ない。著者の経験によると完全密閉でないとごくわずかにずつ変化する。この原因は (1) r_c が大きくて吸着力の強い物質の蒸気がきて優先吸着する。(2) 油滴付近にごみが落下するとごみの表面の r_c は大きく、この引力で油はひろがる。この接触角の変化は $r_L \cos \theta = r_s - r_{LS}$ の式における r_s の変化と対応して起こるわけである。図-3 は $\cos \theta$ と θ の関係、 θ と油滴容積 V 、油滴半径 r との関係を示すものである。図から明らかなように $\cos \theta$ が一定量変化するために、 θ の大きい油はごくわずかに θ および r を変化すればよいが、 θ の小さい油では θ および r を非常に変えなくてはならない。時計油、計器油などの応用において實際上直接的に最も重要なのは一定量の油の占める液滴半径であろう。図-3 に見るように接触角の小さな油ほど接触角の時間変化が大きいく、またそれ以上に液滴半径の時間変化が大きいことが予測できる。

6. あとがき

金属面上の油のひろがりの現象について概略を述べたが、適当な材料を集めて適切に表現しているかどうか著者として心許ないものがある。誤謬の点その他につき諸賢より御教示を願えれば著者としてこの上ない喜びである。
(昭和 35 年 10 月 21 日受理)

文 献

- 1) W.B. Hardy, *Proc. Roy. Soc. London*, **A 100**, 573 (1922)
- 2) R.S. Burdon, "Surface Tension & the Spreading of Liquids", Cambridge (1949)
- 3) M.P. Woog, *Compt. Rend.*, **181**, 772 (1925); *ibid.*, **186**, 71 (1928); *ibid.*, **189**, 977 (1929)
- 4) R. Bulkley, G.H.S. Snyder, *J. Am. Chem. Soc.*, **55**, 194 (1933)
- 5) J.J. Trillat *et al.*, *J. Chim. Physique*, **35**, 45 (1938)
- 6) W.A. Zisman *et al.*, *J. Coll. Sci.*, **1**, 513 (1946); *ibid.*, **2**, 563 (1947)
- 7) G.E. Barker *et al.*, "ASTM Bull.", Mar., p.25(1946)
- 8) R. Dubrisay *et al.*, *Compt. Rend.* **227**, 531 (1948)
- 9) A. Bondi, *Chem. Rev.*, **52**, 417 (1953)
- 10) H.W. Fox, E.F. Hare, W.A. Zisman, *J. Phys. Chem.*, **59**, 1097 (1955)
- 11) G.A.H. Elton, *J. Chem. Phys.*, **19**, 1066 (1951)
- 12) F.M. Fowkes *et al.*, *ibid.*, **20**, 1650 (1952)
- 13) R.J. Good *et al.*, *J. Phys. Chem.*, **64**, 561, (1960)
- 14) W.A. Zisman *et al.*, *J. Coll. Sci.*, **5**, 514 (1950); *ibid.*, **7**, 109, 166, 428, 465 (1952); *ibid.*, **8**, 194 (1953); *J. Phys. Chem.*, **57**, 622 (1953); *ibid.*, **58**, 236, 260, 503 (1954); *ibid.*, **61**, 1046 (1957)
- 15) E.G. Shafrin, W.A. Zisman, *J. Phys. Chem.*, **64**, 519 (1960)
- 16) E.F. Hare, W.A. Zisman, *ibid.*, **59**, 335 (1955)
- 17) G.L. Mack, *ibid.*, **40**, 159 (1936)

焼 入 油 に つ い て

三 戸 義 則*

Yoshinori MIto

1. ま え が き

800~900°C において、鋼は r 鉄中に炭素の溶けた固溶体すなわちオーステナイトより成っている。これを徐冷すれば r 鉄は α 鉄に変わり、炭素は鉄のカーバイド Fe_3C となって析出する。この組織では鋼は軟い。急速な冷却は固溶体から炭素の析出を防ぎ、 α 鉄へ炭素が過飽和に溶けたものすなわちマルテンサイトが生成する。このマルテンサイトは硬い鋼の主成分である。

すべての鋼には臨界冷却速度があり、この速度以下で冷却すれば鋼はマルテンサイトを生成せず、軟かくなる。普通の炭素鋼では臨界冷却速度が大きいので (1100~1800°C/sec), 小物体でも冷却能のよい水冷却を必要とする。合金鋼すなわちニッケル、クロム、モリブデン、タングステンおよびバナジウムなどを含む鋼は臨界冷却

速度が小であるので、油による冷却で十分マルテンサイトを生成する。高合金鋼では臨界冷却速度が非常に小で空冷で十分なものもある。図-1 は合金鋼の等温度変態線図を示す。800°C より曲線に切線を引けば、臨界冷却速度が計算される。

鋼の焼入れによって得られる最高硬度はマルテンサイトの硬さであって、これは炭素含有量によって決まる。したがって 0.8% 炭素鋼では 0.3% 炭素鋼よりも高い硬度が得られる。ニッケル、クロムなどの合金元素は最高の硬度にはあまり関係なく、臨界冷却速度を下げるのに役立つ。

鋼材の焼入れの場合、鋼材の硬化は鋼材の硬化能すなわち硬くなりやすさ (臨界冷却速度) と寸法および焼入油の焼入強烈度 (急冷度) とによって決まる。焼入油の焼入強烈度は焼入冷却曲線より求めることができる¹⁾。すなわち阪大式焼入試験機によって求めた焼入冷却曲線の 800°C より 300°C まで冷えるに要した時間 (sec) よ

* 日本グリース株式会社 (大阪市西区京町通 1 の 40) Nippon Grease Co. Ltd.

A : オーステナイト F : フェライト M : マルテンサイト
図-1 SAE 52100 のS曲線

り、焼入強度が求められる（詳細は後述）。1/in の単位の焼入強度はこの値（1/cm の単位）を 2.54 倍すれば得られる。

2. 焼入冷却曲線

2.1 焼入冷却曲線の構造

焼入冷却曲線は焼入冷却剤の冷却能を示す曲線である。800~900°C の一定温度に鋼の試片または銀の試片を加熱しておいて、一定温度の焼入冷却剤の一定量の中に浸して、試片の温度-時間(sec) の関係を求めたものである。試片の大きさは、佐藤式では径 5 mm、長さ 65 mm の特殊鋼を用い、阪大式では径 10 mm、長さ 30 mm の銀試片を用いる。

焼入冷却曲線は三つの段階から成っている。すなわち蒸気膜段階、沸騰段階および対流段階である。800°C に加熱した鋼の試片または銀の試片を油につけると、試片は最初油蒸気によって囲まれている。つぎに時間とともに油蒸気膜は破られて油の沸騰が始まり、試片の温度は急に降下する。最後に沸騰はやんで試片の表面温度は油の沸点よりも下がり、冷却は油の対流と試片中の伝導とによってのみ起こるようになる。

第1段階の冷却は比較的ゆるやかである。なぜならば蒸気の膜は熱の伝導が悪いからである。沸騰段階の冷却は大変速く、全冷却過程のおもなものである。

オーステナイトがマルテンサイトに変化するためには沸騰段階の急速な冷却が必要である。マルテンサイトを生成すると鋼は体積が増すので内部にヒズミを生ずる。対流段階が低過ぎれば応力が増大し、焼割れを生ずる。

第1段階すなわち蒸気膜段階と第2段階すなわち沸騰段階との境の温度を特性温度といい、それまでの秒数を

特温秒数といわれている。第3の対流段階と第2の沸騰段階との境の温度は対流段階開始温度といわれている。

2.2 水の焼入冷却曲線

阪大式焼入試験機による水の冷却曲線は図-2 に示す

図-2 水の冷却能

ように水温による変動が著しい。また対流段階が 100°C 付近にあるので焼割れを生じやすい。したがって高周波加熱によって表面のみを加熱して置いて焼入れするか、または中断焼入れといって、水焼入れしてのち温度が対流段階まで下がらないうちに引下げてさらに油中に入れて冷却する方法などが用いられる。水温 0°C では非常に冷却速度が大きい。

2.3 油脂の焼入冷却曲線

油脂は比較的冷却速度が大きい、水には及ばない。一般に液体による冷却能は液体の蒸気圧、沸点、表面張力、粘度などが大きいほど小さく気化潜熱、比熱および熱伝導度が大きいほど大となっている。油脂の気化潜熱は脂肪酸の分子量の小さいところでは分子量の増加とともに低下するが、分子量が大となるとほぼ一定の値に近づく。沸点は平均分子量とともに高くなる。表面張力は分子量による相違は少ない。50°C における粘度は分子量の増加によって著しく増加する。油脂の比熱は分子量によってあまり大きな変化はなく、熱伝導度も分子量が大きくなるとほとんど相違はない。結局、油脂は平均分子量の増加によって沸点は高くなり、蒸気圧は低くなり、気化しにくくなるので特性温度は上昇する。軽い成分、たとえば遊離脂肪酸を含む油脂は特性温度が下がる。平均分子量が大きくなれば対流段階開始温度は上昇する。

多賀谷、田村によれば各油脂の冷却能はつぎのとおりである^{2),3)}。牛脂は 60~100°C においてかなりの冷却能を示す。硬化魚油は対流段階が温度高く、冷却能は 80°C 以上温度の上昇とともに悪くなる。ヤシ油は分子量も

図-3 ナタネ油の焼入冷却曲線

小さくて冷却能もよくない。ナタネ油は平均分子量が大きくてしかも粘度が比較的小さく、冷却能

焼入温度 800°C, 油温 80°C

図-4 ダイナモ油の焼入冷却曲線

も良好であるので、第二次世界大戦中も多く使用された。マッコウ鯨皮油は液体ロウを含み、グリセリドに比して蒸気圧が高く、特性温度が低く、冷却能は他の油脂より少し劣るが、第二次世界大戦中は一部で使用された。ヒマシ油はリシノレイン酸のグリセリドを主成分とするが、冷却速度が遅く、各段階の区別が不明りょうであるが、油温を 100°C に上げれば冷却曲線は冷却時間の短い方に移動し、相当良い冷却能を示す。重合魚油は特性温度は高いが、沸騰段階と対流段階との境が明りょうでない。脂肪酸は一般に蒸気膜段階が非常に長く、沸騰段階は短く、冷却能は良くない。

2.4 鋳油の焼入冷却曲線

焼入油としては、油脂は冷却能がすぐれている点で賞用されていたが、老化および価格の点で鋳油の方がすぐれているので、近時鋳物油を主成分とする油に置き代えられつつある。

同一系列の鋳油において、重い留分になるほど平均分子量が増大し、沸点が上昇し、蒸気圧が低下する。引火点、粘度も上昇する。その結果、特性温度および対流段階開始温度がともに上昇する。軽い油と重い油とを混合すれば、特性温度および対流段階開始温度も中間の値を示すことはよく経験するとおりである。

油温の影響は油脂の場合と同様に、油温の上昇に従ひ蒸気膜段階の冷却速度および特性温度は上昇し、ある最大値を経て降下する⁴⁾。これは油温上昇による蒸気圧の上昇と、粘度の低下とが互いに反対の効果を有することに原因する。対流段階開始温度は油温の影響をほとんど受けないが、対流段階における冷却速度は油温が低いほど大きい。対流段階の冷却は油温と油の沸点との温度差および粘度に関係し、油温が上昇すれば温度差は少なくなるが、粘度が小さくなって、対流による伝熱が良くなるので、粘度の温度係数の油脂よりも大きい鋳油は油温による影響は油脂の場合ほど大きくない。

2.5 鋳油の冷却曲線に及ぼす添加物の影響

鋳油は安価で、酸化安定度がすぐれており、老化しに

くい長所があるけれども、冷却能が油脂に比して劣る短所があり、鋼種および大きさの関係では焼きのはいらない場合があるので、鋳油の冷却能向上剤の研究が種々行なわれている。

鋳油の冷却曲線においては一般に特性温度が低く、500~600°C 付近にあり、対流段階開始温度は 350~400°C 付近にあるから、軽い油を使用して対流段階開始温度をできるだけ低く保ち、添加剤によって特性温度のみを上昇させることすなわち蒸気膜段階を短くすることが望ましい。特性温度は蒸気圧、気化潜熱、熱伝導度、比熱、粘度および油の界面張力に関係するが、主として蒸気圧、粘度、界面張力に関係する。蒸気圧を下げるということは沸点の上昇を伴うことが多く、したがって対流段階開始温度が上昇する可能性が多い。したがって対流段階開始温度を低く保持して、特性温度を上昇させるためには高分子物質または界面活性物質を用いることが最も適当と考えられる。

鋳油に添加剤を加え、特に焼入冷却能を良くしたものは最近しばしばハイスピードケンチまたはスーパーケンチと称される。これは炭素鋼のような特に焼きのはいりにくい鋼材の焼入れに用いられる。これは鋳油と水との中間の焼入冷却曲線を示すことが理想である。このような油はスラッジを多く生成するとか、または寿命が短くて単時日のうちに対流段階が浮き上るなどのことが起こりやすいが、このようなことのないことが理想と考えられる。

鋼材は無機塩中で加熱されて後、油に焼入れられる場合があるが、この場合には添加剤もケン化価のほとんどないものを用いなければセッケン分を次第に生成し、焼入油の粘度は増し、冷却能が小さくなる。ケン化価のほとんどない焼入油は純鋳物性焼入油といわれている。

2.6 カクハンによる冷却能の向上

鋳油は添加剤を加えることによって冷却能は良くなるが、油のカクハンによっても冷却能を向上させることができる。図-5 は 50°C における粘度 70.1 レッドウッド秒のパラフィン系光輝焼入油の場合を示す。カクハンに

光輝焼油静止 (25°C) $v=0$
 光輝焼油 5.43 m/sec (25°C) $v=5.43$
 水、静止 (11°C) $v=0$
 15 mmφ, 60 mm 長さ 銀試片

図-5 光輝焼入油と流速 (v m/sec) との関係

よって焼入強烈度は 2 倍以上まで上げることができる⁷⁾。⁸⁾

3. 焼入油の老化

焼入油の老化は焼入れによって油が熱分解、酸化、脱水素、重合、縮合などのきわめて複雑な変化を起こし、その冷却能力が劣化するか、あるいは粘度上昇、あるいは油サイが多量発生して鋼材の表面に付着する結果、鋼材を硬化させるだけの冷却能を保持し得なくなることをいう。

焼入油としては冷却能が良くても老化しないことが望まれるが、この両者が両立しないのが一般の傾向である。工場における焼入作業においては新しい油の冷却能の多少よりも老化の遅速の方が大切である場合が多い。

3.1 油脂の老化

油脂は第二次世界大戦中は焼入油として用いられたが、この老化の場合は粘度の著しい増加がその特徴であった。ナタネ油はおもに海軍で用いられ⁹⁾、この場合も粘度は著しく増加し、酸価は増加し、ヨウ素価は減少し、引火点は多少低下している。これは油脂の重合がおもに起こり、熱分解も多少起こったことを意味している。冷却能は多少良くなっている。

油脂をインディアナ酸化試験機によって空気を吹き込みながら酸化を 170°C において行なえば、大豆油は著しく粘度が増加し、ナタネ油、マッコウ鯨油、ヒマシ油がこれに次ぎ、ヤシ油は粘度があまり増加しない¹⁰⁾。吹き込みによるヨウ素価の減少は大豆油が著しく、ナタネ油、マッコウ鯨油、オリーブ油、ヒマシ油、ヤシ油の順に小さくなっている。吹き込みにより酸価は増加し、引火点は低下している。

吹き込みによる冷却能の変化は 24 hr まで急に低下している。冷却能の低下はナガス鯨油、オリーブ油、ヒマシ油、大豆油、ナタネ油、マッコウ鯨油、落花生油の順になっており、ヤシ油は最も変化が少ない。硬化魚油ではむしろ上昇している。冷却能の低下は大体インディアナ酸化試験と類似しており、ヨウ素価の大きいほど速い。

3.2 鉱油の老化

鉱油の老化は油脂のそれに比して非常に遅い。精製度が低いほど寿命は短く冷却能の変動度が大きい。パラフィン分はナフテン分に比して冷却能の変化が大きい。軽い留分の方が冷却能の変動は大きい。寿命は長い。鉱油の老化は赤熱鋼材に空気中の酸素が接触して酸化物を生じながら油に接触する結果、熱分解、熱重合とともに酸化、脱水素、酸化分解などの反応を起こすので、インディアナ酸化試験による老化とある程度は似ている。インディアナ酸化試験は酸化と酸化分解および酸化重合の反応と考えられる。

鉱油の老化は粘度の上昇よりも、スラッジの生成による老化の場合が多い。

インディアナ法による粘度の変化は鉱油の特製度の低いほど大きく、重い留分ほど大きく、ナフテン分はパラフィン分よりも大きい¹¹⁾。

油サイの発生は精製度が高ければ少なく、パラフィン分ではナフテン分よりも少ない。留分の軽重による油サイの量はほとんど差がない。

以上要するに鉱油の老化は油サイを多く生成するけれども粘度の上昇は少なく、精製度の高いほど安定度は高い。

4. 焼入油に関する最近の問題

4.1 空気中における焼入れの場合の油の発火

赤熱鋼材を焼入油に浸セキする場合は鋼材の温度は 800°C 以上あるから、これがゆっくり焼入油にはいつてゆけば空気、油、鋼材の界面で油の自然発火温度に近づき燃焼を始める。燃焼すれば燃焼熱を発生し、焼入れによる冷却が弱められ、焼きがはいりにくくなる。

油脂は自然発火温度が低く、焼入れの際発火しやすい。しかし油脂全体の温度が燃焼点以下であれば、鋼材を油面以下に下げれば焰は消える。

この問題は大型鋼材の焼入れの場合に多く問題となるが、小型鋼材ではすみやかに油に漬セキされるので問題とならない。

H. Moore¹²⁾ の装置によって、発火温度-発火待ち時間の曲線が得られる。これによって焼入油の発火しやすいの傾向を調べることができる。

4.2 光輝焼入油

調整雰囲気すなわち水素、一酸化炭素、メタン、窒素を含み、酸素を含まず、水分の少ないガス雰囲気内で光輝加熱またはガス浸炭後同じ雰囲気内で焼入れを行なえば、焼入れ後の鋼材はスケールを生じない。焼入れ後の鋼材が輝いたままであるならば、研磨そのほかの工程が簡略化される。しかし光輝加熱後の焼入油が適当でなければ鋼材は種々着色し十分光輝焼入れの目的を達しない。

焼入油による鋼材着色の原因としては

- (1) 油中に溶解している少量の水分および酸素
- (2) 油中のイオウ分
- (3) 油中の不飽和炭化水素で残留炭素を生成しやすい成分
- (4) 焼入れによって油から発生するヒュームによる炉内ガスの汚染

したがって光輝焼入油としては高度精製油であることが必要である。

油の光輝度の測定¹³⁾は光輝試験用電気炉中にて径 6 mm、長さ 25 mm の試片（普通は軸受鋼第二種）を 0.3 エメリー紙まで研磨し、トリクレンまたはトルエンで高

温にて洗浄し、光輝焼入れし、光源として 6 V, 4.5A の電球を使用して光を光電池の中央の 3 mm の直径の穴より試片に当てて、反射光を光電池の前面に受けて反射光量を電氣的出力に変える。空焼きの試験片の出す電氣的出力を 1.0 として、油焼入れの試験片の出力との比較値を光輝度として求める。

5. マルテンパー油

5.1 マルテンパー油の作用

マルテンパーはオーステナイトをマルテンサイトので始める温度 (M_s 点) 直上の温度まで焼入れして、これを温度が均一になるまで保って後、空冷することである。このようにしてできたマルテンサイトは普通の焼入れ-焼戻しの場合よりも焼戻しが簡単でよい。

この方法がなぜ有効であるかという理由は、鋼が変態点以下に冷却されるとき、フェライトとカーバイドとの軟い集合体ができることを避け、マルテンサイトの組織を得るためには急冷が必要であり、 M_s 点直上に達しさえすれば、冷却がゆるやかになってもオーステナイトはマルテンサイトに変化するので、この温度以下では急冷は必要ない。これ以下を急冷すればヒズミが増すばかりである。

マルテンパーの普通の焼入れ-焼戻しよりもすぐれている点の変形やキレツが少なく、したがってこれらの生じやすい組成または型の鋼材では有利である。

多くの熱処理される鋼の M_s 点は 200°C 付近にあるので油浴としてはあまり高過ぎる。したがって厳密な意味のマルテンパーには塩浴が使われる。しかし M_s 点以下の 150°C 内外の温度における油浴への焼入れにおいても、マルテンパーの利点が得られる。

5.2 マルテンパーに使用する油

操作が高温であるので、マルテンパー油は引火点が高く、揮発性が少なく、酸化安定度が大でなければならない。浴の作業温度が高温にもかかわらず大きな材料も十分急冷できるよう粘度も作業温度において 7 ないし 9 センチストークでなければならない。粘度は 100°C において 70~140 レッドウッド秒、引火点は 230°C 以上のパラフィン系高度精製油が使われる。

この油は使用せずにただその温度に保つだけでも、酸化重合によって粘度が増す傾向がある。油の量が増すほどこの傾向は減る。

5.3 光輝マルテンパー油

調整雰囲気内での光輝加熱またはガス浸炭後、同じ雰囲気内でマルテンパーを行なえば、鋼材はスケールを生成せず、焼戻しおよび研磨の工程が簡略化される。しかしマルテンパー油が適当でなければ鋼材は着色し、十分光輝マルテンパーの目的を達しない。

光輝マルテンパー油による鋼材着色の原因としては、

光輝焼入れ油の場合と同じである。光輝マルテンパー油は $120\sim 180^{\circ}\text{C}$ に保たれるので、寿命は光輝焼入れ油の $1/3$ 以下である場合が多い。

光輝マルテンパー油は使用中に酸価、ケン化価が次第に増加してくるが、これはやはりこの雰囲気中でも油が次第に酸化されるものと考えられる。

6. 焼入冷却能測定法

6.1 佐藤式熱膨張自記装置を用いる方法

東北大学佐藤清吉博士の方法は径 5 mm, 長さ 65 mm の特殊鋼が温度に比例して膨張する性質を利用して、これを石英棒間にはさみ、特殊鋼の収縮をドラム上のペンの上昇で記録するようにし、ドラムは約 13 sec の一定時間に 1 回転するようにして、冷却曲線をペンでグラフ用紙上に記録させる。試料として 10 l の油を必要とする。

6.2 阪大式焼入試験機による方法

大阪大学多賀谷、田村両博士の方法は¹²⁾ 径 10 mm, 長さ 30 mm の銀試片を用い、この温度を銀-アルメル熱電対にて電磁オシログラフに接続する。銀試片は無誘導式電気炉中にて加熱して 300 cc の油中に焼入れし、冷却曲線をオシロドラム内の感光紙に記録し、これを現像定着、乾燥して、温度-時間の関係を求め焼入冷却曲線を作成する。

多賀谷、田村¹³⁾ は銀試片による冷却曲線と鋼焼入れの場合との関係を研究し、銀試片による冷却曲線から Grossmann の焼入強度度を導出する線図を作成した。これによって焼入強度度を求めることが容易となり、Grossmann らの有益な各種線図¹³⁾ の活用がうながされ、簡単に焼入作業計画が樹立できるようにした。

6.3 磁氣的測定法

General Motors Corporation の G.M. Quenchometer がある。これはキューリー点以下で磁性を回復し、キューリー点以上で磁性を失う金属の性質を利用する。高純度のニッケルはキューリー点が 670°F (354°C) であり、スケールを生ぜず、加熱冷却を繰り返してもヒビ割れを生じないので使用される。ニッケル球は直径 $7/8$ インチで、重さは約 50 g であり、 1625°F (882°C) から 200 cc の油に焼入れてキューリー点に達するまでの時間を測る。最初の実験では馬テ型磁石と 250 cc のピーカー、ストップウォッチおよび円柱の支柱 2 個が用いられたが、方法を簡単にし、個人誤差を除くため電気装置がつけられ、G.M. Magnetic Quenchometer として知られている。数値は普通の焼入れ油で 12 sec, ハイスピードケッチで 10 sec くらいとなっている。

6.4 電氣的測定法

hot wire quench test と称されている方法について述べる。長さ 2 インチの小さな抵抗線 ($1.64 \Omega/\text{ft}$) を油

中に沈め、線が溶けるまで電流を増して種々の電力を与える。線が焼け切れる瞬間の電流を記録すれば、この値の二乗が油の冷却能を示す。線は真鍮のターミナルによって保たれる。熱の発生速度が油の熱吸収速度を越えれば線は加熱される。したがってこの方法は実際の焼入れの三段階が逆になっている。この試験法の価値を評価することは困難である。

7. 焼入油の老化試験

7.1 インディアナ酸化試験

実際焼入れによる焼入油の諸性質の変化はインディアナ法による空気吹き込み試験¹⁴⁾による諸性質の変化によく似ているので、この試験による諸性質の変化を測定する。冷却能の変化はほぼつぎのような二次曲線で示される¹⁴⁾。

$$t = c\tau^2 + b\tau + t_0$$

あるいは焼入強力度

$$H = A\tau^2 + B\tau + H_0$$

ここで t は冷却曲線の 700°C から 350°C までの冷却時間 (sec), t_0 は新油の冷却時間, H_0 は新油の焼入強力度である。 τ は空気吹き込み時間 (hr), c, b, A および B は定数である。上式を微分して $dt/d\tau = 0$, あるいは $dH/d\tau = 0$ と置けば, $\tau_{\min} = -b/2c$ あるいは $\tau_{H\max} = -B/2A$ が求められ、これによって焼入油の寿命を判断する。曲線の曲率半径は $r_{\min} = 1/2c$ あるいは $r_{H\max} = 1/2A$ であり、冷却能の変動度を示す。

実際焼入れの場合と比較すれば油サイ量が少なく、粘度の上昇が少し多く、引火点の低下が少し少ない。すなわち実際焼入れでは熱分解がやや多く起こり、また熱重合、脱水素による油サイの発生が多いからである。

7.2 小型焼入試験

850 cc の油を 1 l のホウロウ製ビーカーに入れ 170 g の耐熱鋼製試片を 850°C に加熱したものを順次焼入れ、油は冷却水により一定温度に保ちながら、一定回数焼入れすることに油の性質を調べる。これを自動的に行なう方法も考えられているが、ニクロム線により電熱で熱分解させる方法¹⁵⁾もある。

8. 焼入強力度と鋼材の硬化との関係

銀試片を用いた阪大式焼入試験機によって求めた焼入冷却曲線において、 800°C より 300°C までの冷却秒数を求め、これを図-6 において相当する $t \text{ sec}$ の座標より矢印のように垂直に下げ、 $t-h_{\text{Ag}}$ の直線との交点より水平に横軸に平行に左に進み、 $h_{\text{Ag}}-H_{\text{Fe}}$ グループ II および III の曲線との交点より垂直に下げて、横軸との交点を読めば、鋼を焼入れする場合の油の焼入強力度 H (単位 1/cm) が得られ、この値を 2.54 倍すれば H (単位 1/インチ) が得られる。水溶液の場合はグループ I の曲線

図-6 10 mm φ 銀の試片の片却曲線から鋼の焼入強力度を算出する図表

D_c : 臨界直径 (インチ)
 D_r : 理想臨界直径 (インチ)
 (鋼の硬化能を示す一つの尺度)
 H : 焼入強力度 (1/インチ)
 図-7 臨界直径-理想臨界直径および H 値の関係

との交点より垂直に下げて横軸との交点を読めば焼入強力度 H (単位 1/cm) が得られる。

無限大の焼入強力度を持つ焼入れ剤に理想焼入れしたときの臨界直径すなわち中心まで焼きのはいる最大直径は理想臨界直径といわれ、 D_r なる記号で示される。

D_r は鋼材に特有の数値であり、鋼材の硬化能すなわち硬くなりやすさを示している。焼入れしたとき、その中心まで 50% マルテンサイトになる最大直径すなわち中心まで焼きのはいる最大直径は臨界直径といわれ、 D_c なる記号で示される。

H の値と D_r および D_c の関係は図-7 によって示されているので、 H と D_r がわかっていれば、 D_c は図-7 によって求められる。

50%マルテンサイトを含む組織の硬度を臨界硬度といい、これは鋼材の炭素含有量によってきまり、合金元素

図-8 炭素量と焼入硬度
A: 99.9% マルテンサイト
B: 95% "
C: 90% "
D: 80% "
E: 50% "

には無関係である。この関係は図-8に示す。

直径1インチ、長さ4インチの円棒試片の下端を、所定の焼入温度より噴水冷却し、長さの方向にロックウェル硬度を測定し、いわゆるジョミニー曲線(図-9)をつくり、臨界硬度に相当する水冷端からの距離を求めれば、Carney¹⁶⁾の D_I -ジョミニー距離曲線(図-10)より D_I を求めることができる。

鋼のジョミニー試験によってジョミニー曲線(図-9)を求め、また化学分析により炭素量を求めて、図-8より臨界硬度を求め、図-10より理想臨界直径 D_I を求

図-9 ジョミニー曲線の一例

図-10 理想臨界直径-ジョミニー距離曲線 (Carneyによる)

め、また阪大式焼入冷却曲線により図-6より焼入強度 H を求めれば、図-7より臨界直径 D_C を求めることができる。以上いずれも長さの単位はインチを用いているので、焼入強度も1/インチの単位のものを用いる。

図-7より H 、 D_I 、 D_C の関係がわかるので、ある鋼材の焼入れにおいて D_C を

希望する値にするためには、焼入冷却剤の H はいかほどのものが必要であるかが、明白となるので、焼入作業計画を行なうことができる。鋼の丸棒は中心が50% マルテンサイトの場合、表面は95% くらいのマルテンサイトになっている。(昭和35年10月5日受理)

文 献

- 1) 多賀谷, 田村, 金属学会誌, **20** 428 (1956)
- 2) 多賀谷, 田村, 同誌, **16** 342 (1952)
- 3) 多賀谷, 田村, 同誌, **20** 477 (1956)
- 4) 多賀谷, 田村, 同誌, **17** 217 (1953)
- 5) "Metals Handbook", (1948)
- 6) 多賀谷, 田村, 金属学会誌, **22** 631 (1958)
- 7) 俵, 鉄と鋼, **27**, 583 (1941)
- 8) 多賀谷, 田村, 同誌, **40**, 103 (1954)
- 9) 多賀谷, 田村, 同誌, **41**, 32 (1955)
- 10) H. Moore, *J. Soc. Chem. Ind.*, **36**, 109 (1917)
- 11) 多賀谷, 田村, 金属表面技術, **7**, 261 (1956)
- 12) 多賀谷, 田村, 金属学会誌, **15**, 535 (1951)
- 13) 大和久, 焼入性 (日刊工業新聞社)
- 14) 舟坂, 燃料化学分析試験法
- 15) 多賀谷, 田村, 田中, 鉄と鋼, **46**, 483 (1960)
- 16) B.J. Carney, *Trans. A.S. Metals*, **46**, 882 (1954)

サ ビ 止 メ 油

鹿 島 実*

Minoru KASHIMA

1. ま え が き

サビ止メ油は石油系基油にサビ止メ添加剤やその他の界面活性剤を添加して、金属-油界面にサビ止メ添加剤

を強固に吸着させ、金属面に水分と酸素が吸着するのを妨げ、サビの発生を防ぐようにしたものである。機械類の保管、輸送、あるいは中間工程用として一時的サビ止メに用いられ、石油系溶剤で簡単に除去できるのが特長である。

サビ止メ油は近年ますます需要が増大し、各方面に広く使用されるようになったので、サビによる鉄製品ある

* 日本石油株式会社中央技術研究所 (横浜市神奈川区宝町5)
Nippon Oil Co. Ltd., Central Technical Research Laboratory