中硬度歯車の超硬仕上げホブ切りに関する研究 * (第2報, 切れ刃への切りくず付着と仕上げ面粗さ)

有浦泰常^{*1}, 梅崎洋二^{*1}, 木村保貴^{*2}, 奈良百郎^{*3}

Finish Hobbing of Hardened and Tempered Gears
with Cemented Carbide Tipped Hobs
(2nd Report, Adhesion of chips on tool flank
and finished surface roughness)

Yasutsune ARIURA, Yoji UMEZAKI, Yasutaka KIMURA,
and Hyakuro NARA

In hobbing of the hardened and tempered gears, the tooth surface is degraded owing to the overcutting by the chip and built-up edge and the transcription of the shape of worn or chipped edge. The following for the improvement of the tooth surface roughness were found out in the first report; (1) The removal of chips attached on the tool during cutting, and (2) The use of P30 carbide grade tip and TiC-TiN-TaN cermet tip. By the way, the phenomenon that a part of the chip attaches on the tool flank when the tool wear becomes large is found out in the finish hobbing test with the carbide hob, and this phenomenon is closely related to the surface roughness. In this report, the relation between the adhesion of chips on the tool flank and the finished surface roughness is investigated and discussed by the fundamental test of fly-tools.

Key Words: Finish Hobbing, Hobbing, Carbide Tipped Hob, Hardened and Tempered Gear, Surface Roughness, Adhesion of Chip, Tool Wear

1. 緒 言

超硬工具は高速度鋼工具に比べ高速切削が可能でありまた鋼との親和性も低いために構成刃先等の溶着物が少なく高能率で経済的な切削が行えるので、今日の切削工具の主流をなしている。しかしフライス削りやホブ切り等の断続切削においては、工具の硬さと共に切れ刃のチップングや欠けを抑えるための靱性も必要であり、さらに仕上げ加工の場合には切れ刃への付着物が少ないことも重要となる。

中硬度歯車を仕上げホブ切りする場合、歯面粗さが悪くなる原因として、

- ・切れ刃に付着した切りくずの仕上げ面へのかみ込み
- ・構成刃先による過切削
- ・摩耗やチップング等の切れ刃損傷

等がある。これらの問題について第1報⁽¹⁾では

1) 良い面を得るために切削中に切れ刃から切りくずを除去する。

2) 超硬P種およびサーメットには耐摩耗性・耐欠損性にすぐれたものがあり仕上げ面粗さも良い。ということを明らかにし、さらに

3) 切れ刃に欠けを生じると大きな構成刃先などの付着が生じやすい。という現象を観察した。

本研究では超硬仕上げホブによる仕上げ削りおよび仕上げホブ切りを想定した舞いツール基礎実験を行い、切れ刃の摩耗と切れ刃に付着する切りくずや構成刃先の挙動が仕上げ面粗さに及ぼす影響について、詳細に観察・検討した。

2. ホブ切り試験

2.1 実験方法 表1にホブ切り試験したホブ、歯車の諸元および切削条件を示す。ホブ切りは片歯面の仕上げのみを行い、歯車1個当り片歯面の切込み(歯厚方向)を約0.2mmとした。ホブの側面切れ刃の逃げ面摩耗と歯面粗さを測定し、切りくずを詳細に観察した。なお、ホブ切れ刃には面取りはほどこしていな

* 昭和62年3月18日 九州支部第40期総会講演会において講演、原稿受付 昭和62年4月25日。

^{*1} 正員、九州大学工学部(〒812 福岡市東区箱崎6-10-1)。

^{*2} 学生員、九州大学大学院。

^{*3} 正員、アヅミ(株)(〒535 大阪市旭区高殿1-8-24)。

い。また切削中のホブに空気(約 $5\text{kg}/\text{cm}^2$)を約 20cm の距離から吹き付けた場合の切れ刃に付着した切りくずの挙動や歯面粗さに対する影響も調べた。

2.2 ホブ摩耗と歯面粗さ 図1にホブ側面切れ刃摩耗(摩耗の大きい5刃の平均値である)、図2に歯面粗さを示す。高速切削($150\text{m}/\text{min}$)の場合では初期摩耗が大きいが、次第に摩耗の進行速度は低下し歯車6個目以後から低速切削($94\text{m}/\text{min}$)の場合より摩耗は小さくなっている。欠けは低速では切削の初期の段階から摩耗より大きいものが多く発生したのに対し、高速ではある程度摩耗が進行した後に小さな欠けが多数の刃に発生した。以上の欠けの発生状況はホブ摩耗の進行状態に非常に大きな影響を与えており、切削速度などの条件の設定や刃先面取りなどについてさらに検討する必要がある。

歯面粗さはホブの摩耗ほど大きな進行速度で悪くならない。高速切削の場合には切りくずは切れ刃から飛散していたが、低速切削においては切りくずが切れ刃に付着し共に食い込む状況が見られた。また空気を吹き付けた場合は大きな引っかかり傷の発生する割合が減る効果がある。低速切削では切りくずのかみ込みで傷が発生することが多いことがわかった。

2.3 ホブ切れ刃の逃げ面付着物 図3は低速切削実験で採取した切りくずの断面写真である。ホブ切れ刃の逃げ面に接していた部分をよく観察すると構成刃先と切りくずの一部が逃げ面側へ変形した部分があることがわかった。

切りくずのホブ切れ刃逃げ面付着部分の大きさを図1に示している。歯車4個目に付着部が大きく現われているが、それ以降はほぼ一定の大きさになっており、切削個数の増加と共に欠けの大きさの変化が小さくなる傾向と合っている。またホブ切れ刃の逃げ面の欠けの部分に付着物が埋めている状態を観察した結果から逃げ面付着物の大きさと欠けの大きさが非常に関係が深いと考えられる。逃げ面付着物が歯面に及ぼす影響については舞いツール基礎試験で詳細に調べた。

3. 舞いツール基礎実験

3.1 実験方法 仕上げホブの側面切れ刃をシミュレートした一本刃を用いて、フライス盤上で二次元切削を行った。切削状態を図4に示す。送り、切り込みは仕上げホブ切りの場合($m=6$, $z=31$, $\beta=0^\circ$, 仕上げ代片肉 0.1mm における側刃の歯面創成部付近の切削負担が比較的大きい切れ刃)の切削を想定したときのアンカッチップの長さとし切取り厚さ($6\text{mm} \times 0.03\text{mm}$)に等しくなる様に設定している。工具、被削材、及び

表1 ホブ, 歯車の諸元および切削条件

Gear		Hob	
module	6	module	6
Pressure angle	20°	Pressure angle	20°
Helix angle	0°	Lead angle	$2^\circ 33'$
No. of teeth	31	Outside dia.	± 150
P. C. D.	± 186	No. of threads	1, RH
Face width	48mm	Rake angle	10°
Tooth profile	full depth tooth	No. of gashes	18
Material	SCM440, HB320	Material	M10carbide

Cutting conditions		A	B
Cutting speed	94	150m/min	
Feed		1.5mm/rev	
Finishing stock of one side flank		0.2mm	
Hobbing method		leading side conventional	
Cutting oil		none

図1 ホブ摩耗, チッピングおよびホブ側面切れ刃逃げ面の切りくず付着部の長さ

図2 超硬仕上げホブ切りの歯面粗さ

図3 超硬仕上げホブ切りした切りくずの断面

図4 舞いツール切削状態

切削条件を表2に示す。なお、歯車1個あたりのホブ1刃の切削回数は約1900回である。

工具は超硬P30相当で組織をより微細にし、靱性を高めたものを用い、刃先の面取りはつけていない。

切削速度100m/min前後で仕上げ削りを行うと、初めの数回の切削を除いて急速に切れ刃に切りくずが付着しはじめる。そのため切削毎に切りくずを切れ刃から除去しながら切削を行い、工具逃げ面摩耗幅と仕上げ面粗さを測定するとともに、同時に切りくずが付着したまま削った時の仕上げ面粗さも測定した。

3.2 逃げ面付着現象 切りくずはほとんど切削毎に切れ刃に付着しているが、切り終り時に工具を停止させて切れ刃を観察すると、ホブ切りの場合と同様に切りくず端の一部が工具逃げ面側にも連なって流出している現象が見られた。これは球状黒鉛鋳鉄を超硬工具で連続切削する時に起こる現象⁽²⁾と似ているが、

表2 工具・被削材・切削条件

Tool material	P30 carbide
Work material	SCM435, HB310
Cutting speed	114m/min
Feed	0.53mm/rev
Cutting method	Up cut
Cutting oil	none

図5 切りくず付着状態

図6 仕上げ面写真

本実験の場合は、中硬度の鋼の断続フライス削りであり、付着物は切りくずと一体のまま切削毎に切れ刃から脱落することが多いなど、切削の状態はかなり異なっている。図5に切りくずの付着状態を示す。図5の写真は工具逃げ面側から見たもので、工具は逃げ面摩耗幅が約0.3mmのものである。写真中央の白く光っている部分が切りくずの逃げ面付着部分で、摩耗部をおおいう様に付着している。またその下部に付着している多数の小さな点状のものは逃げ面付着部分の断片と思われる。図6にその時の仕上げ面の写真を示す。切りくずが切れ刃に付着したまま削った場合は切りくずの逃げ面付着部分がかみ込み、仕上げ面を悪くしている。その時の切削後の切りくずには逃げ面付着部分は見られない。しかし、切りくずを除去しながら削ると、逃げ面付着部分は仕上げ面にかみ込まず、飛散した切りくずと一体のままであるのが観察された。

3.3 実験結果および考察 工具逃げ面摩耗幅と切りくずの逃げ面付着部分の長さ(図5のh)、および仕上げ面粗さを図7に示す。付着部分の長さは切れ刃から除去した切りくずより測定したもので、工具の摩耗と共に増大している。仕上げ面粗さを見ると、切

図7 逃げ面摩耗幅・付着部分長さ、および仕上げ面粗さ

りくずを除去しながら削ったものは切削回数が8000回付近までは少し悪いがそれ以後はあまり変化していない。しかし切りくずが付着したまま削ると8000回付近を境にして粗さが大きく変化している。すなわち工具の初期摩耗領域では3000回付近が最も粗くなり、また定常摩耗領域では切削回数とともに粗くなる傾向である。いずれの領域も切りくずを除去しながら削ると全体にわたって仕上げ面粗さは良いことがわかる。初期摩耗領域で仕上げ面粗さが悪くなる現象は現在までの研究においてP種工具にのみ観察されている。

図8に工具初期摩耗時の仕上げ面の写真と切りくず先端部断面の組織の顕微鏡写真を示す。仕上げ面を見ると、切削回数3200回の際は切りくずを除去しない場合、構成刃先の過切削によると思われるきずが多いが、6000回の際はきずは少なくなっている。切りくず先端部をみると、1500回付近まで構成刃先が成長しているのがわかる。しかし4300回では構成刃先と思われる部分は小さくなり、工具の逃げ面側へ切りくずの逃げ面付着部分が突出している。さらに5800回では構成刃先は消失しており、それ以後は逃げ面付着部分が摩耗とともに成長する。図7に示した様に初期摩耗領域では3000回付近で最も仕上げ面が粗くなったことを考えると、構成刃先が小さくなりかつ逃げ面付着部分が成長

図8 仕上げ面、および切りくず断面写真

図9 摩耗幅と付着部分長さの関係

しはじめる時に仕上げ面粗さを悪化させやすいものと思われる。

図9に工具逃げ面摩耗幅と切りくずの逃げ面付着部分の長さの関係を示す。付着部分の長さは摩耗幅とおよそ比例した関係にある。

図10 摩耗幅と切りくずの硬さの関係

図12 工具逃げ面に付着した切りくずの形状と仕上げ面の断面

図11 切りくずの断面の硬さ分布

図10は各摩耗時の切りくず断面の硬さを微小硬さ計で測定した値である。摩耗が進行すると共に切りくずは硬くなっているのがわかる。工具の逃げ面摩耗が進行すると被削面との接触幅が増大することになり接触部には大きなせん断力と圧縮力が働くために⁽³⁾、逃げ面付着部は切りくず本体よりもさらに硬化する。図4に示した切りくずの断面の硬さ分布を図11に示す。切りくず本体の硬さは平均でHv600程度であるのに対し、逃げ面付着部分はHv800~900にまで硬化している。切りくず本体に対してかなり硬くなっていること、また切れ刃に付着し、かみ込んだ時に仕上げ面を粗くすることなどを考えると逃げ面付着部分は構成刃先と同じ様な働きをすると考えられる。

図12に示すように切りくずの逃げ面側付着部分は仕上面に切れ刃と共にかみ込み、一部が脱落して仕上げ面性状に影響を与えると見られる。

4. 結 論

中硬度歯車の超硬仕上げホブ切りにおいて切りくずの切れ刃逃げ面付着現象があることを明らかにした。仕上げホブ切りを想定した舞いツール基礎実験において、仕上げ面粗さに大きな影響を及ぼす切りくず付着現象を詳細に観察し、構成刃先や逃げ面付着部分の挙動と仕上げ面粗さの変化を検討した結果、工具の初期摩耗領域では切れ刃に付着した構成刃先により仕上げ面を粗くし、定常摩耗領域に入ると摩耗と共に切りくずの逃げ面付着部分が成長し仕上げ面にかみ込んで面を悪くする状況が明らかになった。

このことから、中硬度歯車を超硬仕上げホブにより滑らかに仕上げるためには以下のことを考える必要がある。

- (1) 初期摩耗領域では構成刃先が仕上げ面を粗くするため、構成刃先の発生・成長を抑える。
- (2) 逃げ面付着部分の大きさは、切れ刃の摩耗や欠けの大きさに影響されるので、切削条件や工具材種および面取り形状と損傷形状の関係を明らかにして、切りくずの切れ刃付着や逃げ面付着部分の仕上げ面へのかみ込みを抑制する。

参 考 文 献

- (1) 梅崎 ほか3名：機論C, 53-495(昭62-11), 2404.
- (2) 人見 ほか2名：機論, 27-184(昭36-12), 1909; 28-190(昭37-6), 673.
- (3) 大越 ほか1名：精密機械, 23-8(昭32-4), 404.

討 論

〔質問〕 坂 本 正 史〔九州工業大学工学部〕

切りくずの切れ刃への付着状態を詳細に観察され、逃げ面への付着現象を明らかにされたことに敬意を表します。

図7を拝見すると仕上面粗さに与える切りくず除去の影響が大きいようであるが、次のことを伺いたい。

- (1) 切りくずはどのようにして除去したのか。
- (2) 除去された切りくずは図11のようにDEFの部分も一緒に除去したのか。
- (3) 切れ刃側が切りくずと一緒にはぎとられることはないのか。
- (4) 切りくずが被削材にかみ込んで、切れ刃にチッピングが起きるという現象はないのか。
- (5) 側面切れ刃で実験を行っても同じであるか。

〔回答〕 (1) フライス盤上で舞いツールが真上に来たときその刃先が接触する位置に真ちゅう製ワイヤーブラシを固定した。ブラシと舞いツール刃先が接触する時、切りくずはほとんど除去される。

- (2) ブラシにより除去された切りくずの大部分は

図11のDEFの部分も一緒になって除去されていた。

(3) 本実験で行った切削回数25000回まででは舞いツール刃先部には大きくはく離した状態は観察されず、切りくずと共に切れ刃がはぎとられた様子は見られなかった。

(4) 仕上げ面に脱落した切りくずについてはかみ込ませないように注意した。また切削中に刃先に付着した切りくずが被削材に接触しても切りくずはほとんどすぐ脱落している。このため切れ刃のチッピングは起らないようであった。しかし超硬ホブによる切削では切りくずの除去が確実に行われず、切りくずのかみ込みなどによると考えられる小さなチッピングが見られた。

(5) 工具の外周部刃先と側面切れ刃では食い込みの状態などが異なるが、切りくずの付着現象は同様に生じている。図3はホブの側面切れ刃による切りくず、図8はすくい角、逃げ角の大きさをホブの側面切れ刃にほぼ合わせた舞いツール外周部刃先による切りくずで両者はよく似ている。従って側面切れ刃も同様な現象であると考えられる。