



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	天然ガスに依る火焰焼入に就いて
Author(s)	吉井, 周雄; Yoshii, Chikao; 武林, 英夫 他
Citation	北海道大學工學部研究報告, 10, 9-25
Issue Date	1954-06-05
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/40533
Type	departmental bulletin paper
File Information	10_9-26.pdf



天然ガスに依る火焰焼入に就いて

吉井 周雄

武林 英夫

金澤 正午

(昭和29年2月29日受理)

The Flame-hardening by a Natural Gas

Chikao YOSHII

Hideo TAKEBAYASHI

Shogo KANAZAWA

Abstract

The flame-hardening process is one of the most convenient case-hardening process. The good natural gas, which has deposited in Hokkaido, was used for surface-hardening as substitute of acetylene, and was compared with acetylene, by measuring the distribution of temperature and hardness through the sample.

The sample (18 mm dia, 10, 15, 20 mm length) of 0.5% C-carbon steel was heated for a given time (25—70 sec.) by spot-heating-process and quenched in water.

The natural gas flame has a weaker heating power than the acetylene flame. So, the surface temperature and temperature-gradient in sample heated by natural gas was less than by acetylene for same time. And in order to obtain a same surface hardness and case depth, the sample had to be heated by the natural gas flame for 5—10 sec. longer than by acetylene flame, and the difference of hardness and case depth between both gases became greater, the larger the mass.

As example, heating a specimen of 15 mm length for 40 sec., the surface hardness was Rockmel "C" 58 for natural gas and acetylene, but the case-depth was 2 mm for natural gas and 3 mm for acetylene.

I. 緒 言

鋼の硬化法としては、火焰焼入法が1925年頃より行われているが、1938年以降に種々研究が進められ、高周波焼入より大型のものに適し、装置も之に比し、簡単で低廉であるため廣く多方面で使用せられている。H. H. Langebeck¹⁾, J. T. Howatt²⁾ 及び O. M. Horreison³⁾ 等は試料の温度分布・硬度及び組織の關係を述べ、表面を加熱した際に、 Ac_3 以上の温度に加熱せられた部分は完全にマルテンサイト化しており Ac_3 - Ac_1 の間に加熱せられた部分は表面の焼入硬度より内部の處理前の硬度迄次第に低下している。此の部分は fine pearlite (troostite)

の組織を示して靱性ある中間層であつて、此のために焼入層の剝離や焼割が起らない堅牢な表面硬化層が出来て、衝撃に強く、耐磨耗性の高いものが得られる。そして加熱時間が長くなると表面の硬化層に深くなるが、中間層は大體一定の厚さを持つていと述べている。又表面硬度に就いては C. E. MacQuigg⁴⁾, J. H. Zimmerman⁵⁾, J. T. Howatt⁶⁾ 等は火焰焼入の際に表面層の熱が冷却液のみならず、内部の金属へも吸収せられるので普通の焼入に比し激しい冷却効果があつて、表面硬度は B. H. N. で 30~50 位高くなると述べている。Erler and Tombinson⁶⁾, H. H. Langebeck⁷⁾ 等は此の方法では 1.5~6 耗程度の焼入硬化層を得ても残留應力は僅かにて、焼割は殆んど表われない點及び滲炭法にもし 2~3 倍の深い硬化層が容易に得られて、費用も 40% の節約をし得ると述べてその利點を強調している。

なお S. Smith⁷⁾ は火焰焼入のみでなく同時にその表面焼入層を火焰焼戻しする方法を行い、歪のない磨耗衝撃疲労に強い材料を作つている。又此の方法を使用し得る材料は炭素鋼、特殊鋼のみではなく、化合炭素 0.6% 以上の鑄鐵にも應用されて好結果を得ている。

焼入装置は熔接或いは切斷用バーナーを利用し、冷却水の噴出様式を種々考察し、加熱様式も均一に且材料の大きさ、形に依り、直進式 (Progressive Process: 材料の表面とバーナーが平行に移動する方法) 回轉式 (Spinning Process: 材料が回轉しつつ加熱される方法) 及び兩者を併せた方法等があり、その操作も機械化せられて費用も多額を要しないで施行せられている。

此の様に 1938 年以降にその價値を大いに認められて鑛山機械⁸⁾・土木機械⁸⁾・諸機械部品 (齒車等)⁹⁾⁶⁾・機械工具⁹⁾・兵器⁷⁾・機關車部品¹⁰⁾ 及び農機具等廣く磨耗衝撃を受ける部品に利用せられている。そして J. H. Tombinson⁶⁾ は將來更に科學的に研究せられるならば應用分野は益々廣くなり、重要な熱處理方法とならうと述べている。

現在迄加熱に用いられているガスは、専らアセチレン酸素焰であつて S. Smith⁷⁾ のみが天然ガスを餘熱焰として使用したと報告している。しかるにアセチレンガスを大量に用いることは高價であり、北海道各地に純度の高い天然ガスの噴出を見るので之を利用することを考えた。アセチレンガス、市街ガス、天然ガスの理想火焰溫度を比較すると

アセチレンガス	市街ガス	天然ガス
3480°C	2740°C	2870°C

アセチレンは後二者の主成分をなすメタンの發熱量より大きいため、理想火焰溫度は最高を示している。

硬化層の深さは前述せる如く加熱時間にも依るが、火焰の溫度、火焰の大きさ等にも依るもので若し一定の深さの硬化層を得るためには天然ガスがアセチレンに比し長時間を要することが豫想されるが、その利用し得る程度をアセチレンに對し定量的に比較検討した。

II. 實 驗 方 法

(1) 加熱用ガス 天然ガスは北海道炭礦汽船株式会社夕張礦業所にて發生せるものをポンベに充填して使用した。その成分は

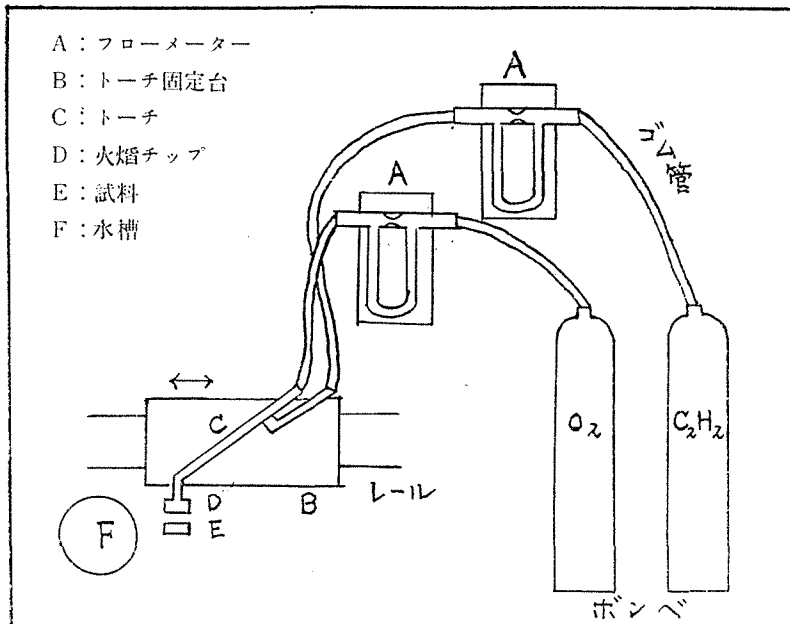
CH₄ 96% CO₂ 1% O₂ なし N₂ 殘量

アセチレンガスは市販のポンベ充填のものを使用した。

(2) 試料作製 試料は下記成分を有する炭素鋼の直径 20 耗の丸棒を使用し、870°C に 2 時間保持して空冷し焼準を行つた。此の試料より質量効果を調べるために直径 18 耗長さ 10, 15, 20 耗の圓筒試験片を削り出し、焼入する面はグラインダー仕上げとして酸化皮膜を完全に除去して平滑とした。

C	Si	Mn	P	S	Ac ₁	Ac ₃
0.50	0.24	0.45	0.042	0.030	740°C	790°C

(3) 焼入装置 第 1 圖の如き装置を用い、加熱ガス及び酸素にそれぞれ流量計を入れて、

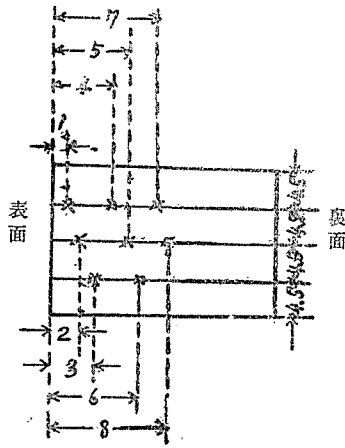


第 1 圖 実験装置略図

その配合割合を一定とした。

バーナーは普通の熔接用のものにて火口は銅製にて第 2 圖の如きものとした。

ガスと酸素の配合割合は長さ 15 耗の試験片に就いて、アセチレンガスに對しては表面温度 900°C に加熱した時に 40 秒間に表面より 3 耗の深さ迄 Rc. 50 以上の硬度を得る如く兩者の流量を調節し、又天然ガスに對しては 45 秒間に同様の状態となる量として、その結果は第 1 表の如きものである。なお H. H. Langebeck¹⁾ はアセチレン—酸素を 1:1 とすると最



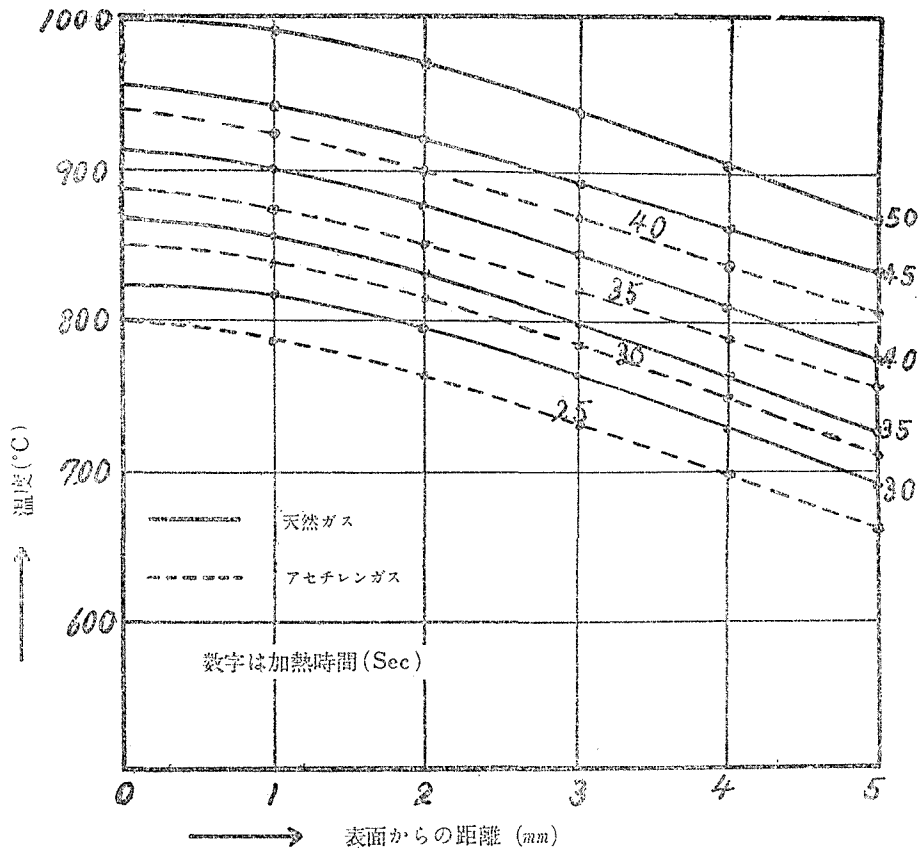
第4図 硬度測定位置
(単位mm)

(6) 焼入硬化の深さの測定 焼入せる試料の硬化せざる裏面より鋸刃にて縦に切り込み、タガネにて縦割した。そして縦断面を加熱せられない様に注意してグラインダー、エメリー研磨紙にて仕上げて、第4圖の如き位置をロックウェル硬度 C スケールで測定し硬度分布を求めた。

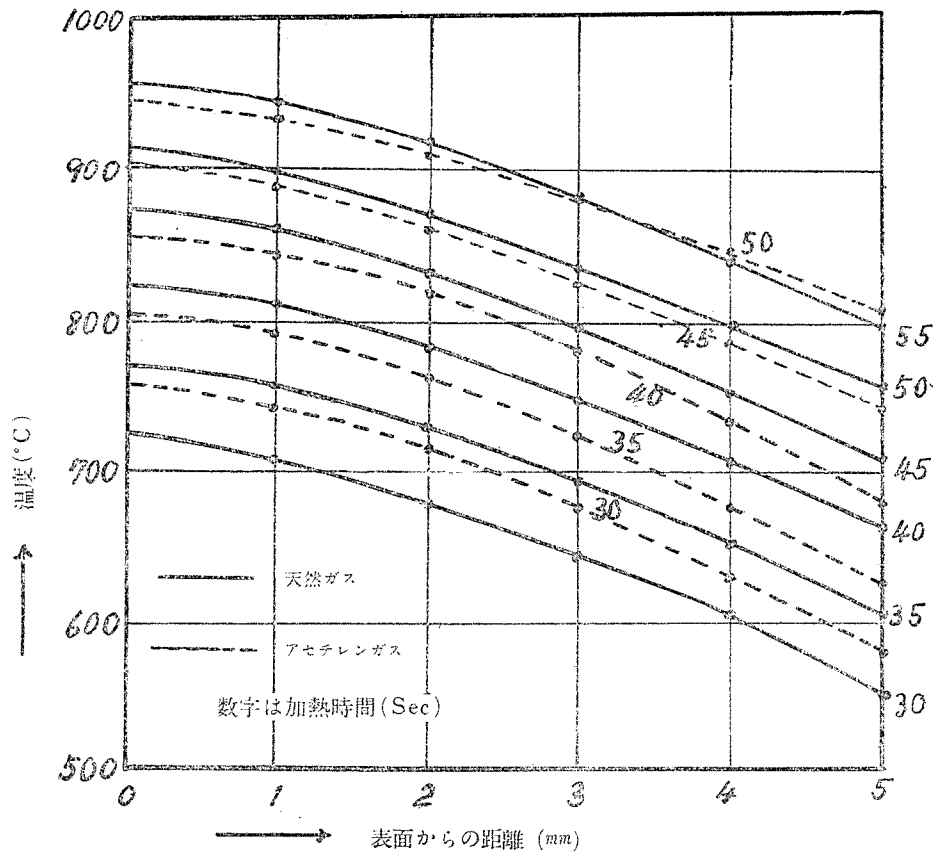
III. 實驗結果及検討

(1) 温度分布に就いて 10, 15, 20 耗の長さの試料に就いて、測定せる温度を表面よりの深さに對し圖示すると、それぞれ第 5~7 圖の如くで、表面温度は之等の線を延長して縦軸と交わつた點とすると第 2 表の如くなり、加熱時間に對し圖示すると第 8 圖となる。又第

5~7 圖の表面より 1~5 耗の間の温度差より温度勾配 °C/mm を取ると第 3 表の如くなる。



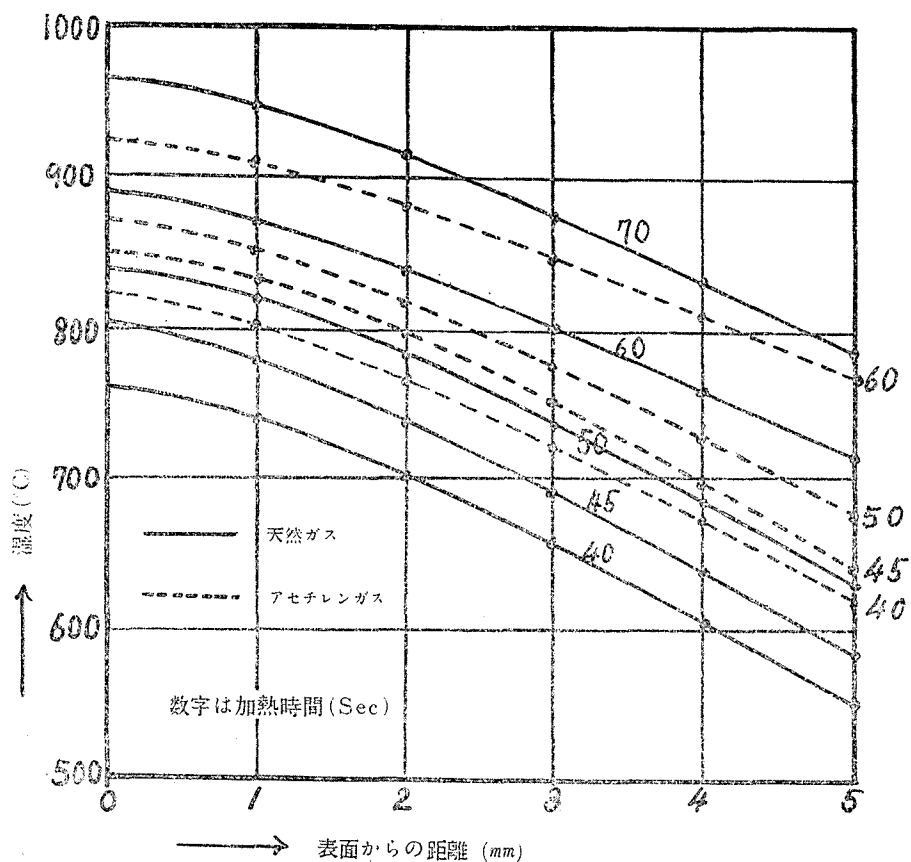
第5図 温度分布 (試料10mm)



第6図 温度分布 (試料15mm)

第2表 表面温度(°C)

試料	加熱ガス	加熱時間									
		秒 25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
10	アセチレン	805	850	885	940						
	天然ガス		825	870	915	955	1000				
	差		25	15	25						
15	アセチレン		760	807	855	905	945				
	天然ガス		725	770	825	875	915	955			
	差		35	37	30	30	30				
20	アセチレン			800	825	850	875	895	925		
	天然ガス				770	805	840	870	890	930	965
	差				55	45	35	25	35		

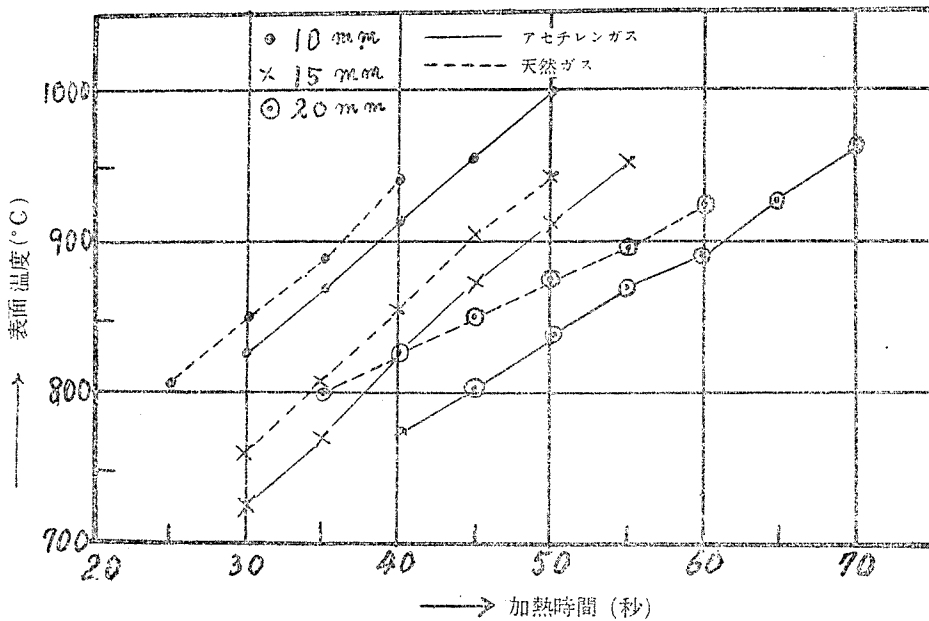


第7図 温度分布 (試料20mm)

第3表 温度勾配 (°C/mm)

試料	加熱ガス	加熱時間									
		秒 25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
10 耗	アセチレン	325	325	290	300						
	天然ガス		310	300	300	280	290				
15 耗	アセチレン		400	400	400	370	320				
	天然ガス		390	370	370	400	360	360			
20 耗	アセチレン			450	450	450	420	390	350		
	天然ガス				475	460	450	420	390	400	390

第2, 第3表より同じ加熱時間では試料が長くなる程 (質量が大きくなる程) 温度勾配は急になり且表面温度は低くなつて来る, そして加熱時間が増すことに依り表面温度の上昇する

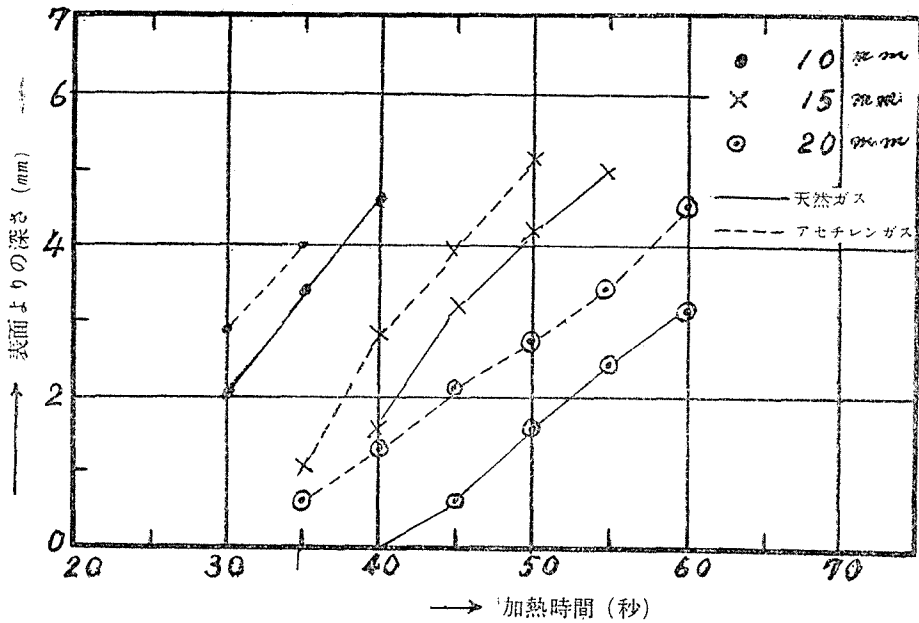


第8図 表面温度と加熱時間の関係

状態は第8圖より判るが、10 耗及び 15 耗の試料では同じ様な傾斜を示しているのに 20 耗の試料では、それに比し緩い傾斜で上昇している。之は本実験の火焰では 10 耗、15 耗の試料に比し 20 耗の試料は表面に與えられた熱の中、内部へ傳えられるものが大きくて表面の温度上昇に用いられる熱が少いたためで、20 耗の試料は他に比し質量効果が著しく表われていることが判る。なお兩ガスに就いて比較すると、天然ガスはその加熱能力がアセチレンより劣るために表面が同一温度になるためには 10 耗のものは 2~3 秒、15 耗のものは 5 秒、20 耗のものは 6~8 秒長く加熱することを要している。従つて同一加熱時間では表面温度は第2表の如く、兩ガスに依り差が表われて、その差は試料が長くなる程大きくなつてゐる。

斯くの如く天然ガスはアセチレンより加熱能力の弱いことが量的に判然として、大體 5~10 秒長く加熱することに依り償い得ることを知つた。そして加熱物が大きくなる程兩ガスの差は著しくなつてゐる。

次に此の様に得られた各資料の深さに對する温度分布より豫想される硬化層の厚みを求めた。即ち完全にマルテン化すると考えられる深さを Ac_c 以上に加熱された部分とすると、その深さは 15 耗の試料では天然ガスに對し 40 秒の加熱で 1.6 耗 45 秒で 3.2 耗、アセチレンでは 40 秒で 2.8 耗、45 秒で 3.9 耗となつてゐる。之をそれぞれの長さの試料に就いて加熱時間と硬化豫想の深さを圖示すると第9圖となる。之は第8圖と非常に良く似た傾向を示すもので、表面温度が高く熱せられたものは焼入硬化する層も深く、試料が小さいと短時間に著しく深く硬化出来ることが豫想される。



第9図 温度分布曲線より予想される
焼入深度と加熱時間

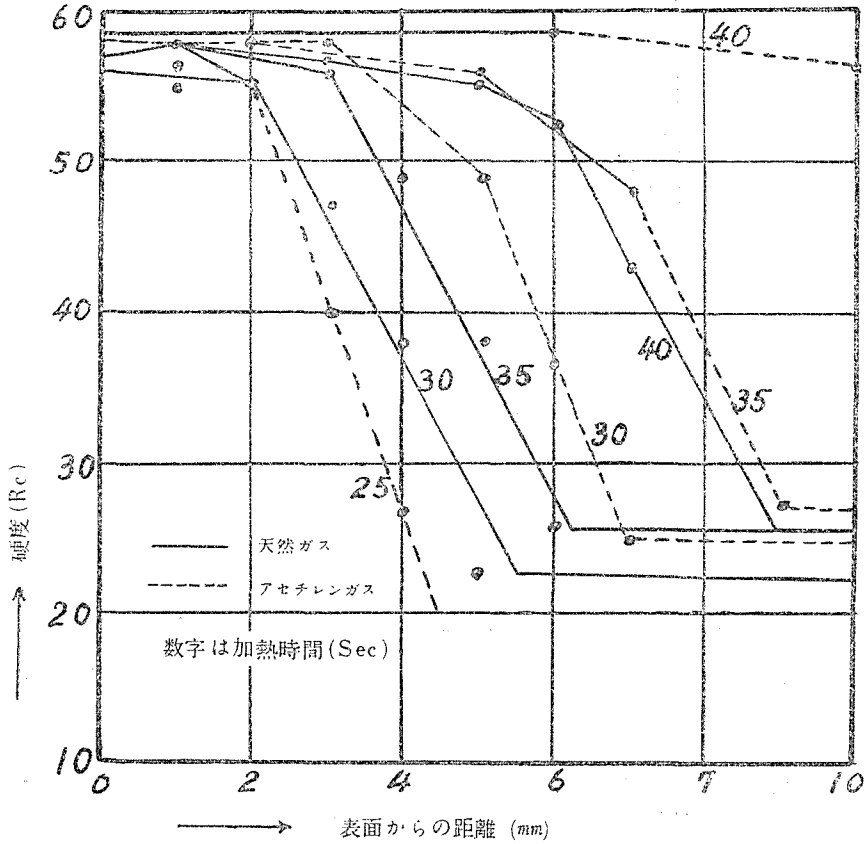
第4表 焼入深度と中間層の深さ(耗)と加熱時間の関係

加熱時間		秒										
		25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	
10	天然ガス	Re 55 以上		2.0	3.2	5.0	7.0	8.3	10.0			
	中間層		3.5	3.3	4.0	3.0	1.7	0				
15	アセチレン	Re 55 以上	2.0	3.7	5.1	10.0	10.0					
	中間層		2.5	3.3	3.9	0	0					
20	天然ガス	Re 55 以上			1.0*	2.3	3.1	4.3	5.0	5.8		
	中間層				3.0	2.9	4.2	3.7	4.0	>4.2		
15	アセチレン	Re 55 以上		0	1.5	3.0	3.2	5.4				
	中間層			3.0	3.6	3.2	4.6	>4.6				
20	天然ガス	Re 55 以上				0.2	1.2	2.1	2.4	3.2	3.0	5.0
	中間層					2.3	1.8	1.9	2.6	2.8	4.3	>5.0
15	アセチレン	Re 55 以上				1.5	3.0	3.1	3.9	3.5	4.8	
	中間層					1.5	1.0	2.9	3.0	4.5	>5.2	

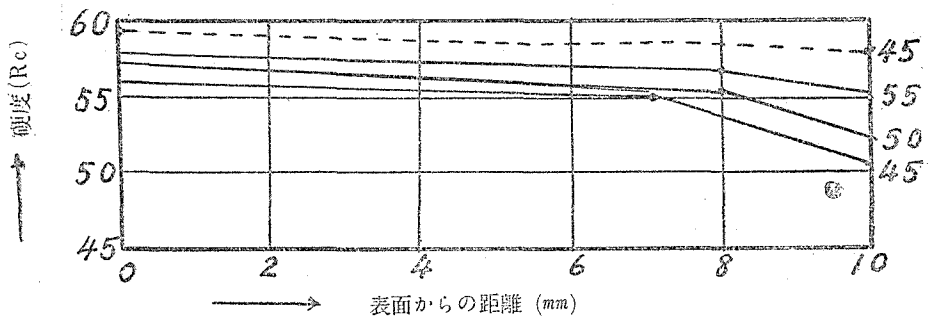
* 焼入硬化層の硬度が Re 54 以上とした。

(2) 硬度分布に就いて 前に述べた様に火焰焼入せる試料の縦断面に就いて硬度を測定

せる結果を圖示すると、第 10, 11, 12 圖となる。之より表面硬化層 (Rc 55 以上) の厚さ及び中間層の厚みを表示すると第 4 表となる。



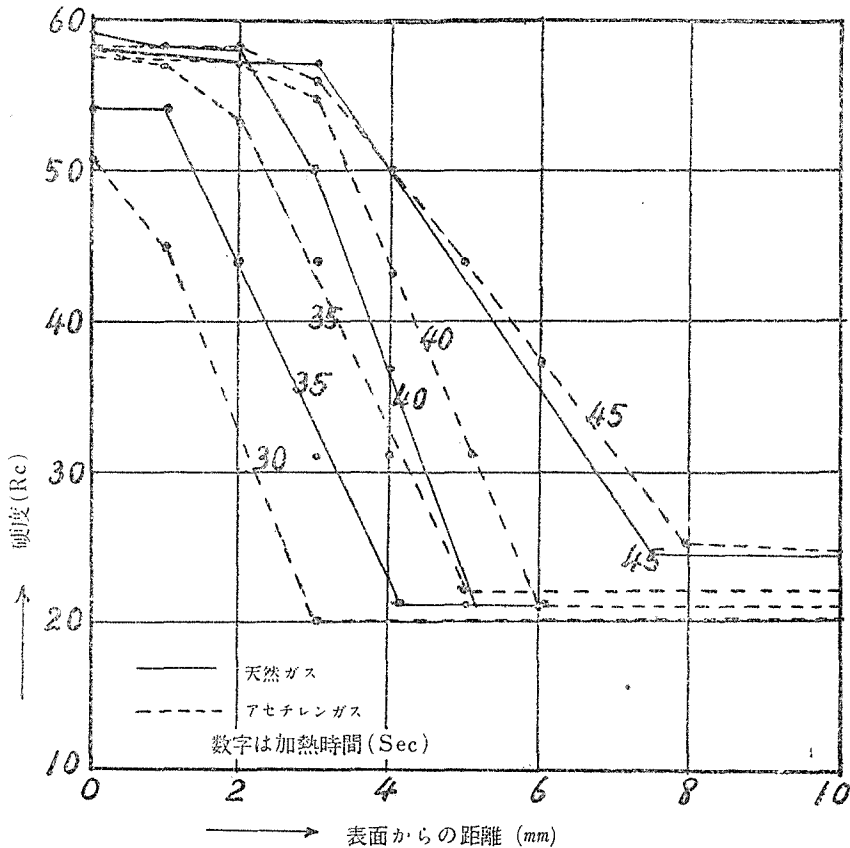
第10図-1 硬度分布 (試料10mm)



第10図-2 硬度分布 (試料10mm)

10 耗の試料では第 10 圖より判る如く、アセチレンに依り 40 秒以上の加熱では裏面迄完全に硬化されているが天然ガスでは 55 秒以上を要している。しかし天然ガスにても 45 秒以

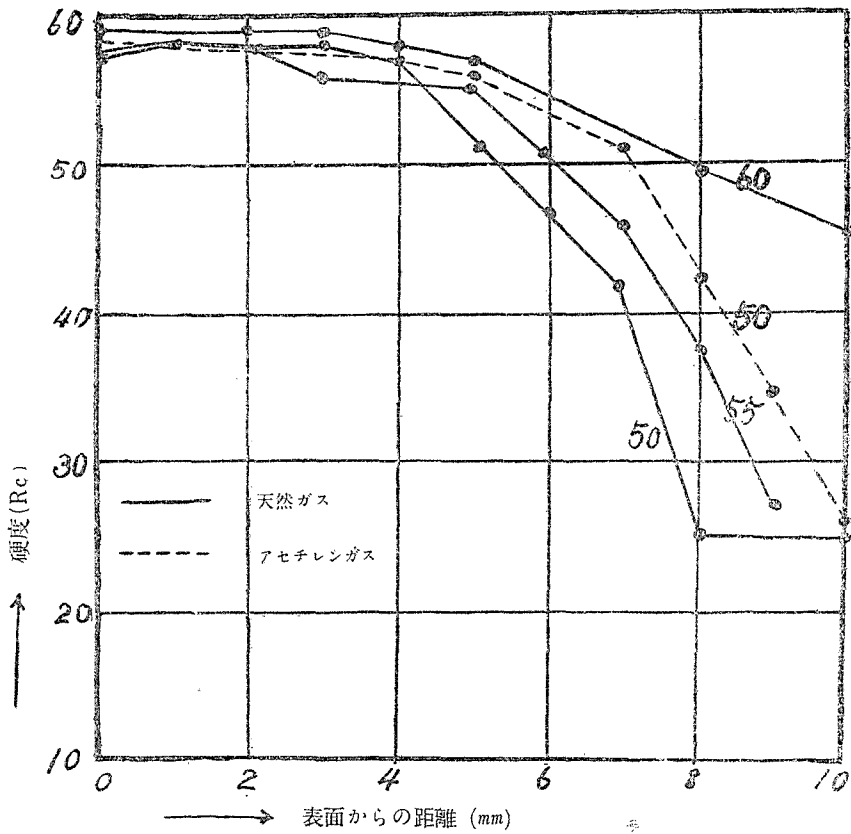
上に加熱せるものは裏面の硬度が Rc 50 以上となり全體が殆んど硬化している。45 秒以下に加熱せる硬度曲線を見るとアセチレンに比して、天然ガスは5秒間長く加熱すると非常に近似した曲線が得られて、硬化層の深さも殆んど同じであつた。そして硬化層と硬化せざる部分(處理前の硬度を示す部分)との中間の、次第に硬度の降下する部分(中間層と呼ぶ)は前記の如く Ac_1 と Ac_3 の間に加熱せられて、トルースタイト組織を示す部分がある。此の層は加熱時間



第11図-1 硬度分布 (試料15mm)

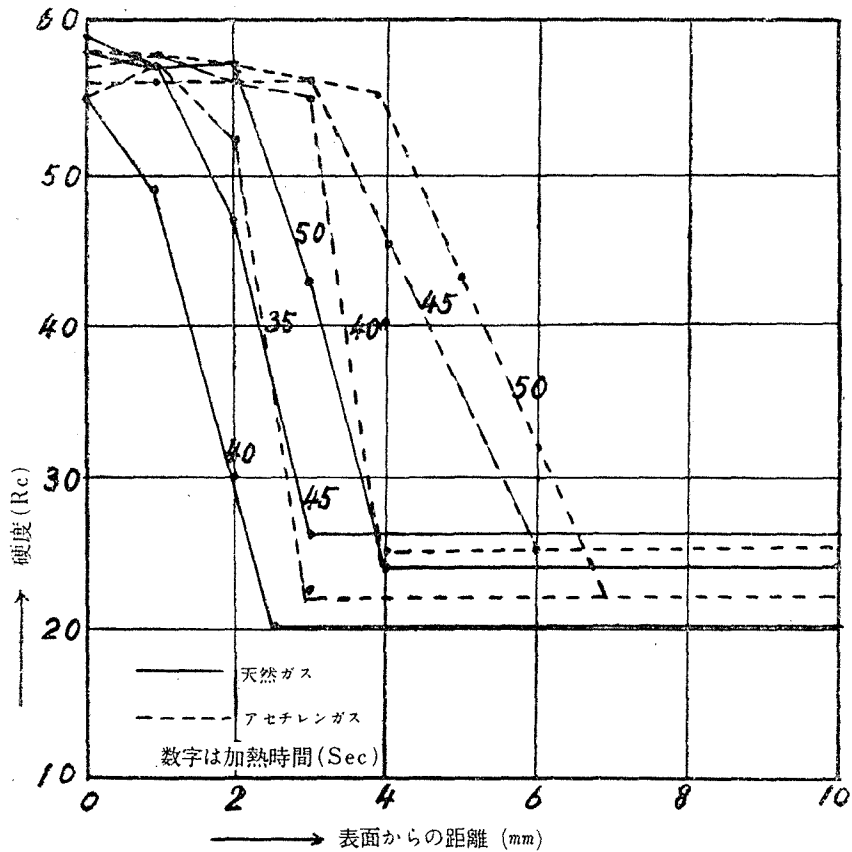
が増してもその厚さは餘り大きく變つておらないことは Langebeck¹⁾ の報告と符合している。又 25 秒, 30 秒等の短時間の加熱でも第 8 圖より判る如く、兩ガス共に表面溫度が 800°C 付近であるので、Rc 55 以上の焼入硬化層を得ている。

15 耗の試料に就いては第 11 圖の如く長時間の加熱に依つても表面より 10 耗迄硬化する様なことはない。そして中間層は 10 耗の試料よりかなり厚くなつたことは溫度分布曲線より



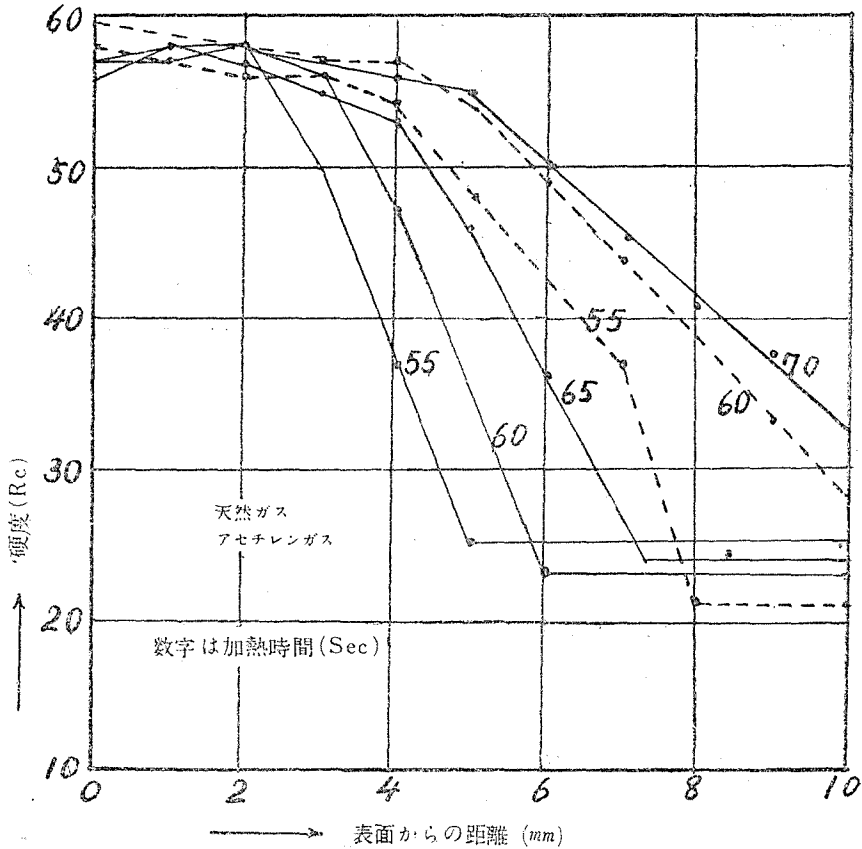
第11図-2 硬度分布 (試料15mm)

も豫想される事である。アセチレンにて 30 秒, 天然ガスにて 35 秒の加熱では表面硬度が低く表われて來ているのは第 2 表の如く表面温度が $760\sim 790^{\circ}$ にて辛うじて A_c 變態點の付近であるので短時間の加熱では充分にオーステナイト化しないためであろうと考える。



第12図-1 硬度分布 (試料20mm)

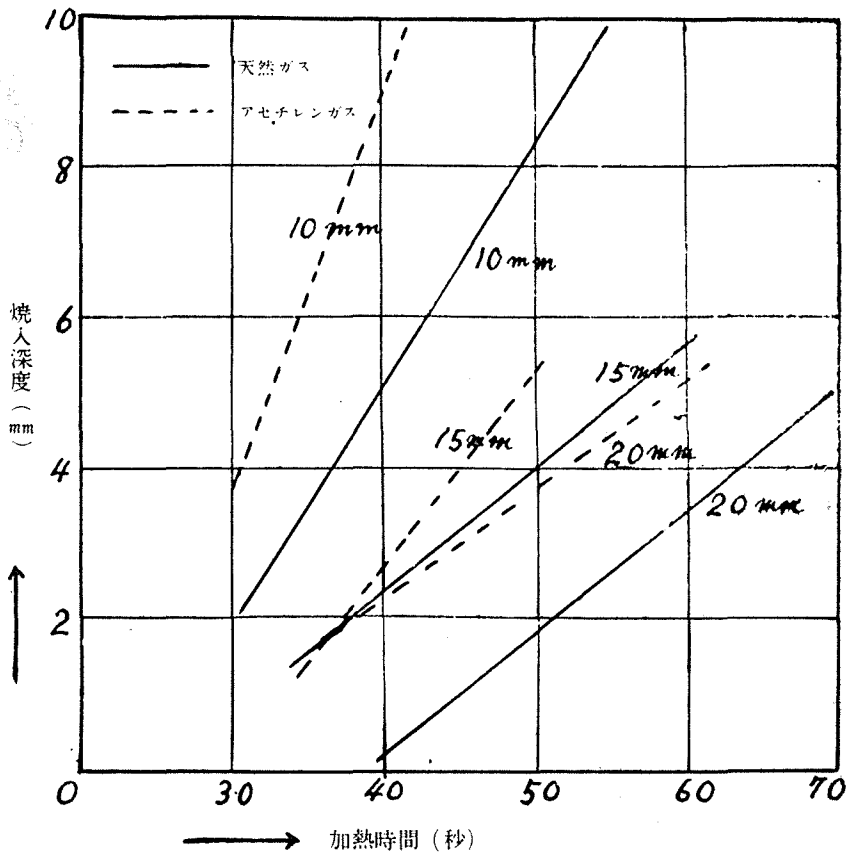
、20 耗の試料では長い加熱を行つても表面硬化層も又、中間層も前二者に比して薄くなつて
 いるのはその内部への傳熱が大にて充分の加熱の行えなかつたことを示している。そして 40
 秒という短い加熱時間では天然ガスに依り辛うじて表面が Ac_3 以上となつているために非常
 に薄い硬化層を示している。天然ガスとアセチレンと比較すると同一硬化状態を得るには天然



第12図-2 硬度分布 (試料20mm)

ガスは 10~15 秒間長く加熱することを要している。

一般に温度分布曲線より豫想される表面硬化の深さは硬度、曲線の示すものと大體同じであつたが、中間層は硬度曲線の示すものの方が厚く表われている。之は温度はその瞬間のものを測定しているのに対し、硬度試料は一定時間が加熱後焔を離れて急冷される迄の非常に短い間でも内部へ熱が移行して、温度測定時より内部の温度が高くなつてゐるためと考えられる。

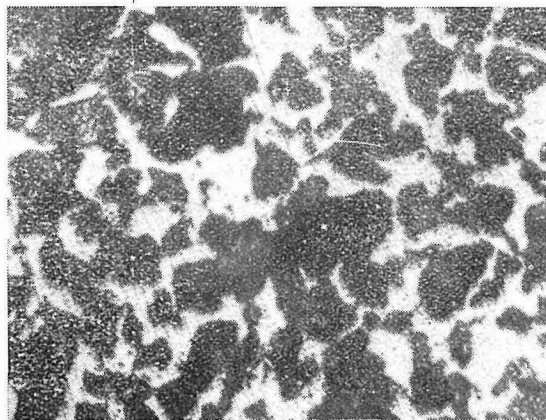
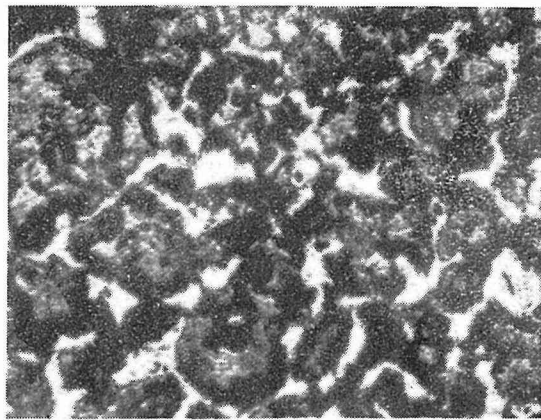
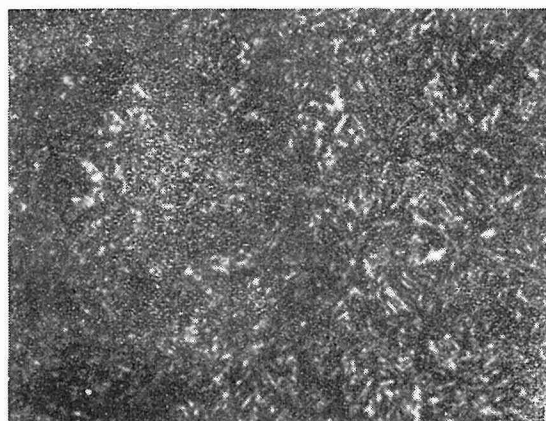
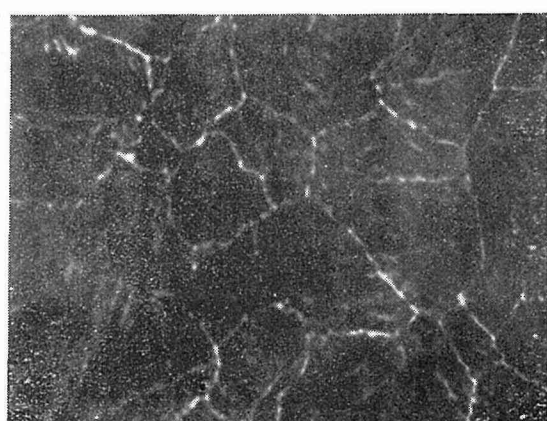
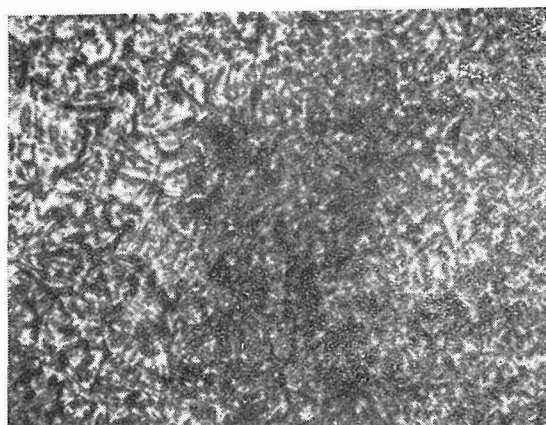


第13図 焼入深度 (Rc 55以上) と加熱時間

第4表の硬化層の深さと加熱時間の関係を圖示すると第13圖となり第9圖と同じ様な傾向を示した。

そして天然ガスはアセチレンより短い試料で5秒長い試料で10~15秒長く加熱することに依り硬度分布は殆んど同じとなることを知った。

(3) 顕微鏡組織に就いて 15 耗の試料に就いて、天然ガスにて45秒加熱せるものの顕微鏡組織を寫眞 ABCD に示す。A は焼準組織であつて BCD は表面焼入せる組織で B は試料表面で Rc 58 を示し、完全にマルテン化している。C は表面より4耗の深さの Rc 50 を示す部分でマルテンサイトとトルースタイトが見られる。そのトルースタイトは焼入直前に Ac_1 直上に加熱された低炭素オーステナイトの部分と考えられる。D は表面より5耗の Rc 43 を示す部分で未變態のフェライトとトルースタイトの生成が見られて、 Ac_1 - Ac_3 の中間の温度に加熱された部分である。又アセチレンにて加熱焼入せる試料の表面組織は寫眞 E の如くでセメントイトの網が見られて、明らかに滲炭されており、その深さは非常に薄く (0.2~0.3 耗) であつた。しかるに天然ガスで加熱せられた試料の表面は脱炭も滲炭も見られなかつた。

写真 (A) $\times 500$ 写真 (D) $\times 500$ 写真 (B) $\times 500$ 写真 (E) $\times 500$ 写真 (C) $\times 500$

以上本實驗の目的とする天然ガスに依る表面焼入はアセチレンより多少劣るが、硬度曲線組織より見ても充分利用され得ることが分つた。

總 括

(1) 加熱ガス焰が一定となつた後、バーナーを試料面にあて一定時間加熱後試料を水槽中に投入して焼入するという方法で實驗を行つた。試料は 0.5% C-炭素鋼で直徑 18 耗長さ 10, 15, 20 耗の圓筒試料とした。加熱時間は 25~70 秒とした。

(2) 本實驗に用いた火口では試料面までの距離は逆火しない最短距離として 12 耗とした。

(3) アセチレン酸素の混合比は 1:2, 天然ガス-酸素は 1:3 とした。

(4) 試料の表面より 1, 2, 3, 4, 5 耗の深さの溫度を測定して、溫度分布曲線を作り、焼入深度を豫想した。又アセチレンに對し天然ガスは試料の長さ 10 耗では 3~4 秒 15 耗では 5 秒, 20 耗では 6~8 秒長く加熱すると同様の溫度分布を得られた。

(5) 表面焼入後の試料の縦断面に就いて、硬度分布を測定した。Rc 55 以上の層の厚みは溫度分布曲線より豫想されるものと同じであつたが、中間層は溫度分布曲線より豫想されるものより厚くなつた。

(6) 天然ガスはアセチレンより 5~10 秒長く加熱するならば同様の硬化を得られることが分つた。又試料が大きくなると兩ガスの加熱能力の差が判然と表われて来る。

(7) 一般に火焰焼入はアセチレンガスを用いているが北海道産の良質の天然ガスを利用して、充分表面焼入に利用し得ることを知つた。

本實驗を行うに當り北大教授兼北海道工業試驗場機械金屬部長萩原巖博士の御指導を深く感謝致します。又實驗に熱心に協力して頂いた吉井照明君に對し謝意を表します。なお本實驗の費用の一部は文部省科學研究助成金に依つた。

文 献

- | | | | | |
|--------------------------------|-------------|-------|-------|---------|
| 1) H. H. Langebeck. | Weld. Jour. | 1938 | Sept. | 28~32 |
| 2) J. T. Howatt. | „ „ „ | „ „ „ | Jan. | 23~25 |
| 3) O. M. Harrelson. | „ „ „ | 1947 | Sept. | 771~775 |
| 4) C. E. MacQuigg. | „ „ „ | 1939 | Jun. | 341~348 |
| 5) J. H. Zimmerman. | „ „ „ | 1940 | Feb. | 104~108 |
| 6) J. Erler. P. H. Tomblinson. | „ „ „ | 1940 | Oct. | 705~709 |
| 7) S. Smith. | „ „ „ | 1943 | Jan. | 21~23 |
| „ „ „ | „ „ „ | „ „ „ | Nov. | 911~919 |
| 8) R. H. Zeilman. | „ „ „ | 1940 | Oct. | 746~749 |
| 9) A. L. Hartley. | „ „ „ | 1941 | Oct. | 678~686 |
| 10) B. W. Covell. | „ „ „ | 1947 | Oct. | 918~922 |