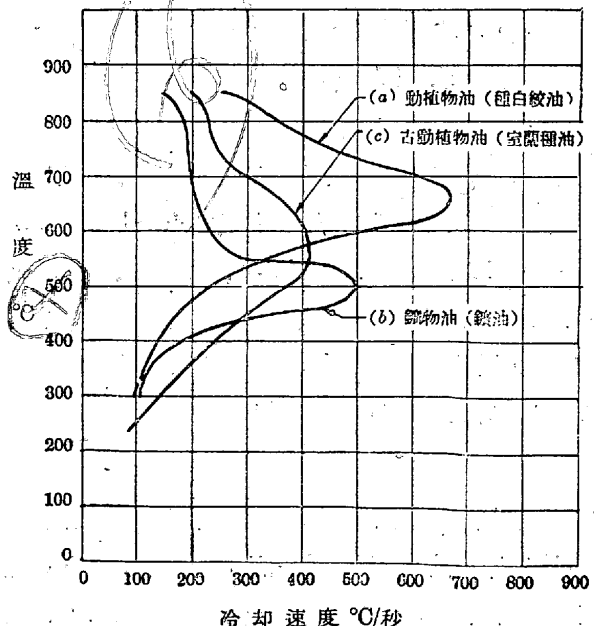
以上を總括するに油の冷却速度の變化の傾向を第13圖に示す如く3種類に大別出来る。

(a) 新動植物油の冷却速度は圖中(a)曲線の如く高温(600°C以上)に於ては最高となり低温に於て著しく小となる。

(b) 鑛物油はこれと異り(b)曲線の如く高温にては冷却速度小さく而も略一定値を保ち、550°C附近にて急に上昇し直に最高冷却速度に達す。尙最高値は(a)に比して小である。

(c) 古動植物油は(a)及び(b)の中間溫度にて最高冷却速度に達しその數値は前二者に比し小である。

本結果を考察すれば 850°C に加熱せる燒入體を油に燒入れるとその周圍の油は當然分解を起し生成物は蒸氣として發生する。一般に鑛物油は動植物油に比し分解による蒸氣發生量大にして而も前者の場合の蒸氣組成は主として比



第13圖 燒入油の溫度-冷却速度曲線

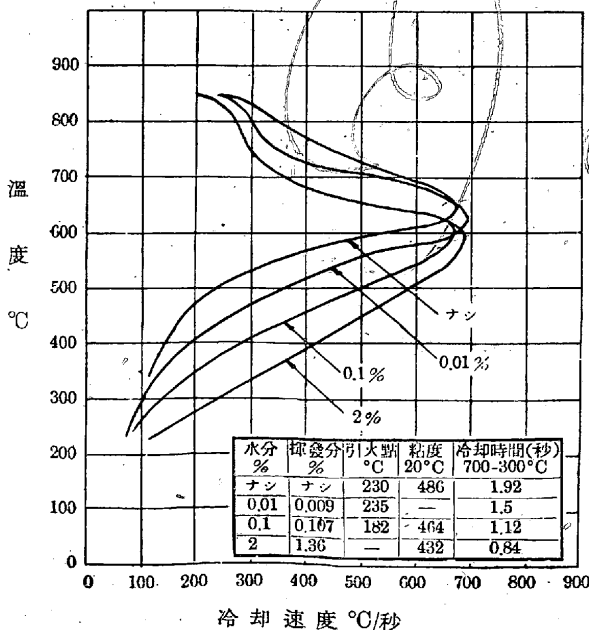
熱小なる低級炭化水素系ガスである。仍てこの場合焼入體は焼入直後比熱小なるガスの厚き而も安定なる皮膜に包まれ油の接觸による冷却を防げられるにより (b) 曲線の如く最初徐冷し温度低下して皮膜が破壊されるに至れば初めて急冷する。然るに動植物油の場合は蒸氣膜薄く不安定にして且ガスの比熱大なる爲殆どその影響なく、直に急冷される。この他第 1 表に示す如く鑛油物は低温に於ける揮發分大なるを以てこれも多少蒸氣膜の安定度に關係あるものと想像される。

又最高冷却速度は油の比熱、熱傳導率及び粘度等に影響されるものと思はれる。

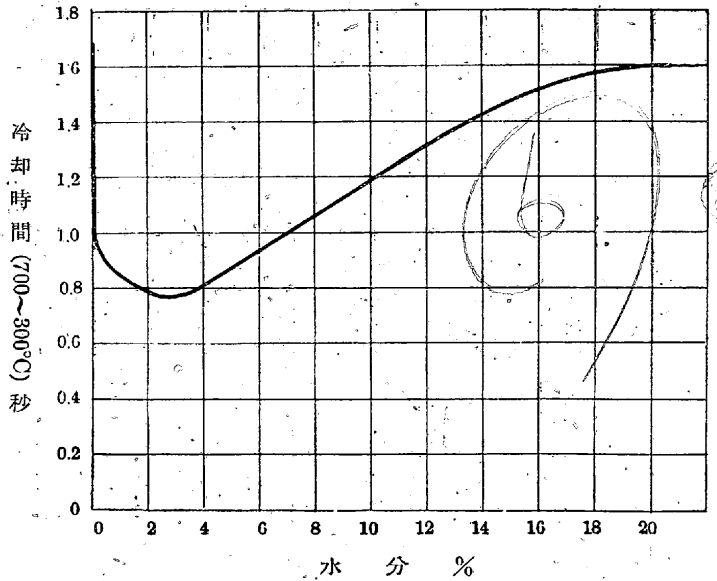
3. 焼入油の冷却速度に及ぼす水分の影響

第 1 表に示す如く一般に動植物油は大氣中の濕氣より少量の水分を吸収し含有する。又現場に於ては油の加熱を防ぐ爲冷却水にて油槽を冷却するがその漏洩又は他の何等かの原因で油中に水分の介入することが屢ある。仍て水分を含有する場合、油の冷却能力に如何なる影響を與へるかは現場的に極めて重要なのでこれに關し次の實驗を行つた。

(1) 種白絞油の冷却能力及ぼす水分の影響 水分 0.01% 含有する種白絞油に第 14 圖の表に示す如く水を加へ、その際の冷却曲線を求めた。又之を 135°C に 6h 加熱し水分を抜き全然含有せざる場合の曲線をも求め比較に供した。之等の結果は同圖曲線に示す如く、最高冷却速度何れの場合も殆ど變化なく 670~700°C/s なるもその温度は水分の量に應じて降下し無き場合の 650°C に對し 2% にては 600°C となる。又之等の曲線より明かに認められる



第 14 圖 種白絞油の温度—冷却速度曲線に及ぼす水分の影響



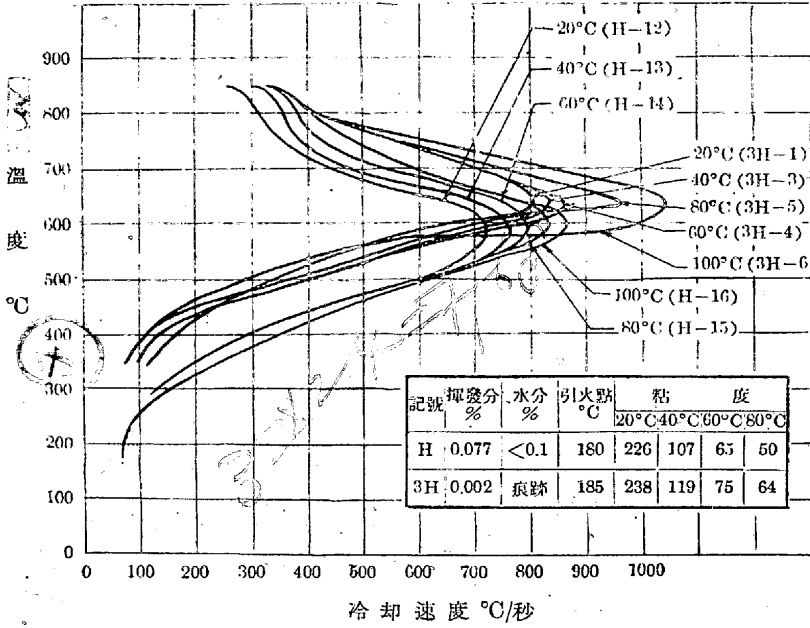
第 15 圖 鯨油の冷却能力及ぼす水分の影響

ことは最高冷却速度の温度たる 600°C 附近より高温にては大體水分多き程冷却速度小となるも 600°C 以下にてはこれと趣を異にし却て大となる傾向である。本結果は鋼の焼入効果及び焼割れ發生等の見地より水分が好ましからざるものなることを示す。尙本實驗に於ては開始前に油を充分攪拌し水分を良く混入し静止するを待つて測定を行つた。

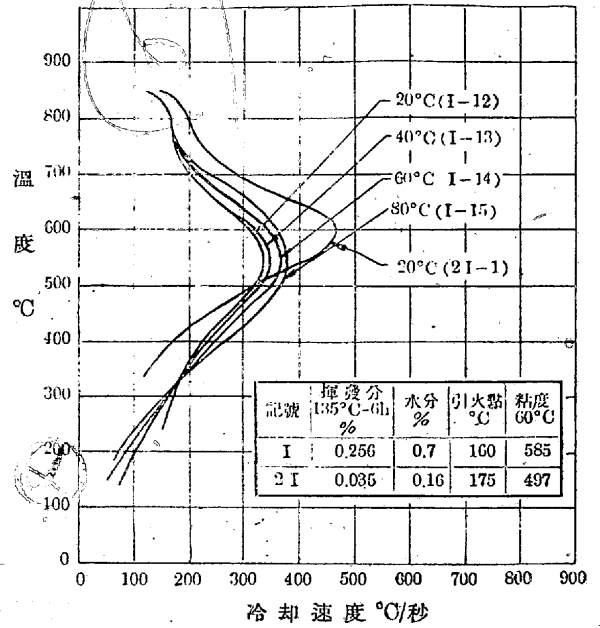
(2) 鯨油の冷却能力及ぼす水分の影響 鯨油に水分を微量より 20% 迄混入せる場合の冷却能力變化を測定した。その結果は第 15 圖に示す。圖に於て横軸は含有水分量、縦軸は 700~300°C 間を冷却するに要する時間を表す。これを見るに水分皆無の場合には所要時間 1.7s にして水分を増すに従ひ時間短縮し約 3% にて 0.78s の最小値を示す。更に増すときは含有量に比例して大となり 20% 以上にては大體 1.6s に一定する如く見える。かくの如く鯨油の場合水分は少量の間冷却能力を増大するが約 3% を限度としそれ以上にては却て減少する。尙前節白絞油に關する實驗は水分 2% 迄を論ぜるを以て未だ冷却能力の極大値に達せざるものにしてこれは本結果と何等抵觸せずしてこの傾向は總ての油に就て同様と思はれる。

(3) 動植物油の冷却能力及ぼす微量水分の影響 綿實油、生亞麻仁油、茶種油、脱臭魚油及び鯨油の水分を微量含有せるものとこれを 135°C に數時間加熱し完全に除去せるものとに就き實驗した。之等の結果は何れも略同様の傾向を示すを以てその例として第 16 圖に生亞麻仁油、第 17 圖に古茶種油 (I) に關する曲線を示した。

第 16 圖にて水分無き場合 (3H) は微量含有する場合 (H) に比し最高冷却速度高く且その温度も幾分上昇して居



第16圖 生亞麻仁油の溫度—冷却速度曲線に及ぼす水分の影響



第17圖 古菜種油の溫度—冷却速度曲線に及ぼす水分の影響

る。然るに第7表に於て700~300°C間を冷却するに要する時間は逆に前者(3H)が後者(H)に對し著しく大となるは一見矛盾するやうであるがこれは後者(H)の500°C以下に於ける冷却速度著しく大なるに歸因する。これより水分を微量含有すれば最高冷却速度小さく而も500°C以下の冷却速度大となるを以て種白絞油の場合と同様水分は焼入油に悪影響を及ぼすことを確め得た。又3Hの變點は第7表に示す如くHに比し高く特に溫度高き程その差は著しい。次に古菜種油(I)は第17圖に示す如く水分0.7%を含有し新油に比し著しく大である。これは永年使

第7表 生亞麻仁油に及ぼす水分の影響

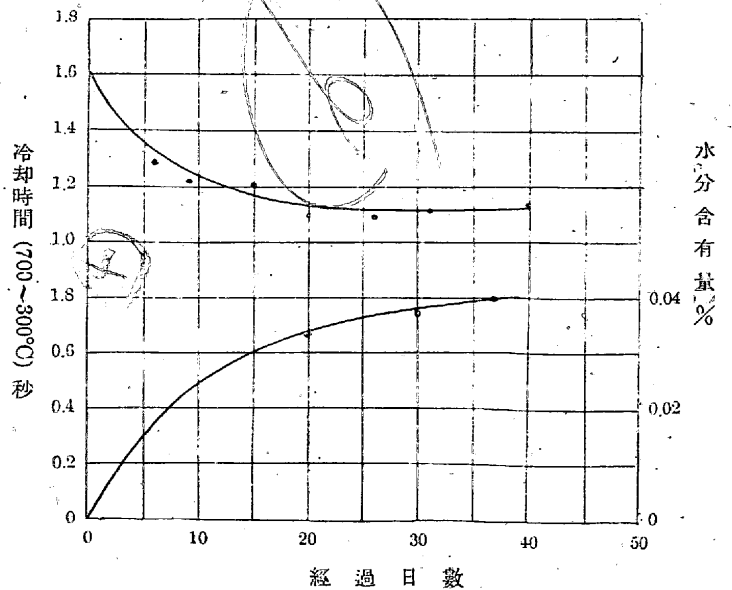
記號	溫度 °C	變點 °C	700~300°C 冷却時間	記號	溫度 °C	變點 °C	700~300°C 冷却時間
〃	40	710	0.89	〃	40	720	1.74
〃	60	720	0.90	〃	60	800	1.83
〃	80	725	0.99	〃	80	800	1.96
〃	100	730	1.06	〃	100	810	2.21

用中に水分が吸収或は介入されたるものと想像されるが、古油の冷却能力劣化の一原因と思はれる。仍て之を150°Cに1h加熱し水分を0.16%に減少せしめ油温20°Cに於て冷却能力を比較した。その結果圖中曲線の如く水分少き場合に比し最高冷却速度大きく而もその溫度は上昇し生亞麻仁油と同様の傾向を示した。

(4) 種白絞油開罐後の冷却能力變化 本實驗實施中に動植物油の開罐直後のものと、大氣中に放置せるもの、冷却速度が幾分異なることを認めためて特に種白絞油を選び、開

罐直後より4~7日毎に實驗し、變化の程度を試験し、その原因を探求した。夫等の實驗結果は第18圖に示す。圖中横軸は經過日數、縦軸は700~300°C間を冷却するに要する時間を表はす。

これによると開罐直後は1.62s要したるに對し6日にて著しく短縮し1.28sとなりそれ以後は徐々に減少し30日後には1.1sの略一定に到達す。これが原因に就て考察するに粘度等の諸性質は殆ど變化なく、只水分の含有量が開罐直後皆無なるに對し日數を経るに従ひ徐々に増加し15日にて0.03%、30日にて0.04%となり大體冷却時間に反比例して居る。而も前述せる如く微量水分はこの程

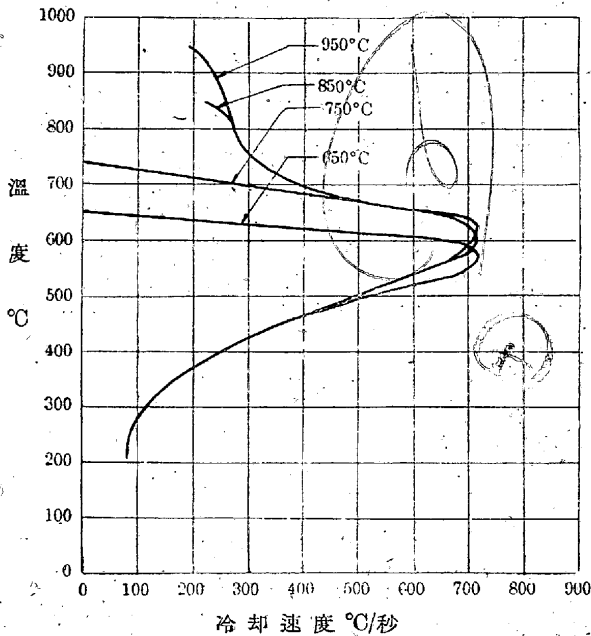


第18圖 種白絞油の開罐後の冷却能力變化

度の冷却能力増加を示すものなるを以て本現象は主として含有水分によると推察される。これを要するに油は製造後直にブリキ罐に入れて密閉するから水分を含まざるも開罐後大氣中に放置されれば微量の水分を吸収し、その為冷却能力を増大するものであらう。

4. 焼入油の冷却能力に及ぼす焼入温度の影響

一般に焼入効果は焼入温度に比例して増大する傾向を有す。これは主として鋼の結晶粒形の大小に因るものであるが焼入剤の冷却能力も亦焼入温度の高低に影響され、これもその一因であると想像されるのでその點を確める爲、本實驗に於ては 20°C の種白絞油を用ひ 950, 850, 750 及び 650°C の各温度より焼入し冷却曲線を求めた。その結

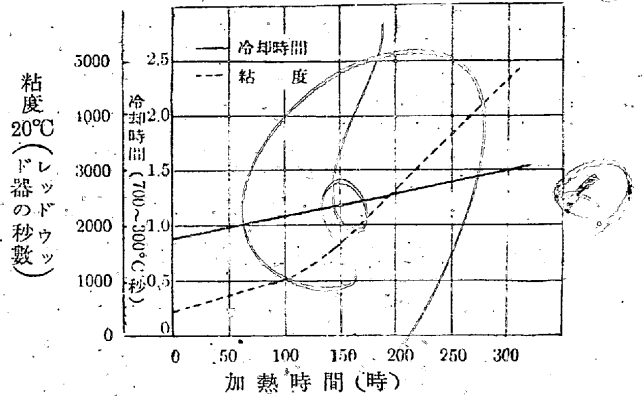


第 19 圖 種白絞油の冷却速度に及ぼす焼入温度の影響

果は第 19 圖に示す如く、何れの曲線も殆ど一致し、只焼入温度の高低により高温度に於ける部分が多少異なるのみであつた。尚 650°C の場合最高冷却速度低温にあるは焼入温度低き爲當然である。仍て本實驗に使用せる種白絞油の場合には焼入温度による冷却速度の差異無きことを認め得た。然れども分解による生成蒸氣量及びその組成が温度により著しく異なる如き冷却剤の場合は、多少その差あるものと思はれるが、焼入効果に大なる影響を及ぼす程度とは考へられない。

5. 焼入油の冷却能力に及ぼす油の酸化程度の影響

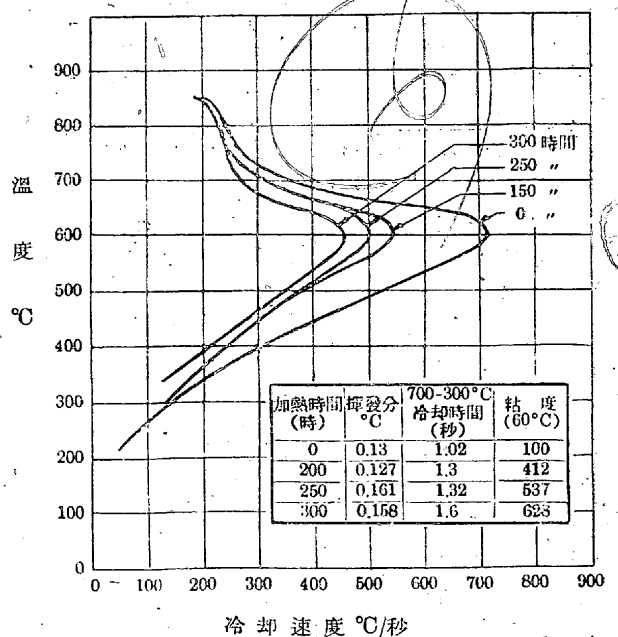
焼入油を現場熱処理工場にて長時間使用すれば酸化、分解或は重合を起し著しく焼入効果を減殺する。即ち耐久性小なるものは新しき場合冷却能力大なるも、現場用焼入油としては不適當なり。仍て現場用として優秀なるものを求



第 20 圖 種白絞油の冷却能力に及ぼす長時間加熱の影響

むる目的にて焼入油の耐久度を試験することとした。これには上述の三作用を考慮に入れ試験方法を定める必要があるが先づ豫備試験として酸化の影響のみを實驗し、引續き他に及ぶ豫定である。試料には動植物油の内種白絞油、礦物油の内ホートン油 No. 5 を用ひ空気を 1mn 500cc の割合に通しつゝ 100°C に加熱し、50h 毎に取出し 20°C に於ける冷却曲線を求めた。

(1) 種白絞油 種白絞油の際の實驗結果を第 20 圖に示す。これを見るに粘度及び 700~300°C を冷却するに要する時間は何れも加熱時間に比例して増加する。尙第 3 節 4 に述べたると同様この場合も加熱直後と大氣中放置後とは冷却速度多少異なるを以て加熱終了の都度 1~2 週間放置し一定値となるを待つて測定し、その結果を示した(これも前の場合と同様含有水分によるものと思はれる)。又第 21 圖は加熱前及び 200h, 250h, 300h 加熱後の温度—

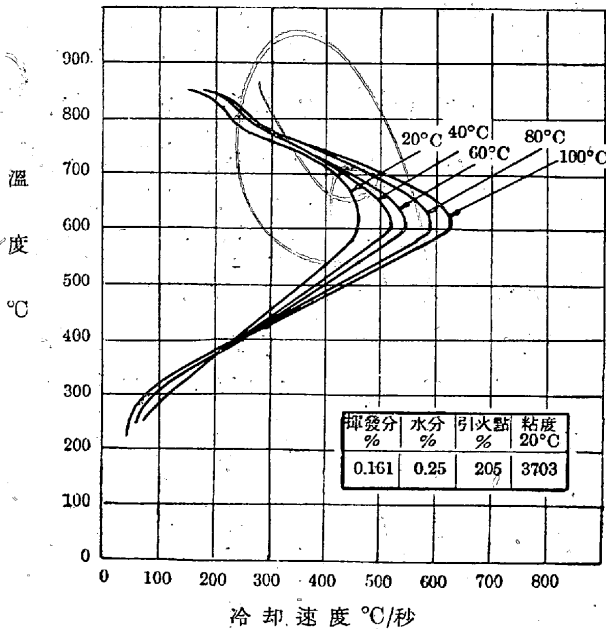


第 21 圖 種白絞油の温度—冷却速度曲線に及ぼす長時間加熱の影響

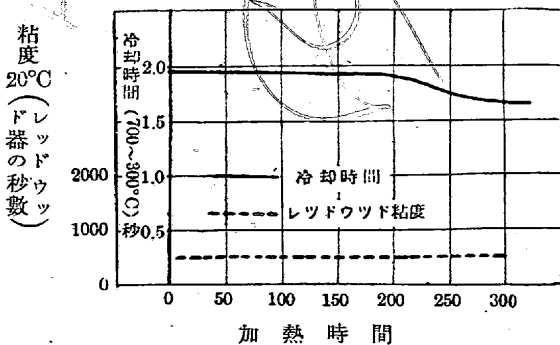
冷却速度曲線にして加熱時間に應じて最高冷却速度小となる。

同圖表は之等の揮發分（主として水分）殆ど一定にして粘度のみ異なることを示す。仍てこの場合の冷却能力劣化は主として粘度に依るものと考へられる。これは酸化の爲の重合等に因るものにして、動植物油の場合免れ得ぬこともその程度に差異あるものと思考されるを以て更に他の試料に就き實驗する豫定である。尙この冷却速度曲線に於て最高冷却速度の起る温度は殆ど變化なく、曲線は古油 (I) 及び (J) の曲線と極めて良く類似して居るからこれより現場使用の古油の冷却能力劣化は酸化による影響大なることが想像される。第22圖に250hに熱せるものゝ各温度加ける曲線を示した。温度による影響は特に異状ない。

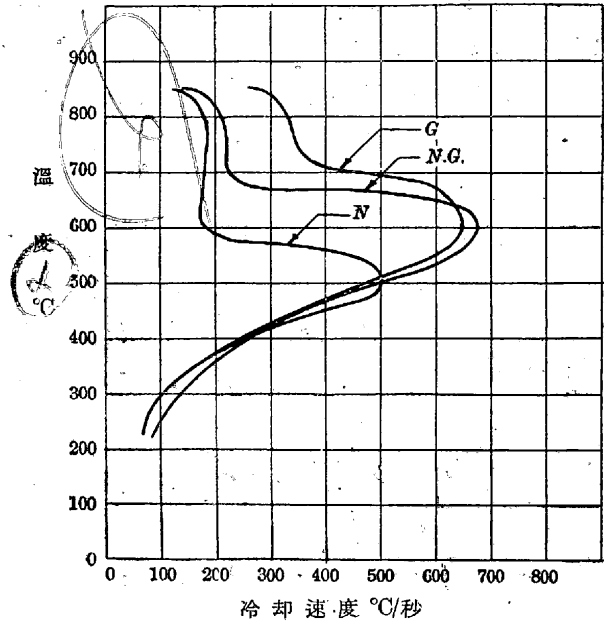
(2) ホートン油 No.5 第23圖にホートン油 No.5 の實驗結果を示す。この場合は前と異り加熱により殆ど變化なく、冷却能力は却て増す傾向を示す。



第22圖 種白絞油(100°C 250時間加熱)の各温度に於ける温度—冷却速度曲線



第23圖 ホートン油 No.5 の冷却能力に及ぼす長時間加熱の影響



第24圖 異種の油を混合せる際の温度—冷却速度曲線

又温度—冷却速度曲線も特に變化ないので省略した。尙測定は150h及び300h加熱後の2回に止めた。本結果の如く一般に鑛物油は酸化による影響極めて少くこの見地のみよりすれば現場用焼入油として極めて優秀なることが認められる。

6. 異種の油を混合せる冷却速度

焼入冷却剤の冷却速度を任意に變化し、所要速度の冷却剤を得ることは鋼材熱處理上極めて望ましきことである。仍てその目的達成の第一手段として冷却能力既知の二種類の焼入油を混合せる場合、混合油に於ける冷却速度の變化を試験した。先づ豫備實驗として茶種油 (G) と鑛油 (N) を等量宛混じた混合油と夫等單獨の場合の冷却速度とを比較した。第24圖にその結果を示す。

これを見るに混合油は高温の場合大體兩者の中間の速度を示すが600°C附近に於ける最高冷却速度は茶種油と略同様である。然るにそれ以下の温度にては再び兩者の中間となりその儘低温に至る。これを要するに混合油の冷却速度は最高冷却速度附近は茶種油に近くその上下は兩者の中間となる。本結果は僅か一回の試験のみにて未だ正確とは断定し得ざるもその傾向は極めて興味あり今後任意の冷却能力を有する冷却剤製造に對し一示唆を與へるものである。

VII. 結 論

本研究により次の結論を得た。

- 1) 新たに考案せる特殊装置を用ひ各種冷却剤の冷却能力を正確に測定し得た。

2) 水及び食鹽水は常温に於ては冷却速度大なるも高温になると著しく小となる。

3) 各種焼入油の温度—冷却速度曲線の型態を三種類に大別した。

4) 焼入油は温度による冷却能力の變化殆ど無きを認めた。

5) 焼入油中に含有する水分は微量の場合冷却能力を増すが或る限度を越すと減少する。

6) 焼入油の冷却速度は焼入温度により餘り影響を受けない。

7) 100°C に 300h 加熱し酸化試験を行ひたる結果鍍

油は殆ど冷却能力を劣化せざるも種白絞油は著しきことを認めた。

8) 異種の油を混じたる場合混合油の冷却能力を測定した。

本研究は未だ完了せず目下引續き實驗中である。尙本實驗にて求め得たる各種冷却剤の冷却能力とこれに鋼材を焼入したる際の焼入効果との關係を明かにし本成果を現場焼入作業に適用すべく實驗準備中である。終りに臨み本研究中終始御指導と御鞭撻を賜りたる海軍技術研究所材料研究部長鈴木久武閣下に厚く御禮申上ぐると共に淺野石雄君の實驗中の勞を多とする。(昭和 16 年 5 月 13 日脱稿)

S. A. E. 鋼の變態點近似値

(Morris, Sergeson and Gable: Metal Progress July 1941)多くは 11° の温度差を有する如く試片を爐より取出し急冷して顯微鏡組織より決定した、加熱及び冷却速度は實工業に於ける焼鈍冷却速度と同一とした、元文は華氏、攝氏に直す。

No.	徐熱						徐冷						No.	徐熱						徐冷						No.	徐熱						徐冷					
	Ac ₁	Ac ₂	Ac ₃	Ar ₃	Ar ₂	Ar ₁	Ac ₁	Ac ₂	Ac ₃	Ar ₃	Ar ₂	Ar ₁		Ac ₁	Ac ₂	Ac ₃	Ar ₃	Ar ₂	Ar ₁	Ac ₁	Ac ₂	Ac ₃	Ar ₃	Ar ₂	Ar ₁		Ac ₁	Ac ₂	Ac ₃	Ar ₃	Ar ₂	Ar ₁	Ac ₁	Ac ₂	Ac ₃	Ar ₃	Ar ₂	Ar ₁
炭素鋼												ニッケル鋼												モリブデン鋼														
1010	732	763	874	854	760	680	2015	746	857	788	760	657	4130	757	779	807	763	757	693																			
1015	735	766	863	840	757	685	2115	730	830	802	749	646	X4130	757	779	804	763	677																				
1020	735	766	854	835	757	682	2315	704	732	782	732	682	593	4135	757	782	802	749	738	693																		
1025	735	763	840	824	763	680	2320	696	729	771	668	627	493	4140	749	793	743	693																				
1030	732	763	813	796	763	677	2330	690	713	760	638	566	4150	740	757	735	693																					
1035	730	802	790	757	691	2335	690	746	638	566	4340	732	774	468	385																							
1040	727	790	763	691	2340	693	738	638	571	4345	729	768	468	385																								
X1040	727	788	727	688	2345	693	732	638	571	4615	724	760	760	716	649																							
1045	727	788	763	691	2350	693	727	638	577	4620	724	799	754	635																								
X1045	724	771	721	688	2515	677	724	771	660	616	441	4640	716	777	704	607																						
1050	727	774	754	691	2520*	671	727	754	635	552	441	4650*	713	766	6-2	607																						
X1050	724	760	721	688	ニッケルクロム鋼						4815	704	782	710	427																							
1055	727	774	754	691	3115	735	760	816	799	749	671	4820	704	782	682	404																						
X1055	724	760	721	688	3120	732	760	804	790	749	666	クロム鋼																										
1060	727	766	743	691	3125	732	757	796	760	749	660	5120	766	793	840	799	771	702																				
1065	727	752	730	696	3130	729	749	793	738	660	5140	743	838	729	693																							
X1065	724	749	721	693	3135	727	785	704	660	5150	721	827	693	660																								
1070	730	743	727	693	3140	735	768	702	660	52100	727	824	713	693																								
1075	732	740	727	693	X3140	732	777	704	671	クロムワナヂウム鋼																												
1080		738	696		3145	735	757	702	660	6115	771	793	843	788	749	704																						
1090		738	696		3150	735	749	690	657	6120	766	793	840	760	749	704																						
1095		738	699		3215	732	766	796	768	732	671	6125	760	782	810	754	738	702																				
10150*		735	699		3220	732	768	793	763	735	671	6130	754	782	807	743	727	696																				
自動切削鋼												6135	754	804	743	693																						
1112	735	766	860	840	757	685	3240	724	774	693	671	6140	754	790	746	702																						
1120	735	763	843	821	760	679	3245	729	760	688	663	6145	754	788	746	699																						
X1315	730	771	827	813	743	674	3250	727	746	679	649	6150	752	788	746	688																						
マンガン鋼												6195	743	774	738	704																						
T1330	719	802	804	727	627	3312	721	743	779	671	627	タンゲステン鋼																										
T1335	713	791	793	727	630	3325	724	740	760	666	627	7260	738	777	743	710																						
T1340	713	780	710	627	3330*	716	738	749	663	618	珪素—シラン鋼																											
T1345	713	766	704	627	3335	710	738	649	593	9255	760	816	749	716																								
T1350	710	760	679	596	3340	699	749	638	593	9260	760	816	749	713																								
T1360*	707	763	649	590	3415	721	743	774	727	704	660																											
					3435	699	749	649	621																													
					3450	699	738	649	593																													

* 印は公式 S. A. E. にあらず