

## 論 文

UDC 669.14.018.252.3 : 621.785.6.062.5

## ガス雰囲気による高速度工具鋼の熱処理に関する研究\*

小 川 喜 代 一\*\*

## A Study of the Heat Treatment of High Speed Steel with Gas Atmosphere

Kiyokazu OGAWA

## Synopsis:

This study deals with the gas atmosphere heat treatment of high speed steel.

The hardening of the high speed steel is made at the temperature of 1 200°C or above, during which the gas of the proper nature forming the atmosphere is worked into, and the hardening and weak carburization are affected simultaneously, and thus the hardness of the steel surface is brought upward, which is the objective.

In order to improve the machinability and durability, efforts have been exerted in America and European countries of late to increase the carbon contents of various kinds of standardized steels, and the effectiveness of the efforts is being recognized. However, this way of thinking, viewed from the points of the equilibrium diagram of steel and of the technical practice, may have narrow limits. This study aims at the rise of the hardness by means of letting the gas atmosphere react and weak carburization take place at the time of hardening.

First of all, selection of the proper gas atmosphere was made going through preliminary experiments of extensive coverage. As a result, it is established that the carburization mechanism at a high temperature of 1 200°C and above, entirely unlike the reaction at or around 930°C that is usually employed functions the other way, and the following result was obtained:

- (i) The  $C_nH_m$  family gas or its mixture that is usually adopted to form the gas atmosphere does not meet the requirement.
- (ii) It is confirmed that the gas atmosphere of weak carburization trend formed with the  $CO+N_2$  family is suitable for the purpose.
- (iii) As had been expected, the surface hardness of the high speed steel of Hrc 66-67.5 was obtained.

(Received Feb. 9, 1972)

## 1. 緒 言

この研究は、切削工具の代表的鋼種である高速度工具鋼の熱処理に関し、その焼入れ、焼もどしの際に雰囲気ガスを反応させ、被処理鋼の表面硬さの向上を計つたものである。

従来、高速度工具鋼の焼入れは、各国とも塩浴処理が採用されているが、本研究では焼入加熱の際、弱浸炭性雰囲気ガスを反応させて、焼入れと同時に鋼の表面硬さを上昇させることを主目的としたものであり、高速度工具鋼の雰囲気処理に関する研究はきわめて少ない。

研究の内容は、まず目的に添う適正ガス雰囲気の究明であるが、これには次のような因子が考察され、さらにこれを検討すべきであろう。1 200°C 以上の高い焼入温度を必要とする鋼と、雰囲気ガスの物理化学的反應につ

いては、従来の浸炭反応などでは予測し難い著しく異なつた傾向が見られるであろうこと、弱浸炭性雰囲気ガスによる顕著な高温度での浸炭機構、この温度における被処理鋼と雰囲気ガスの炭素平衡、また適性雰囲気ガスが得られた場合も、これによつて高速度工具鋼表面硬さが、どの程度向上しうるものかなどについて吟味することとした。なおこの研究は、適性な表面硬さの上昇が得られた場合、これが切削工具としての切削性、耐久性にどのような影響をおよぼすかを究明することが究極の目的である。しかし本稿は、その第1報として、上述した高温度における弱浸炭性反応およびその機構、あるいはこれによる表面硬さの上昇など、熱処理面の問題について述べることにした。

\* 昭和47年2月9日受付

\*\* 関東学院大学工学部 工博

## 2. 高速度工具鋼に関する欧米の傾向と 本研究の意義

切削工具としての高速度工具鋼が、よく切れてその切削性を向上すれば、比例的に加工能率を増大するが、この問題は単に生産性の向上のみでなく、次の現象を伴うことが知られている<sup>1)</sup>。切削性が優ると→被加工物の寸法精度、仕上面あらさの改善となり→加工応力が軽減され、熱処理歪も減少する→熱処理後の研削代が僅少となつて、品質的にも経済的にも優れた工具となる。近時欧米における高速度鋼の変遷は、この重要因子である切削性、耐久性などを考慮した結果と考えられるが、その傾向を次のように要約できる。

米国、1969年、AISI Product, Manual などにも明らかのように、その規格鋼は、Mo系4種類、W系3種類が廃止され、新しくM40系6種類が追加されて、いずれも高い硬さの得られるものが求められている。西独においても同様で、1969年 Stahl-Eisen, Werkstoffblatt 320 Edltion などに示されるとおりで、数年にわたつて各鋼種のC%を漸増し、さらに焼入、焼戻温度を共に低温側に移行させている。従来、高速度鋼硬さは、一般にHrC 62~64程度とされたものが、現状では各国ともHrC 65~67が要求される傾向となつている。

西独 D. E. W の Dr. G. HOCH\*は、AISI M2 (JIS SKH9) の炭素量を増し、最大1.05%Cとしてその切削性の向上を認めており、米国 Latrobe Steel の Dr. FLETCHER\* も、高速度工具鋼硬さが従来に比べ HrC 1~2の上昇により、効果の著しいことを確認している。

しかし高速度鋼に限らず一般鋼の機械的性質は、鋼の強さ、硬さの増大は、逆に鋼の靱性の低下をも意味するもので、当然応用面からの適正硬さが存在するはずである。たとえば STORA (SWEDEN) の Dr. P. HELLMAN\* が、AISI 40 シリーズにおける HrC 67 以上の著しい硬さを negative とするもの、靱性の減退を考慮されたためと思う。いずれにしても、上述のより高い硬さが高速度工具鋼に望まれる場合、従来の化学組成の上から単に炭素量のみを増大することは、平衡状態図的考えからも、技術的にも狭い限度のあることと考える。

本研究は、上述各国の傾向と同一目的であるが、その焼入時に雰囲気ガスを調整して、被処理鋼との炭素平衡を求め、さらにこれを弱浸炭性として表面硬さを増大させたものである。実験では、これに適応する金属組織、浸炭機構そのほかを検討した。

Table 1. Chemical composition of specimen.

Mark	C	Cr	W	Mo	V	Co
A (AISI M <sub>2</sub> )	0.87	4.18	6.00	4.83	1.86	—
B (AISI M <sub>7</sub> )	1.01	3.75	1.75	8.75	2.00	—
C (W-contained)	0.81	4.24	15.39	—	1.90	10.15

Table 2. Chemical composition of gas atmosphere.

Atmosphere number	CO %	H <sub>2</sub> %	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	N <sub>2</sub> %	Dew point °C
1	23	31	2	remains	-15
2	23	31	—	〃	-7
3	40	—	—	〃	-33
4	30	—	—	〃	-35
5	20	—	—	〃	-38
6	10	—	—	〃	-40

## 3. 実験方法とその考え方

高速度工具鋼の焼入温度は、1200°C以上の高温であるため、これに適用するガス雰囲気中の反応は、きわめて短時間でも被処理鋼に対し顕著な影響をおよぼし、また微量な雰囲気変化によつても著しい脱炭、浸炭作用を行なうものと推測する。本稿では前述のような理由から高速度工具鋼表面硬さを HrC 67 程度とすることにつとめた。

実験に供した高速度鋼試料は Table 1 に示した AISI M2 (JIS SKH9)、AISI M7(2-9-2) 高速度工具鋼の3種類とした。試料の選定に関してはあまり大きな意義はなく、Mo系としてわが国ならびに欧州で最も普遍的に用いられている SKH 9 と、現在米国で最も多量に採用されている 9%Mo の M7、それにW系の1種を選んだにすぎない。しかしこれら合金元素の性質、添加量などは、当然浸炭反応には影響をおよぼすはずである<sup>2)</sup>。試料寸法は、いずれも 10 mm φ × 25 mm L として用いた。

雰囲気ガスの性質に関しては、始め広範囲に予備実験を行ない、多くの炭化水素系ガスならびにこれら各種の混合ガスについて実験したが、予想と相違して、いずれも本研究の主旨に反するものが多かつた。Table 2 は、予備実験の結果から抜き出したものでこの研究における代表的な雰囲気ガス組成を示した。No 1 は C<sub>4</sub>H<sub>10</sub> を吸熱型変成炉で変成した RX ガスに、C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> を増炭したもの、No 2 は RX ガスのみ、No 3~6 は、ボンベ入り CO を N<sub>2</sub> によつておのおの希釈したガスを用いてみたものである。各種ガスのその高い熱処理温度における露点 (D.P.) は Table に付記したとおりである。

\* 1971年3~4月、直接に筆者面談によるもの

Table 3. Heat Treatment conditions for the three types of steels.

Specimen number	Heat treatment	Atmosphere number
A	850°C→1 210°C (15')→OQ →550°C temper.	1 2 3 4 5 6
B	850°C→1 210°C (15')→OQ →550°C temper.	3 4 5 6
C	870°C→1 280°C (15')→OQ →570°C temper.	2 3 4 5 6

Table 3は、各種高速度工具鋼と、その鋼種に用いた雰囲気ガスの関連を示したもので、各鋼種の焼入れ、焼戻し温度は、それぞれ適正と考えられる処理条件を定めた。なお焼戻し処理は、おのおの定めた温度に40 min、30 minの2回としたが、不足の場合もあり、ことにCOを含むものなど、焼もどしを繰り返したものもあつた。焼入れ時の保持時間は予備実験の結果から定めたが、一般に熱容量の大きい塩浴処理に比較すると、より長い保持時間が必要とされた。

なお先に述べたように、高速度工具鋼の焼入れは、現在、中性塩浴処理が一般に施されている。したがつて本研究による鋼の熱処理硬さは、同一条件下で施した塩浴処理による値を標準とし、これと比較検討することとした。塩浴組成はBaCl<sub>2</sub>であつて、溶融前にこれを150~160°Cで十分乾燥後<sup>9)</sup>に用いている。

Fig. 1は、実験装置の概要を示すもので、シリコニット管状炉を用い、鋼材試料はボート上に乗せ、適正時間保持後油焼入れした。雰囲気ガスの供給は図のように、RXガスまたはCOを、他よりC<sub>3</sub>H<sub>8</sub>の増炭用あるいはN<sub>2</sub>をそれぞれ流量計を通じて送入了。また焼戻し炉を別に用い、N<sub>2</sub>中で行なつた。熱処理後の試料は、顕微鏡試験、硬さ分布、重量増減率などを検討した。

#### 4. 実験結果

##### 4.1 高温処理における鋼と、雰囲気ガスの反応

前節で述べたように予備実験ではC<sub>n</sub>H<sub>m</sub>系またはこれらの各種混合ガスを用いてみた。一般に通常行なわれるガス浸炭法では、周知のようにRXガスにC<sub>n</sub>H<sub>m</sub>系を増炭し、930°C前後で浸炭が施されている。しかし雰囲気ガスと被処理鋼の反応は、処理の温度によつて著しく相違するものであつて、雰囲気ガスの分解速度、浸炭性原子状ガスが鋼への吸着拡散速度、鋼表面に生じた炭素が鋼中心部への拡散速度、あるいは被処理鋼の合金元素の性質と浸炭性など、これら因子の相互作用が、適

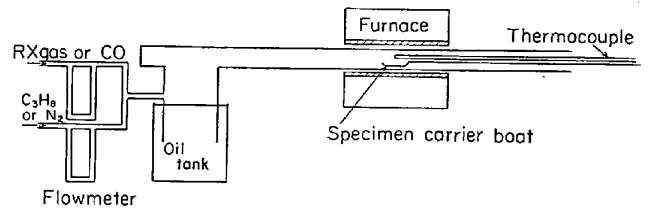
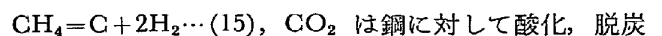


Fig. 1. Experimental apparatus.

性な規制内で保たれた場合にのみ合理的な浸炭作用が行なわれるものであり、そのいずれかが不平衡の場合は何らかの欠陥を伴う。この研究は高速度工具鋼(Cr, Mo, W, Vなどを含む)に対する1200°C以上の高温反応であつて、雰囲気ガスの分解、拡散速度など顕著なものが予測される。なお通常930°C前後で行なう浸炭作用においても、これら混合ガス中の残留水分、再生水分、CO<sub>2</sub>などの酸化性物質を完全に除去することは不可能であつて、事実これらの値が0.5%以上におよぶと煤化作用(Sooting)を生じ浸炭作用を不満足のものとするが、1200°C以上の高温で生成されるこれら酸化性気体の反応はさらに著しいものと考えられ、すこぶる複雑な現象を呈するはずである。

一般に原子状炭素の析出は次のように考えられている<sup>4)</sup>。2CO=[C]+CO<sub>2</sub>…(1), CO+H<sub>2</sub>=[C]+H<sub>2</sub>O…(2), Methane·CH<sub>4</sub>=[C]+2H<sub>2</sub>…(3), Ethane·C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>=[C]+CH<sub>4</sub>+H<sub>2</sub>…(4), Propane·C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>=[C]+C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>+H<sub>2</sub>…(5), またこれらの反応に伴つて、次のような副反応を生ずる。H<sub>2</sub>+CO<sub>2</sub>=CO+H<sub>2</sub>O…(6), CH<sub>4</sub>+CO<sub>2</sub>=2CO+2H<sub>2</sub>…(7), CH<sub>4</sub>+H<sub>2</sub>O=CO+3H<sub>2</sub>…(8), なお(1), (2)および(3)によつて生ずる原子状炭素[C]が、鋼に接触して浸炭する場合の反応は次のように認められている。Fe+2CO=[Fe-C]+CO<sub>2</sub>…(9), Fe+CO+H<sub>2</sub>=[Fe-C]+2H<sub>2</sub>O…(10), Fe+CH<sub>4</sub>=[Fe-C]+2H<sub>2</sub>…(11), ここで[Fe-C]とは、オーステナイト(γ)の状態を示すものである。

さらに、各種ガスの性質が鋼におよぼす反応をあげると、たとえばH<sub>2</sub>は浸炭に関して触媒的にも働くが、これに若干の水分を含む場合は<sup>5)6)</sup>、鋼中のCと作用し、CH<sub>4</sub>を生じて脱炭する場合もある。H<sub>2</sub>Oは鉄と反応して次のような脱炭作用を生ずる。Fe+H<sub>2</sub>O=FeO+H<sub>2</sub>…(12), 3Fe+4H<sub>2</sub>O=Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>+4H<sub>2</sub>…(13), [C]Fe+H<sub>2</sub>O=CO+2H<sub>2</sub>…(14), 高温におけるCH<sub>4</sub>は(11)を書き改めればγ-Fe+CH<sub>4</sub>=[C]γ+2H<sub>2</sub>となるが、このものは高温においては不安定で、次式のように分解して煤を析出する。



性に働く。  $Fe+CO_2=FeO+4CO\cdots(16)$ ,  $3Fe+4CO_2=Fe_2O_3+4CO\cdots(17)$ ,  $[C]Fe+CO_2=2CO\cdots(18)$ , 以上のように個々のガス性質が被処理鋼におよぼす影響は多岐にわたるが、著しい高温においてこれらが重畳作用するもので、この場合は、さらに複雑な現象となる。

#### 4.2 Mo 系高速度鋼の結果

Photo. 1 (A-1)は、鋼種番号Aの SKH9 に、雰囲気番号 No 1 の富化増炭ガス中で焼入れされたもので、写真では不明であるが、表面層は相当量煤化され、組織上では明らかな脱炭層を生じている。Photo. 2は、これをさらに定められた  $N_2$  中で焼戻した組織を示したが、脱炭層は一層拡散されている。このガス組成は、この実験における最も強浸炭性雰囲気ガスであるが、きわめて短時間内に鋼表面層は煤化され、この煤によつて浸炭性が阻害されたためであり、一方鋼中のCは外部へ拡散するなどによつて脱炭層を生じたものと考えられる。

一般に、鋼の雰囲気処理において被処理鋼の表面のみを美しく保持することは容易であり、Ar,  $N_2$  などの乾燥雰囲気中の処理によつてなされるが、被処理鋼の炭素量 0.6% C 以上においては明らかな脱炭層を生成する。

すなわち鋼と、雰囲気ガスとの炭素平衡が問題であつてこの現象は他の研究においても筆者は常に経験してい

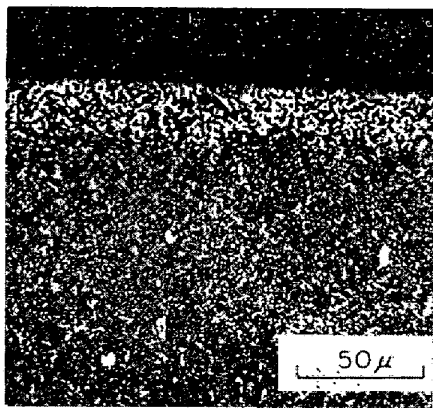


Photo. 1. A-1 As Quench (M2 RXgas+enrich)

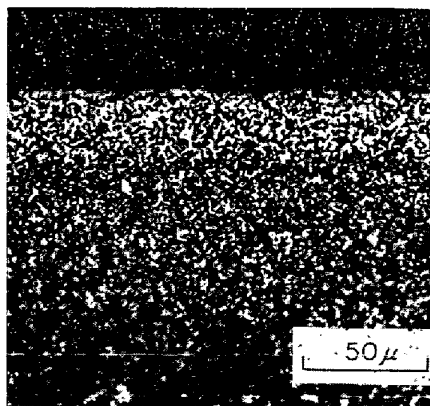


Photo. 2. A-1 Tempering (M2 RXgas+enrich)

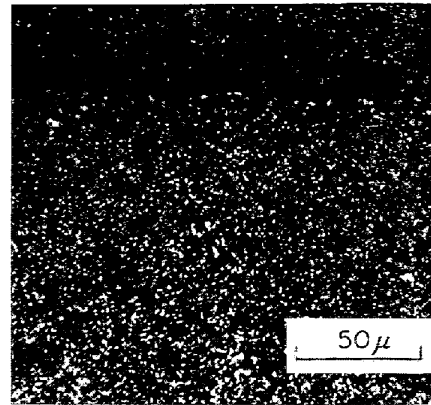


Photo. 3. A-2 Tempering (M2 RXgas)

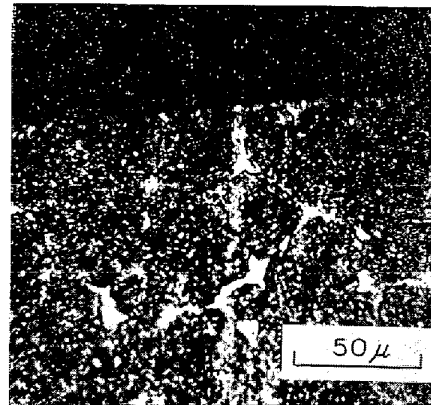


Photo. 4. A-3 Tempering (M2 CO 40%+N<sub>2</sub>)

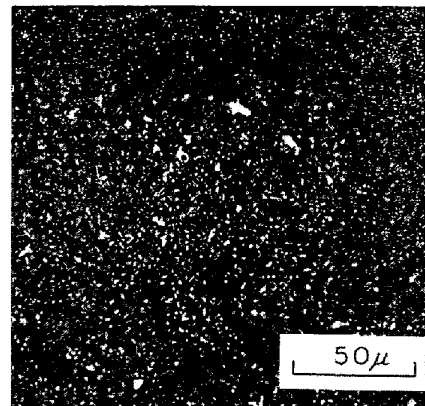


Photo. 5. A-4 As Quench (M2 CO 30%+N<sub>2</sub>)

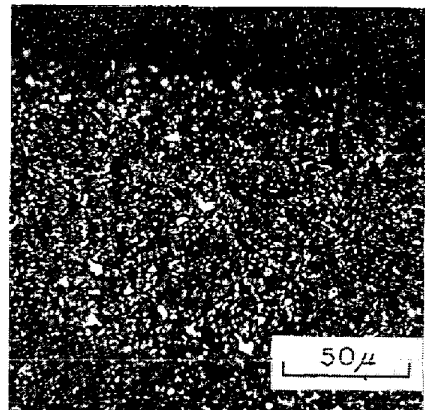


Photo. 6. A-4 Tempering (M2 CO 30%+N<sub>2</sub>)



Photo. 7. A-5 As quench (M2 CO 20%+N<sub>2</sub>)

る。しかもこの現象は、その処理温度が重要因子であつて、本研究の条件とされる著しい高温反応においてはとくに顕著である。

Photo. 3 (A-2) は、SKH9 に雰囲気 No 2 の RX ガスを作用させ、焼入れ、焼もどしした後の組織であり、写真では判然としないが、表面層に煤化を生じ、他の硬さ試験の結果からも著しい硬さは得られない。Photo. 4 (A-3) は、SKH9 を CO40%+N<sub>2</sub> の雰囲気中で焼入れし、焼戻し後の組織を示したが、僅かながら浸炭傾向が認められる。Photo. 5 (A-4)、Photo. 6 (A-4) は、被処理鋼 SKH9 に対し、CO30%+N<sub>2</sub> 中で焼入れしたもの、またさらに焼もどし後の組織例であるが、いずれも最表面層に浸炭組織を生じ、硬さ測定によると表面硬さが高い。Photo. 7 は、同一鋼種を、CO20%+N<sub>2</sub> 雰囲気による焼入組織であつて、浸炭組織としてはきわめて微量に表示されるのみであるが、硬さ試験の結果からは明らかに浸炭作用が確認される。なおCO10%+N<sub>2</sub> は組織上不明確のため示さなかつたが、硬さ分布を検討すると、通常塩浴処理によるものよりは、わずかに高い傾向を示すことを知つた。

以上は、いずれも鋼種 A の SKH9 に関する結果であるが、鋼種 B の AISI M7 の場合も雰囲気ガスとの反応は、まったく同傾向である。しかし SKH9 に比較すると、同一雰囲気ガス処理に対し、少しく浸炭性が弱性的ように見受けられた。その理由には種々考えられるが、M7 は素地炭素量が前者より高いこと、Cr、W などの含有量が少ないことによるものと思われる。

これらの結果から、筆者の表現する炭素平衡とは、Mo 系高速度鋼の処理雰囲気として、この研究においては、No 5 または No 6 程度と推考する。一例を別に示すと熱処理後の SKH9 の、表面層を 1mm 厚さに切削しその切削片を化学分析したが、これによる炭素量は、0.9%C、0.85%C、0.92%C などの値が得られた。

Photo. 8, 9 は Mo 系高速度工具鋼 M7(2-9-2) の例であつて、CO20%N<sub>2</sub> にはわずかな浸炭層と思われるものが見られ CO10%N<sub>2</sub> はあまり明確ではないが、結晶粒が微細化されている。

#### 4.3 W系高速度鋼の結果

この研究では、W系高速度鋼として鋼種番号 C を任意に選んでみた。Photo. 10 (C-2) は、W 系鋼種に雰囲気 No 2 の RX ガスを作用させ、焼入れした場合の表面組織を示したが、写真の示すように明らかな脱炭層が見受

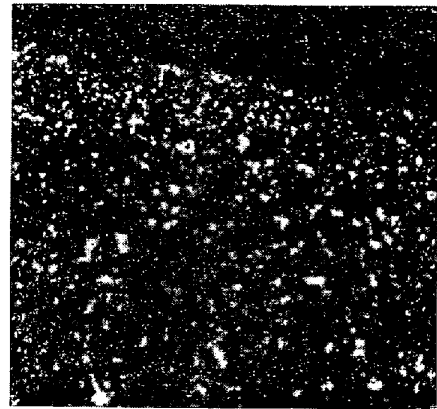


Photo. 8. B-5 Tempering (M7 CO 20%+N<sub>2</sub>)

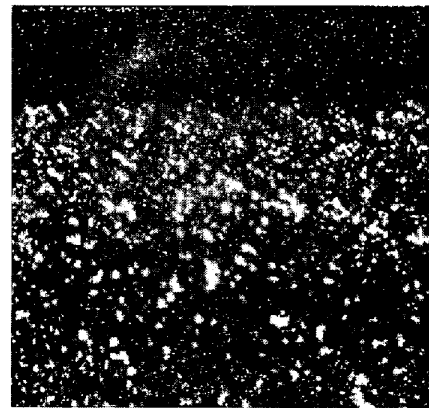


Photo. 9. B-6 Tempering (M7 CO 10%+N<sub>2</sub>)

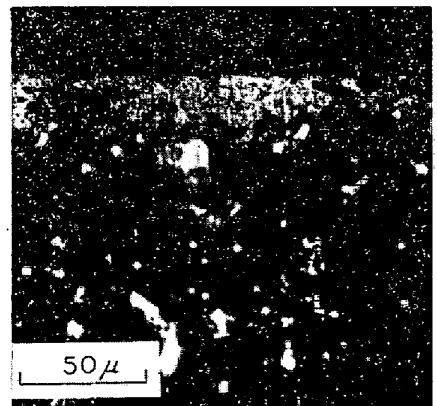


Photo. 10. C-2 As quench (W-System RXgas)

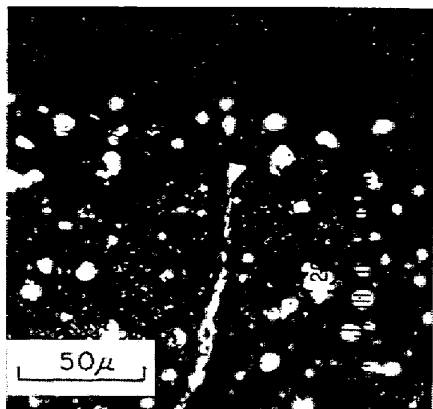


Photo. 11. C-2 Tempering (W-System, RX gas)

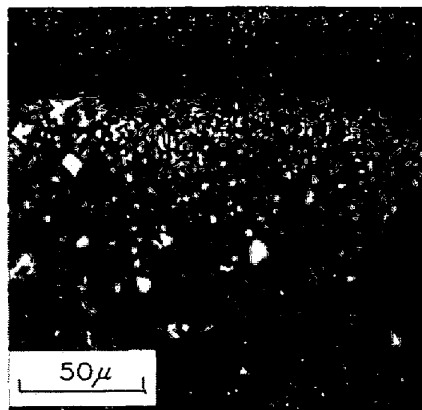


Photo. 14. C-4 As quench  
(W-System CO 30% + N<sub>2</sub>)

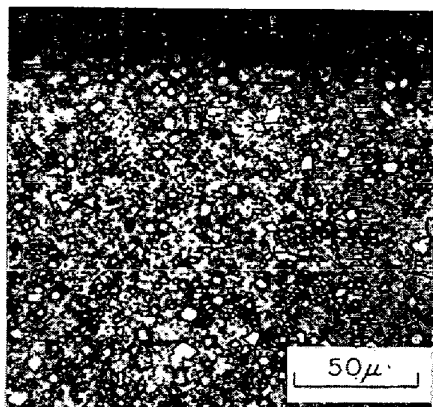


Photo. 12. C-3 As quench  
(W-System CO 40% + N<sub>2</sub>)

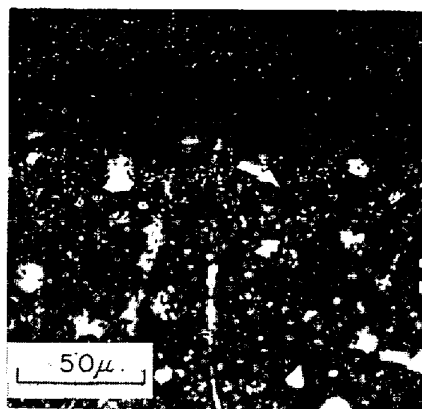


Photo. 15. C-4 Tempering  
(W-System CO 30% + N<sub>2</sub>)

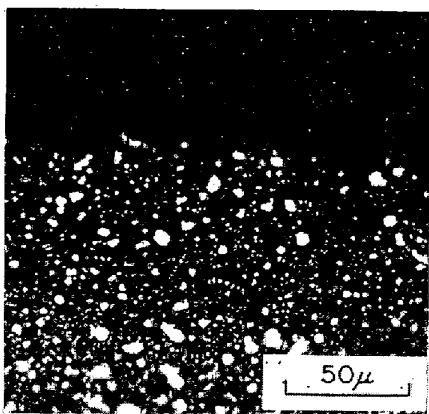


Photo. 13. C-3 Tempering  
(W-System CO 40% + N<sub>2</sub>)

けられた。なおこの傾向は雰囲気 No 1 の増炭ガスの場合もまったく同様であつた。すなわち鋼表面層に相当量の煤化を生ずるもので、これが大きな原因と考える。Photo. 11 (C-2) は、同上試料を焼もどした際の組織であるが、この場合は鋼表面が粗となり、荒い表面層を生じた。つまり焼入れによつて生じた脱炭層はその後の焼もどしそのほかの取り扱いによつて酸化され、酸化物として脱落したものと考えられる。この現象は、中性塩浴によつて高速度鋼を熱処理した研究においても、筆者

はたびたび経験したところであるが<sup>20)</sup>、いつたん生成された脱炭層は、微量の酸化性雰囲気によつて健全な matrix と異なりきわめて迅速に酸化作用を行なうものである。この実験の場合も、雰囲気ガスにより活発な浸炭作用を受けるが、直ちに煤化されて、拡散恒数の大きい高温処理では逆に脱炭層を生ずる。しかもこのものは後の焼もどしその他による微量酸化性雰囲気によつて迅速に酸化され、取り扱いその他によつて脱落した部分を生じたものとする。なおこの現象は、鋼種によつても多少異なるもので、合金元素に Mo を含まない W 系の高速度鋼は、前者に比較して結晶粒度が大きく、matrix に靱性を欠くことなども一因子と考えられる。

Photo. 12 (C-3) は、CO40% + N<sub>2</sub> による焼入組織、Photo. 13 (C-3) は、さらにこれを焼もどした際の組織を示したが、このものは組織上明らかでないが、硬さ測定によると相当深い浸炭層が認められた。Photo. 14 (C-4)、Photo. 15 (C-4) は、CO30% + N<sub>2</sub> 雰囲気ガスを作用させたもので、焼入れのみの場合も、これを焼もどしたのもわずかな浸炭組織を認めえたが、その表面には異状がない。CO20% + N<sub>2</sub> の組織も同様に浸炭層

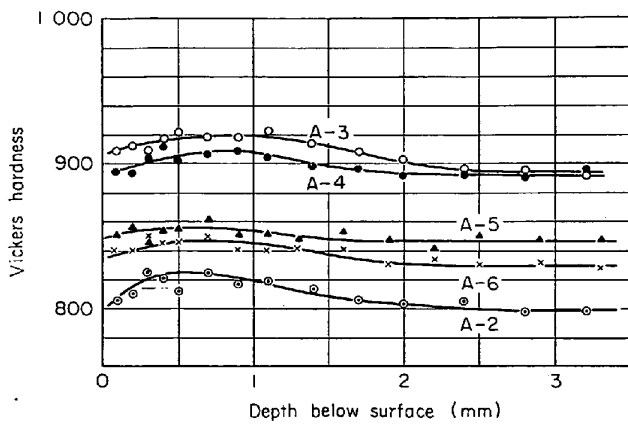


Fig. 2. Hardness distribution of Mo high speed steel (SKH9) effected by the controlled atmosphere in heat treatment.

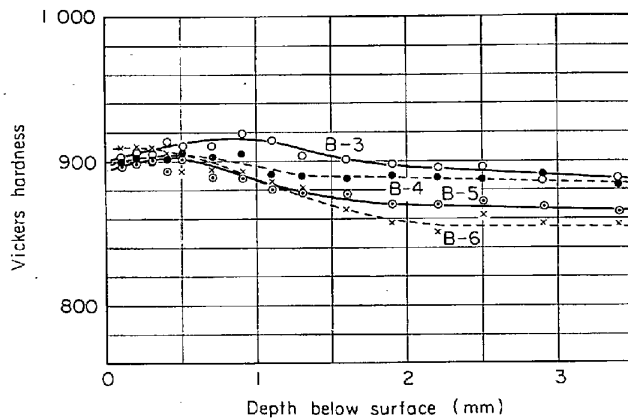


Fig. 3. Hardness distribution of high Mo high speed steel (M7) effected by the controlled atmosphere in heat treatment.

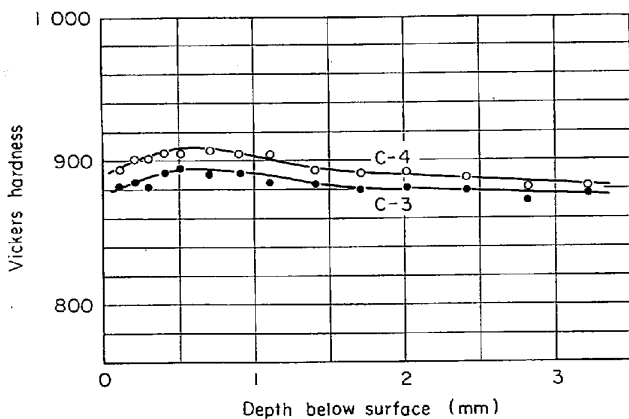


Fig. 4. Hardness distribution of W high speed steel effected by the controlled atmosphere in heat treatment.

が確認され、CO10%+N<sub>2</sub>にも硬さ分布から僅少の浸炭組織を認めうるが、これら鋼材表面はすこぶる美しい肌を示している。

W系高速度鋼における雰囲気ガスとの炭素平衡は、

No6のCO10%+N<sub>2</sub>程度と思われたが、硬さ測定によると、この場合も塩浴処理による標準値より少しく高い値を示している

#### 4.4 雰囲気処理と、鋼の硬さ分布

3種類の高速度工具鋼を、雰囲気ガス No1~6 で処理した場合の硬さ分布について一例を示してみた。Fig. 2~4 はいずれも微小硬度計により荷重1000gの結果であるが、その最表面硬度のみはHrCも併用して実測してみた。機種別の別によつて、HvとHrCは必ずしも一致しなかつたが、雰囲気ガスの相違による硬さの影響はほぼ均一に得られた。Fig. 2は、A鋼種(SKH9)の結果で、雰囲気No2(RXガス)はHv800~820(HrC64~65)、No1(RX+enrich)も同様であつて表面に脱炭層を生じて著しい硬さは得られない。雰囲気No3,4(以下CO+N<sub>2</sub>系)Hv900~920(HrC67)、No5はHv850(HrC65.5~66)、No6はHv840~850(HrC65~65.5)が示された。Fig. 3はB鋼種(AISI M7)の一例で、雰囲気No3(CO40%+N<sub>2</sub>)は、Hv900~920(HrC67)、またCO+N<sub>2</sub>系のNo4,5は表面硬さはほとんど同様で、Hv900~910(HrC67)である。Fig. 4は、C鋼種のW系で、No3,4はHv890~920(HrC67~67.5)でCO+N<sub>2</sub>系は、いずれも硬さが上昇した。Fig. 3,4におけるNo1,2は省いたが、C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>系雰囲気によるものは、多少にかかわらず脱炭層を生じ高い硬さは望めなかつた。

#### 5. 熱処理後の総括

各種高速度工具鋼を、種々の雰囲気ガス中で焼入れ、焼もどしを行なつたが、これを総括するとTable4のように示される。Tableには先に述べたように、現在高速度工具鋼焼入れとして通常採用されている中性塩浴処理による値を標準値として比較している。これによると、Mo系はいずれもHrC65.5の焼戻し硬さが得られ、W系高速度鋼は本実験における2回焼もどしの場合にはHrC64.5、さらにCo10%を含むことを考慮に入れ、焼もどし処理を繰返すとHrC65.5程度に上昇した。

雰囲気ガスを作用させた熱処理結果によると、従来雰囲気ガスとして一般的に採用されているC<sub>n</sub>H<sub>m</sub>系が主体となる場合は、逆に脱炭作用を生じて鋼の表面硬さを向上できないことを知つた。その原因には種々考へうるが、1200°C以上の高温においては煤化作用が著しくこれが浸炭作用を阻害するものであろう。CO-N<sub>2</sub>系の弱浸炭性雰囲気ガスによると、被処理鋼の表面がすこぶる美しく、適正な浸炭組織が認められた。なお本実験のような高温における浸炭作用は、本稿で定めた焼入保

Table 4. Conclusion

Specimen mark	Atmosphere number	Increase or decrease	Hardness (HRC)	
			as q.	temp.
A	(salt bath)		64.5	65.5
	1	0.2245	64	64
	2	0.0104	65	65
	3	0.0116	64	67
	4	0.0109	64	67
	5	0.0423	64	65.5
	6	0.0057	64	65
B	(salt bath)			65.5
	3	0.0705	63	66
	4	0.0710	63.5	67
	5	0.0860	63	66.5
	6	-0.0303	62.5	65
C	(salt bath)		64.5, 65.5	
	2	-0.1354	60.5	65
	3	0.0086	63	66.5
	4	0.0080	62.5	67.5
	5	0.0055	62	67
	6	0.0084	63	66.5

持時間によるも、その拡散速度が著しく大きいために、浸炭層はいずれも深く生成し、硬さ分布の実測結果によると、表面から 3 mm 程度はほぼ均一な高い硬さが得られている。本実験に用いた高速度工具鋼試料の大きさは、いずれも 10 mm  $\phi$  であつた。しかし工業面における切削工具の刃部は、工具の種類によつて異なるが、それ以下の肉厚によるものが多いと考えられる。したがつて刃部に相当深い弱浸炭性の層が得られることになり、熱処理後の研削代、または再研削代などに関しても十分な硬化層を持つものと言える。

なお被処理鋼と、雰囲気ガスにおける炭素平衡について、これを決定的に断言することは困難であるが、本実験の条件下においては、雰囲気 No 5 または No 6 程

度となろう。また、一般にこの実験条件における焼入硬さは、比較的低目に感ずるものが存在する。その主因は鋼表面が浸炭によつて増炭し、焼入れに伴う残留オーステナイトが増加するためと思う。さらに Table では鋼の熱処理前後における重量増減率を付記しているが、この数値はきわめて複雑な因子を持つもので、本節に詳述したように、特殊の状態で表面酸化物を脱落した場合、また純粹の脱炭に対しては重量減となるが、浸炭したものの、表面酸化層を保持するものなどは、いずれも重量増を示すものである。ここでは単に一因子の傾向として示したにすぎない。

## 6. む す び

最近各国の高速度工具に関する傾向は、より炭素量を増加することにより、切削性、耐久性などの向上が計られている。本研究は、これとまったく同一目的であるがその処理法とし、高速度工具の焼入時に雰囲気ガスを作用せしめたが、これによつてほぼ満足すべき結果を得ることができた。この問題の実験に当たつては、大学院学生中野成蹊君の労によるもので、ここに改めて感謝するものである。

## 文 献

- 1) 小川: 第26回工具鋼技術研究会, 1968, 7月
- 2) E. HOUDERMONT: Arch. Eisenhüttenw., 19 (1933), p. 445
- 3) 小川: 日本金属学会誌, 9(1945)6, p. 9
- 4) 河上, 内田: 日本金属学会誌, 19(1955), p. 144
- 5) 河上, 染野: 日本金属学会誌, 14(1950), p. 30
- 6) H. M. HEYN: Metal Progress, 52(1947), p. 232
- 7) 前掲2)
- 8) 小川: 日本金属学会誌, 9(1945), 1, 2