火炎焼入れに関する研究 (第 1 報)

——各種焼入条件に伴う硬化層の適性——

小 川 喜 代 —*

Study of Flame Hardening (Report 1)

——Aptitude of Hardened Layers in Various Hordening Conditions——

Kiyokazu OGAWA

This study is to find suitable flame-hardening conditions and also to see the wear resistance of metal by using as a testpiece Ca Kugelgraphite Gusseeisen flame-hardened by progressive hardening method.

The flame-hardening has so far been known as comparatively easy method, but is now being recognized as a reasonable method of hardening because the direct measuring of surface temperature has been made possible recently by the appearance of Milliscope and by the progress of hardening equipments in western countries.

In this study, we observed the quality of hardened layers and measured the hardened degrees of surfaces under the various surface temperatures made by changing the Feed Speed, Gas Pressure and Pre-Heating conditions of Acetylen-Oxygen Gas. Thus, we got the suitable flame-hardening conditions of Ca Kugelgraphite Gusseeisen and made actual measurements of the wear-resistance.

From these investigations, we understand that comparatively low degrees of temperature for 800°C—830°C are good for hardening in the mechanical quality as well as in the wear-resistance. Also, we got a conclusion that the flame-hardening is better than Salt Bath Nitriding method of the same cast iron testpiece when compared in the wear-resistance.

は じ め に

この研究は、火炎焼入れ法による適正な焼入条件を確立することにより、耐摩耗性あるいは耐疲労性などに関する応用面の性質について、基礎的な研究を行なったものである。火炎焼入れ法は、古くから比較的安易な表面硬化法として知られていたが、最近ミリスコープなどによる表面温度の測定が可能になったことと、欧米における焼入装置自体の進歩から、合理的な焼入れ法として再認識されてきた。すなわち鉄鋼ならびに鋳鉄などの大型部品の表面焼入れに関しては、きわめてすぐれた特徴の認められる方法であって、たとえば歯車または工作機械のしゅう動面の表面硬化などに適用されている。

火炎焼入れ法は、焼入操作が簡単であるにもかかわらずおのおの異なる使用目的に応ずるための、焼入条件を確立するにはきわめて多くの因子が関与し、複雑であることから現状においてもこれに関する基礎的報告はほとんど認められない。たとえば、熱源となるガスの性質につ

いても、従来酸素、アセチレン炎による場合が多かったが、最近これに都市ガス、メタン、プロパン、ブタンその他多くのガスを用いることにより、被処理物の目的または性質などに対して、適切な焼入条件が求められている。しかしこれらの研究結果については次報に譲ることとし、本稿では、従来最も普遍的に用いられた酸素、アセチレン炎による火炎焼入れ法において、焼入硬度ならびに顕微鏡組織などの諸性質を検討し、なお被処理物の耐摩耗性、耐疲労性、あるいは焼入硬化された表面層の応力性質などを測定することによって、一般火炎焼入れ法の適性について吟味した。

実験試料には、Ca-Si の添加により接種した球状黒鉛鋳鉄を用い、焼入方法は漸進法を採用したもので、多くの予備実験の結果から、合理性のある焼入条件を決定した。なお耐摩耗性に関しては、その焼入条件の相違により摩耗量が顕著に異なることを知ったが、さらにこれらの結果を他の耐摩耗性処理として提唱される塩浴窒化法によるものと、比較検討してみた。また焼入れされた表面硬化層に関しては、X線によって検討を行ない、その性質を明らかとし、耐疲労性などに及ぼす影響を吟味し

* 正会員 東京都立工業奨励館

たものである。

1. 実験方法

試験試料に用いた Ca 球状黒鉛鑄鉄は、表 1 ならびに Fig. 1 に示した組成、組織を有するものである。

球状黒鉛鑄鉄は、一般に Mg 接種によるが、この実験に用いた鑄鉄は、Ca-Si (1:1 mol%) により接種を行なったもので、ほぼ一般球状黒鉛に近い組織が得られている。しかし組織中の Ferrite に Si が固溶するため、Si% が高く Ferrite 量の多いことが異なる。機械的性質は抗張力 (σ_B) 49 kg/mm²、伸び (δ) 3.4%、硬度 HB 200、抗折荷重 2200 kg であった。試料の大きさは、30 mm ϕ 、15 mm 長さの丸材で、その端面に火炎焼入れを施したが、仕上面あらさは 1.0~1.5 μ として実験した。

火炎焼入れ法は、前述のごとく酸素、アセチレン (10:1) を用い、漸進法によって行なったが、その焼入条件は多くの予備実験の結果から次のように定めた。すなわち試料の大きさに対し、バーナの容量は十分なものであって、その送り速度を 100~150 mm/min、ガス圧力 3~4 kg/cm²、ガス流量 50 l/min、冷却水量 1000~1200 cc/min とし、バーナの火孔、水孔の間隔は 10 mm、火炎と被加熱物の間隔を約 10 mm 一定として実験を行なった。なお焼入温度の測定は、焼入面直下 1 mm の点に、0.5 mm ϕ のアルメル、クロメル熱電対を反対側から挿入し、焼入面直下 1 mm 点の温度測定を行なったものである。

したがって本実験の測定値よりも、真実焼入表面温度はさらに高く、実測焼入温度の値に加える補正值については、多くの実験の結果から求めた。すなわち試料が小さく、焼入面が狭小であるために、Milliskop による測

表 1 実験に用いた鑄鉄の組成

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	Mo	Mg
3.24	2.70	0.23	0.089	0.016	Tr	Tr	0.07	Tr	Tr

Fig. 1

定が困難であることから上記の方法を採用したものである。なお実験には、焼入直前に予熱を施したものもあるが、この場合の予熱温度は 200°C 一定として行なった。

火炎焼入れ後の耐摩耗性の実験に関しては、まず摩耗の実験条件を合理的に定めるための検討を十分行なった後、決定したもので機械的破壊摩耗域で実験を行なった。すなわち、予備実験の結果から摩耗の接触圧力 30 kg/cm²、摩耗速度 1.05 m/sec とし、この一定条件のもとに耐摩耗性を検討した。なおこの実験は、終始潤滑油を加えて行なったが、潤滑油としては、最も普遍的なパラフィン系 60 スピンドル油を、常温で定量を決めて用いたものであり、その性質は特にすぐれたものではない。摩耗量の実測は、試料をベンゼン、アルコール、エーテルなどで十分洗浄し乾燥した後、メトラー社製自動マイクロ天秤を用いて測定した。なおすべり摩耗試験機は、スピンドルタイプの改良形であり、すべり摩耗機構のものである。

2. Ca 球状黒鉛鑄鉄の焼入性に関する検討

この研究に用いた Ca 球状黒鉛鑄鉄は、焼入後のじん性、強度その他を考慮して採用したものであるが、その組織は前掲のごとく Ferrite 量の多いものである。したがって焼入れした場合も Matrix にこれらが残留し、焼入硬化が不十分であることが考えられた。よって火炎焼

Fig. 2

焼入温度 850°C, 15 min, Water quench

Fig. 3

焼入温度 950°C, 30 min, Oil quench

Fig. 4

入れを施す前, まずこの鉄の焼入れ性について完全焼入れすなわち普通焼入れを施してみた。

焼入温度を 850°C, 900°C

および 950°C とし, 加熱保

持時間をおおの 15 min,

30 min とし, 水および油

冷却による鉄の硬度ならびに

組織を検討した。これによる

と, 焼入温度における高温

加熱により, 球形の黒鉛は

Matrix の Ferrite に拡散し

て, 15 min 加熱によるもほ

ぼ完全な Martensite 組織の

得られることを知った。Fig.

2 は 850°C に 15 min 保持

し, 水焼入れの結果であり,

Fig. 3 は 950°C に 30 min

保持して油焼入れしたもので

ある。これによると高温度で

長時間保持したため, 球形の

黒鉛が崩れており, 同時に高

温加熱中 Matrix の Pearlite

が激しく分解することによ

り, 十分な Martensite が得

られなかった。

これら普通焼入れによる

鉄の硬度は, 組織として

Martensite の認められるもの

であっても, 十分な硬度は得

られず 900°C 以上の高温焼入れによるも H_V 580 程度であった。この結果を Fig. 4 に示したが, その理由はマッフル炉加熱であるため, 焼入温度に達するまでの保持時間が長くなることとまた高温焼入加熱の保持時間が長いことから, Matrix の Pearlite は著しく分解し, Ferrite 量を増大するであろうことが考えられる。

しかしながら, これらの実験結果から適正な火炎焼入れを施すことにより, 所期の目的に添い得る機械的性質ならびに耐摩耗性の得られることが, 推考し得たので本研究は一貫してこの種鉄を採用して行なった。

3. 火炎焼入れ

前節実験方法の項に述べた条件のもとに, ここでは Ca 球状黒鉛鉄の一定形状試料について漸進法により火炎焼入れを施した。その一例を表 2 に示してみる。

すなわち実験条件として, 前述のように送り速度 100, 120, 150 mm/min, ガス圧 3 および 4 kg/cm², 予熱を施す場合は 200°C で行なった。この実験における加熱温

表 2 鉄の漸進法焼入れによる実験例

試料 No.	送り速度 (mm/min)	ガス圧 (kg/cm ²)	本研究測定法 による温度 (°C)	予熱 (°C)	硬化層 (mm)	表面硬度 (H_V)
No. 1	100	3	765	なし	1.90	840
No. 2	100	3	828	200	2.25	900
No. 3	100	4	793	なし	2.65	900
No. 4	100	4	840	200	3.60	980
No. 5	120	3	722	なし	1.90	903
No. 6	120	4	780	なし	2.05	830
No. 7	150	3	622	なし	1.35	900
No. 8	150	3	795	200	1.50	909
No. 9	150	4	718	なし	1.70	915
No. 10	150	4	730	200	2.12	866

Fig. 5

Fig. 6-1

焼入温度 : 765°C
 焼入速度 : 100 mm/min
 ガス圧 : 3 kg/cm²
 予熱 : Non
 硬化層 : 1.9 mm
 H_V : 840

Fig. 6-2

焼入温度 : 828°C
 焼入速度 : 100 mm/min
 ガス圧 : 3 kg/cm²
 予熱 : 200°C
 硬化層 : 2.25 mm
 H_V : 900

Fig. 6-3

焼入温度 : 793°C
 焼入速度 : 100 mm/min
 ガス圧 : 4 kg/cm²
 予熱 : Non
 硬化層 : 2.65 mm
 H_V : 900

Fig. 6-4

焼入温度 : 840°C
 焼入速度 : 100 mm/min
 ガス圧 : 4 kg/cm²
 予熱 : 200°C
 硬化層 : 3.6 mm
 H_V : 980

Fig. 6-7

焼入温度 : 622°C (真の温度 822°C)
 焼入速度 : 150 mm/min
 ガス圧 : 3 kg/cm²
 予熱 : Non
 硬化層 : 1.35 mm
 H_V : 900

Fig. 6-3

焼入温度 : 795°C
 焼入速度 : 150 mm/min
 ガス圧 : 3 kg/cm²
 予熱 : 200°C
 硬化層 : 1.5 mm
 H_V : 909

Fig. 6-9

焼入温度 : 718°C
 焼入速度 : 150 mm/min
 ガス圧 : 4 kg/cm²
 予熱 : Non
 硬化層 : 1.7 mm
 H_V : 915

Fig. 6-10

焼入温度 : 730°C
 焼入速度 : 150 mm/min
 ガス圧 : 4 kg/cm²
 予熱 : 200°C
 硬化層 : 2.12 mm
 H_V : 866

Fig. 6-5

焼入温度 : 950°C, 15 min
 Water quench

Fig. 6-6

度の測定値は、前節実験条件で述べたごとく、試料の大きさが小さいことから、ミリスコープによる実測が困難であるため、試料焼入表面より 1 mm 下層点に熱電対を挿入して行なったものである。補正実験の結果によると、本測定法による真の表面温度は、 622°C において 200°C 高く、また焼入温度 805°C の場合は、 120°C だけより高温であることを認めた。なお火炎焼入れによる表面硬度は、普通焼入れによるものと異なり、急熱、急冷によるため著しく高い硬度が得られ、 H_V 830~980 に及ぶ *microvickers* (200 g 荷重) 値が示された。

すなわち高周波表面焼入れの場合と同理によって、急熱、急冷による熱応力が影響した硬度であることが確認される。焼入れによる硬化層の深度は、焼入条件によって著しく異なるが、1.35~3.60 mm に及ぶことを知った。

漸進法による多くの火炎焼入れの結果によると、主として送り速度とガス圧の影響によって、焼入温度が変化し、表面硬度が変わり、また著しい硬化層の相異を生ずる。なお予熱の有無は生成硬化層に顕著な差を生じたが、その一例を Fig. 5 の(a), (b)に示してみた。(a)は試料番号 No. 3 であり予熱を施さぬもの。(b)は No. 4 の 200°C に予熱した場合の硬度分布を示すものであって、約 1 mm 硬化層に差が認められる。

Fig. 6 は試料 No. 1~10 に至る各種焼入条件における鑄鉄組織を示すものであって、各試料の左側は焼入れによる表面組織を、右側は同試料の焼入境界面の組織を示したが、いずれも 400 倍の写真である。これによると焼入れされた鑄鉄の表面組織は、いずれも *Martensite* 組織を示したが、高温焼入れによるものは、その焼入組織が粗大であるが、適正な低温域で焼入れを施した場合は、結晶粒も小さく微細な組織であることを知った。すなわち Fig. 6 の No. 7, 9, 10 など焼入温度の低いものは、*Martensite* 組織が細かく認められる。また Fig. 6-No. 5 は普通焼入れを行なった組織の一例であり、 950°C に 15min 加熱後、水焼入れを施した例である。*Martensite* 組織が著しく、粗大化し、ぜい性であろうことが予測される。

Fig. 6 の No. 6 は上記焼入試料のマクロ組織を示した一例であり、表面焼入部分が半円形に黒く示され、また下側から熱電対を挿入した部分の細孔が黒く認められる。

上述のごとく火炎焼入れにおける条件を種々変化した場合、鑄鉄の硬化層の性質は、組織的にも種々変化することを知ったが、次節においてこれら試料の耐摩耗性に関する結果を示してみる。

4. 火炎焼入れを施した鑄鉄の耐摩耗性

鋼または鑄鉄の摩耗現象はすこぶる複雑である。著者

は長年にわたって鋼ならびに鑄鉄の耐摩耗性に関する研究を各個について行なっているが、本節には、上記 Ca 球状黒鉛鑄鉄に関し、潤滑油を加えたすべり摩耗について述べてみる。各種鑄鉄に関して個々に行なった従来の結果を分析的に解析し究明すると、各種鑄鉄の耐摩耗性については、その摩耗量を左右するものとして、共通に作用する因子があって、次の事柄があげ得ることを確認している。最も顕著な影響を及ぼす因子は、i) 鑄鉄の顕微鏡組織の問題である。組織のいかんは摩耗現象のみでなく、一般機械的性質についても同様に著しい変化を及ぼすが、摩耗に関しても最も影響の大きい因子の一つである。鑄鉄組織は大別して、*Matrix* 組織と黒鉛の 2 つに分けて考えられるが、まず (a) *Matrix* 組織について要約すると、*Matrix* に *Ferrite* の多く存在するものほど、重負荷摩耗に弱い。すなわち重負荷摩耗においては、その摩耗量を増大するが、この影響は *Pearlite* 鑄鉄の場合も、あるいは *Nodular graphite* 鑄鉄にリング状に *Ferrite* の存在する場合も同様であって、*Ferrite* 量を増すほど摩耗量は大きい。なお *Matrix* に存在する炭化物についても影響を受けるが、この場合は炭化物の性質によって相違がある。

(b) 鋼と鑄鉄の最も大きな相違点は、鑄鉄においては、黒鉛の存在することである。摩耗現象に関して従来より黒鉛の性質は、黒鉛自体が潤滑剂的な意義を持つこと、あるいは、黒鉛が油溜りのな役目を果たすことなどがあげられている。著者もこれを認めるものであるが、要はその機構であって、電子回析または X 線の結果によると、黒鉛結晶の $[0001]$ 面が、摩耗の面と並列にならんだ強い方位配列を示すことである。これは応力分布とは全く関係がなく、黒鉛の結晶学的な性質によるもので、黒鉛の最もすべりやすい、結晶面 (劈開面) を互いに平行してすべることが考えられ、耐摩耗性に大きな影響をもつものといえる。

ii) 鑄鉄の強度が摩耗に影響する。鑄鉄の摩耗作用においてその強度は、機械的破壊摩耗 (安定状態の摩耗) における最大負荷圧力の許容限を決定する上に大きな因子となる。しかしながらここで示す強度とは、単なる抗張力を意味するものでなく、*Matrix* のじん性を保持するとともに、大きな強度を持ちたいことである。

iii) 鑄鉄の鑄造応力による影響も著しく摩耗量を増減する因子である。鑄造応力の存在は、鑄鉄を扱う上に最も注意を要する因子であって、摩耗量に影響するほか、部品の寸法変化、耐食性、その他にも直接的な影響力を持つものである。すなわち鑄鉄は、一般に 1500°C 以上に高温溶解され、 1350°C 前後から鑄造されるが、この

際大きな熱応力を持つもので、ここではこれを鑄造応力と表現した。耐摩性に関しては、この鑄造応力をできるだけ低減することが必要であり、応力を除くことによって、耐摩耗性を向上し、なお寸法変化なども軽減することができる。

iv) 摩耗面の硬度によっても鑄鉄の摩耗量は変化するが、鋼の摩耗に比較するとこの影響は少ない。すなわち鋼のすべり摩耗においては、各種応力の影響によるかたさを除去した、鋼固有の安定な硬度の高いものほど、顕著に摩耗量を減少したが、鋼に比べて硬度の低い鑄鉄の場合は、その影響が小さい。

しかしながら、これに焼入れその他の熱処理を施したものは、その摩耗機構が鋼の場合と近似し、かたさの影響が著しく認められる。

v) 鑄鉄摩耗面の仕上げあらしの影響により摩耗量は変わる。すなわち仕上げ面の美しい粗度の良好のものほど、摩耗量は少ない。

各種鑄鉄の摩耗現象に関しては、上記の因子がその影響力の大小には相違があっても、密接に関連を持つものであり、これらの重畳的に作用した結果が、摩耗量の増減となることを認めている。なお上述の因子とは、一律に論じ得ないが、その他の因子として、鑄鉄の摩耗量を大きく左右するものに(vi)各種添加元素の影響がある。顕著な一例を示すと、Pの添加であり、0.2%~0.26% Pの添加により著しく摩耗量を軽減する。しかしPの添加は鑄造方案を困難にし、摩耗機構が少しく他の鑄鉄と相違して、負荷が増大しても酸化摩耗を継続するが、より圧力が増大すると直ちに溶融または溶着摩耗域に移る傾向が認め得る。

以上は、従来の研究結果から確認されている各種鑄鉄の摩耗機構であり、共通に作用する因子であるが、ここでは前記鑄鉄を各種条件のもとに火炎焼入れした場合のすべり摩耗の結果について述べる。摩耗試験機その他は、実験方法で述べたごとく、100%すべり摩耗によるものであり、鑄鉄の摩耗面の粗度は0.8~1.0 μ 一定に揃えたものを試料とした。火炎焼入れの条件は種々変えしめたが、本節ではその一例として、前掲の表3に示した焼入れ条件におけるものを摩耗の試料とし、実験を行ない、その結果を述べる。なお摩耗試験を行なうに当たり、最も注意したことの一つは、実験に用いたパラフィン系60スピンドル油が、常に物理化学的に変化しないようにつとめたことで、摩耗量の測定は、十分洗浄後乾燥して、ミクロバランスにより評量した。

Fig. 7 は、表3に示した焼入れ試料についての摩耗試験結果である。これによると、無処理のAs Cast 鑄鉄

Fig. 7

の摩耗量は著しく大きい、火炎焼入れによるものは、はるかに摩耗量が軽減される。しかしながら、火炎焼入れした鑄鉄においても、その焼入れ条件により摩耗量は大きく相違している。すなわち、No. 7, 9, 10のごとく、焼入れ温度が適性温度内において低温側に属するものは、前掲顕微鏡写真からも明らかのように、Martensite組織が微細であり、摩耗量は少ない。またNo. 3, 4のごとく、高温焼入れしたMartensiteの粗大な試料は摩耗量が大きい。これを焼入れ条件について検討し要約すると、漸進法による場合、ガス圧が低く、送り速度の早いものは、焼入れ温度も低温側となり、摩耗量が減少している。換言すると、鑄鉄の火炎焼入れにおいては、必要以上に焼入れ温度を上昇せしめないことが、耐摩耗性をすぐれたものとすることを認めた。すなわち低温側焼入れによるものは、組織ならびに結晶粒を微細にし、熱応力を軽減することにより、摩耗量は減少するものと信ずる。なお鑄鉄の焼入れ硬度は、組織がMartensite化したことによる安定な硬度と、急熱急冷によって、熱応力の残存した影響によるかたさとの和であることは明らかである。しかし耐摩耗に関しては、後者の熱応力の影響による硬度の存在はNegativeであって、摩耗量を逆に増大する傾向に作用することを確認している。したがって耐摩耗性に対しては単に焼入れ硬度の高いものが望まれる現象ではなく、残留する熱応力の影響が僅少であって、組織の変化から生ずる硬度の高いものであることが要望される。すなわち焼入れ条件の決定は、上述の耐摩耗性のもつ意義をあわせて考慮し、合理的に定めるべきである。

Fig. 8

これらの理由から、火炎焼入れ後、as Quench のまま、摩耗試験を行なうことなく、低温度焼戻しを十分行ない、焼戻力を除去した場合は、鋳鉄硬度が少しく低下しても、耐摩耗性はさらに著しく向上するはずである。現在その実験中であるが、より良好な結果が認め得ると信ずる。なおこの摩耗試験の条件は前述のごとく接触応力 30 kg/cm^2 、摩耗の速度 1.05 m/sec 一定とし、潤滑油を 20°C とし定量加えて行なったが、これらの摩耗条件は任意に選定したり、希望的観測から決定したものではない。すなわち多くの予備実験の結果から、安定な状態で摩耗を行なうことを確認した後、定めたものであり、再現性が認められる。

Fig. 8 は、上記火炎焼入れによる摩耗の結果と、同一の Ca 球状黒鉛鋳鉄に Salt Bath Nitriding を施した耐摩耗性処理によるものとを、同じ摩耗条件で比較した一例である。塩浴窒化処理に関する詳細は、著者の行なった他の研究にゆずるが、結論的には鋳鉄の耐摩耗性を向上せしめる一手段であることの確認された方法である。なお窒化の処理条件は $580^\circ\text{C} \sim 540^\circ\text{C}$ のものが特にすぐれた結果を示すものであるが、火炎焼入れによる結果はさらに摩耗量が減少することを知った。また本節における摩耗実験は、いずれも各種処理による鋳鉄と、0.55% C 炭素鋼を Sorbite 組織としたものを組合せて実験を行なった結果である。組合せ鋼に 0.55% C Sorbite 鋼を選定した理由は、多くの研究結果から、このものは摩耗量の大小は別として、常に均一な直線的摩耗を行な

うものであることを認めているもので、相手側鋳鉄の摩耗性を正確に知り得ることが出来るためである。

5. 火炎焼入れ鋳鉄の硬化層を X 線で検討した応力の性質

火炎焼入れの特徴は、普通焼入れと高周波焼入れとの中間的な存在であって、組織その他が両者の中間の性質であることが認められる。すなわち急熱急冷による焼入れ法であるが、この火炎焼入れによる硬化層の応力分布

が、表面層において圧縮応力であるか、または引張応力であるかについては、耐疲労性その他に及ぼす意義が著しく異なるものである。本節ではその性質を X 線によって検討してみた。

耐摩耗性と、耐疲労性に及ぼす主要因子の性質の相違は、表面硬化層の応力に関する事柄である。著者の結果によると、耐摩耗性についてはいかなる性質の応力であっても、応力の存在することは、結果を Negative にするが、耐疲労性に関しては、表面層に圧縮応力の存在することが望まれている。前述のように、火炎焼入れによって急熱急冷された鋳鉄は、一般に普通焼入れの場合よりも硬度が高く示されるが、その理由は、Martensite 化と同時に熱応力の影響によるかたさが加わるためであると前に述べた。したがってその応力の性質を検討することは、種々の意義を持つものであり、次のように測定を行なった。

火炎焼入れによる各試料の表面層を、X 線によって検討した。すなわちストレンメータおよびガイガーフレックス自動記録装置により実測し、その計算値の一例を表 3 に示した。試料は、パイロット、バーナにより上記鋳鉄を、送り速度 150 min 、冷却水量 1000 cc 、孔間隔 30 mm 、表面温度 820°C のもとに水焼入れした結果で、表面硬度 $H_V 750$ 、硬化層 2.0 mm のものであるが、X 線による硬化層表面の応力はいずれも圧縮応力であることが認められた。

なお X 線による多くの実測結果は、火炎焼入れを施し

表 3 X 線による表面硬化層の応力の検討

試料番号	測定位置 (mm)	$2\theta 90^\circ$ ($^\circ$)	$2\theta 45^\circ$ ($^\circ$)	$\Delta 2\theta$ ($^\circ$)	$\sigma (\text{kg/mm}^2)$
No. 10	0 (y 軸方向)	156.1	156.6	-0.5	-11.0
	0 (x 軸方向)	156.2	156.6	-0.4	-8.8
	2 (")	156.4	156.6	-0.2	-4.4
	5 (")	156.5	156.5	0	0

た本実験の条件内においては、いずれも表面層が圧縮応力であることを知った。すなわち火炎焼入れによる表面硬化層の性質は、耐摩耗性であると同時に、耐疲労性でもあることが推考され、その応用面は広汎であることを知った。

結 論

この研究は、Ca-Si によって接種された球状黒鉛鋳鉄について、各種条件のもとに火炎焼入れを施し、焼入条件の検討を行なったものであるが、さらに耐摩耗性ならびに耐疲労性に関する実体をも吟味した結果である。

火炎焼入れは、酸素-アセチレン焰によって行なったが、多くの実験結果から、焼入層の性質に影響をもつものとして送り速度、ガス圧、予熱の有無などの変化によ

る表面温度を実測し、種々の条件における表面硬度または硬化層の大きさなどを測定した。

次に、これら各試料の耐摩耗性について実験し、無焼入れのものに比較して顕著にすぐれたものであることを認め、しかも焼入条件の相違によって、耐摩耗性に差の生ずることを明確に立証した。なお火炎焼入鋳鉄の表面硬化層をX線によって検討したが、その表面応力は、いずれも圧縮応力であって、耐疲労性に対しても望ましい性質であることなどを知った。

この研究を行なうに当り、装置の借用に関して協力されたドイツ Peddinghaus 社ならびに実験に協力された日立製作所割石官市部長、卒論学生清山、寺岡などの方に感謝するものである。

(1964, 4月10日受付)