ホブ切り用切削油添加剤としてのスルホネートの 工具摩耗防止効果 (第2報)*

—全塩基価の影響—

松岡 寛 憲** 小野 肇*** 津田 吉 広**

Tool Wear Reduction Effect of Sulfonates as Additives in Cutting Oil for Hobbing (2nd Report)
- Influence of Total Base Number -

Hironori MATSUOKA, Hajime ONO and Yoshihiro TSUDA

In this paper, the effect of total base number (TBN) of calcium (Ca) sulfonates was investigated in terms of tool life (flank wear) and finished surface roughness in hobbing. Experiments were carried out using a fly tool. As a consequence, the following points were clarified: (1) Among the three kinds of Ca sulfonates having different TBN tested, Ca sulfonate at a medium 305TBN is effective concerning the long tool life irrespective of the change in the coating material and in the cutting speed. (2) The Ca sulfonate having 305TBN is suitable for the surface finish, which is the same tendency as that of the tool life.

Key words : cutting, gear, cutting fluid, tool life, hobbing, fly tool, calcium sulfonate, total base number, finished surface roughness

1. 緒 言

近年、切削油剤による切削性能向上よりも、むしろ切削油剤を使用した場合の作業環境や使用後の廃液処理による環境汚染などの環境問題に対して、環境対応型の切削油剤の要望が強くなってきている。著者らも、塩素系添加剤に代わる添加剤の開発を試みており、ねじ切りやタップ立てにおいて、切削トルクの減少などに効果があると報告されているスルホネート¹⁾に着目し、前報²⁾では、ホブ切りにおける金属塩の異なるスルホネートの効果を調べた。その結果、(1)コーティングの有無、コーティング材質や切削速度の違いによって、各種スルホネートの効き方が異なっており、切削速度117m/minで、無処理工具に対してはナトリウム (Na) スルホネート、TiNコーティング工具に対してはマグネシウム (Mg) スルホネート、(Al,Ti)Nコーティング工具に対してはカルシウム (Ca) スルホネートが有効で、高速の159m/minでは、TiNコーティング工具に対してはCaスルホネート、(Al,Ti)Nコーティング工具に対してはMgスルホネートが有効であり、塩素化脂肪酸エステルと比べても、十分工具寿命を長くする。(2)スルホネートは仕上げ面粗さについても、塩素化脂肪酸エステルより小さくすることなどが明らかになった。

本研究では、ホブ切りにおいて、さらにスルホネートの全塩基価の違いが工具摩耗および仕上げ面粗さに及ぼす影響を調べ、スルホネートの有効性について検討を行った。

2. 実験方法および実験条件

前報²⁾と同様に、実験方法としては、ホブ切りをフライス盤での舞いツール切削に置き換えて実験を行った。フライス盤での実験条件を表1に示す。ホブ材質は高速度鋼SKH55相当で、TiNおよび(Al,Ti)Nコーティング(以下TiN工具および(Al,Ti)N

工具と略称する)をそれぞれ施したが、すくい面のコーティングは研削により取り除いた。被削材はクロムモリブデン鋼SCM415 (HB143)で、その寸法は長さ500×幅100×厚さ100mmである。切削速度は117および159m/minである。

工具摩耗は、図1に示すように外周切れ刃の中央摩耗と外周角部摩耗、刃先丸み部と側面切れ刃の境界に生じる角摩耗を工具顕微鏡で測定した。本実験では、工具逃げ面の最大摩耗幅(中央、外周角部および角摩耗のうちの最大)0.3mmを工具寿命判定基準として、その摩耗幅に到達したときの切削溝長さで比較した。また仕上げ面粗さは、粗さ・形状測定器で切削溝の底を測定した。使用したフライス盤は日立精機製2MF形(万能形)である。

Table 1 The same conditions as in hobbing in fly tool cutting on milling machine

Hobbing		Fly tool cutting on milling machine	
3-thread hob		Feed of table	0.99 mm/rev
Feed of hob	3.0 mm/rev	Depth of cut	3.25 mm
Length of maximum chip	23.57 mm	For cutting corresponding to the gear	
		Total number of revolutions (The sum of the approach distance and face width)	315
Thickness of maximum chip	0.27 mm	Length of groove to be cut	0.31 m

Note : The turning radius of the tip of fly tool is 85 mm.

Fig.1 Wear at cutting edge

* 原稿受付 平成12年2月21日

** 正会員 大分大学工学部(大分市大字旦野原700)

*** ユシロ化学工業(株)(神奈川県高座郡寒川町田端1580)

Table 2 Properties of sulfonates tested

Item	Kind Mark	Ca sulfonate		
		Ca-Su A	Ca-Su B	Ca-Su C
Specific gravity 15°C g/cm ³		0.95	1.13	1.29
Flash point °C, COC		244	193	210
Total base number mgKOH/g		19.2	305	495
Calcium content wt%		2.45	11.8	18.7
Sulfonate content wt%		42.7	29	20

Fig.2 Comparison of tool life obtained with Ca sulfonates having different TBN (tool life criterion : maximum wear 0.3mm, TiN coated tool, feed 0.99mm/rev, depth of cut 3.25mm)

実験に用いた基油は、マシン油 ISO VG 23 (動粘度 23.2mm²/s, 40°C) である。添加剤として、全塩基価 (Total base number) の異なる Ca スルホネート 3 種を用いた。なお、Ca スルホネートは、全塩基価の種類が豊富で、スルホネートの中でも代表的なものであると選定した。それらの性状を表2に示す。また、スルホネートの添加濃度は10% (重量) である。切削油の温度は約 30°C に保持し、すくい面側より 2.4l/min の割合で十分に注いだ。

3. 実験結果および考察

図2に、TiN 工具を用いた場合、工具寿命 (逃げ面摩耗) に及ぼす Ca スルホネートの全塩基価の影響を示す。切削速度 117, 159m/min ともに、全塩基価が 305 (305TBN と称す) の Ca スルホネート B (記号: Ca-Su B) が一番工具寿命が長い。この理由については、Cahoon らが、全塩基価の異なる Ca スルホネートを用い、タップ立てにおいて測定した切削トルクからタッピング効率を計算し、300TBN の Ca スルホネートが効率を高めると報告しており³⁾、300TBN 程度の Ca スルホネートは潤滑性能がよいものと推察される。

次に、逃げ面の摩耗形態の違いについて考察する。図3は、切削速度 117m/min において、工具寿命に到達した時の TiN 工具の中央摩耗部および角摩耗部の写真を示す。19.2TBN と小さい Ca スルホネート A (記号: Ca-Su A) の場合、中央摩耗部にコーティング膜の剥離によると思われる局所的な大きな摩耗が見られる。角摩耗においても溶着物が脱落する際にコーティング膜を剥離し、欠けのような母材を持ち去った跡が観察され、これが工具寿命を決定している。また、495TBN と大きい Ca スルホネート C (記号: Ca-Su C) の場合、Ca スルホネート A と同様

Fig.3 Comparison of flank wear (TiN coated tool, feed 0.99mm/rev, depth of cut 3.25mm, cutting speed 117m/min)

Fig.4 Comparison of maximum flank wear (TiN coated tool, feed 0.99mm/rev, depth of cut 3.25mm, cutting speed 159m/min)

な摩耗形態を示し、溶着物が脱落する際のコーティング膜の剥離から発達したと見られるのこぎり状の摩耗を示す。これに対して、305TBN の Ca スルホネート B の場合、中央摩耗は均一で小さく、角摩耗もコーティングの剥離あるいは欠けのような摩耗は見られず、アプレシブ摩耗が工具寿命を支配している。

図4に、切削速度 159m/min における最大摩耗の比較を示す。Ca スルホネート A および C の場合、同様な摩耗形態を示し、コーティング膜の剥離から発達したと思われる局所的な大きな摩耗が見られ、これが工具寿命を決定しており、また刃先の後退量も大きい。これに対して、Ca スルホネート B の場合、角摩耗が少し大きい、アプレシブ摩耗の形態を示し、摩耗幅もほぼ均一であり、刃先の後退量も少ないことがわかる。

図5に(Al,Ti)N工具の場合を示す。切削速度117m/minでは、CaスルホネートA(19.2TBN)およびC(495TBN)の場合、ほとんど同じ工具寿命を示す。これに対して、CaスルホネートB(305TBN)の場合、これらのCaスルホネートに比べて、2倍以上寿命を長くしており、顕著な差が現れている。切削速度159m/minでは、3種類のCaスルホネートにはあまり差がない。摩耗幅に大きな差が現れた切削速度117m/minにおいて、全塩基価の異なるCaスルホネートでの最大逃げ面摩耗の経過曲線の比較を図6に示す。CaスルホネートAおよびCの場合、同じような摩耗の進行状態を示しており、工具寿命に達する切削溝25mまで、ほぼ直線的に増加している。これに対して、CaスルホネートBの場合、緩やかな摩耗増加を示しており、切削溝25mにおける摩耗幅の比較では、CaスルホネートAおよびCに比べて、摩耗幅は1/3である。

切削速度117m/minにおける最大摩耗0.3mmが発生した面の写真を図7に示す。CaスルホネートAおよびCの場合、溶着物が脱落する際の局所的なコーティング膜の持ち去り、あるいは欠けから発達したと思われるのこぎり状の摩耗が確認され、この中の大きな摩耗が工具寿命を決定している。これに対して、CaスルホネートBの場合、切れ刃全体にほぼ均一な摩耗が発生しており、これが工具寿命を支配している。

図8に切削速度159m/minの場合を示す。CaスルホネートAおよびCの場合、溶着物が脱落する際にコーティング膜を剥離し、母材を持ち去ったような三角状の大きな摩耗が見られ、

これが寿命を決定している。これに対して、CaスルホネートBの場合、ほぼ均一な摩耗形態を示し、コーティング膜の剥離もあまり見られない。

CaスルホネートBが、切削速度117m/minで、特に(Al,Ti)N工具に対して、工具寿命を向上する理由についてさらに検討を行うため、EPMAにより工具寿命に達した後の工具最大摩耗部のCa、S、Al、TiおよびFe元素の面分析を行い、CaスルホネートCと比較した。なお、面分析を行った場所は、最大逃げ面摩耗の切れ刃に近い摩耗面である。その結果を図9に示す。CaスルホネートBの場合、AlおよびTiが多く検出されることから、(Al,Ti)Nコーティング膜は残っているものと思われる。またCaも検出されている。CaスルホネートCの場合、CaスルホネートBに比べて、Caが多く検出されているが、AlおよびTiが少ないことから、コーティング膜の存在が少ないことを示しているものと思われる。これは図7に示す切れ刃でのコーティング膜の剥離あるいは欠けを裏付けている。

以上より、305TBNのCaスルホネートBが工具寿命を向上する理由は、潤滑性能がよく、溶着物の付着も少なく、溶着物

Fig.5 Comparison of tool life obtained with Ca sulfonates having different TBN (tool life criterion : maximum wear 0.3mm, (Al,Ti)N coated tool, feed 0.99mm/rev, depth of cut 3.25mm)

Fig.6 Progress curve of maximum flank wear ((Al,Ti)N coated tool, feed 0.99mm/rev, depth of cut 3.25mm, cutting speed 117m/min)

Fig.7 Comparison of maximum flank wear ((Al,Ti)N coated tool, feed 0.99mm/rev, depth of cut 3.25mm, cutting speed 117m/min)

Fig.8 Comparison of maximum flank wear ((Al,Ti)N coated tool, feed 0.99mm/rev, depth of cut 3.25mm, cutting speed 159m/min)

Fig.9 Comparison of X-ray intensity of elements ((Al,Ti)N coated tool, feed 0.99mm/rev, depth of cut 3.25mm, cutting speed 117m/min)

Fig.10 Comparison of finished surface roughness obtained with Ca sulfonate having different TBN (when maximum wear reached 0.3mm, feed 0.99mm/rev, depth of cut 3.25mm)

の脱落によるコーティング膜の剥離、溶着物による切れ刃の持ち去りの防止あるいは欠けの発生が少ないためであると推察さ

れる。しかしながら、本研究では機械的摩耗のメカニズムから検討を加えているが、全塩基価の違いによるコーティング膜との反応性などによる化学的摩耗については現在のところ明らかにされておらず、今後の検討課題である。

図10に、仕上げ面粗さに及ぼす全塩基価の影響を示す。最大逃げ面摩耗幅が0.3mmの時点での粗さの比較である。TiN工具、(Al,Ti)N工具ともに、また切削速度を変えても、305TBNのCaスルホネートBが仕上げ面粗さを小さくし、特に(Al,Ti)N工具では2~4μm程度と小さい。粗さには溶着物の影響が大きいと考えられ、CaスルホネートBは溶着物の発生を少なくする効果があると思われる。これは図3、図4および図7、図8で示した摩耗形態の違いを裏付けている。

4. 結 言

Caスルホネートの全塩基価の影響を、工具摩耗および仕上げ面粗さより調べた結果、次のことが明らかになった。

- (1) 工具寿命について、コーティング材質および切削速度を変えても、全塩基価が305のCaスルホネートが有効であり、特に(Al,Ti)N工具を用いた場合に寿命は向上する。
- (2) この理由は、Ca成分がコーティング膜の剥離を防止しているためであることが示唆された。
- (3) 仕上げ面粗さについて、工具寿命の場合と同様に全塩価が305のCaスルホネートがよい。

終わりに、本研究に対し切削工具を提供していただいたMMCコベルコツール（株）に謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) H.Hong, A.T.Riga, J.N.Cahoon and J.N.Vinci : Evaluation of Overbased Sulfonates as Extreme-Pressure Additives in Metalworking Fluids, *Lubr. Eng.*, **49**, 1 (1993) 19.
- 2) 松岡寛憲, 小野 肇, 津田吉広: ホブ切り用切削油添加剤としてのスルホネートの工具摩耗防止効果(第1報) - 金属塩の異なるスルホネートの影響 -, *精密工学会誌*, **67**, 1 (2001) 109.
- 3) J.N.Cahoon, A.T.Riga, H.Hong and J.N.Vinci : The Chemistry of Sulfonates as Metalworking Additives, *Lubr. Eng.*, **50**, 2 (1994) 155.