TiN コーティングホブのクレータ摩耗*

永野喜三郎^{*1}, 相浦正人^{*2}

Crater Wear of TiN-Coated Hob

Kisaburo NAGANO and Masato AINOURA

It is well known that the life of TiN-coated hob becomes tremendously longer than that of non-coated hob. But even a TiN-coated hob, its rake surface must be resharpended when it was worn out. And then TiN-coating on rake surface is removed but only on flank surface. And TiN-coating on flank surface is still effective to decrease the flank wear. On the contrary, crater wear on rake surface of TiN-coated hob increases, same as that of non-coated hob. So, in high efficiency hobbing, the life of hob seriously depends on the crater wear. Here, the authors have clarified the shape of wear on TiN-coated hob to know its process and show some methods to increase the life of TiN-coated hob in case of high efficiency hobbing of the comparatively small module gears with TiN-coated and multi-start hobs that are often used for motorcycles and automobiles.

Key Words: Gear, Cutting, Hobbing, Wear, Crater Wear, TiN-Coated Hob, Spur Gear

1. 結 言

TiN コーティングホブは、コーティング処理をしていない従来の無処理ホブに比べ工具寿命が非常に長い⁽¹⁾。しかし、TiN コーティングホブも摩耗すればすくい面を再研削する。その後、すくい面には TiN 被膜がなく、高速ホブ切りするほど、また歯車の切削個数を増すほど、クレータ摩耗が深くなる。図1は従来の無処理ホブと再研削した後の TiN コーティングホブの代表的損傷状態を比較した結果である。無処理ホブは切削速度 70 m/min で平歯車 10 個切削後、TiN コーティングホブは切削速度 90 m/min で平歯車 100 個切削後の損傷状態である。TiN コーティングホブは無処理ホブに比べ、切削速度が速く、歯車の切削個数も多いため、クレータ摩耗は深く、右かど摩耗はクレータの決壊によって進行している。

TiN コーティングホブの寿命を伸ばし、歯車の生産能率を向上させるには、クレータ摩耗をいかにして少なくするかが重要である。ゆえにここでは、高効率

ホブ切りにおけるクレータ摩耗の挙動とクレータの決壊を少なくする対策について検討を行った。

2. 実験装置および実験方法

実験に使用したホブは、主としてモジュール 2 の 3 条・右巻き・TiN コーティングホブで、TiN 被膜の膜厚は 2 μm である。被削歯車は炭素鋼 S45C 材 (HB 180) の平歯車で、切削速度は 63~110 m/min, 送り

図1 無処理ホブと TiN コーティングホブの損傷状態

* 平成元年11月21日 九州支部長崎地方講演会において講演, 原稿受付 平成2年1月8日.

^{*1} 正員, 久留米工業高等専門学校 (〒830 久留米市小森野町1232).

^{*2} 正員, 熊本工業大学 (〒860 熊本市池田4-22-1).

2~4 mm/rev. である。ホブ盤は KS-14 形生産ホブ盤、切削油剤は粘度 $26 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ (40°C) の有機モリブデン添加油を用いた。

図 2 はホブの刃番号の付け方を示す。ホブ切れ刃の損傷は、切削に参加する各切れ刃によって、その大きさが異なる。ゆえに、創成中心の刃を 0 番刃とし、ホブの荒削側へ $\bar{1}, \bar{2}, \dots$, 仕上側へ 1, 2, $\dots$, とそれぞれ刃番号を付け、二番摩耗は工具顕微鏡、クレータ摩耗は表面粗さ形状測定機で測定した。切削長さ l は、 $l = Z \times b \times n / \cos \beta$ (Z : 歯車の歯数, b : 歯幅, n : 歯切個数, β : ねじれ角) で、切削した歯車の歯溝の長さを表す。

3. 高能率ホブ切りにおける クレータの挙動

3.1 刃番号の影響 図 3 はモジュール 2, 圧力角 20° の 3 条・右巻き・TiN コーティングホブで、炭素鋼 S45C 材の平歯車を、切削速度 90 m/min, 送り 3 mm/rev. で、切削長さ 120 m, クライムホブ切りした後のホブ各刃の二番摩耗である。クレータの決壊

図 3 TiN コーティングホブ各刃の二番摩耗

幅 (VS) が大きい切れ刃ほど、二番摩耗 (VB) は大きい。最大二番摩耗が発生した 3 番刃は、右かど摩耗幅 0.18 mm のうち、0.13 mm がクレータの決壊幅である。

図 4 はこのときの各刃のクレータ摩耗の深さを、0.04 mm ごとの等深線で示したものである。矢印は切りくずが流れた後の条痕を示し、黒く塗りつぶした所はクレータの最深部である。クレータの深さ (KT) と、最深部の位置は、刃番号によって異なる。最大二番摩耗が発生した 3 番刃は、切りくずが右側面切れ刃からほとんど流れていない。そのため、刃先部および左側面切れ刃から出てきた切りくずは、右側面切れ刃の方向へ流出する。右側面切れ刃はあまり作用しないので、この流れを防ぐことができず、クレータの最深部が右かど切れ刃に寄り、右かど切れ刃が決壊しやすくなる。その結果、右かど摩耗が大きくなる。クレータが最も深いのは 2 番刃であるが、切りくずが左切れ刃・刃先・右切れ刃の三方向から流出している。クレータの最深部は、すくい面のほぼ中央にあり、3 番刃に比べ、クレータは決壊しにくい。

TiN コーティングホブで高能率ホブ切りする場合、クレータの深さだけでなく、最深部の位置も、クレータの決壊しやすさに影響を与える。

3.2 切削長さの影響 図 5 はモジュール 2, 圧力角 17.5° の 3 条・TiN コーティングホブで高能率ホブ切りしたときのクレータ摩耗の進行状態を示したものである。切削長さを増すに従って、クレータ摩耗は深くなり、その最深部は右かど切れ刃に近づく。

図 5 切削長さの影響 (2 番刃)

3.3 切削速度の影響 図6は切削速度の影響を調べた結果である。切削速度を増すほどクレータ摩耗は深くなり、最深部は右かど切れ刃へ近づく。切削速度70 m/minでクライムホブ切りした場合、左かど摩耗が右かど摩耗より大きい。しかし、切削速度110 m/minでは、クレータの最深部が右かど切れ刃に近づき、右かど摩耗のほうが大きくなる。このように、平歯車をクライムホブ切りする場合、切削速度によってクレータの最深部の位置が異なり、最大摩耗の発生位置も変化をする⁽²⁾。

3.4 ホブの送りの影響 図7はホブの垂直送りを2 mm/rev., 3 mm/rev., 4 mm/rev. と変えてクライムホブ切りしたときのクレータ摩耗の比較である。それぞれ、最大二番摩耗の発生した刃番号について比較を行った。右巻きホブでクライムホブ切りする場合、送りを大きくするほど、最深部が右かど切れ刃に近づきやすく、右かど摩耗が大きくなる。

3.5 歯車のねじれ角の影響 図8は被削歯車のねじれ角の影響である。ねじれ角の大きいはずば歯車は、平歯車に比べ、切削に参加する切れ刃の数が多い。したがって、一刃当たりの切削負担が少なくなり⁽³⁾、クレータ摩耗は浅くなる。

図6 切削速度の影響 (2番刃)

3.6 歯車の歯数の影響 図9は被削歯車の歯数の影響を調べた結果である。歯数の少ない平歯車を、高能率ホブ切りすると、クレータ摩耗は非常に深くなる。歯数の少ない歯車は、一刃当たりの切削負担が多いためである⁽³⁾。

3.7 歯車の転位係数の影響 図10は転位係数が+0.5の正転位歯車と-0.5の負転位歯車を、クライムホブ切りしたときのクレータ摩耗の比較である。 $x=+0.5$ の正転位歯車ではクレータ摩耗の最深部が右かど切れ刃に近づき、切れ刃が決壊しやすい。歯車の転位係数によって左右切れ刃の切削負担が変化し、切りくずの流出方向が変わるためである。クレータの最深部の位置に対しては、転位係数の影響が非常に大きい⁽⁴⁾。

4. クレータの決壊を少なくする対策

4.1 歯切法の影響 図11は図7と同じ切削条件で歯切法だけをコンベンショナルホブ切りに変えたときのクレータ摩耗である。コンベンショナルホブ切りでは、クレータの最深部がすくい面のほぼ中央にあり、ホブの送りを大きくしてもそれが動きにくい⁽²⁾。平歯車をコンベンショナルホブ切りした場合、刃先切れ刃

図9 歯車の歯数の影響

図7 送りの影響 (クライムホブ切り)

図10 歯車の転位係数の影響

図8 歯車のねじれ角の影響

図11 コンベンショナルホブ切りしたときのクレータ摩耗

から出てきた切りくずが、左・右側面切れ刃から出てきた切りくずの干渉を受けにくいためである。

4.2 ホブ材質の影響 図12はMo-Co系の溶解ハイスM34(Aホブ)と、高C・高Vの粉末ハイス(Bホブ)で、3条・TiNコーティングホブを製作し、比較切削試験をした結果である。高C・高Vの粉末ハイスホブはクレータ摩耗が浅く、ホブの寿命が長い。

図12 ホブ材質の影響

図13 ホブの二番角の影響

図14 切削油(有機モリブデン添加油)の粘度の影響

4.3 二番角の影響 図13はホブの二番角の影響を調べた結果である。切削長さ90mホブ切りした後の最大クレータ深さは、側面二番角 4° のホブが0.20mm、側面二番角 2° のホブは0.17mmである。クレータ摩耗の浅い $\epsilon=2^\circ$ のホブが寿命は長い⁽⁵⁾。さらに側面二番角の小さい $\epsilon=1^\circ$ のホブについても同じ切削条件で実験したが、二番面の損傷が非常に大きくなった。多条・TiNコーティングホブで高能率ホブ切りする場合、側面二番角は $2\sim3^\circ$ 程度が適当と考えられる。

4.4 切削油剤の影響 図14は、ホブ切り用切削油として最も多く用いられている有機モリブデン添加油⁽⁶⁾の粘度の影響を調べた結果である。上図は切削長さ80mホブ切り後のクレータ摩耗を示す。粘度 $9 \times 10^{-6} m^2/s$ ($40^\circ C$)の低粘度切削油を用いたほうが工具寿命は長い。ただし、さらに粘度の低い $4 \times 10^{-6} m^2/s$ ($40^\circ C$)の有機モリブデン添加油では、切削負担の

図15 ホブシフトの影響

図16 再コーティング処理の影響

大きい切れ刃に、熱き裂による欠けが発生した。クレータ摩耗に対しては、切削油の粘度を低くするほうが有利であるが、切削条件が過酷になれば熱き裂に対する注意が必要である。

4・5 ホブシフトの影響 図 15 は、ホブシフトの影響である。(a)は歯車 1 個切削ごとにホブを 1/12 ピッチ (0.52 mm) ずつホブの仕上部方向へ連続シフトした場合、(b)は歯車 1 個切削ごとに 1/12 ピッチずつホブの荒削部方向へ連続シフトした場合、そして (c)は歯車 10 個切削ごとにホブを 1/2 ピッチずつ、荒削部方向へ間欠シフトした場合である。シフト区間はいずれもホブの 1 ピッチ (6.28 mm)、切削長さは $l=130$ mm である。クレータの損傷状態も切削長さ 130 mm ホブ切り後の比較である。(c)の荒削部方向へ間欠シフトした場合、クレータ摩耗が決壊しにくい⁽⁷⁾。

4・6 再コーティング処理の影響 図 16 は、再コーティング処理の影響である。A 02 と A 08 は、再研削後の TiN コーティングホブで、すくい面には TiN 被膜がない。二番面の TiN 膜厚は A 02 が 2 μm 、A 08 は 8 μm である。A 28 の再コーティングホブは、すくい面の再 TiN 被膜が 2 μm 、二番面の TiN 被膜は 8 μm である。A 02、A 08、A 28 いずれも、1 体ホブである。1 体ホブに再コーティング処理をすると⁽⁸⁾、クレータ摩耗の進行が遅く、ホブの寿命は非常に長くなる。ただし、再コーティング処理の効果を上げるためには、すくい面の再研削粗さをよくすること、再研削時のカエリを取り除いておくこと、などが大切である。

5. 結 言

最近の TiN コーティングホブは、被膜強度が向上

し、二番面のこすり摩耗は進行しにくくなっている。しかし、TiN コーティングホブも再研削後は、すくい面に TiN 被膜がない。高能率ホブ切りすると、クレータの進行によって切れ刃が決壊し、二番摩耗が大きくなる。したがって、TiN コーティングホブで高能率ホブ切りする場合、クレータ摩耗の挙動をよく把握しておくことが重要である。平歯車をクライムホブ切りする場合、ホブの切削速度・送り・切削長さを増すほど、クレータの最深部が、かどの切れ刃に接近しやすい。歯数の少ない歯車・正転位歯車などは、クレータがさらに決壊しやすい。TiN コーティングホブの寿命を長くし、歯切能率を高めるには、クレータの決壊を少なくする対策が必要である。

その対策としては、(1)剛性の高いホブ盤を用い小径・多条ホブで、早送りのコンベンショナルホブ切りをすること、(2)耐クレータ性に優れた粉末ハイスホブを用いること、(3)ホブは荒削方向へ間欠シフトすること、(4)再コーティング処理をすること、などが大切である。

文 献

- (1) Nagano, K. and Ainoura, M., *ASME, Int. Power Transmission and Gearing Conf.*, 84 DET-147(1984), 4.
- (2) 相浦・永野, 機論, **48**-429, C(1982), 750.
- (3) 相浦・永野, 不二越技報, **38**-2(1982), 17.
- (4) Nagano, K. and Ainoura, M., *ASME, Int. Power Transmission and Gearing Conf.*, 84 DET-149(1984), 2.
- (5) 相浦・永野・小西, 機論, **54**-507(1988), 2748.
- (6) 文献(3)の 1 ページ.
- (7) 相浦・永野・塚本, 機論, **54**-501(1988), 1131.
- (8) 永野・相浦, 機論, **56**-522 (1990), 487.