論 説

UDC669.14.018.298-194.2:621.91.011:621.785:621.7.016.3.011

低合金肌焼鋼の被削性に及ぼす熱処理および冷間加工の影響*

阿部山尚三**, 木村篤良**, 中村貞行**

The Influence of Heat Treatment and Cold Forging on Machinability of Low Alloyed Steel

Shozo Abeyama, Atsuyoshi Kimura and Sadayuki Nakamura

Synopsis

The drillability of a low alloyed case-hardening steel is examined concerning the effect of heat treatment and cold forging. In gear hobbing of a similar steel, the effects of heat treatment and free machining additives on the hob wear are also investigated.

In drilling the heat treated SCr420 series, the maximum tool life appears at the hardness of around HV170 to 190 in ferrite plus austenite structure and the life is considerably reduced with the coexistence of spherical cementite. After cold forging, the steel shows a slightly shortened tool life.

In the gear hobbing of SCM420 series, the softer hardness and the more spheroidized cementite the steel has, the longer tool life is obtained. Ca addition with S and Te increases the life of the TiN coated hob.

1. 緒 言

冷間鍛造技術の発達に伴い様々な機械部品を冷間鍛造工程により製造することが可能となってきた。同時に、冷間鍛造後の切削加工において被削性が低下するという問題がしばしば生じている。この理由として次の2点が考えられる。すなわち、(1)冷間鍛造性向上のための前熱処理組織、例えば

球状パーライト組織、(2)冷間鍛造による加工硬化である。

熱処理(ミクロ組織)と被削性の関係^{1),2)},あるいは、冷間加工(加工硬化)と被削性の関係^{3),4)}に関する報告はすでになされているが、両因子の影響を同時に解析した報告は見あたらない。ここでは、低合金肌焼鋼(SCM420)のドリル穴あけ性に及ぼす熱処理と冷間加工の影響について、実験データをもとに論ずる。さらに、SCr420の歯切り性に及ぼす熱処理と快削元素の影響についても述べる。

2. 実 験 方 法

2.1 試 験 材 料

Table 1 に試験材料の化学成分と熱処理、冷間

昭和58年3月7日 受付

*ASM International Conference, Chicago (Sep., 1982)で発表し, JAM, Vol. 2 (1983) 4 に掲載。

**大同特殊鋼株式会社中央研究所

Table 1. Chemical compositions, heat treatments, and cold forging ratios of tested materials.

Machining test	JIS (SAE)	Alloy No.	Chemical composition, (wt %)								Rolled bar stock mm Dia.	Heat treatment	Cold(%) forging.(%)
			C	Si	Mn	Cr	Mo	S	Te	Ca			
Drilling	SCr420	1	0.20	0.25	0.72	1.00	—	0.016	—	—	34	R,N	30,50,60
	(5120)	2	0.19	0.21	0.73	1.02	—	0.030	—	—		SA,A	
	Senes	3	0.20	0.19	0.75	1.02	—	0.032	0.010	—		LA1,LA2	
Gear hobbing	SCM420	4	0.20	0.26	0.78	1.04	0.15	0.020	—	—	90	R,N	—
	(4118)	5	0.21	0.29	0.81	1.02	0.17	0.051	0.011	—		SA,A	
	Senes	6	0.20	0.25	0.85	0.99	0.16	0.059	0.011	0.0018			

加工率を示す。No. 1 と No. 4 はそれぞれ SCr420 と SCM420 のベース鋼である。その他は硫黄とテルル、あるいはさらにカルシウムを含む快削鋼である。SCr420 系の試験材料は 34mm の丸棒に熱間圧延の後、各種熱処理を施し、長さ 50mm に切断した。その後、すえ込み率 30, 50, 60% の 3 水準に単純圧縮(アブセット)を行った。一方、SCM420 系の試験材料は 90mm の丸棒に熱間圧延の後、各種熱処理を施し、直径 82.5mm、長さ 200mm の歯切用試験片に機械加工した。

熱処理条件と熱処理後のマイクロ組織を Table 2 にまとめて示す。R (圧延まま)、N (焼ならし)、A (焼なまし)、LA2 (低温焼なまし-2) 材はフェライト+パーライト組織である。SA (球状化焼なまし) 材はフェライト+球状セメンタイトであり、LA1 (低温焼なまし-2) はパーライトの一部が球状化した組織となっている。

Fig. 1 は、ドリル試験用試験片の平均硬さとすえ込み率の関係を示す。どの熱処理も同じような硬化傾向を示している。

2.2 試験方法

ドリル穴あけ性試験として、ドリル寿命試験と切削抵抗試験を行った。これらの試験時の切削条件を Table 3 に示す。切削抵抗(トルク・スラスト)は試験片の中心から 14mm の位置で一定速度 20m/min にて 3 回測定しその平均値を求めた。各速度でのドリル寿命を両対数グラフ上にプロットし、工具寿命が 5 000mm となる切削速度 (5 000 mm 寿命速度) を求めた。

歯切り性試験としてホブ盤による歯切り加工を行った。Table 4 に歯車諸元、ホブ諸元、および切削条件を示す。歯車としては自動車用ミッション

Table 2. Heat treatments and microstructures of tested materials.

Abbrev	Condition	°C·2hr / Cooling	Micro-structure*
R	As-rolled	—	F+P
N	Normalized	900/AC	F+P
SA	Spheroidized	760/FC	F+Sc
A	Annealed	850/FC	F+P
LA1	Low-temperature	720/AC	F+P+(Sc)
LA2	Annealed	650/AC	F+P

* Microstructure F: Ferrite, P: Pearlite, Sc: Spherical cementite.

Fig. 1. Variation of hardness of work with cold forging ratio.

Table 3. Cutting conditions of drilling test.

Tool	HSS(SKH9), $\phi 5$, 118 deg, twist drill
Feed	0.10 mm/rev
Depth of hole	18mm(Blind)
Cutting speed	var. (20 m/min for torque measurement)
Cutting fluid	non
Tool life criterion	Failure

Table 4. Cutting conditions of gear hobbing test.

Gear details	
Module	2.5
Type of gear	Spur gear
Number of tooth	31
Pressure angle	20deg
Length of T.P.	200 mm
Hob details	
Type	Built-up, RH
Size	92 ^B ×125 ^L mm
Number of flutes	12
Thread	3
Rake angle	0 deg
Material	AISI M34, M34TiN
Cutting conditions	
Cutting speed	60~124 m/min
Axial feed	4 mm/t, rev
Type of cut	Climb cut
Hob shift	non
Number of cuts	1/serup
Cutting fluid	JIS 2-6

ギヤがもっとも多いモジュールを採用した。ホブは通常のハイス組立ホブと、TiN コーティッドホブの2種類を用いた。工具寿命は逃げ面最大摩耗巾が0.3mmとなるまでの切削長で判断した。

3. 結果と考察

3.1 ドリル穴あけ性

Fig. 2 と Fig. 3 にそれぞれ SCr420 すえ込み材のトルクとスラストを示す。すえ込み率が上昇すると切削トルクは減少するがトルクは増加する傾向にある。この傾向は SCM420 後方押出材および

Fig. 2. Effect of cold forging ratio on torque in drilling.

Fig. 3. Effect of cold forging ratio on thrust in drilling.

引抜材の場合に関する著者らの報告³⁾の内容と一致している。すなわち、冷間加工によるトルクの減少は切りくず厚さの減少に対応し、スラストの増加は被削材硬さの上昇に対応している。

Fig. 2 と Fig. 3 はトルクおよびスラストに及ぼす熱処理の影響についても示している。この熱処理の影響はどのすえ込み率の材料に対しても類似している。すなわち SA 材は最大のトルク、スラストを示し、LA1, A, LA2, N, R の順で小さくなる。このことは、切削抵抗はフェライト+パーライト組織で最も小さく、球状セメンタイトの含有率が増加するにつれて大きくなることを示している。

Fig. 4 にすえ込み率と5000mm 寿命速度の関係を示す。すえ込み率による寿命速度の変化はど

Fig. 4. Effect of cold forging ratio on tool life speed in drilling.

の熱処理においても類似している。すなわち、冷間すえ込み加工を受けた材料は、すえ込み率が30%以下の範囲内では素材とほぼ同等の寿命速度を有し、すえ込み率が30%を越えると寿命速度はわずかながら減少する傾向にある。一方、熱処理の影響に関しては、SA材の寿命速度が最も低く、LA1, A, LA2, N, Rの順に高くなる。これより寿命速度の点からも球状セメント組織は穴あけ性に有害であることが判る。

Fig. 4には、焼ならし処理した快削元素を含む材料のデータも付記した。Alloy No. 2(0.030% S)とNo. 3(0.032% S, 0.010% Te)はAlloy No. 1(0.016% S)に比べて寿命速度がそれぞれ20%および50%高い。この傾向は高すえ込み率においても同様に認められ、快削元素の効果が冷間加工後においても有効であることを意味している。

Fig. 5は試験片の平均硬さと5000mm寿命速度の関係をプロットしたものである。図中の太い実線はSCr420焼ならし材に関する別の実験¹¹⁾から得られた回帰曲線である。従来の知見通り、寿命速度は被削材の硬さがHV170から190の範囲で最大となっている。すえ込み素材に関しては、フェライト+パーライト組織であるR, N, LA2およびA材のデータは上記太実線の上に乗っている。一方、若干量の球状セメントを含むLA1材はこの線よりもわずかに下方に位置し、球状セメントが大部分であるSA材はさらに下方に位置している。

次に冷間すえ込み率の影響に注目してみると、すえ込み加工を受けた材料のデータは太実線から大きくはずれている。同じ硬さレベルで比較する

Fig. 5. Effect of hardness of workpiece on tool life speed in drilling.

Fig. 6. Variation of tool life speed with torque in drilling.

と熱処理によりその硬さになった材料よりも、冷間加工によりその硬さになった材料の方が寿命速度が高い。このことはドリル穴あけ性は被削材の硬さのみならず、組織、冷間加工率（材料の延性に大きく影響）にも大きく影響されることを意味している。

Fig. 6はFig. 2とFig. 4からすえ込み率をパラメータにしてトルクと寿命速度の関係を片対数紙にプロットしたものである。すえ込み率が一定の場合、トルクと寿命速度はほぼ直線関係にあり、トルクの増大に伴い寿命速度は低下する。一方、すえ込み率が增大するとこの直線は低トルク・低寿命速度側に移動する。このことは、すえ込み率の寿命速度に及ぼす影響は、トルクの減少・切削温度の低下・摩耗速度の低下という機構以外のものも作用していることを示唆している。

以上の実験結果をもとに、冷間加工のドリル寿

命速度に及ぼす影響をまとめてみると Fig. 7 のようになる。すなわち、冷間加工により被削材の延性が減少し、ひいては切削トルクが減少し、切削温度が低下する。その結果として工具摩耗速度が低下し、工具寿命が延長するという流れと同時に、冷間加工による被削材の硬さ上昇が直接的にまたはスラストの上昇を介してドリル切刃のマイクロチップングを増大させ、工具寿命を短くするという機構が考えられる。

3.2 歯 切 り 性

4 種類の熱処理を施した SCM420 (No. 4) の歯切り性試験結果を Fig. 8 に示す。フェライト+パーライト組織となる熱処理 R, N および A に関しては、被削材硬さとホブ寿命の間に片対数グラフ上で直線関係が認められ、軟かい材料ほどホブ寿命が長くなっている。この直線関係を式で表すと、

$$HT^{0.18} = C$$

となる。ここで、H はビッカース硬さ、T はホブ寿命 (mm)、C は切削速度により変化する定数である。一方、球状セメントタイトの SA 材はこの直線より上方に位置しており、長寿命である。

Fig. 9 は歯切り性に及ぼす熱処理の影響に関し考えられる機構をまとめたものである。一般にホブの摩耗は、切りくずの干渉や、加工物と切刃の摩擦に強く影響を受けることが認められている^{5),6)}。Fig. 9 の右半分では、延性の高い材料は切削温度を高め、その結果として工具寿命が短くなることを示している。一方、延性を高める熱処理は概して材料硬さを低下させ、Fig. 9 の左半分に示すように、切りくずの干渉やこすり摩耗を低減させ、その結果として工具寿命を延長する方向にある。本実験の結果では硬さの低い材料ほど工具寿命が長く、Fig. 9 の右側の機構より左側の機構の方が強く作用していると考えられる。

Fig. 10 に通常ホブおよびコーティッドホブの寿命に及ぼす快削元素の影響を示す。ベース鋼 (No. 4) に比べ、S と Te の添加 (No. 5) および S, Te, Ca の添加 (No. 6) により工具寿命が長くなっている。No. 6 は TiN コーティッドホブに対して最も長寿命である。Ca 処理は TiC コーティッド工具の寿命を延ばす効果があるとされているが⁷⁾⁻¹⁰⁾、Ca の TiN コーティッド工具への影響に関する報告はなく、今後その機構について研究を進める必要がある。

Fig. 7. Effect of cold forging on tool life in drilling.

Fig. 8. Effect of hardness on hob tool life in gear hobbing.

Fig. 9. Effect of heat treatment on tool life in gear hobbing.

Fig. 10. Tool life curves in gear hobbing.

4. 結 言

1) 各種熱処理を施した SCr420 のドリル穴あけ加工において、材料の硬さが HV170~190 で工具寿命は最長となる。組織の点からはフェライト+パーライトがもっとも長寿命であり、炭化物の球状化が進むにつれて工具寿命は短くなる。

2) 冷間加工によりトルクが減少するが、ドリル寿命はわずかに短くなる傾向がある。快削元素 S, Te の添加は冷間加工後のドリル穴あけ性改善にも効果がある。

3) SCM420 の歯切り(ホブ切り)において、

軟かい材料ほど、また球状セメンタイト組織のものほど長寿命を示す。S, Te とともに Ca を添加することにより、とくに TiN コーティッドホブの寿命を延ばすことが可能である。

(文 献)

- 1) E. Koerfer, H. Schenk and H.K. Gorlich: Stahl u. Eisen, **72** (1956) 3, 125
- 2) 奥島, 岩田, 中谷: 機械学会論文集, **29** (1963) 202, 1014
- 3) T. Ito, S. Abeyama, A. Kimura and S. Nakamura: Proceedings of International Symposium on Influence of Metallurgy on Machinability of Steel, ISIJ/ASM, (1977), 313
- 4) 山本, 熊谷: 鉄と鋼, **59** (1973) 1, 100
- 5) 日高, 上野, 寺島: 機械学会誌, **45** (1978) 389, 129
- 6) H. Opitz and W. König: Arch. Eisenhüttenw., **33** (1962) 12, 831
- 7) 精機学会被削性小委員会: 精密機械, **34** (1968) 10, 680
- 8) 精機学会被削性小委員会: 精密機械, **35** (1969) 3, 167
- 9) 精機学会被削性小委員会: 精密機械, **35** (1969) 4, 227
- 10) 精機学会被削性小委員会: 精密機械, **37** (1971) 5, 331
- 11) 阿部山, 中村: 昭和55年度精機学会秋季大会学術講演会論文集 (1980), 915