



高硬度特殊鋼板加工用工具の冶金學的研究(第1報)

(日本鐵鋼協會第 14 回講演大會講演)

伊丹榮一郎*
三浦三索*

ON THE METALLURGICAL STUDY OF THE TOOLS FOR MACHINING THE HARD SPECIAL STEEL PLATE.

Evichiro Itami and Sansaku Miura.

SYNOPSIS:—The authors studied about some kinds of tool with the object of mostly drilling and partly milling the hard special steel plate by the use of common tool machines. Most of tungsten carbide tools such as Widia which were made in the foreign or in this country, failed by the small vibration of machines, and they were thought to be uneconomical. Next, nitrided tools of *Al-Cr-Ni-Mo* steel, *Cr-Mo* steel or high speed steel, were researched. But, they also failed for drilling, however some of them promised to be usefull when further reserach should be carried on.

Finally, the authors studied on the some super-high speed steels, and the above problem was solved by the improvement of heat treating. These researches were carried out during the period from 1930 till 1931.

内 容

I. 緒 言

II. 實驗方針の要領

III. タングステン、カーバイドを主體とせるウイディア系統の工具に依る實驗。

IV. 窒素硬化法を應用せる工具に依る實驗。

- A. ドリルに對する研究。(1) 窒化用鋼材(*Al-Ni-Cr-Mo* 鋼)を窒化せる場合、(2) 窒化用鋼材(*Cr-Mo* 鋼)を窒化せる場合、(3) 高速度鋼を窒化せる場合。
B. タップに對する研究、(1) 窒化用鋼材を用ひたる場合、(2) 高速度鋼を用ひたる場合。
C. ミリング、カッターに對する研究。

V. 高級工具鋼の熱處理の改善に依る實驗

- A. *Co* 10% 高速度鋼に對する實驗、(1) 豫備實驗 (2) 實地試驗 (a) 燒戻溫度 560°C の場合 (b) 燒戻溫度 570°C の場合 (c) 燒戻溫度 580°C の場合 (d) 燒戻溫度 570°C の場合の加熱時間の詳細なる研究 (e) 燒戻に於ける加熱方法の研究。
B. *Co* 18% 高速度鋼に對する實驗 (1) 豫備實驗、(2) 實地試驗。
C. ドリルの廻轉を高速度にしたる場合の實驗、(1) 高硬度鋼板に對する實驗、(2) ブリネル硬度 600 附近の高硬度鋼板に對する實驗、(3) ケースハードせる特殊鋼板に對する實驗、(4) 高マンガン鋼に對する實驗。

VI. 總 括

參考文献

* 神戸製鋼所

I. 緒 言

一般にドリル又はカッター等の工具を製作する材料としては第1表に示すが如く、主として高炭素鋼、タングステン鋼等が用ひられ、其の高級なるものには *W* 18%, *Cr* 4% 程度を含有する高速度鋼が使用せられてゐた。最近各種機械の著しき進歩と共に夫等の構成材料も亦茲數年前を契機として驚くべき發達をなし、殊に或る用途に對する構成材料は硬度並びに抗張力甚大にして且つ強靱なる性能を具備する事を要求され、斯かる特殊の材料に對しては從來普通一般に使用されて居る工具を以てしては勿論 *Co* を含有する超高速度鋼でさへ機械加工困難で、時としては全く不可能なる場合をも生ずるに至つた。従つて古くより重工業に従事せる神戸製鋼所としては之が解決は當時緊急の問

第 1 表 普通に使用される工具鋼の成分

	C	W	Cr	V
高炭素鋼	1.1~1.3	—	—	—
タングステン鋼	1.1~1.3	0.5~2.0	—	—
高速度鋼 I	0.65~0.75	15	3.5~4.0	0.3~0.8
” II	—	17	3.5~4.0	0.3~0.8
” III	—	18以上	4.0~4.5	0.8~1.5

題であつた。著者等は此の特殊高硬度材料を機械加工し得べき工具鋼を得る目的を以て各種の實驗を行ひ、遂に現在設備され居る普通の機械によつて容易に加工し得る工具を



見出す事に成功した。當時匆忙の際充分なる實驗をなす事を得なかつたが、其の結果は冶金學的に興味あり、且つ相當の效果を得たるものと確信し得るもので、敢て茲に第1報として其の經過の概要を報告し各位の御参考に供する次第である。

II. 實驗方針の要領

特殊高硬度材料は Ni, Cr 其他の特殊元素を含有し熱處理を施したもので、ブリネル硬度 500 以上 680 を呈する特殊鋼板で、之を従來使用せる普通のボール盤を以て穿孔する事は頗る至難であつた。著者等は現在の機械設備に於て、主として此の穿孔問題を解決せんがために先づ三通りの方針を樹て研究を進める事にした。即ち

(1) タングステン・カーバイドを主體とせるウィディア系統の工具に依る實驗。

(2) 窒素硬化法を應用せる工具に依る實驗。

(3) 高級工具鋼の熱處理の改善に依る實驗。
である。

III. タングステン・カーバイドを主體とせるウィディア系統の工具に依る實驗

タングステン・カーバイドを主成分とせる獨逸クルップ會社のウィディアは此の系統の工具材料として最も早く世に知られたもので、其の後佛國ではミラマン、米國ではカーボロイ等が造られたが、前者は材料の品質の點に於て、又工具としての設計に於て嶄然と他のものに優れて居た。我國に於てはタンガロイ、ジルタン或はハードアロイ等有名であつたが當時穿孔用工具としては未だ外國製品の如く發達して居なかつた。而して製造者の型録に依れば何れも硬度はロックウエル C スケールにて 70~75 で高硬度材料加工用として極めて適當せるものとして推奨されて居るが、之を使用すべき機械は強力且つ精密にして廻轉速度大なるを必要とし、極度に機械の振動を戒めて居る。勿論それは此等の工具材料が硬度の高き反面に於て頗る脆性を有するからである。機械が左程精確でなく、多少の振動あるものも普通の鋼材の如き軟かきものに對しては何れも相當の效果を呈する筈であるが、吾々の研究は高硬度鋼板に對して普通の機械によつて切削並びに耐久度の優秀なるものを得るを目的とするもので試験用鋼板としてブリネル硬度

520 厚さ 13mm の特殊鋼板に就てクルップのウィディア内地の某々會社(特に匿名を用ひ K.T.S. 會社及 K.S.S. 會社と名付く)製等3種の工具材料よりなるドリルに對し穿孔試験を行つた。第2表は此の實驗結果の一例を示すもので K.T.S. 會社のドリルは双先が極めて折損し易く、穿孔開始の際ドリルを軽く鋼板に押しつけたのみで双先が飛び離れ全く問題にならぬものもあつたが、他の K.S.S. 會社製のもの比較的成績良く、注意深く用心して使用する時は連続4回の穿孔後も双先に異状なく、又其のドリルを以て表面硬度ブリネル 650 のケースハードせる特殊鋼板をも約 10mm 穿孔する事を得た。然るにクルップのウィディアは豫期に反して其の成績不良であつた。

第2表 厚さ 13mm. 硬度ブリネル 520 の強韌特殊鋼板に對する W. C. 系ドリル穿孔試験結果

ドリルの名稱	形状	寸法 mm	試験成績
K.T.S. 製	ストレート	直徑 5~10	機械加工開始の際直ちに tip が縦方向に裂ける。
K.S.S. 製	ツイスト及ストレート	8~15	成績良好のものは約 40 秒で穿孔する事が出来るが、多くは穿孔の途中で tip の研磨を必要とする。
クルップ製	ツイスト	14	使用時間 2 秒後 tip 碎ける。

以上の結果より考察するに此のタングステン・カーバイド系のもは高硬度材料加工用として確かに適當のものかも知れないが、之をドリルとして使用するには双尖に於ける振動を理想的に少なくするために、先づ機械設備の改良が先決問題である。而して現在我國の諸工場に於ける工作機械は理想的に言へば其の精度充分ならず、従つて振動の相當認めらるゝもの必ずしも少からざる點に思ひ至れば此の種工具の應用は高硬度鋼板穿孔作業に關する限り、極めて非能率的で不經濟たるを免れない。最近に至りタングステン・カーバイド系でチタニットと稱する強韌性のものが輸入されるに至つたが著者等が研究を行へる當時は斯るもの未だなく(此の工具が果して經濟的に使用し得るや未だ實驗して居ない)。従つて他に適當なる方法を探究すべき必要に迫られたのであつた。

IV. 窒素硬化法を應用せる工具に依る實驗

著者の一人¹⁾は嘗て窒素硬化鋼材に對する研究を行ひ、或種のものにはヴィッカーズブリネル硬度 1,000 以上が得られ、又或種のものにはヴィッカーズブリネル硬度 800 附近なるも窒化層の深さ比較的大にして而も窒化層が韌性に富むものあるを知つた。窒化處理が硬度及び耐磨耗性を必要

とする機械並びに構造用部分品、或はゲージ、ダイス等に應用され居る事は外國の文献に依つて明かなる所である。我國に於ても小鐵重行氏²⁾が炭素鋼 Ni 鋼、Ni-Cr 鋼等に對する窒化研究を行はれたが、此の中にゲージ鋼をも含まれて居つた。併しドリル、カッター等に對する報告は當時内外の文献に發表されたるものを見なかつた。著者等は多少不安の氣持もあつたが、當時の状況に依り窒化處理がドリル及びミーリングカッター等に及ぼす影響を調査する事にした。

A. ドリルに對する研究

(1) 窒化用鋼材 (Al-Ni-Cr-Mo 鋼) を窒化せる場合 窒化鋼として最も高き硬度を得らるゝ Al-Ni-Cr-Mo 鋼を用ひてドリルを製作した。其の成分、熱處理並びに窒化處理は次に示す通りである。

第 3 表

化學成分 (%)	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	Al
	0.33	0.49	0.65	1.05	1.32	0.27	1.03
熱處理	950°C/1h 空中冷却、950°C/1h 油中焼入、600°C 油中焼戻						
窒化處理	500°C 60h						

而して窒化ドリルの切味は其の廻轉速度に依つて著しく影響されるものであらうとの豫想の下に、先づ此のドリルに就て廻轉速度と穿孔能力との關係を調べる事にした。鋼鉋は厚さ 12mm、ブリネル硬度 500 のものを用ひ、機械加工は手送りして實驗し第 4 表の如き結果を得た。

第 4 表

廻轉數	實 驗 成 績
22	非常に細かい切粉を生じ 2 分 15 秒後双先全く缺けた。
30	切粉の状態は上の場合より良好なるも 2 分 50 秒後に双先損じ、試験中止。
40	8 分 50 秒で穿孔したが双先完全に損じた。
48	最初の間は切粉大にして切味良く 6 分 50 秒で貫通したがドリルは完全に損じた。
120	ドリリング開始後直ちに軋音を生ぜし爲中止、双先缺けた。

以上の結果より見ると窒化ドリルの切味は其の廻轉數に依つて著しく影響されるもので廻轉數 40 及び 48 の場合が穿孔成績良好で廻轉數の之より少いもの或は多いものは何れも窒化層の損傷早くして切味頗る悪い。

(2) 窒化用鋼材 (Cr-Mo 鋼) を窒化せる場合 前實驗に於て窒化層の脆性が出るだけ小なるものを必要とする如く思はれたので硬度は前者より低い、窒化層の深く、且つ靱性の比較的多い Cr-Mo 鋼を用ひ、窒化温度も第 5 表に示す如く 3 種に變化してドリルを製作した。

第 5 表

化學成分 (%)	C	Mn	Si	Cr	Mo
	0.34	0.46	0.13	1.12	0.43
熱處理	900°C/1h 空中冷却		900°C/1h 油中焼入		600°C/1h 油中焼戻
窒化處理	500°C 90h		525°C 90h		600°C 90h

試験條件は前實驗の結果より廻轉數 48 を選定し、穿孔を行つたが何れも 1~2 分にして双先損じて試験中止の已むなきに至つた。此の原因は未だ此種の鋼のドリルに對して穿孔能率と廻轉數との關係を研究しなかつたから明瞭なる事は言へないが、窒化層の深い事が却つて豫期に反せる結果を生じたるものに非ざるかと思はれた。

(3) 高速度鋼を窒化せる場合 次に 18~4 型の高速度鋼を第 6 表の如く處理して實驗した。

第 6 表

化學成分 (%)	C	Mn	Si	W	Cr	V	Mn
	0.70	0.30	0.20	18.00	4.50	0.45	0.50
熱處理	1,280°C/油中焼入、580°C/45分油中焼戻、						
窒化處理	500°C 90h						

試験條件は前記の場合と同様で行つたが双先の窒化層が缺けて穿孔不可能となつた。

以上各種の場合の結果より考ふるに窒化層は充分の硬度を有し、且つ最も靱性を有する様に材料並びに處理を選定したのであるが、斯る高硬度材料の加工に際してはドリルの如き振動を受け易いものに應用するには尙研究の餘地ある様に思はれる。

B. タップに對する研究

(1) 窒化用鋼材 (Al-Ni-Cr-Mo 鋼) を窒化せる場合

第 7 表

化學成分 (%)	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	Al
	0.40	0.32	0.26	0.61	1.48	0.32	1.41
熱處理	930°C/1h 空中冷却、		930°C/45分 油中焼入、		600°C/1h 油中焼戻		
窒化處理	500°C 90h						

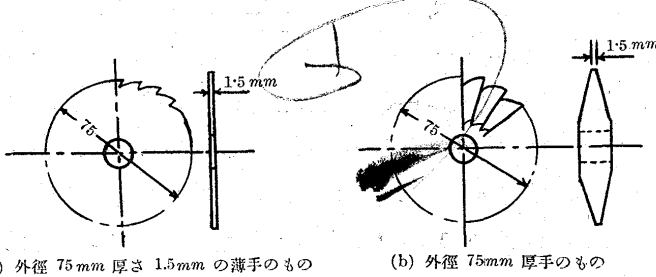
此の窒化せるタップは 3 本一組より成つて居る。試験用鋼鉋は前記同様のものでも螺子切試験を行つたが、此の場合にはドリルの場合よりも振動大なるために窒化層の破壊を招き穿孔不可能となつた。

(2) 高速度鋼を窒化せる場合 此の場合高速度鋼の化學成分並びに熱處理及び窒化處理はドリルの場合と同様で上記の試験の結果より多少設計に改良を加へて、タップを製作したのである。螺子切試験に於て 1 番及び 2 番のタップ

は比較的良く切込む事を得たが最後の仕上げで刃が破損した。之はチップの形状が未だ理想的でなく仕上げチップによる削り代が餘りに大に過ぎた事も一原因であった。

C. ミーリング、カッターに対する研究 此の實驗では單に窒化用鋼材 $Al-Ni-Cr-Mo$ 鋼を用ひ熱處理並びに窒化處理は前記同様に行ひ、ミーリングカッターの形状は第1圖に示すが如き (a)(b) 2種のを製作し之等をミーリングマシンに取付け、廻轉數9として厚さ約5mmの高硬度鋼板に對し、最初は潤滑劑を與へず溝切試験を行った

第1圖



(a) 外徑 75 mm 厚さ 1.5 mm の薄手のもの

(b) 外徑 75 mm 厚手のもの

が(a)に示す如き厚みの薄いカッターは試験後間もなく軋音を生じ約5分間經過後眞二つに折損し、(b)に示すカッターは約30分間に38mmの溝を切る事が出来たが刃先が完全に傷んで再び使用する事が出来なかつた。依て次には(b)種のカッターに對して石鹼水を注ぎながら試験をしたるに潤滑劑を與へざる場合に比して著しく切味良く、約1時間の後に長さ117mmの溝を切る事を得、且つ刃の傷み方も比較的少い事を知つた。

之等の結果より考ふるに窒化鋼製カッターは其の形状及び試験條件の如何に依つては斯かる高硬度材料の加工も、必ずしも不可能でなく將來此等の點に就て更に研究を進めるならば或は實用化出来るものでないかと考へられた。殊に本實驗の場合は高硬度鋼なるを以て他の軟鋼或は非鐵合金に於ては一層然るべく想像された。著者等が上記の實驗を行つた翌年 American chain Co³⁾ は高速度鋼 (W18% Cr4%, V. 1%) のドリルに窒化處理を行ひ、大成功をしたと報じたが、如何なる材料の加工に對して窒化ドリルが効果あるかを發表して居なかつた。

然るに著者等が此の實驗報告を發表したる後5ヶ月を經過して米國の H. C. Knerr 氏⁴⁾ は窒化工具の研究を發表し且つ其の用途に就て述べたる中に、此種工具は各種の切削用工具即ちリーマ、チップ、ドリル其他に適當であるが、切削さるべき材料はベークライト、マイカ、ファイバー等非金屬材料に特に適當し、此等の如き材料に普通に用

ひられて居る高速度鋼を以て加工すれば急速に失敗すると稱し、又非鐵合金に對してはミーリングカッター或はリーマ等としては最も適切なる事を強調して居る。同氏の報告が最終的のものとなれば著者等の此の研究に依つて目的を達せんとしたる事が或は無理であつたかも知れないと考へたが、著者等が豫想せし如く窒化處理の工具が用途によつては切削工具として利用さるゝ事可能なりと斷言出来る。

V. 高級工具鋼の熱處理の改善に依る實驗

著者等はタングステン・カーバイド系の工具並びに窒素硬化を應用せるものは何れも高硬度材料加工用の工具特にドリルとしては餘りに適當でない事を知つた。勿論一方に於て種々の超高速度鋼製のドリルを以て實驗を行ひつゝあつたのであるが、從來の熱處理方法を以てしては穿孔作業は不可能であつた。併し當時最も優秀なるものと一般に豫期されて居たタングステン・カーバイド系の工具使用の不適當且つ不經濟なる結論に到達したる著者等に殘されたる問題は唯超高速度鋼を冶金學的に改良すべき一つの途のみであつた。即ち吾々は此の高級工具鋼の熱處理の改良に依て所期の目的を達すべく決心したのである。

高級工具材料として代表的のものを擧げると第8表の如きものであるが、從來の經驗上 Co 10% 以下のものは餘り能率が良くなかつたので 10% 以上を含有するものに就て實驗を行ふ事とし、第9表の如き材料を此の研究に使用する事にした。

第8表 高級工具鋼の代表的成分例

C	W	Cr	V	Mo	Co
0.69	18.18	4.90	1.69	0.51	4.31
0.99	18.73	4.49	1.83	1.43	8.52
0.90	18~22	5	2.5	—	10~12
0.65	20~21	5~6	2	—	15~16
0.65	19	4	1.5	0.9	18~19

第9表 供試工具鋼の成分

成分	C	Mn	Si	Cr	Mo	V	W	Co
Co 10% 高速度鋼	0.65	0.17	0.20	3.89	0.67	1.27	17.83	10.43
Co 18% 高速度鋼	0.62	0.11	0.11	4.09	0.67	1.02	18.04	17.85

A. Co 10% 高速度鋼に對する實驗

(1) 豫備實驗 工具鋼の切味を良くするために材質上の見地より考へて其の材料をして充分なる硬度を發揮せしむる事が必要である。之がために豫備實驗として焼入溫度、冷却劑、焼戻溫度の硬度に及ぶ影響を見る事にした。試験

2 表 $19 \times 27 = 513$

片の寸法は $20 \times 20 \times 25 \text{ mm}$ とし、加熱には瓦斯爐を使用し、焼入温度は $1,300^\circ$, $1,330^\circ$ 及び $1,360^\circ \text{ C}$ の3種とし、冷却剤は油、水、氷を加へたる食鹽水及び氷醋酸に明礬を加へたるもの等4種類を選び、而して焼戻には鹽類槽を使用し、焼戻温度は 550° , 570° , 580° 及び 600° C の四通りとした。而して材料が充分に得られなかつたので各種冷却剤に對して各々3個の試料を用ひて其の平均値を求め、且つ焼戻時間の影響を見る際も最初の處理時間に追加處理したる時間を加へて次の焼戻時間とし、結局焼戻時間を5分、15分及び30分とした。硬度の測定にはロックウェルCスケールを使用した。第10表及び第11表は此の實驗の結果である。

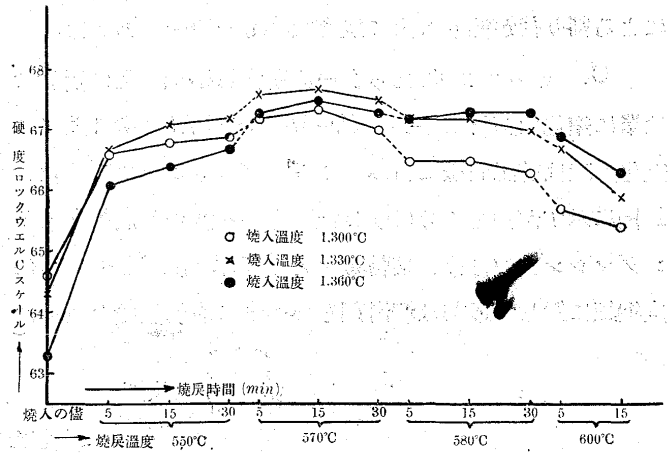
第10表 供試材の焼入方法

焼入劑 焼入温度	常溫の油	常溫の水	氷を加へたる 食鹽水	明礬を加へたる 氷醋酸
$1,300^\circ \text{ C}$	A-1	A-2	A-3	A-4
$1,320^\circ$	B-1	B-2	B-3	B-4
$1,360^\circ$	C-1	C-2	C-3	C-4

第11表に見る如く焼入温度同一の場合には冷却剤を種々に變化しても其の硬度には大差を見ないので冷却剤の影響は殆んどないものと假定し、之等の平均値を以て夫々の温度にて焼入したる場合の硬度と定め之と焼戻温度及び時間並びに硬度との關係を第2圖に示した。

焼入温度の影響を考ふるに焼入温度が高くなる程焼入の儘の硬度は低いが焼戻温度に依る影響は 570° C に於て最大硬度を示し、之より温度が上昇すると却つて硬度減少の傾向を現はして居る。而して 550° C に於ては一般に焼戻

第2圖 $\text{Co } 10\%$ 高速度鋼の焼入並びに焼戻温度の硬度に及ぶ影響



時間の増加と共に其の硬度は増加し $1,330^\circ \text{ C}$ 焼入のものが最も硬度大で $1,300^\circ \text{ C}$ で焼入したるもの之に次ぎ、 $1,360^\circ \text{ C}$ 焼入せるものは最も硬度が低い、然るに 570° C にて焼戻せる場合には $1,330^\circ \text{ C}$ で焼入せるものが最も硬度高くロックウェルCスケールにて 67.7 を示し $1,360^\circ \text{ C}$ 焼入のもの之に次ぎ $1,300^\circ \text{ C}$ で焼入したるものは最低値を示し、何れも焼戻時間15分の場合に於て最高を示して居る。焼戻温度 580° C になると最高の焼入温度 $1,360^\circ \text{ C}$ のものが硬度の最大を示し $1,330^\circ \text{ C}$ 焼入のもの之に次ぎ $1,300^\circ \text{ C}$ 焼入せるものは最も低く、而して 600° C 焼戻の場合にも此の關係を保つが、焼戻時間の延長と共に硬度の減少する傾向が次第に著しくなる。之を要するに $\text{Co } 10\%$ 高速度鋼に對する熱處理としては $1,330^\circ \text{ C}$ で焼入を行ひ 570° C で焼戻すると最高硬度を得られる事になるが $1,360^\circ \text{ C}$ で焼入せるものは 570° C 並びに 580° C の兩場

第11表 $\text{Co } 10\%$ 高速度鋼の焼戻に依る各種冷却剤の影響

試験片 の符號	焼入後 の硬度	焼戻 550° C			焼戻 570° C			焼戻 580° C			焼戻 600° C	
		5分	15分	30分	5分	15分	30分	5分	15分	30分	5分	15分
A-1	64.2	66.7	66.8	67.0	67.4	67.4	67.4	66.5	66.0	65.9	65.8	65.7
A-2	64.7	66.3	66.4	66.4	66.8	67.0	66.5	66.1	66.0	66.0	65.4	65.0
A-3	64.4	66.7	66.8	67.0	67.4	67.2	67.2	66.7	66.8	66.6	66.1	65.6
A-4	64.9	66.9	67.0	67.1	67.2	67.5	67.0	66.8	67.1	66.5	65.7	65.2
Aの平均	64.6	66.6	66.8	66.9	67.2	67.3	67.0	66.5	66.5	66.3	65.7	65.4
B-1	64.8	66.9	67.1	67.2	67.7	67.6	67.4	67.1	67.3	66.9	66.7	65.8
B-2	64.2	66.7	67.2	67.3	67.4	67.7	67.5	67.3	67.3	67.3	66.9	65.8
B-3	64.3	66.3	66.9	67.0	67.6	67.7	67.4	67.0	67.0	66.9	66.2	65.9
B-4	64.1	66.8	67.0	67.2	67.7	67.7	67.5	67.4	67.2	67.1	66.9	66.2
Bの平均	64.3	66.7	67.1	67.2	67.6	67.7	67.5	67.2	67.2	67.0	66.7	65.9
C-1	63.4	66.4	66.6	66.9	67.4	67.7	67.4	67.3	67.5	67.2	66.8	66.2
C-2	63.6	66.7	66.7	66.7	67.5	67.3	67.3	67.0	67.0	66.8	66.7	66.1
C-3	63.4	65.7	66.1	66.6	67.3	67.7	67.4	67.5	67.6	67.7	67.3	66.4
C-4	62.7	65.7	66.2	66.5	66.9	67.3	67.3	67.1	67.3	67.4	67.0	66.3
Cの平均	63.3	66.1	66.4	66.7	67.3	67.5	67.3	67.2	67.3	67.3	66.9	66.3



合に於ける焼戻効果の差も少く、且つ焼戻時間の影響も極めて少きを以てなるべく焼入温度の高い方が焼戻作業が比較的容易に行はれるものと考へられる。

(2) 實地試験 上記の結果を應用し直径 10.5mm のドリルを製作し、實地試験を行った。ドリルは加熱中温度が餘り高き時は曲る虞れもあるので、前記豫備實驗に於ける最高硬度を得るために焼入温度を 1,330°C とし、冷却劑として常温の油を使用し、焼戻は夫々所要の温度に保持せる鹽類槽中にて施行し、焼戻時間は種々變化して後、空中放冷を行った。斯くの如く熱處理されたるドリルを總べて同一の條件にて研磨し、所要の双型に完成したる後ブリネル硬度 535 にして厚さ 12mm の高硬度鋼板に對し穿孔試験を行った。

(a) 焼戻温度 550°C の場合 焼戻時間を 15, 22 及び 30 分としたが第 12 表に示す如く、焼戻時間の短い時はドリルの双先未だ脆く成績不良であるが焼戻時間 30 分のは相當の穿孔能力を示した。然し此の程度では未だ充分とは言へなかつた。

第 12 表

ドリル符號	焼戻處理	機械加工條件		試 試 成 績
		廻轉數	送り	
A-1	550°C/15'	r.p.m. 30	手送り	2分40秒で約7mmの深さを穿孔し、双先が損じた。
A-2	" /22'	"	"	4分で約10mmの深さを穿孔し双先が損じた。
A-3	" /30'	"	"	5分20秒で貫通、双先の傷み方比較的少し。
A-1	" /15'	"	機械送り	1分30秒で約4mmの深さを穿孔し双先が缺けた。
A-2	" /22'	"	"	55秒後に双先が損じた。
A-3	" /30'	"	"	50秒後に双先が損じた。

(b) 焼戻温度 570°C の場合 此の場合には2種のボール盤を使用して穿孔試験を行った。第13表(A)に於ては 570°C で 14 分間焼戻せるものが最も成績良好で 10 分及び 17 分間焼戻せるものが之に次ぎ、焼戻時間 5 分及び 20 分間のものは試験途中にて折損した。

第 13 表 (A)

ドリル符號	焼戻處理	機械加工條件		試 驗 成 績
		廻轉數	送り	
B-1	570°C/ 5'	r.p.m. 14	手送り	試験途中に於て折損
B-2	" /10'	"	"	成績稍々良好、總體としてA-3に劣る。
B-3	" /14'	"	"	貫通、成績最も良し。
B-4	" /17'	"	"	A-2 と略々同程度の成績。
B-5	" /20'	"	"	試験途中に於て折損。

別のボール盤にて實驗せるものは第 13 表 B に示せる如く同様に焼戻時間 14 分のもの最も成績良好でドリルの廻轉數毎分 30 回、機械送りの條件で約 3 分間に穿孔し得る事を知つた。而して焼戻時間 10 分及び 17 分間のものは成績之に次ぎ、焼戻時間が之より短くても或は長くても其の穿孔成績は低下した。要するに焼戻時間を 10~17 分間とする時は最高硬度並に靱性を附與する事が判つた。

第 13 表 (B)

ドリル符號	焼戻處理	機械加工條件		試 驗 成 績
		廻轉數	送り	
B-1	570°C/ 5'	r.p.m. 22	手送り	9分10秒で貫通、切粉連続的に生じて切味可成り良し。
B-5	" /20'	"	"	8分30秒で貫通、双先の損じ方前より少し。
B-2	" /10'	30	"	6分で貫通。
B-3	" /14'	"	"	5分30秒で貫通、切味良く、双先も損ぜず。
B-4	" /17'	"	"	6分30秒で貫通、双先の損じ方は前より稍々大なり。
B-3	" /14'	30	機械送り	2分30秒で殆んど貫通、双先稍々損じ其の儘では使用出来ず。
B-3	" /14'	"	"	2分55秒で約10mm穿孔した時に双先損じた。

(c) 焼戻温度 580°C の場合 此の場合には焼戻の加熱時間を 4~15 分に變化した。第 14 表は此の實驗結果である。即ち焼戻温度 580°C の場合は焼戻時間の短きもの程、成績良好で、加熱時間 4 分間のものは廻轉數 30 で手送りの場合は 6 分間、機械送りでは約 3 分 30 秒で貫通し双先の損傷も、比較的少いが、焼戻時間が之より長くなるに従つて成績次第に低下し、最早、機械送りでは穿孔不可能になつた。尙比等の實驗用ドリルを其後、現場に於て使用したが、其の結果に依ると、此の 580°C 焼戻のものは、他に比して一般に双先が所謂「あまく」して損じ易く

第 14 表

ドリル符號	焼戻處理	機械加工條件		試 驗 成 績
		廻轉數	送り	
C-1	580°C/ 4'	r.p.m. 30	手送り	6分間で貫通、双先の具合よし。
C-2	" / 7'	"	"	7分20秒で貫通、双先が僅かに缺けた。
C-3	" / 9'	"	"	3mmの深さを穿孔しただけで双先が損じた。
C-4	" /12'	"	"	8分50秒で貫通、双先は大部損じ其の儘では使用に耐へず。
C-5	" /15'	"	"	試験後間もなく双先が損じ中止。
C-1	" / 4'	"	機械送り	3分30秒で貫通、双先は可成り損じた。
C-2	" / 7'	"	"	1分15秒で双先が損じ、試験繼續不可能。
C-3	" / 9'	"	"	45秒で双先損じ中止。
C-4	" /12'	"	"	55秒後に中止。
C-5	" /15'	"	"	40秒後に双先損じ試験中止。



結局焼戻處理の少々過ぎて居る事を明瞭に裏書した。

以上の實驗結果は大體に於て豫備實驗に於ける硬度の關係と一致するものでドリルの硬度高きものが最大の靱性をも具備し穿孔能力を大ならしめる事が之に依つて察知する事が出来る。

(d) 焼戻溫度 570°C の場合の加熱時間の詳細なる研究 以上豫備實驗並びに實地試験の結果より此種の工具鋼焼入溫度 1,330°C, 焼戻溫度 570°C, 焼戻時間は 14 分を中心として 10~17 分の範圍が最も切味の良好なるものを得られる事を知つたが、更に完全なるドリルを得るために、加熱時間を此の範圍で一層細かく變化して焼戻を行ひ厚さ 6mm の高硬度鋼板に就て之を連続穿孔し得る回数によつてドリルの成績を比較する事にした。即ち焼戻加熱時間を 9, 11, 12, 15 分として熱處理を行ったが、第 15 表の如き結果を得た。之に依れば加熱時間 12 分のものが成績最も良好で 11 分のもの之に次ぎ前記實驗を綜合して焼戻時間は 10~14 分が適當で 12 分が其の最適の時間なる事が知られた。

第 15 表

ドリル符號	焼戻處理	機械加工條件		試 驗 成 績
		廻轉數	送り	
D-1	570°C/ 9'	r.p.m. 25	手送り	連続 2 回穿孔、3 回目約 4mm 穿孔の時に刃先が損じた。
D-2	" / 11'	"	"	連続 2 回穿孔、3 回目約 5mm の深さを穿孔の時に刃先が損じた。
D-3	" / 12'	"	"	連続 4 回穿孔、刃先の損じ方最も少し。
D-4	" / 15'	"	"	連続 2 回穿孔して刃先損ず。

(e) 焼戻に於ける加熱方法の研究 焼戻の際所要溫度に加熱せる鹽類槽にドリルを浸漬すると鹽類槽の溫度は上記の各場合に述べたる如く、若干溫度の降下を來し、之を所要溫度に上昇せしむるに相當の時間を必要とした。此の時間の長短がドリルの穿孔能力に影響を及すか否かを見るために次の三通りの實驗を行ふ事にした。

(i) 焼戻の際ドリルの浸漬によつて 570°C より 555°C 迄降下した 鹽類槽の溫度を 12 分間で再び 570°C 迄上昇せしめ、其の儘 12 分間保持する。

(ii) ドリルの浸漬に依つて 555°C に低下したる鹽類槽を其の溫度に約 30 分間保持し、然る後 11 分間で 570°C に上昇せしめ、此の溫度で 12 分間保持して焼戻する。

(iii) 同様にドリルの浸漬に依つて 555°C に低下したる鹽類槽を其の溫度で 10 分間保持し、然る後 9 分間を要して 570°C 迄上昇せしめ、其の儘 12 分間保持して焼戻

する。

斯くして得たる 3 種のドリルを用ひて穿孔試験を行ひたる結果は第 16 表の如くドリルを浸漬後低下したる鹽類槽の溫度を 570°C の所要溫度に最も短時間に上昇せしめたる (i) に屬するものが穿孔能力最も大で、假令 555°C の如き低溫度にても餘り長時間保持されたるものは著しく成績が劣る事を知つた。

第 16 表

ドリル符號	熱 處 理	機械加工條件		試 驗 成 績
		廻轉數	送り	
E-1	570° 550° 12 min 12 min	r.p.m. 25	手送り	連続 3 回穿孔、所要時間 6 分 15 秒、5 分 30 秒及 7 分 15 秒。
E-2	570° 550° 30 min 11 min	"	"	7 分 20 秒 1 回穿孔、2 回目 5mm 穿孔の時に刃先損じた。
	570° 560° 570° 10 min 11 min 12 min			連続 2 回貫通、3 回目約 3mm 穿孔の時に刃先損じた。

上述せる種々の實驗結果を綜合するに、此の種工具の熱處理は 1,330°C にて油焼入を行ひ、次に 570°C の鹽類槽に浸漬後、低下せる鹽類槽の溫度を成るべく速かに 570°C に上昇せしめ 12 分間保持したる後空冷するを最も適當とする。勿論ドリルの直徑に依り焼戻の時間を適宜加減する事は言を俟たない。

B. Co 18% 高速度鋼に對する實驗 上記 Co 10% を含有せるドリルはブリネル硬度 500 附近の高硬度鋼板の穿孔を容易ならしめたが、硬度が 550 附近になる時には穿孔に長時間を要し、或は穿孔の途中で機械加工の不可能の場合を生じ、殊にブリネル硬度 600 附近の鋼板の穿孔は全然不可能であつた。依つて更に高級なる超高速度鋼にして Co 18% を含有する材料を使用したか、從來普通に行はれて居つた熱處理 (1,330°C 焼入 580°C 焼戻) では所期の目的を達する事が出来なかつたので、之が基礎的研究を行ふ事にした。

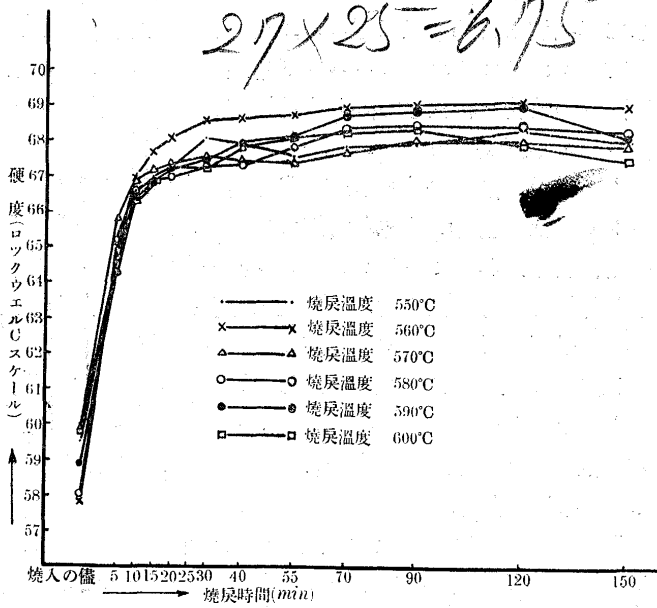
(1) 豫備實驗 Co 10% 含有の工具鋼の場合に於けるが如く、本材料に於ても先づ熱處理による硬度の變化を調査する事にした。供試材は 15×15×30mm の寸法とし、焼入溫度は 1,330°C とし油焼入を行ひ、焼戻溫度は 550°, 560°, 570°, 580°, 590°C 及び 600°C に變化し、之等の溫度に夫々 5 分~ 150 分間保持したる後、空中放冷を行ひ、ロックウェル C スケールにて其の硬度を測定した。勿論此の場合にも材料の關係上各焼戻溫度に對して



夫々3個の試料を用ひ、硬度は其の平均値を採り、且つ焼戻時間も最初の時間に追加、處理をなしたる時間を加へ其の合計を以て次の焼戻時間と定めた。其結果は第3圖に示す通りである。

即ち焼戻による硬度の増加の傾向は最初焼戻時間10分迄は急激にして、それより焼戻時間30分迄は稍々緩となり、以後急に緩慢となりて遂に最高硬度に達し、焼戻時間が更に長くなれば硬度は次第に減少し始め、而して焼戻温度の高きもの程此の硬度減少の開始時期が比較的早くなる傾向を示して居る。焼戻温度560°Cの場合は殆んど焼戻時間の如何に拘らず他の焼戻温度の場合に比較して常に最高の硬度を示し90分間焼戻後にはロックウェル硬度69以上に達し殆んどウィディア系工具材料硬度の最低値に等しい。尙茲に注意すべきはCo10%含有の工具鋼に比較すると此のCo18%を含むものは焼入の儘の硬度は前者より低いが、焼戻後の硬度は却つて高くなつて居る。

第3圖 Co18% 超高速鋼の焼戻による硬度の變化



(2) 實地試験 供試ドリルは直径13.5mm. で之に對して第17表に示すが如き熱處理を施行し、ドリルの廻轉數を36手送りとし、厚さ15mmブリネル硬度550の高硬度鋼板に就て穿孔試験をした。其の結果第17表に見る如く、ドリルの耐久力及び切味は熱處理に依つて著しく異り従來の通り570°Cで連続30分間焼戻せる符號F-Cは辛ふじて1回の穿孔に耐へ、而して560°Cで繰返し30分間焼戻せる符號F-1のものは單にシャンクの末端にマークを入れる爲の打撃で折損した。符號F-2は更に追加處理を1回施行したものであるが穿孔試験後間もなく縦方

向に眞二つに裂け、此熱處理はドリルに對して極めて不適當なる事を知つた。符號F-3は560°Cで45分間繰返し焼戻F-4は更に追加熱處理を施したもので、大體後者の方が、前者よりも優つて居たが、何れにしても双先及び二番の缺け易き缺點を認めた。符號F-5は560°Cで60分間繰返し焼戻を行つたもので穿孔能力は大であるが、尙双先が缺け易く、ドリルとして靱性が不足して居る様に思はれた。符號F-6は更に追加處理を行つたものであるが尙穿孔試験中二番の缺ける事を防ぎ得なかつた。此ドリルの二番の缺ける事は直接ドリル穿孔能力に影響を及すものでないが、少くともドリルの靱性の不充分なる事を表すものと考へられるから、更に符號F-7のものに就て追加處理を2回施行して穿孔試験を行つた。其の結果成績極めて良好で數回穿孔しても其の双先の故障殆どなく且つ二番の缺ける事もなかつた。此實驗に於てCo10%含有のドリルを参考の爲比較實驗を試みたが、双先が傷みCo18%含有のものに比べて著しく穿孔成績の劣れる事を確める事が出來た。

第17表

ドリル符號	熱處理	試驗成績
F-0	570°C 連續30分	辛ふじて1回穿孔し得たるも双先著しく損耗す。
F-1	560°C 30分(繰返し合計)	ドリルのシャンクの端に符號を打つ時に折れた。
F-2	560°C 30分更に追加處理1回	前同様符號を打つ時に折れた。
F-3	560°C 45分	穿孔開始後間もなく軋音を發したので試験中止、双先及び二番が缺けた。
F-4	560°C 45分更に追加處理1回	連續2回穿孔後二番が缺けた、毎回の所要時間約4分。
F-5	560°C 60分	連續2回穿孔、3回目に双先及び二番が缺け軋音を發したので試験を中止。
F-6	560°C 60分更に追加處理1回	連續6回穿孔、毎回所要時間平均2分30秒、双先が少し缺けた。
F-7	560°C 60分更に追加處理2回	平均所要時間2分30秒位で連續6回穿孔、双先には殆んど異狀なし。

要するにCo18%含有のドリルは560°Cで繰返し焼戻を行つた後更に品物の大きさに依り適宜に追加處理を行ひ始めて優秀なるドリルとなし得るものである。

C. ドリルの廻轉を高速にしたる場合の實驗 タングステン・カーバイド系統の外國製ドリルは強力にして振動の極めて少い精密なる機械を以て高速で廻轉する場合に限り其の能力を發揮する事は周知の事實である。此のCo18%を含有せるドリルが、可成り振動の多き普通のボール盤にても高速に廻轉する時如何に穿孔能力を發揮するかを調べた。

(1) 高硬度鋼板に對する實驗 ドリルの廻轉數を480とし、機械送りとして厚さ10mmブリネル硬度550の高



硬度鋼板に對して穿孔を試みたが、僅か 40 秒内外で見事に板の全厚みを貫く事を得た。此の場合の削り屑はドリルの廻轉の少かつた場合とは全く異り、穿孔の最初より終り迄、連続的にリボン状を呈して舞ひ上り、而かも此の場合には削り屑は赤熱の状態を呈して居た。従てドリルも相當高温に加熱せらるゝが、其の双先は何等異狀なく、其の儘連続十數回の穿孔をなす事を得た。依て更に數本のドリルに就て此の條件にて實驗を行つたが殆んど同様に十數回の穿孔を連続的に行ふ事が出来た。

(2) ブリネル硬度 600 附近の高硬度鋼板に對する實驗 前實驗に使用せる鋼板よりも尙硬度高きブリネル硬度 600 の鋼板の厚さ 15mm のものに就き穿孔試験を行つたが 1 回の所要時間 30 秒内外で連続 9 回穿孔する事を得た。

(3) ケースハードせる特殊鋼板に對する實驗 上記の如く穿孔實驗の成績良好なるを以て更に硬度高きケースハードせる特殊鋼板に對し實驗を試みる事にした。即ち $Ni-Cr-Mo$ 鋼より成る厚さ 35mm の鋼板を 36 時間滲炭處理を施したる後、焼入を行ひ、ブリネル 680 の表面硬度を有するものとし、之を前同様ドリルの廻轉數を 480 として最初荷重を無理にかけない様に手送りとして穿孔を始めたが、極めて調子よく削れるので途中で機械送りに變更した。削り屑は矢張り赤熱のリボン状をなして舞ひ上り約 2 分間にして厚さ 35mm のケースハードせる特殊鋼板を穿孔し終つた。試験後ドリルの双先を調査したが殆んど故障を認めなかつた。數回同様に試験を行ひ、時には双先の多少傷むものもあつたが著者等は此の種の特殊鋼板を完全に穿孔し得べき自信を有するに至つた。

(4) 高マンガン鋼に對する實驗 高 Mn 鋼の穿孔は従來ウィディアのドリル以外のものでは殆んど加工困難と考へられて居た。上記實驗に供せる高硬度鋼板もケースハード鋼板も何れも $Ni-Cr-Mo$ 其他の成分を含有せるもので硬度は頗る大であるが靱性の點では高 Mn 鋼には迥かに及ばない。高 Mn 鋼は $C1.2\%$ $Mn13\%$ を含有し、之を $1,050^{\circ}C$ より冷水中に急冷せるもので完全なるオーステナイト組織を有し、マルテンサイトの組織を有する前記特殊鋼板に比すればブリネル硬度僅かに 200~230 にして極めて低いものであるが、此の配合のものは抗張力並びに延伸率何れも $Fe-Mn$ 系中の最高値を有するものにして靱性最も大なるものである。而して従來普通の高速度鋼で穿孔する事が不可能であつたのは之が加工に依つて硬化する性質があるためである。此のオーステナイト組織の高 Mn 鋼に對しドリルの廻轉數を 400 として手送りにて機械加工を行つたが前同様赤熱リボン状の削り屑が舞ひ上り穿孔されて行つたが、然し此の場合ドリルの熱せらるゝ事著しく且つ双先が磨滅して孔の深さ約 5mm にして進捗しなくなつた爲、中止した。次にドリルの温度上昇を防止するために最初より石鹼水を注入しながら實驗を行つたが其の成績

良好であつたので、更に廻轉數を 340 に低下して、石鹼水を注入しつつ穿孔を行つた處切れ味極めて良好で約 10mm 厚さの高 Mn 鋼板を完全に穿孔する事を得た。試験後ドリルを調査したが、双先の磨損も比較的少く充分實用し得るものと思はれた。

要するに以上の實驗によつて $Co18\%$ を含有する超高速鋼製のドリルは高速度鋼の特徴を有すると共にウィディアの特徴をも併有する事をも知つた。唯、此のウィディアの特徴を有する事は程度の問題でウィディア系工具は、此の熱處理の改善によつて得たる $Co18\%$ 系の工具よりも多少硬度の大なる事は事實で、従つて本研究に於て使用したる硬度ブリネル 680 程度のものよりも迥かに硬度の大なる材料に對しては或はウィディアに依らなければならぬかも知れないが之は未だ實驗して居ないので斷定する事は出来ない。要するに吾々は高硬度特殊材料を特別の機械設備を必要とせず在來のものを以て穿孔する事に成功したのである。

VI. 總 括

1. ブリネル硬度 500~680 の高硬度特殊鋼材料を主として穿孔する目的を以て種々の工具材料に就て實驗した。
2. タングステン・カーバイドを主成分とする工具は機械設備の改善を行はざる限り穿孔用工具として使用する事は極めて不經濟であつた。
3. 窒素硬化用材料並びに高速度鋼に窒化處理をなしたるドリルは穿孔能力は餘り良好でなかつた。然るに窒素硬化用材料を用ひてミーリング・カッターを製作し之に窒化處理を施せるものは相當の切削能力を發揮する事が出来た。
4. $Co10\%$ を含有する高速度鋼に就て種々熱處理を研究したる結果 $1,330^{\circ}C$ で焼入し $570^{\circ}C$ で焼戻する時に最大の硬度が得られ、之を實際のドリルに應用せるものは其の他の熱處理を施せるものよりも著しく穿孔能力を大ならしめる事が出来た。
5. $Co18\%$ を含有せる高速度鋼は従來の熱處理ではブリネル硬度 600 内外のものに對して穿孔不可能であつたが、此の材料に對する基礎的研究の結果適當なる熱處理を發見し、殆んどウィディア系工具に匹敵する最大の硬度を得る事を得た。之を實際のドリルに應用し、更に靱性を得せしむる爲に或る追加熱處理を加へたるものはブリネル硬度 680 のものを容易に穿孔する事が出来、且つ靱性著大なる高マンガン鋼をも容易に穿孔する事が出来た。

參 考 文 献

- (1) 伊丹榮一郎、高尾善一郎：鐵と鋼、第 19 年、昭和 8 年 p. 865
- (2) 小藪重行：鐵と鋼、第 14 年、昭和 3 年、1138
- (3) American Chain Co. : the Iron Age Vol. 132, 1933, Aug. 10, p. 22.
- (4) H. C. Knerr : Trans. Amer. Soc. St. Treat. Vol. 15, 1929, p. 429, The Iron Age, Vol. 136, 1935, Sep. 26, p. 44.