ホブの摩耗を防止する切削油新添加剤のアルコールの効果*

松岡寛憲^{*1}, 甲木昭^{*2}
小野肇^{*3}, 津田吉広^{*1}

Effect of Alcohol in Preventing Hob Wear

Hironori MATSUOKA, Akira KATSUKI,
Hajime ONO and Yoshihiro TSUDA

Low-grade alcohol in varied quantities was added to machine oil 7, rape-seed oil and chlorinated fatty oil. Hob wear was prevented when any of the tested alcohols was added to machine oil 7. Particularly at a high cutting speed of 159 m/min, the width of corner wear decreased considerably. For rape-seed oil and chlorinated fatty oil, the alcohols decreased hob wear, but the effects of alcohols in preventing the wear were different. Among the three kinds of cutting oils tested, machine oil 7 gave the best performance, causing very little wear when alcohol was added. Rape-seed oil was the next best. The addition of 2% *n*-propyl alcohol to machine oil 7 is optimal for practical applications. The surface roughness of a groove cut obtained with the addition of alcohol to machine oil 7 or rape-seed oil becomes smaller than that obtained with the cutting oil alone.

Key Words: Cutting, Gear, Hobbing, Fly Tool, Cutting Oil, Alcohol, Hob Wear, Finished Surface Roughness

1. 緒 言

ホブ切り用切削油の効果のうち最も重要なものは、ホブの寿命延長とホブ切り精度の向上である。最近ではNCホブ盤やNCギヤシェーパの普及も相まって、歯車の生産能率を上げるために、高速切削が行われることが多い。ホブは高い精度を要求され、高価なものであるから、できるだけその摩耗を少なくしたい。ゆえに潤滑性能と冷却性能が釣合いのとれた性能のよいホブ切り用切削油が要求される。著者らのホブ切り用切削油についてのこれまでの実験では⁽¹⁾、塩素化脂肪系切削油(塩素分7%)が最もよい結果を示している。菜種油は中速まではよいが、高速になると摩耗が大きくなる。従来ホブ切り用切削油として成績のよかった塩素化脂肪系切削油や菜種油よりもいっそう摩耗を少なくし、高速切削を可能にする切削油新添加剤が開発できれば、歯車の高能率切削に大きく貢献するものと思われる。

ホブは切込み始めで約40%も摩耗する⁽²⁾。ホブ切りの切削始めの状態と旋削の切込外周部の境界摩耗発生位置の状態は、圧力が小さく、軽くこすったような切削という点で似ていると考えられる。旋削におけるバイトの境界摩耗を、炭素原子の少ない低級アルコールを少量切削油に添加するだけで、完全に防止できることを著者らは発見した⁽³⁾。ホブの摩耗を防止する切削油新添加剤として低級アルコールが有効であることが十分予想される。アルコールを添加する基油としてマシン油ISO VG 7、および油剤として菜種油と塩素化脂肪系油剤(さび止め剤なし)を選んだ。マシン油7は鉱油の代表として選んだ。菜種油は比較的軟らかい歯車材に対して、工具寿命、仕上面精度の点で優れた性能をもっている⁽⁴⁾。塩素化脂肪系油剤は著者らの実験において一番成績がよかったホブ切り用切削油である。

本研究ではマシン油7を基油としたアルコールの単独の効果、油剤とした菜種油の存在下におけるアルコールの効果および塩素の存在下におけるアルコールの効果について、ホブ摩耗および仕上げ面粗さより評価を行った。

2. 実験方法および実験条件

実験結果の解析を容易にするために、ホブ切りをフ

* 原稿受付 平成6年5月20日。

*¹ 正員, 大分大学工学部 (☎870-11 大分市大字且野原700)。*² 正員, 日本文理大学工学部 (☎870-03 大分市大字一木1727-162)。*³ ユシロ化学工業(株)技術研究所 (☎253-01 神奈川県高座郡寒川町田端1580)。

ライス盤での舞いツール切削に置き換えを行った。舞いツール基礎試験結果とホブ切り試験結果には対応性が確認されている⁽⁵⁾。実験で対象とした歯車とホブの諸元を表1に、実験条件を表2に示す。切削速度はアルコールがホブの摩耗減少に有効であると思われる高速域の117および159 m/minである⁽⁶⁾。ホブ材質はSKH 55で、すくい角8°、逃げ角12°である。被削材は焼なまししたクロムモリブデン鋼SCM 415で、その成分と硬さを表3に示す。被削材の寸法は長500×幅100×厚100 mmである。本実験ではフライス盤で溝4 mmを切削したが、これは歯車11.8個分に相当する。刃先の損傷は図1に示すように外周切れ刃の中央摩耗と外周角部摩耗、および角摩耗を測定した。使用したフライス盤は日立精機製2 MF形(万能形)である。実験に使用したアルコールは、メチルアルコール(CH_3OH)、エチルアルコール($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)、*n*-プロピルアルコール($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$)、*n*-ブチルアルコール

$[\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CH}_2\text{OH}]$ 、およびイソアミルアルコール $[(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{CH}_2\text{OH}]$ である。アルコールは試薬1級である。アルコールの添加量は2, 5, 10, 15および20%(重量)である。アルコール添加の対象とした基油および油剤の性状と成分を表4に示す。切削油はすくい面側より2.4 L/minの割合で、十分に注いだ。

3. 実験結果

図2にマシン油7およびマシン油7にエチルアルコールを10%添加した油剤を用いて、同一切削条件下で2回実験を行った結果である。図から実験の再現性は良好であることが確かめられる。

図3にアルコールを添加する前のマシン油7、菜種油および塩素化脂肪系油剤をそれぞれ使用した場合の摩耗を示す。切削速度117 m/minの場合である。角摩耗については塩素化脂肪系油剤がいちばん、摩耗が少なく、次いで菜種油、マシン油7の順である。一方、中央摩耗については逆の傾向を示し、マシン油7がいちばん、摩耗が少ない。これは角摩耗と中央摩耗の発生のメカニズムが異なるため、油剤の作用の仕方が違うからであると考えられる。すなわち、角摩耗が発生す

表1 実験の対象とした歯車とホブの諸元

Gear		Hob	
Module	3	Module	3
Pressure angle	20°	Pressure angle	20°
Number of teeth	42	Lead angle	1°52'
Helix angle	0°	Form	1-thread, Right hand
Pitch diameter	126 mm	Size	φ100×100×φ31.95
Face width	40 mm	Rake angle	8°
Cutting depth	6.75 mm	Number of gashes	17
Tooth profile	Full depth tooth	Gash	Straight

表2 ホブ切りと等価のフライス盤での実験条件

Hobbing		Fly tool cutting on milling machine	
1-thread hob		Feed of table	0.23 mm/rev
Feed of hob	1.78 mm/rev	Depth of cut	2.23 mm
Length of maximum chip	19.51 mm	For cutting corresponding to the gear	
Thickness of maximum chip	0.05 mm	Total number of revolutions (The sum of the approach distance and face width)	1536
		Length of groove to be cut	0.34 m

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

表3 被削材の化学成分と硬さ

Kind	Chemical composition %										Brinell hardness HB
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo		
SCM415	0.15	0.25	0.75	0.025	0.014	0.01	0.03	1.07	0.21		131

図1 刃先の損傷

表4 基油および油剤の性状

Item	Oils	Machine oil ISO VG 7	Rape-seed oil	Chlorinated fatty oil
Appearance		Light yellow transparency	Light yellow transparency	Yellow transparency
Color (Union)		Under 1	Under 1	2 1/2
Specific gravity (15/4 °C)		0.859	0.921	0.940
Kinematic viscosity (mm²/s, 40°C)		6.9	35.3	23.2
Flash point (°C, COC)		156	Above 208	178
Copper plate corrosion (100°C/h)				Inactivity(1a)
Total acid number (mgKOH/g)			0.10	
Saponification number (mgKOH/g)			187	
Fatty oil content (wt%)				13
Chlorine content (wt%)				7.0
Sulfur content (wt%)				—
Ring analysis	CA %	12.8		
	CN %	27.7		
	CP %	59.5

図2 逃げ面摩耗の再現性(切削速度159 m/min)

図3 実験に用いた基油および油剤のホブ摩耗の比較(切削速度 117 m/min)

図4 実験に用いた基油および油剤のホブ摩耗の比較(切削速度 159 m/min)

る位置では切削厚さが非常に小さいので、切れ刃は被削材に十分に食い込まず、被削材を押しつぶすような現象が生じて摩耗が大きくなることが考えられる。中央摩耗の位置では厚い切りくずを出すために切削油剤が比較的浸入しにくく、油膜形成も難しいのに対して、角摩耗部では油剤は比較的浸入しやすく、切削油の影響が表れやすいと思われる。

また角摩耗部では構成刃先は付きにくく、中央摩耗部では付着しやすいことを確認しており、構成刃先の観点から、塩素化脂肪系油剤の場合の角摩耗が少ないのは、構成刃先の効果よりも塩素化脂肪系油剤の反応被膜の効果が大きく現れたものと思われる。マシン油7の場合、他の油剤に比べて中央摩耗が少ないのは、構成刃先が付着しやすいことより、刃先を保護したためと考えられる。構成刃先の付着については後述の仕上げ面粗さの結果からも推察される。以上より本研究では主として角摩耗と中央摩耗について検討を行う。

切削速度が 159 m/min での実験結果を図4に示す。117 m/min での結果と異なり、角摩耗はマシン油7がいちばん少なく、次いで塩素化脂肪系油剤、菜種油の

順である。中央摩耗も同じ序列である。高速の 159 m/min になると各油剤に顕著な差が出ている。高速においてマシン油7の摩耗が少ないのは、構成刃先による刃先保護作用が考えられる。このことは後で述べる仕上げ面粗さの結果からも推察される。すなわちマシン油7の場合、仕上げ面粗さが悪いという結果より、構成刃先の発生量が多いものと考えられる。菜種油と塩素化脂肪系油剤は、低速の場合には効果を発揮するが、本実験のように高速の 159 m/min になると、マシン油7よりも摩耗が大きくなる。これは高速のため切削温度が上昇し、レビンダー効果⁽⁸⁾⁽⁹⁾や塩素系添加剤の腐食⁽¹⁰⁾などにより摩耗が促進されたためと推察される。またもう一つの理由として、油脂の吸着や塩素系添加剤の反応によって、構成刃先の形成が妨げられたためと思われる。菜種油および塩素化脂肪系油剤の場合に、刃先に構成刃先の付着が少ないことが確認された。また各油剤の粘度の点から見ると、表4に示すようにマシン油7の粘度は 6.9 mm²/s (40°C)、菜種油は 35.3 mm²/s および塩素化脂肪系油剤は 23.2 mm²/s である。このように粘度が高くなるにつれて、摩耗は増加している。しかし、マシン油の粘度を変えてホブ摩耗への影響を調べた実験では、粘度が高くなるにつれて、摩耗は減少する結果を得ている⁽⁷⁾。したがって本実験では粘度が摩耗へ及ぼす影響は少ないと思われる。

3・1 マシン油7にアルコール添加の場合 基油のマシン油7に各種アルコールを添加して、切削速度が 159 m/min の場合の摩耗を図5に示す。メチルアルコールの場合、摩耗減少効果は少なく、添加量を増しても角摩耗、中央摩耗とも減少はあまり見られない。エチルアルコールの場合、5%の添加で角摩耗および中央摩耗ともに減少する。特に角摩耗は半減し、中央摩耗は 30%以上減少する。それ以上の添加では摩耗はあまり変わらない。*n*-プロピルアルコールは 2%の添加で、角摩耗は半減し、中央摩耗も 25%程度減少する。それ以上の添加量では効果はあまり変わらない。*n*-ブチルおよびイソアミルアルコールについても、2%の添加で角摩耗は半減し、中央摩耗も 20%程度減少し効果がある。マシン油7を基油に用いた場合に、アルコールの炭素数が大きくなるにつれて、低濃度から効果が現れる傾向がある。マシン油7において摩耗を減少するアルコールの働きは、アルコールの潤滑作用と冷却作用が考えられる。

アルコールの潤滑性能を調べる一手段として、結果の解析が容易な旋削のパイプ二次元切削により切削抵抗を測定した。できるだけ舞いツール試験と条件をそ

図5 マシン油7に各種アルコールを添加した場合のホブ摩耗
(切削速度 159 m/min)

図6 マシン油7およびマシン油7にn-プロピルアルコールを添加した場合の切削抵抗の比較
(パイプ二次元切削, 切削速度 30 m/min)

ろえた。被削材はSCM 415(H_B129)で、直径79 mm、肉厚は5 mmである。バイトはSKH 55で、すくい角 8° 、逃げ角 12° である。切削速度は30 m/min、切込みを0.15 mmとした。図6に、マシン油7および1例としてマシン油7にn-プロピルアルコールを5%添加した場合の切削抵抗の経過曲線を示す。n-プロピルアルコールの添加によって切削抵抗主分力および背分力ともに10%程度減少した。また測定した主分力および背分力から求めた工具すくい面の摩擦係数も減少した。これらよりアルコールの働きの一つとして、その

吸着膜により潤滑性能が向上し、摩擦特性がよくなったものと考えられる。また実験に用いたアルコールは揮発性が高いので、気化熱によって切削熱を除去することにより摩耗を減少したものと考えられる。しかしメチルアルコールに摩耗減少効果があり見られなかったのは、マシン油に対して溶解性が著しく悪かったためと考えられる。これはメチルアルコールをマシン油7に添加した切削油が白濁することより確認できる。以上よりマシン油中でのアルコールの働きはアルコールの吸着膜による潤滑作用、気化熱による冷却作用、溶解性などが複雑に相互作用しあっているものと思われる。全体的に見て、n-プロピルアルコールを添加した場合が摩耗を減少する効果が大きく、添加量は2%でよい。

3・2 菜種油にアルコール添加の場合 図7に菜種油にアルコールを添加した場合の摩耗を示す。切削速度は159 m/minである。メチルアルコールの場合に添加量が15%で、角摩耗および中央摩耗を少なくする最適添加量が現れている。エチルアルコールの場合は2~15%の添加で摩耗は少なく、特に2%の添加で角摩耗は3分の1程度に減少する。n-プロピルおよびn-ブチルアルコールの場合は、添加量を増すにつれて摩耗は減少する傾向にあり、20%の添加でいちばん、摩耗を少なくした。n-プロピルアルコールの場合には5%以上の添加で、十分摩耗減少効果がある。イソamilアルコールの場合は、他のアルコールと異なり、5%の添加でわずかに摩耗を減少したものの、ほかの添加

図7 菜種油に各種アルコールを添加した場合のホブ摩耗(切削速度 159 m/min)

図8 塩素化脂肪系油剤に各種アルコールを添加した場合のホブ摩耗(切削速度 159 m/min)

量ではかえって摩耗を増加する。特に角摩耗を激増させた。切削溝も目標の4mmを切削することができずに、角摩耗は3~4mm程度にもなった。菜種油におけるアルコールの働きとしては、吸着による潤滑効果と揮発による冷却効果が考えられる。しかしイソアミルアルコールの場合だけはアルキル基の分枝構造のために、油脂による吸着膜の配向性を著しく損なうため、摩耗を増大させたものと思われる。マシン油7に比べて、アルコールの挙動がかなり異なるが、菜種油の場合も摩耗減少効果と適量範囲の広さから、*n*-プロピルアルコールを20%添加した油剤が最もよい。

3・3 塩素化脂肪系油剤にアルコール添加の場合

塩素化脂肪系油剤にアルコールを添加した場合の摩耗を図8に示す。切削速度は159 m/minである。メチルアルコールの場合は、菜種油の場合と同様に角摩耗および中央摩耗に対して最適添加量が現れ、その添加量は5%である。エチルアルコールの場合は5%までは添加量を増すにつれて摩耗は減少するが、10および15%の添加で角摩耗は2倍から3倍に増加するため、この添加濃度域ではエチルアルコールは害をしている。しかし20%の添加では、再び小さくなり塩素化脂肪系油剤だけの摩耗と同程度になった。*n*-プロピル、*n*-ブチルおよびイソアミルアルコールについても同様な傾向が見られ、5%程度までは摩耗の減少が見られるが、10~15%で悪くなり、20%の添加で再び摩耗の減少が見られる。しかしアルコール添加前の塩素化脂肪系油剤の摩耗と比べて、最適添加量では小さいが、それ以外では同等かそれより大きい。塩素化脂肪系油剤におけるアルコールの働きの特徴としては、所定の濃度範囲(10~15%)で摩耗を増大させ、特異的な領域が存在することがある。これはアルコールが空気中の水分を油剤中に取込み、塩素系添加剤の加水分解をもた

図9 従来のホブ切り用切削油と最適のアルコールを最適添加した場合のホブ摩耗の比較 (切削速度 117 m/min)

らし、腐食性物質(例えば塩化水素)を形成するためであると考えられる。マシン油7や菜種油と比べて、塩素化脂肪系油剤の添加剤として塩素が存在する場合には、アルコールの添加によりかなり異なった摩耗のようすを示す。塩素化脂肪系油剤の場合は、メチルアルコールを5%添加した油剤が最もよい。

摩耗を少なくし、適量範囲の広い最適のアルコールを最適添加した油剤と従来のホブ切り用切削油との摩耗の比較について、切削速度117 m/minの場合を図9に、159 m/minの場合を図10に示す。従来のホブ切り用切削油よりもこれらの油剤にアルコールを添加した新しい切削油のほうが摩耗を減少させる。特に高速において著しく摩耗を減少させる。高速の159 m/minにおいて、使用した油剤の中では、菜種油がアルコールによる摩耗減少効果がいちばん大きい。切削油の実用的見地からは、アルコールを添加したときの摩耗の絶対量が当然問題となる。したがってマシン油7に*n*-プロピルアルコールの2%の添加が摩耗を最も少なくする。ホブ逃げ面摩耗幅は、0.4 mmを境として急激に増大する傾向がある⁽¹¹⁾といわれており、歯車の歯形精度やホブの再研削量の点からホブ摩耗は少ないほうがよい。

3・4 仕上げ面粗さ マシン油7および菜種油にそれぞれアルコールを添加した場合の切削溝の底面の仕上げ面粗さを図11に、塩素化脂肪系油剤の場合を

図10 従来のホブ切り用切削油と最適のアルコールを最適添加した場合のホブ摩耗の比較 (切削速度 159 m/min)

図 11 マシン油 7, 菜種油に各種アルコールを添加した場合の仕上げ面粗さ (切削始め, 切削速度 159 m/min)

図 12 塩素化脂肪系油剤に各種アルコールを添加した場合の仕上げ面粗さ (切削始め, 切削速度 159 m/min)

図 12 に示す。切削速度は 159 m/min で、工具摩耗の影響がない切削始めの場合である。マシン油 7 と菜種油にアルコールを添加すると、仕上げ面粗さはよくなる。アルコールの種類の違いによる粗さの優位差はあまり見られない。アルコールの添加量を増すにつれて、粗さのばらつきが少なくなり、アルコールの 20% の添加でマシン油 7 の場合は 12~13 μm 、菜種油の場合は 3~3.5 μm である。一方、塩素化脂肪系油剤にアルコールを添加した場合に、メチルアルコールは粗さをよくするが、他のアルコールはかえって粗さを悪くした。塩素化脂肪系油剤の場合は、添加量を増しても粗さはあまり変わらず、8~12 μm である。3 種類の油剤の中では、アルコール無添加の場合の粗さは菜種油がいちばんよいことに、アルコールの粗さ向上効果を加えて、菜種油にアルコールを添加したほうが仕上げ面粗さは小さい。

4. 結 言

マシン油 7、菜種油および塩素化脂肪系油剤に低級アルコールを添加した場合に、ホブ摩耗および仕上げ面粗さに及ぼすアルコールの効果を調べた結果、次のことが明らかになった。

(1) マシン油 7 に低級アルコールを添加すると各アルコールとも摩耗を減少させる。特に高速 (159 m/min) では摩耗を激減させる。アルコールの中では、*n*-プロピルアルコール 2% (重量) の添加が実用上よい。

(2) 菜種油にアルコールを添加すると、アルコールの種類によって摩耗を減少させる効果が異なる。メ

チルおよびエチルアルコールでは最適添加量が現れ、*n*-プロピルおよび *n*-ブチルアルコールは添加量を増すにつれて、摩耗は減少する傾向にある。イソアミルアルコールはかえって摩耗を大きくした。摩耗減少効果と適量範囲の広さから *n*-プロピルアルコール 20% の添加が実用上よい。

(3) 塩素化脂肪系油剤にアルコール添加の場合には、マシン油 7 や菜種油の場合と異なり、各アルコールは 5% 程度までの添加で摩耗は減少するが、10~15% の添加でかえって摩耗は増加し、20% で再び摩耗は減少する。摩耗減少効果と適量範囲の広さからメチルアルコール 5% の添加がよい。

(4) マシン油 7 にアルコールを添加したほうが、菜種油や塩素化脂肪系油剤にアルコールを添加するよりも摩耗は小さい。実験した範囲では、アルコールが揮発してなくなることも考慮して、マシン油 7 に *n*-プロピルアルコール 2% 以上を添加した油剤が実用上最もよい。

(5) 仕上げ面粗さは、マシン油 7 および菜種油にアルコールを添加した場合に改善されるが、塩素化脂肪系油剤の場合はかえって粗さを悪くした。3 種の油剤の中では、菜種油にアルコールを添加した油剤が粗さは小さい。

文 献

- (1) 和栗・上野・相浦・甲木, 機論, 38-305(1972), 208.
- (2) 上野・甲木・高橋, 機論, No. 728-1(1972-3), 133.
- (3) 甲木・石橋, 昭和 46 年度精機学会秋季大会学術講演会前刷, (1971-11), 321.

- (4) 和栗・上野・相浦・甲木, 機講論, No. 214(1969-10), 43.
 - (5) 甲木・松岡, 大分大学工学部研究報告, **23**(1991), 7.
 - (6) 甲木・松岡, 機論, **51**-461, C(1985), 155.
 - (7) 松岡・甲木・小野・津田, **61**-581, C(1995), 273.
 - (8) Harper, S., Cottrell, A. H., *Proc. Phys. Soc.*, 63B(1950), 198.
 - (9) Shaw, M. C., *Wear*, **2**(1958/1959), 217.
 - (10) 例えば, 肥田, 潤滑, **30**(1985), 467.
 - (11) 近畿歯車懇話会編, 円筒歯車の製作, (1976), 44, 大河出版.
-