

.....  
 論 文  
 .....

UDC 669.14.018.298.2-15 : 669.14.018.298.2-122.2 : 621.91.011 : 669.775

## S 量の異なる Cr 肌焼鋼の被削性におよぼす 熱処理組織および冷間加工の影響\*

山本俊郎\*\*・熊谷憲一\*\*\*

Effects of Heat-treated Structures and Cold Working on the Machinability of Case-hardening Low Chromium Steels Containing Different Sulfur Contents

Toshiro YAMAMOTO and Kenichi KUMAGAI

## Synopsis:

Effects of heat-treated structures and cold working on machinability and tool life with high speed steel tools in drilling case hardening Cr steels containing sulfur up to 0.1% have been investigated.

Lamellar pearlite structures obtained by annealing or normalizing show the best drillability. As dispersion of cementite particles becomes uniform and spheridizing of carbide progresses drillability becomes worse remarkably. But machinability based on tool life is the best for spheroidized structures.

Drillability seems not to be improved by cold working. The effect of cold working on tool life with high speed steel tools is understood as the result of both a favorable effect by decrease of ductility and an unfavorable effect of work hardening.

(Received Mar. 21, 1972)

### 1. 緒 言

歯車、シャフト類に用いられる肌焼鋼は焼準後、切削加工に供せられる工程をとる場合が多いが、鋼の被削性が熱処理組織によつて大きな影響を受けるので、現場作業的には熱処理組織が適当でないために切削工程でトラブルが発生する例も比較的多くみられる。また最近では冷間鍛造技術の進歩にともない、球状化焼鈍後、冷間鍛造加工が行なわれ、しかる後に切削加工に供せられる工程をとる場合も増加しているが、このような工程では、球状化焼鈍が施されているため、切削加工、とくにブローチ加工のような切削加工にはあまり好ましくないといわれており、実際には、さまざまな問題も生じている。かかる肌焼鋼の被削性におよぼす熱処理組織および冷間加工の影響を検討し、切削加工に適した熱処理組織を得ることおよび冷間加工の程度と被削性との関係を把握することは大きな課題であると思われる。

本研究では、代表的な肌焼鋼である Cr 肌焼鋼をとりあげ、この S 含有量を 3 種に変化させ、主としてドリル穿孔性、ドリルの工具寿命および高速度鋼工具の旋削寿命におよぼす熱処理組織および冷間加工の影響について

検討し、鋼の被削性に関する諸問題を解決せんと試みた。なお、本研究で、3 種の S 含有量の異なる鋼をえらんだのは微妙な組織変化による被削性への影響をより明確に把握しようとしたからである。

### 2. 試 料

試料は A, B の 2 系列からなる。Table 1 にそれらの化学組成を示した。A 系列試料は数種の現用鋼、すなわち炭素鋼 (JIS, S45 C, S55 C), Cr 鋼 (JIS, SCr 4), Cr-Mo 鋼 (JIS, SCM 4) および軸受鋼 (JIS, SUJ 2) からなり被削性におよぼす熱処理組織の影響に関する検討にとつての予備的実験に使用した。B 系列試料は Cr 肌焼鋼 (JIS, SCr 22, S 含有量は 0.005%) およびその化学組成に S を 0.056 および 0.103% 添加せしめた鋼で、この S 含有量の異なる 3 種の試料でもつてドリル穿孔性、ドリルの工具寿命、高速度鋼工具の旋削寿命をしらべ熱処理組織の影響 および冷間加工の影響について検討した。試料はいずれも現場作業的に塩基性電気炉で

\* 昭和 45 年 4 月 本会講演大会にて発表  
 昭和 47 年 3 月 21 日受付

\*\* 愛知製鋼(株)工博

\*\*\* 愛知製鋼(株)

Table 1. Chemical composition of specimens (wt% C).

No	Steel	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	T. Al
A-1	S45C	0.47	0.23	0.69	0.015	0.013	0.13	0.05	0.11	—	0.028
A-2	S55C	0.55	0.22	0.68	0.017	0.015	0.16	0.09	0.11	—	0.018
A-3	SCr4	0.38	0.24	0.72	0.016	0.009	0.12	0.06	1.09	—	0.033
A-4	SCM4	0.40	0.26	0.80	0.020	0.013	0.16	0.14	1.07	0.26	0.043
A-5	SUJ2	1.03	0.31	0.42	0.010	0.018	0.12	0.07	1.43	—	0.011
B-1	SCr22	0.21	0.32	0.79	0.011	0.005	0.13	0.07	1.10	—	0.046
B-2	SCr22+0.05S	0.21	0.22	0.73	0.015	0.056	0.12	0.05	1.04	—	0.036
B-3	SCr22+0.10S	0.21	0.22	0.68	0.010	0.103	0.08	0.08	1.09	—	0.054

2.6 t 鋼塊に溶製後, 55 mm  $\phi$  あるいは一部の試料については 30 mm  $\phi$  および 26 mm  $\phi$  に圧延し, 種々の熱処理を施した後, 切削試験に供した.

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 現用鋼における熱処理組織の影響に関する予備的実験

本研究では, S 量の異なる Cr 肌焼鋼の被削性におよぼす熱処理組織および冷間加工の影響を検討するにさきだつて, まず数種の現用鋼について, その被削性と熱処理組織との関係について予備的実験を行なつた.

鋼の被削性の改善および安定化に関しては, 従来多くの研究がなされているが<sup>1)~3)</sup>, 実際に使用量のもつとも多い機械構造用鋼の被削性についての研究は比較的少ない<sup>4)~6)</sup>. その中の一つとして, 奥島ら<sup>4)5)</sup>は炭素鋼 (S35C, S45C), Cr-Mo 肌焼鋼 (SCM21) および Cr-Mo 鋼 (SCM3) の被削性試験を行ない, この 4 鋼種の旋削被削性について超硬工具で試験した場合の工具寿命の比較は, SCM 22 がもつともよく, S 35 C, SCM 3, S 45 C の順で, 炭素量が多いほど寿命は短く, 同じ炭素量では合金鋼は炭素鋼より劣ることを示している. さらにまた, 炭素量の異なる鋼について, パーライト中の層状量の割合を変化させ, 工具寿命を検討した結果, パーライト中の層状量の割合変化は工具寿命に大きい影響を与えることを明らかにし, その程度は高炭素鋼ほど顕著であり, 高炭素鋼では球状パーライト組織は良好な工具寿命を有することを報告している.

OPITZ ら<sup>7)</sup>は肌焼鋼および強靱鋼について, 超硬 P 10, P 30 および高速度鋼 S 18-1-2-5 工具を用い, 旋削の際の工具摩耗におよぼす影響について広範囲の研究を行ない, 強靱鋼の被削性は焼入焼戻状態よりも焼準状態で良好であり, また材料が同一の引張強度を有する場合には P 10, P 30 超硬工具のクレター摩耗よりみた工具寿命で比較すると, 合金鋼を焼入焼戻した状態における被削性は, 合金鋼がフェライト-パーライト組織を有する

状態のそれよりもあるいは炭素鋼を不完全焼入して後焼戻された状態のそれよりもすぐれていることを明らかにし, さらに炭素量およびパーライト量が増加するにしたがつて, あるいは強度が増加するにしたがつて被削性は劣下し, その程度は高速度鋼工具を用いた場合にもつとも大きく, 超硬 P 30 を用いた場合はようやく感じとれる程度であると結論している.

これらの文献を参考にして, 本研究においては, A 系列試料, すなわち A1 (S45C), A2 (S55C), A3 (SCr4), A4 (SCM4) および A5 (SUJ2) を用いて高速度鋼工具の寿命におよぼす熱処理組織の影響を検討した. 各試料は圧延のままあるいは種々の熱処理後, 大隅鉄工所製高速試験旋盤を使用し三次元長手方向に旋削し, 切削速度と工具寿命の関係 (V-T 線図) を求めた. 使用工具は高速度鋼 SKH4 種, JIS 12-13 型で, 工具形状は (0, 12, 5, 5, 30, 30, 0) である. 切削条件は切込

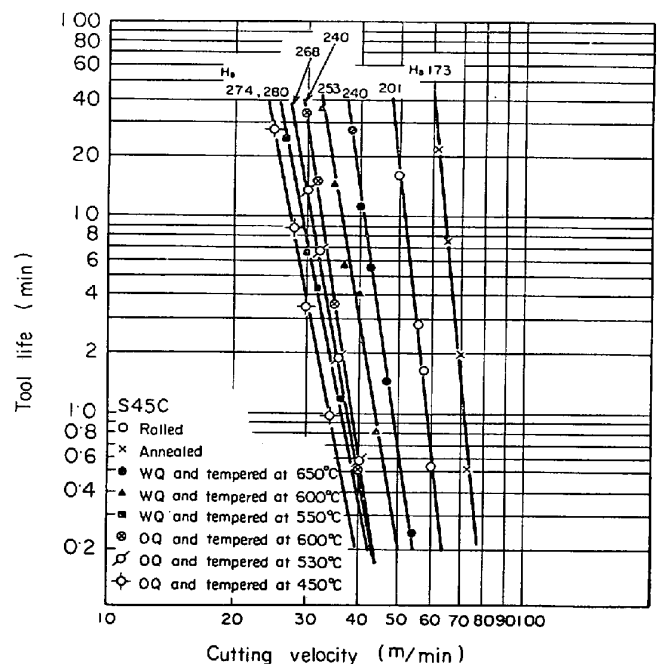


Fig. 1. Taylor tool-life plots for S45C steel of different heat-treated states.

み 1 mm, 送り 0.2 mm/rev で乾式で旋削し, 工具寿命の判定基準は完全鈍摩までとした。

Fig. 1 に熱処理組織を変えた試料 A1 (S45C) の V-T 線図を示す。なお, 熱処理に関しては, 焼鈍処理は 850 °C に 1 hr オーステナイト化後炉冷, 焼入処理は 850 °C に 1 hr オーステナイト化後, 水中または油中に急冷, 焼戻処理は, 水焼入材については 550, 600 および 650 °C, 油焼入材については 450, 530 および 600 °C にそれぞれ 1 hr 再加熱が施されている。各試料の顕微鏡組織を観察すると圧延のままおよび焼鈍後の組織はフェライトと層状パーライトの混合組織であるが, 圧延のままの組織の結晶粒は焼鈍後の組織のそれよりも大きく, また硬度も圧延のままの組織の方が焼鈍後の組織よりもブリネル硬さで 30 程度高い (Fig. 1)。水焼入, 焼戻材は均一なソルバイト組織を呈しているが, 一方油焼入, 焼戻材はネット状にフェライトを析出し, いわゆる不完全焼入組織からなっている。切削試験の試験材の寸法は圧延のままおよび焼鈍後の場合には, 55 mm φ, 焼入焼戻後の場合には 30 mm φ を選んだ。焼入焼戻の場合に 30 mm φ を選んだのは, 質量効果を考慮してできるだけ中心まで均一な組織が得られるように試みたからにほかならない。しかしながら, 外周部と中心部ではなお大きな硬度差が認められるため, 焼入焼戻処理を施した場合には, 表面より 3 mm までの硬度が比較的一定の値を示す位置で切削試験を行なっている。

さて種々な熱処理組織と工具寿命との関係のみをみよう。Fig. 1 に示された結果から知られるように, 工具寿命は焼鈍後の組織がもつともすぐれており, ついで圧延のままの組織, さらに焼入焼戻後の組織という順序になつており, また焼入焼戻後の組織についてみれば, 焼戻温度が高いほど, すなわち焼戻硬度の低いほど工具寿命は長い。観点をかえて水焼入して得られる完全焼入組織を焼戻したソルバイト組織と, 油焼入して得られる不完全焼入組織を焼戻したネット状のフェライトを析出した組織において工具寿命を比較すると, 同一硬度の場合 (Fig. 1 において  $H_B$  240 を示す 2 本のグラフを比較すると) 完全焼入組織を焼戻したソルバイト組織の方が工具寿命が長くなっている。

本実験では, 試料 A1 (S45C) に行なつた検討を試料 A2 (S55C) および試料 A3 (SCr4) によつても繰り返さない, 結果の確認を試みた。試料 A2 および A3 の焼鈍および焼入処理は, 試料 A1 の場合と同様, 850 °C に 1 hr オーステナイト化後炉冷, あるいは水中または油中に急冷しているが, 焼戻温度は 600 °C, 1 hr の 1 条件のみを選んでい

る。フェライトと層状パーライトの混合組織であり, 水焼入焼戻後の組織は均一なソルバイト, 油焼入焼戻後の組織はフェライトがネット状に析出したいわゆる不完全焼入組織を呈し, このことは試料 A1 (S45C) の場合と類似している。試料 A2 および A3 の切削試験の条件および試験材の寸法は試料 A1 の場合と同様である。したがつて焼入焼戻材の場合には, 試験材の硬度分布を考慮して表面より 3 mm までの硬度が一定の範囲で V-T 線図を求めている。

Fig. 2 に試料 A2 (S55C) および A3 (SCr4) の V-T 線図を示す。工具寿命は試料 A1 (S45C) の場合と同様な傾向を示し, 焼鈍後の組織がもつともすぐれ, 以下, 圧延のままの組織, 焼入焼戻後の組織の順になつてい

る。また, 水焼入して得られる完全焼入組織を焼戻したソルバイト組織の方が, 油焼入して得られる不完全焼入組織を焼戻したネット状のフェライトの析出した組織よりも工具寿命がすぐれているということは, 前述の試料 A1 の実験結果と同様であるが, 本実験の試料 A3 (SCr4) の場合, 水焼入焼戻材は油焼入焼戻材よりも, むしろ硬度が高いにもかかわらず工具寿命が長いという興味ある結果が認められた。

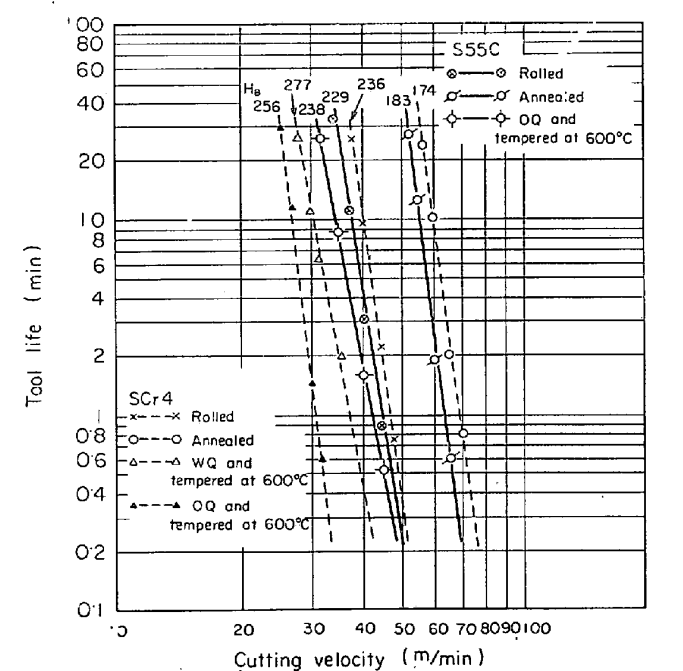


Fig. 2. Taylor tool-life plots for S55C and SCr4 of different heat-treated states.

°Cに1hr オーステナイト化後炉冷)後の組織, すなわちフェライトと層状パーライトの混合組織と球状化焼鈍(750°Cに2hr 保持後, 20°C/hrの冷却速度で徐冷)後の組織, すなわち球状パーライト組織における高速度鋼工具による被削性の比較(V-T線図)をFig. 3に示す. Fig. 3にはまた, 試料A5(SUJ2)について, 球状パーライト組織の炭化物の大きさを平均径で1.1 $\mu$ と1.5 $\mu$ に変化させ, 被削性におよぼす炭化物粒の影響を検討した結果も併示している. なお, 炭化物粒の異なる組織を得るためには, 熱処理を変化せしめたが, 炭化物粒の平均径で1.1 $\mu$ の組織の場合, 試料に780°Cに5hr 保持後10°C/hrの冷却速度で徐冷し, 平均径1.5 $\mu$ の組織の場合, かかる熱処理を二度繰り返すこと

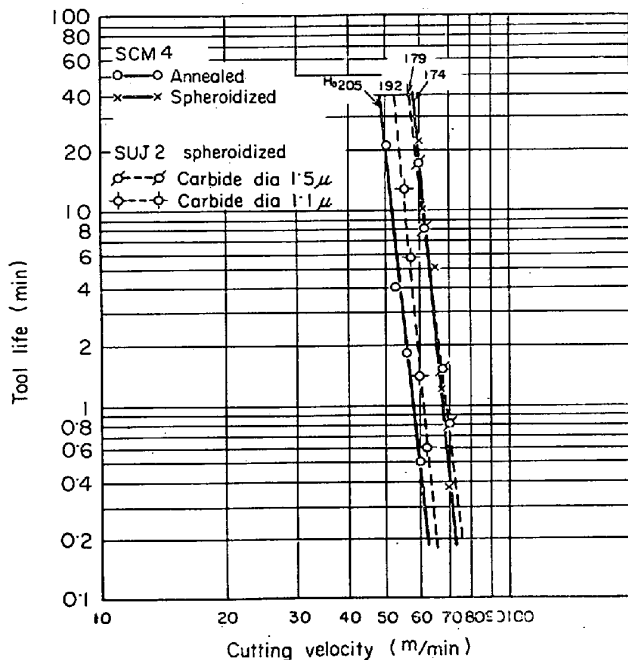


Fig. 3. Taylor tool-life plots for SCM 4 and SUJ 2 of annealed and spheroidized states.

によつて調整した. おおのこの組織を Photo. 1 に示す. Fig. 3 より明らかなように, 球状パーライト組織はフェライトと層状パーライトの混合組織より工具寿命は長く, また球状パーライト組織でも炭化物粒の大きいほど工具寿命は長いことが認められる.

中炭素鋼, 強靱鋼および軸受鋼における高速度鋼工具よりみた寿命は, 上述のように球状化焼鈍後の組織がもつともすぐれており, この球状化焼鈍後の組織について比較すれば炭化物粒の大きいほど工具寿命は長い. また工具寿命と熱処理組織との関係は, すぐれた方から球状化焼鈍組織, 焼鈍組織, 圧延組織, 焼入焼戻組織の順となつており, もつとも工具寿命の短い焼入焼戻後の組織について比較すれば, 焼戻温度の低いほど, すなわち硬度の高いほど工具寿命は劣つている. 伊藤ら<sup>9)</sup>は0.10~0.85% Cの炭素鋼について高速度鋼工具を用いて被削性を検討し, 球状パーライト組織は層状パーライト組織よりも工具寿命の長いことを報告しており, また ZLATIN<sup>9)</sup>も構造用合金鋼について, 高速度鋼工具の寿命は, 球状化焼鈍, 焼鈍, 焼準, 焼入焼戻組織の順で長くなることを明らかにしているが, これらの結果は本研究の結果とも一致している.

鋼の強度は, 切削の際のせん断面に生じるせん断応力と切屑変形量に大きい影響をおよぼし, 鋼の被削性と密接な関係をもつと考えられ, クリティカルな条件においては, 鋼の強度と工具寿命との間にはよい関係が得られている<sup>7)</sup>. Fig. 4は, 試料A1~A5においての以上の実験結果を整理して, 工具寿命が20minに相当する切削速度, すなわち20min寿命切削速度V<sub>20</sub>と被削材の硬度との関係を示したものである. 圧延のまま, 焼鈍後および球状化焼鈍後のフェライトに層状パーライトの混合組織あるいは球状パーライト組織においては, 20min寿命切削速度と硬度との間に, あるばらつき幅

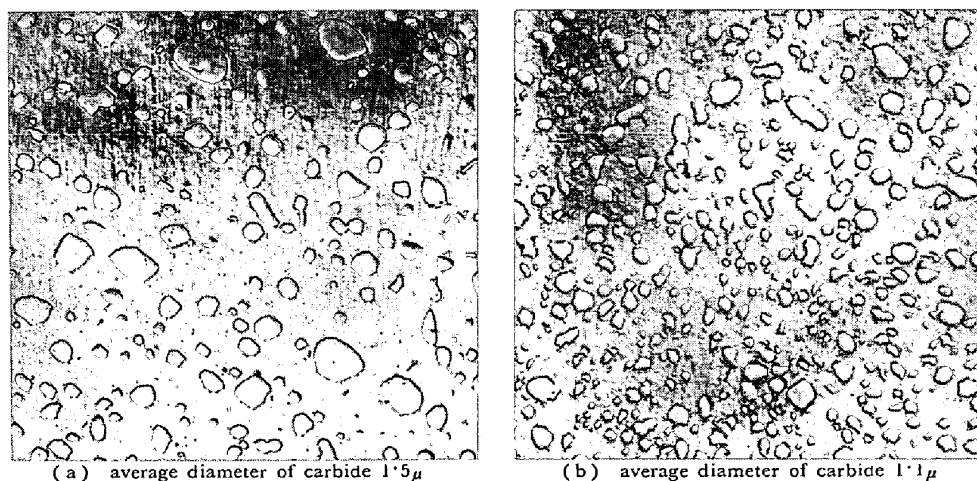


Photo. 1. Microstructure of spheroidized ball-bearing steel. ( $\times 4000$ ) (5/8)

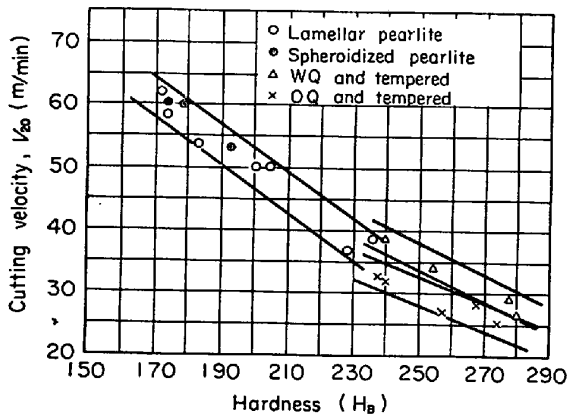


Fig. 4. Effect of hardness of steels on tool life of high-speed steel.

をもつとはいへ一義的な直線関係が得られ、硬度の値が大きくなるほど、20 min 寿命切削速度は小さくなる。

同図の右下方には、焼入焼戻後の組織における 20 min 寿命速度と硬度との関係が図示してあるが、この場合は

やや様相を異にし、水焼入焼戻によつて得られたソルバイト組織と油焼入焼戻して得られたネット状フェライトの析出した不完全焼入焼戻組織においては、それぞればらつき幅を有する二つの直線で区別される。そしてこの二つの直線を比較すれば、ブリネル硬度、 $H_B$  230 から 290 の範囲において、完全焼入焼戻組織の高速鋼工具の寿命よりみた被削性は不完全焼入焼戻組織のそれよりすぐれていることが明らかである。OPITZ ら<sup>7)</sup>は P10, P30 超硬工具のクレーター摩耗を基準にした工具寿命について上述の結果と類似な結果を得ているが、本研究によつて高速鋼工具によつてもこのような事実が確認されたのであつて、この事実は硬度以外にも工具寿命に影響をおよぼす要因が存在していることを示唆していると考えられる。

3.2 ドリル穿孔性におよぼす熱処理組織の影響

さて、本研究の目的は Cr 肌焼鋼の被削性に関する問題の検討である。緒言にも述べたごとく、歯車、シャフ

Table 2. Heat treatment of specimens.

No	Heat treatment	No	Heat treatment
1	950°C 2 hr AC	2	920°C 1 hr 20°C/hr 600°C AC
3	920°C 1 hr 20°C/hr 700°C 1 hr AC	4	920°C 1 hr 20°C/hr 600°C 15 hr 700°C AC
5	After No 1 750°C 5 hr 20°C/hr 600°C AC	6	Cycles of No 5 repeated
7	Cycles of No 5 3 times repeated	8	920°C 1 hr WQ 700°C 1 hr AC
9	920°C 1 hr WQ 700°C 5 hr AC	10	920°C 1 hr WQ 700°C 15 hr AC

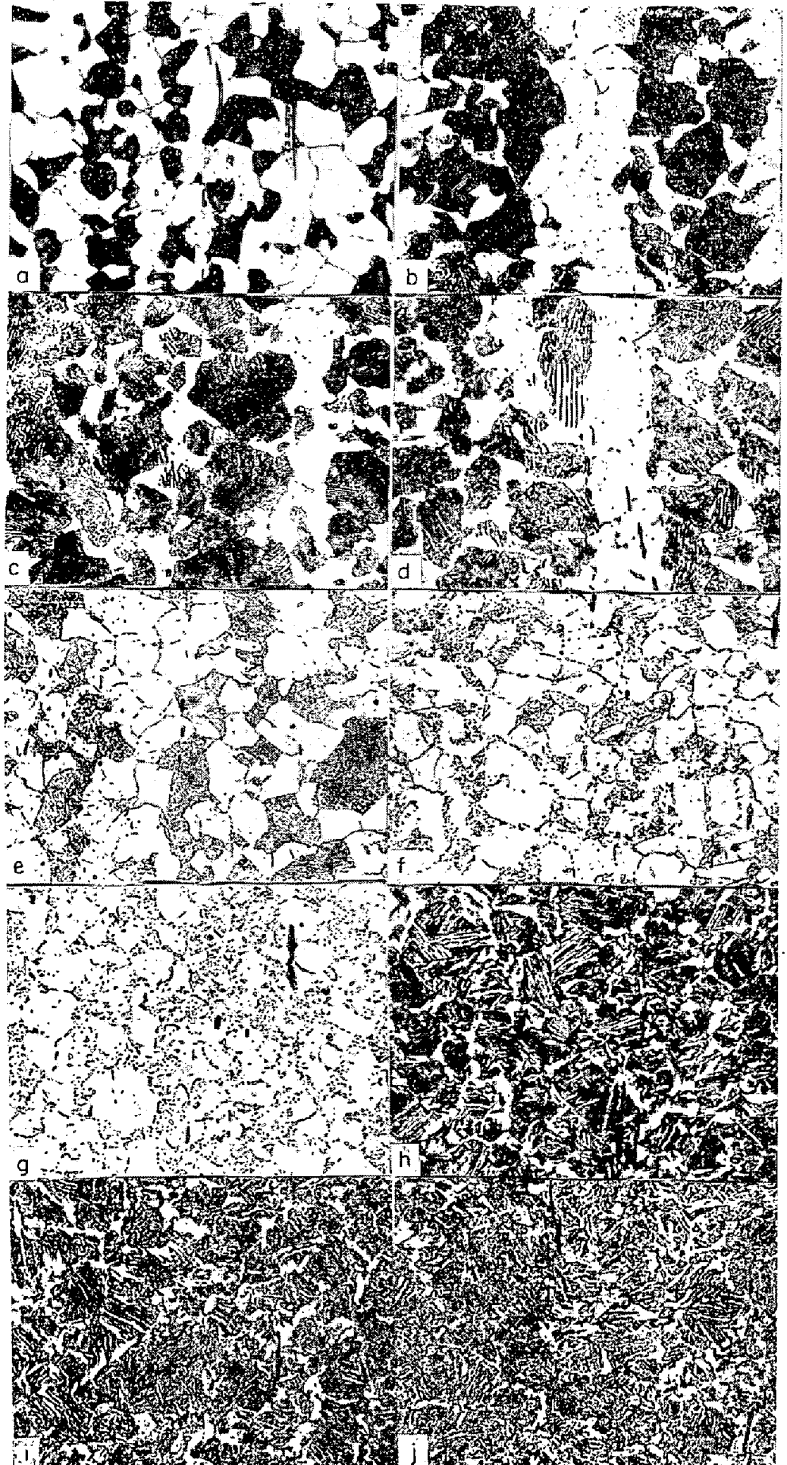
ト類に用いられる肌焼鋼は、一般に焼準後切削加工に供せられる工程か、あるいは球状化焼鈍後、冷間鍛造加工が行なわれ、しかる後に切削加工に供せられる工程をとるのが通常である。したがって本実験においても、Cr肌焼鋼の被削性に関する検討をこの二つの工程のそれぞれに関して別々に行なつた。その第一は前者の工程に関する検討、すなわちCr肌焼鋼の被削性におよぼす熱処理組織の影響についての検討である。

そこで本研究では、予備実験の結果を十分考察した後B系列の試料、すなわちB1(SCr 22)および試料B1にSを0.056および0.103%添加した試料B2およびB3を用い、熱処理条件を種々変化させ、3種の試料について種々異なる熱処理組織に調整しドリル試験により、ドリル穿孔性におよぼす熱処理組織の影響を検討した。ここで3種のS含有量の異なる鋼をえらんだのは、微妙な組織変化による被削性への微妙な影響を、より明確に把握せんと試みたからにほかならない。なぜならば、S含有量について1水準の単一試料においては、いずれの組織の方が被削性がすぐれているのか判別が困難な場合であっても、S含有量の異なる3種の試料、すなわち被削性の程度が3水準に異なる試料について被削性を、3点をむすんだグラフとして比較すれば、よりその判定が明りようとなるからである。また、被削性の評価としてドリル試験をえらんだのは、ドリル試験の被削性の評価が、実際の現場作業的に部品を切削するときの被削性の評価にある面において比較的近いと考えられることおよび試験片の形状が小形ですむため、多種の異なる熱処理組織を有する試料の調整が容易なことによるものである。

種々の熱処理組織の調整には、10種の熱処理方法を採用した。このように多くの熱処理組織を調整したのは、実際、現場作業的には微妙な熱処理組織の変化によつて被削性の変化が現われ、切削加工を担当する箇所より被削性について問題が提起されることがままあるところであるからであり、したがって被削性の改善および安定化を目的とする立場からの研究としては、より微妙な熱処理組織の変化が被削性にいかなる影響を与えるか知る必要があるからである。

Table 2にそれぞれの熱処理カーブを、Photo. 2にB系列試料を代表して試料B2について、その熱処理後の顕微鏡組織および硬度を示した。鋼にSを添加した場合非金属介在物、とくに硫化物

系非金属介在物の量および形状に影響を与えることはよく知られているが<sup>10)</sup>、熱処理組織および硬度にはあまり大きな効果は示さないと考えられる。本実験の場合においても、試料B2とS含有量のみ異なる試料B1およびB3の熱処理後の顕微鏡組織および硬度は試料B2のそれらと同程度である。なお参考のため、Table 3にB



a) No 1 (H<sub>RB</sub> 80.6), b) No 2 (H<sub>RB</sub> 74.5), c) No 3 (H<sub>RB</sub> 72.2)  
d) No 4 (H<sub>RB</sub> 71.6), e) No 5 (H<sub>RB</sub> 73.2), i) No 6 (H<sub>RB</sub> 71.1)  
g) No 7 (H<sub>RB</sub> 68.5), h) No 8 (H<sub>RB</sub> 88.5), f) No 9 (H<sub>RB</sub> 84.8)  
j) No 10 (H<sub>RB</sub> 82.7), ×400 (3/5)

Photo. 2. Microstructure of specimens (SCr 22 + 0.05% S).

Table 3. Amount of non-metallic inclusion of specimens.

No	Steel	A-type	B-type	C-type
B-1	SCr22	0.033	0	0.013
B-2	SCr22+0.05S	0.220	0	0.013
B-3	SCr22+0.10S	0.425	0	0.008

系列の各試料について、JIS 点算法による非金属介在物の測定結果を示した。周知のごとく、鋼の S 量とともに A 系介在物量は増加するが C 系介在物量は S 量が 0.103% の場合、S 量がより低い場合と比較してむしろ減少している。

ドリル穿孔性試験には卓上ボール盤で、定荷重の穿孔ができるように改良したものをを用いた<sup>11)</sup>。ドリルとしては 5 mm  $\phi$  の JIS 標準ドリル SHK 9 種を使用し、ドリル刃先に一定の荷重 30 kg をかけ、回転数 1100 rpm で、40 mm  $\phi$   $\times$  10 mm の試験片を穿孔するに要する時間で比較した。ドリル間に穿孔時間のばらつきが大きい場合、あらかじめ標準試料、すなわち焼準処理した低炭素鋼 (JIS, S15C, 0.17% C, 0.23% Si, 0.43% Mn, 0.008% P, 0.023% S) を穿孔し、同じ程度の穿孔能を有するドリルをえらんで試験に供している。穿孔時間は 1 本のドリルで 4~5 個の試験片について穿孔順序をかえて 4 回測定したが、これらの試験片の中につねに標準試料 (S15C) を入れ、標準試料の値を基準とした相対的な値の平均値を各試料について求めた。かかる試験はドリルを交換して 5 回繰り返し、穿孔性指数として標準試料 (S15C) を 100 として、標準試料に対する穿孔時間の比の逆数をパーセントであらわした。なお、S15C 標準試料を穿孔するに要する平均切削時間は 0.233 min である。

Fig. 5 に試料 B1 (SCr 22) とこれに S を 0.056 および 0.103% 添加した試料 B2, B3 のドリル穿孔性指数と熱処理組織との関係を S 量をパラメーターとして示す。いずれの熱処理組織の場合においても、ドリル穿孔性は S 添加によつていちじるしく改善されることは予想したごとくであるが、微妙な熱処理組織の差がドリル穿孔性に与える影響を図より明りように知ることができる。すなわち、ドリル穿孔性にとつてはフェライトパーライト組織がもつとものもぞましく (Photo. 2 (a) および (b)), パーライトコロニー内の球状化が進行するにしたがつて、穿孔性はだんだんと劣下する (Photo. 2 (c), (d) および (e))。さらにパーライトコロニー内の球状化が進行し、炭化物が凝集して大きくなり、その分布が均一になると穿孔性の劣下はよりいちじるしいものとな

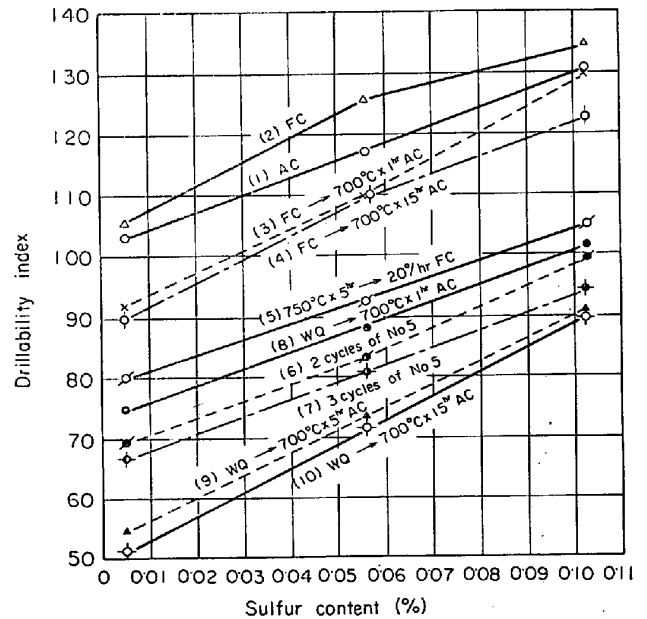


Fig. 5. Effect of heat treatment and sulfur content on drillability of SCr 22.

る (Photo. 2 (f) および (g))。

一般に鋼を焼入し、つづいて球状化焼鈍を施すと非常に細かい炭化物が均一に分布した球状化焼鈍組織が得られるが、B 系列試料においては、かかる球状化焼鈍を施した場合、フェライトパーライト組織の場合と同様、ドリル穿孔性は炭化物の球状化の進行とともに劣下する (Photo. 2 (h), (i) および (j))。なお、上記 10 種の熱処理組織のうちで Photo. 2 (j) のごとき組織はドリル穿孔性には、もつともこのましくないと考えられる。また、ドリル穿孔性で被削性を比較した場合には、ドリル穿孔性と硬度との間には高速度鋼工具の寿命と硬度との間にみられたような関係は認められない。

荒木ら<sup>12)</sup>によれば軟鋼の被削性は、低切削速度域においては主として組織によつて、つまりパーライトの分布状態によつて解釈されるということが明らかにされているが、肌焼鋼のドリル穿孔性についても、上述したごとく、パーライトの形状および分布においてほとんど説明することができる結論されよう。

### 3.3 ドリルの工具寿命におよぼす熱処理組織の影響

本研究では、ドリル穿孔性におよぼす熱処理組織の影響の検討にひきつづき、ドリルの工具寿命におよぼす熱処理組織の影響を検討した。ドリルの工具寿命試験としては、ラジアルボール盤を用いて 48 mm  $\phi$   $\times$  30 mm の試料を直径 10 mm  $\phi$  のテーパシャックドリル SKH 9 種を用い、回転数 1500 rpm, 送り 0.34 mm/rev で穿孔し、工具寿命までの穴明け個数で比較した。工具寿命の判定は切削動力の急上昇またはボール盤の音の変化で



行なつた。なお切削油はスピンドル油を使用している。

試料にはB系列のうちの試料B1を用い、熱処理カーブNo 1, 5, 7 および 10 の熱処理を施した後、ドリルの工具寿命試験を行なつた結果を Fig. 6 に示す、同図は横軸に硬度、縦軸に工具寿命をとつて実験結果を整理している。図より知られるように、一定荷重下での穿孔時間で比較したドリル穿孔性と異なり、本実験に用いたCr肌焼鋼においては、ドリルの工具寿命は硬度が低いほどすぐれており、前述の Fig. 5 とは異なつた結果を示す。このようにドリルの工具寿命と定荷重ドリル穿孔性の間には相関が認められない。本実験の場合、工具寿命試験には 10 mm  $\phi$  のドリルを使用し、定荷重ドリル穿孔性試験には 5 mm  $\phi$  のドリルを用いているので、このドリル径の差が両者の相関を示さない原因になつていとも考えられる。5 mm  $\phi$  のドリルを用いた場合には、断面当荷重が 1.53 kg/mm<sup>2</sup> (定荷重 30 kg) となつており、荷重が過重になつていとも懸念されるからである。このことを検討するために、試料B1について Fig. 6 に示した熱処理と同一の熱処理を施し、SKH9種、10 mm  $\phi$  JIS 標準ドリルを用い断面当荷重 0.89 kg/mm<sup>2</sup> (定荷重 70 kg) をかけ、回転数 700 および 1100 rpm の条件で定荷重ドリル穿孔性試験を行なつた。その結果を Table 4 に示す。Table 4 にはまた Fig. 5 における 5 mm  $\phi$  ドリルを用いて行なつた結果も比較して示してある。Table 4 よりドリル穿孔性指数は熱処理によつて大きな影響を受け、ドリルの径の変化による穿孔条件にはむしろほとんど影響を受けないことが明らかである。

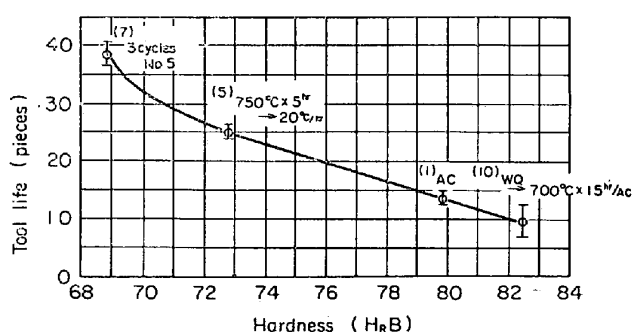


Fig. 6. Effect of hardness of SCr 22 on drill tool life of high-speed steel.

Table 4. Drillability index of SCr22 with different drilling conditions.

Drill diameter (mm)	Spindle speed (rev/min)	Load (kg)	Drillability index				Average drilling time of S15C standard specimen (min)
			(1) AC	(5) 750°C×5hr →20°C/hr FC	(7) 3 cycles of No 5	(10) WQ →700°C×15hr AC	
5 $\phi$	1 100	30	103	80	67	51	0.233
10 $\phi$	700	70	101	75	65	58	0.425
10 $\phi$	1 100	70	112	76	70	57	0.267

この結果は工具寿命とドリル穿孔性指数との間には断面当荷重が 0.89~1.53 kg/mm<sup>2</sup> の範囲において相関がないということの意味している。工具寿命とドリル穿孔性指数の間には、断面当荷重が非常に低い場合 (たとえば 0.2 kg/mm<sup>2</sup> 程度)、若干相関があるようになるのではないかとも考えられるが、本実験においては、上述のごとくかかる相関は認められなかつた。

したがつて、鋼の被削性を論ずる場合、ドリル穿孔性とドリルの工具寿命よりみた被削性は必ずしも対応せず、それぞれは被削性を判断する一要素にすぎないことが知られるが、このことよりある一つの鋼材の被削性を論ずる場合には、ただ一つの尺度より判定するのは早計で、いろいろな角度よりその材料の被削性を論じなければならぬという結論が導かれるのである。

### 3.4 ドリル穿孔性におよぼす冷間加工の影響

以上、Cr肌焼鋼における第一の工程に関する検討、すなわちドリル試験による被削性と熱処理組織との関係の検討を行なつたが、その結果、ドリルの工具寿命からみた被削性は硬度の低いほど、したがつて球状化焼鈍後の組織の場合がもつともすぐれているが、ドリル穿孔性からみた被削性は必ずしもこれと対応せず、むしろ球状化の程度が進行するほど劣下することを示した。

ところで、繰り返し述べるように本実験に用いているCr肌焼鋼 (SCr 22) は球状化焼鈍後、冷間鍛造加工が行なわれ、しかる後に切削加工に供せられる工程も相当の割合でなされている。この第二の工程がとられたときにおける鋼の被削性の検討に関して以下に示す実験を行なつた。

上述のごとく、鋼が冷間鍛造される場合、その前処理として球状化焼鈍が施されるのが一般であるので、本実験においても球状化焼鈍組織におよぼす冷間鍛造加工の影響を検討した。しかしながら、被削性におよぼす冷間鍛造加工の影響を検討するために、実際の冷間鍛造部品について切削試験をすることはあまり容易なことではないので、本実験では、B系列試料、B1~B3 について、26 mm  $\phi$  圧延鋼材に熱処理カーブ No 7 を施し (Table 2)、冷間鍛造加工としては、断面減少率で 5, 15 および 30% の冷間引抜を行なうことにより代用し、しかる



後切削試験に供した。冷間鍛造加工においては、その変形量が 80% をこえる場合もあり、本実験では冷間加工の断面減少率が上記のごとく、最大で 30% であるので、被削性について引抜率の低いデータより外挿して冷間鍛造部品の結果を結論するのはやや問題があるとも考えられるが、著者らは加工率が高くなるほど被削性は一定値に近づき 30% 以上の加工率ではその変化はそれほど大きくないということを経験的に確認しているので、本実験では冷間引抜の断面減少率を上述のごとく 5~30% の範囲に選んでいる。なおドリル穿孔性試験の方法は前述のそれと同一である。

S 含有量が 0.005, 0.056 および 0.103% の 3 種の Cr 肌焼鋼におけるドリル穿孔性におよぼす冷間加工の影響を Fig. 7 に示す。同図は横軸に S 含有量、縦軸に穿孔性指数を取り冷間加工の影響を整理している。Fig. 7 より知られるごとく、ドリル穿孔性におよぼす冷間引抜による冷間加工の影響はほとんど認められない。

前述のごとく、球状化焼鈍組織を有する鋼の被削性におよぼす冷間加工の影響は冷間鍛造部品の被削性を考慮する場合、重要であり、一般には低炭素鋼は展延性が大きく、冷間加工によつて被削性は改善されると考えられているが、実際には冷間加工の影響についての研究例は比較的少ない<sup>2)13)</sup>。M. C. SHAW ら<sup>2)</sup>は 0.033~0.37% S を含有する 0.08% C 鋼を用いて、超硬工具の寿命におよぼす冷間引抜の影響について検討し、0.033% および 0.11% S を含有する鋼では、工具寿命は冷間引抜によつて改善されるが、0.18% S 以上 S を含有する鋼では必ずしも改善されないことを示している。また高橋ら<sup>13)</sup>は低炭素鋼の磨棒鋼の冷間引抜率を 7~27% にかえて工具寿命試験を行なつた結果、高速度鋼工具では冷間引抜率の高いほど被削性は改善されるが、超硬系工具の場合は必ずしも効果があらわれず、この理由を引抜後の硬度との関係において説明している。

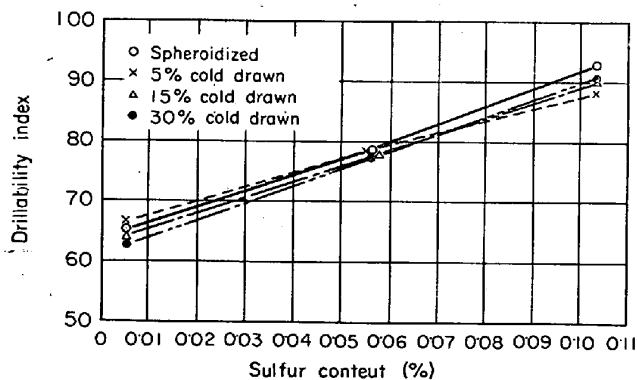


Fig. 7. Effect of cold drawing and sulfur content on drillability of SCr 22.

これら文献の実験結果に加えて、本実験の結果を総合的に考察すると、被削性におよぼす冷間加工の影響は、ドリル穿孔性では明確に把握できないと考えられ、本研究では冷間加工の影響をみるには、もつとも結果を効果的に示すと考えられる高速度鋼工具の寿命でもつてその影響を検討することにした。

### 3.5 高速度鋼工具の寿命におよぼす冷間加工の影響

鋼の被削性におよぼす冷間加工の影響をより明確に把握するために、高速度鋼工具の寿命よりみた被削性と冷間加工との関係を検討した。ドリル穿孔性におよぼす冷間加工の影響に関する検討の場合と試料、熱処理条件および冷間加工条件は同一であり (B 系列試料 B1~B3, 26 mm  $\phi$  圧延鋼材を熱処理カーブ No 7 で球状化焼鈍, 冷間引抜は断面減少率で 5, 15 および 30%), また切削条件は予備実験におけるそれと同一である。

Fig. 8 は高速度鋼工具を用いて工具寿命試験を行なつて得られた V-T 線図より 20 min 寿命切削速度を求め、冷間引抜率との関係を示したものである。20 min 寿命切削速度が試料 B 3, B 2, B 1 の順となつているのは、S 含有量の影響が出ている。すなわち S 量とともに 20 min 寿命切削速度が大となるが、一方冷間引抜率については一義的な関係が認められず、冷間加工が工具寿命におよぼす影響は S 含有量によつて異なつている。Fig. 8 にみるごとく、試料 B1 (0.005% S) では、冷間引抜率 5% で 20 min 寿命切削速度は低下し、引抜率の増加とともに 20 min 寿命速度は大きくなり、30% の引抜率では引抜前と同程度の値となる。0.056 および 0.103% S を含有した試料 B2 および B3 では、冷間引抜率による 20 min 寿命切削速度の変化は小さく、試料 B1 のそれと異なつた挙動を示している。

冷間加工した鋼材を切削する場合、切屑の歪を減少させ、せん断角の増加およびせん断面の面積の減少という被削性に有利な効果が与えられるが、一方では硬度の増

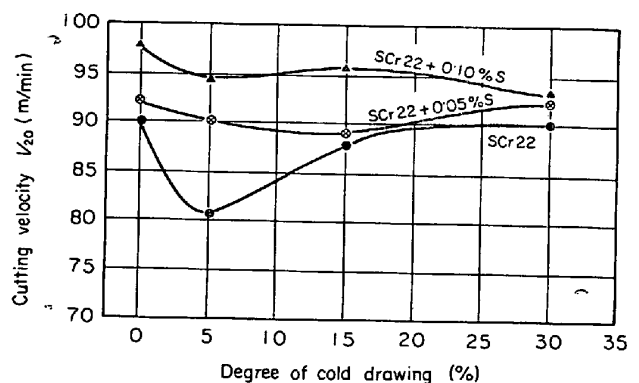


Fig. 8. Effect of cold drawing on tool life of SCr 22 and resulfurized SCr 22.

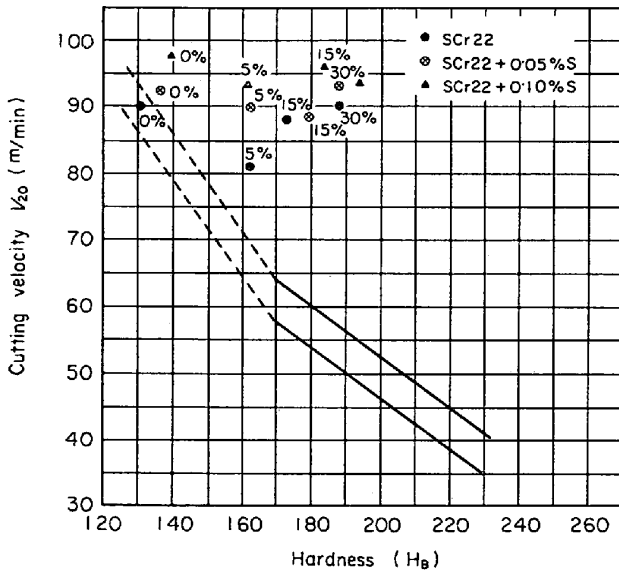


Fig. 9. Relation between tool life and hardness.

加によるせん断応力の増加という不利な効果も加えられる<sup>2)</sup>。Fig. 8 に示されたような工具寿命と冷間引被率との複雑な関係も、冷間加工が被削性におよぼすこれら二つの相反する効果が同時に与えられるからであり、これらの相反する効果を分離して考察すればその挙動が容易に解釈されるのではないかと考えられる。

Fig. 9 は Fig. 8 の実験結果を観点を改めて 20 min 寿命切削速度と硬度との関係として示したが、図中にはまた、フェライト-層状パーライト組織および球状化パーライト組織における 20 min 寿命切削速度と硬度との関係を Fig. 4 より再掲した。この Fig. 4 より再掲した結果と試料 B1 の結果とを点線で結んで示すと 20 min 寿命切削速度と硬度との関係は一つの折れ線であらわされる。しかしながら従来のかかる分野の研究<sup>14)</sup>を総合的に検討するとこれらの関係はむしろ双曲線であらわすのが妥当かもしれないと考えられる。ところで鋼の被削性におよぼす冷間加工の影響は、上述のように展延性の減少による有利な効果と硬度の増加にともなう不利な効果に分離できるとすると、Fig. 9 において、冷間引抜した鋼と冷間引抜しない鋼の 20 min 寿命切削速度を同一硬度で比較し、その差をとることによって冷間引抜による展延性の減少にともなう有利な効果のみをとりだすことができるのではないかとと思われる。

Fig. 10 には、上述のような方法で冷間引抜による展延性の減少にともなう有利な効果のみをとり出して、冷間引被率との関係において整理した結果を示している。同図より明らかなように、冷間加工の硬度上昇にともなう被削性に不都合な効果を消去し、展延性の減少にともなう有利な効果のみをとり出すと、20 min 寿命切削速

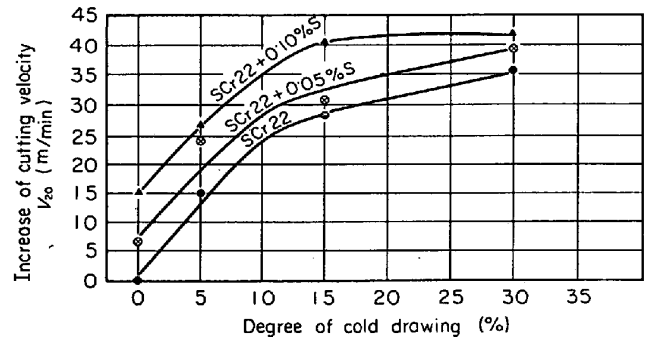


Fig. 10. Effect of cold drawing on cutting velocity  $V_{20}$  when eliminating undesirable effect of work hardening.

度は冷間加工により改善され、その効果は冷間引被率が 15% までは大きく、それ以上冷間引被率が增加しても改善の程度が小さくなる。このことより、Fig. 8 のように冷間引抜が工具寿命におよぼす影響は複雑な挙動を示すが、冷間加工の効果を上述のように二つの効果に分離して考慮すれば、複雑な挙動も解釈が容易になると思われる。

さて高速度鋼工具のように工具材質の温度依存性が大きく、また本実験のように構成刃先を生成しない切削速度域での工具寿命は、主として局部の切削温度によつて解釈されるものと考えられ、上述した高速度鋼工具の寿命におよぼす冷間加工の影響も切削温度という見地からはつぎのように考察される。

切削温度は M. C. SHAW らによれば<sup>14)15)</sup>

$$\bar{\theta}_c = \bar{\theta}_s + \bar{\theta}_f \dots\dots\dots (1)$$

$$\bar{\theta}_s = R_1 \tau \gamma / J C \rho \dots\dots\dots (2)$$

$$\bar{\theta}_f = 0.754 R_2 f (K r_c V l)^{1/2} / J \cdot k \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 $\bar{\theta}_c$ : すくい面上の切くず温度、 $\bar{\theta}_s$ : せん断面の発生熱による温度上昇、 $\bar{\theta}_f$ : すくい面上摩擦熱による温度上昇、 $R_1$ : せん断面発生熱のうち切くずに流入する熱の割合、 $R_2$ : すくい面摩擦熱のうち切くずに流入する熱の割合、 $V$ : 切削速度、 $\gamma$ : せん断歪、 $r_c$ : 切削比、 $l$ : すくい面切くず接触長さ、 $\tau$ : せん断面上せん断応力、 $f$ : すくい面上摩擦応力、 $\rho$ : 切くずの密度、 $c$ : 切くずの比熱、 $k$ : 切くずの熱伝導率、 $K$ : 切くずの熱拡散率、 $J$ : 熱の仕事当量である。

冷間加工によつて切削温度に影響をあたえる因子は (2) 式中の  $\tau$ 、 $\gamma$ 、(3) 式中の  $f$ 、 $r_c$ 、 $l$  である。冷間加工にともなう硬度上昇により、 $\tau$ 、 $f$  は増加し、また展延性の減少により工具前方の塑性域の大きさが小さくなり、 $l$ 、 $\gamma$  が減少し、 $r_c$  は増加する。Fig. 9 における硬さと 20 min 寿命切削速度について折れ線として示される関係は、硬さ、展延性の切削温度にあたえる効果

の総合されたものであるが、硬さ上昇にもとづく工具寿命に対する不利な効果が展延性の減少による有利な効果よりも大きく、みかけ上硬さのみで工具寿命が関係づけられて示されるものと考えられる。しかしながら硬さ上昇とともにいちじるしい展延性の減少をともなう冷間加工においては、Fig. 10のごとく Fig. 8における工具寿命と冷間引抜率との関係から硬度上昇にもなう不利な効果を差し引くと冷間加工にもなういちじるしい展延性の減少による有利な効果のみが分離されて明らかに示される。これは冷間加工による硬度上昇すなわち、 $\tau$ 、 $f$ の増加にもとづく温度上昇による工具寿命に不利な効果を差し引き、展延性のいちじるしい減少にもとづく有利な効果、すなわち  $l$ 、 $r$ の減少による切削温度の低下および  $r$ の増大による切削温度の上昇の総合した結果(全体としては切削温度を低下せしめる)のみをとりだした結果を示したことになる。

以上、Cr 肌焼鋼について、球状化焼鈍後、冷間鍛造加工がなされ、ついで切削加工に供せられる工程について被削性の検討を行なってきたが、実際には、冷間鍛造前に球状化焼鈍が施される場合には、材料の被削性が問題になることが多々あり、すでに述べた本実験の結果すなわちドリル穿孔性からみた被削性におよぼす熱処理組織の影響に関する結果からみても、ドリル穿孔性は球状化焼鈍が施されることによりいちじるしく劣下することが知られ、上記工程をとる肌焼鋼においては、冷鍛性とのかねあいにより、適切な熱処理組織の選択、さらに S 添加などによる対策も現場作業的な見地からは十分考慮されなければならない。

ところで、鋼の被削性というものを本実験の結果およびすでに示した文献などを検討して考慮すれば、鋼の被削性の良否の判定は一つの切削試験方法の結果で判断するのは適切でなく、それぞれの試験方法から得られた結果は被削性を判断する一要素にすぎないことをよく認識し、適切な試験方法の選択あるいはいくつかの試験方法から得られた結果を総合的に検討して被削性の評価を下すことが望ましいと結論されよう。

#### 4. 結 言

S 量の異なる Cr 肌焼鋼の被削性におよぼす熱処理組織および冷間加工の影響について検討した結果、つぎの諸結果を得た。

(1) 現用鋼における熱処理組織の被削性への影響に関する予備的実験において、中炭素鋼および強靱鋼の高速度鋼工具の寿命は球状化焼鈍組織がもつともすぐれ、ついで焼鈍組織、圧延組織、焼入焼戻組織の順であり、

さらに 20 min 寿命切削速度は硬度と比較的よい関係が得られ、硬度が低いほど工具寿命が長くなることを確認した。また、同一硬度で比較すると均一ソルバイトからなる完全焼入焼戻組織の工具寿命は、ネット状フェライトの折出した不完全焼入焼戻組織のそれよりも長い。

(2) 種々熱処理組織を変化させた場合 Cr 肌焼鋼のドリル穿孔性はパーライトの形状、分布状態によつて主として支配され、焼鈍または焼準処理した層状パーライト組織がもつともすぐれ、パーライトコロニー内の球状化が進行するにしたがつて穿孔性は劣下し、さらに球状化が進行し、炭化物が凝集して大きくなり、その分布が均一になると穿孔性の劣下はよりいちじるしくなる。しかしドリルの工具寿命は球状化が進行し、硬度の低いほどすぐれている。

(3) 冷間引抜率を変化させた Cr 肌焼鋼(球状化焼鈍材)のドリル穿孔性は、本実験における断面減少率で 5~30% の範囲ではほとんど影響を受けない。上述と同一材料について、高速度鋼工具の寿命におよぼす冷間引抜率の影響を検討したところ、20 min 寿命と冷間引抜率の間には、一義的な関係は認められず、冷間加工が工具寿命におよぼす影響は試料の S 含有量によつて異なっている。しかし、この結果を、冷間加工による展延性の減少と硬度の増加という被削性にとつて相反する効果を示す二つの性質を分離し、冷間加工の硬度上昇にもなう被削性に不都合な効果を消去して考察すると、20 min 寿命切削速度は冷間加工によつて改善されることが明確にみいだされる。

(4) 鋼の被削性の良否の判定は一つの切削試験方法の結果で判断するのは適切でなく、それぞれの試験方法が得られた結果は被削性を判断する一要素にすぎないことをよく認識し、適切な試験方法の選択あるいはいくつかの試験方法から得られた結果を総合的に検討して被削性の評価を下すことが望ましいと結論される。

#### 文 献

- 1) F. KLAUS, W. KÖNIG, W. LÜCKERATH, and H. SIEBEL: Stahl u. Eisen, 85 (1965) 25, p. 1669
- 2) M. C. SHAW, N. H. COOK, and P. A. SMITH: Trans. ASME, 83 (1961), p. 163
- 3) M. C. SHAW, N. H. COOK, and P. A. SMITH: Trans. ASME, 83 (1961) p. 175
- 4) 奥島, 岩田, 益田: 精密機械, 27 (1961) 10, p. 674
- 5) 奥島, 岩田, 栗本: 機械学会論文集, 29 (1963) 202, p. 1005
- 6) 奥島, 岩田: 機械学会論文集, 28 (1962) 193, p. 1034
- 7) Eine Gemeinschaftsarbeit des Unterausschusses

- 
- für Bearbeitungsfragen: Stahl u. Eisen, 83(1963) 20, p. 1209
- 8) 伊藤, 大沢, 滝水, 木下: 日本機械学会前刷集, (1964) No 108
- 9) N. ZLATIN and J. CHRISTOPHER: ASM Technical Report, (1965) No D5-13-1
- 10) LAWRENCE H. Van VLACK: Trans. ASM, 45 (1953), p. 741
- 11) 荒木, 小柳, 大橋: 鉄と鋼, 45 (1959) 3, p.353
- 12) 荒木, 谷地: 日本機械学会誌, 70 (1967) 577, p. 183
- 13) 高橋, 中島, 菊間: 製鉄研究, (1966) 254, p. 6376
- 14) 橋本: 金属切削・研削技術と材料および設計, (1964), p. 10 [地人書館]
- 15) E. G. LOWEN and M. C. SHAW: Trans. ASME, 76 (1954), p. 217
-