

複合ブラスト工法を用いたツールマーク除去プロセスの開発

Development of tool mark removal process by multiple blasting method

谷口 隼人* 平塚 陽一郎* 水野 宏紀*
Hayato Taniguchi Yoichiro Hiratsuka Hiroki Mizuno

Tool marks are generated on the surface of product in the process of manufacturing parts. They cause friction and wear. Therefore, the surface of the product such as gears and sliding pairs is required to be smooth. The conventional polishing technology needs a special polishing tool. In addition, that process is time consuming and costs a lot. Therefore, we verified the process of removing tool marks and reducing surface roughness by blasting method to handle complex product shapes.

KEY WORDS: Smooth blasting, Tool mark removal, Surface roughness, Friction, Wear

1. はじめに

近年、カーボンニュートラルや温暖化対策といった地球環境への関心が高まってきているなか、各業界はCO₂排出量低減や削減に向けた取り組みが急務となっている。低炭素社会実現にはエネルギー高効率化が不可欠であり、特に機械部品においては直線のあるいは回転する可動部分が存在し、その可動部分には摩擦や摩耗が生じてしまう。この相対運動する二面間の摩擦・摩耗は振動の発生、機能・性能・信頼性の低下、騒音の発生、エネルギー損失をもたらす^{1),2)}。そのため歯車や摺動部品の表面はその製造工程で発生するツールマークの除去や平滑表面が要求されており製造最終工程で表面研磨が施される。

しかしながら従来の研磨技術は短時間で多くの製品を処理できず、複雑形状物を研磨処理する場合は専用の研磨設備が必要となる。

そこで本研究では、複雑形状物にも対応できるブラスト工法を用いてツールマーク除去及び、表面粗さ低減のプロセス検証を行った。更に本検証プロセスで得られた表面仕上げを摩擦摩耗試験することによって表面性状の違いによる摩擦・摩耗の影響を検証した。

2. 実験方法

本試験ではツールマークを残存させた試験片

を作製し、JIS Z 0311 に規定されている鋳鋼投射材ブラスト加工を施した後、その表面に平滑処理を施し表面粗さの低減を図った。

ここで平滑処理とは噴射加工法の一つであり、弾性を持つEVA樹脂(エチレン酢酸共重合体)に、砥粒を包含させた噴射材を被加工物に噴射することによって表面の凸凹の凸部を優先的に削りとり滑らかな表面にする工法である(以下、平滑処理)。これらの工法を用いて表面粗さによる摩擦・摩耗の影響を検証した。

2.1 試験片の作製

本試験は、一般構造用圧延鋼材に25S、3.2Sのツールマークを付与した試験片を作製し、初期の表面粗さをTable 1に示す。本試験片を用いてツールマークの除去及び摩擦・摩耗の確認を行った。

一方、実製品の場合、材質が異なるため代表的な摺動部品である歯車を想定し、真空浸炭材SCM420Hを用いて同様に試験を実施した。

Table 1 Surface roughness of test specimen.

		25S TP	3.2S TP
Line roughness	Ra	3.757	0.589
	Rz	20.846	3.290
Surface roughness	Sa	3.382	0.832
	Sz	33.954	6.942

*サーフェステックカンパニー 開発グループ プロセス開発チーム

2.2 ブラスト条件

ツールマーク除去を目的としたブラスト処理はインペラ式のブラスト装置で行い、その条件をTable 2に示す。Table 2については投射材の粒径及び形状を変更したものでブラスト処理を行いツールマーク除去の可否を検証した。その後、粗さ低減を目的とする平滑処理は各水準に対してTable 3の条件下で処理を行った。

Table 2 Shot blasting conditions.

Media	G100	G30	S100	S60	S40
Shape	Grit		Shot		
Hardness	40-50 HRC				
Blast machine	Impeller blast type				
Projection speed	73 m/s				
Projection density	100 kg/m ²	100 kg/m ²	100 kg/m ²	100 kg/m ²	150 kg/m ²
Projection distance	100 mm				

Table 3 Smooth blasting conditions.

Media	Resin abrasives
Core material	EVA
Core size	300-500µm
Abrasives material	WA
Abrasives size	#500
Percent of abrasives	20wt%
Blast machine	Air blast type
Air pressure	0.05 MPa
Injection distance	100 mm
Nozzle angle	45 °
Process time	120 s

2.3 評価方法

各水準で処理した表面評価は表面線粗さ測定、表面面粗さ測定を用いて評価した。線粗さ測定は東京精密製接触式表面粗さ測定機SURFCOM1400Dを使用し、測定規格JIS B 0601-2001に準じて測定を行った。評価パラメータは算術平均粗さRaと最大高さ粗さRzを測定し比較をした。

一方、面粗さ測定はOLYMPUS製3D測定レーザー顕微鏡OLS5000を使用し、ツールマークの有無を定量的に評価するため、表面の異方性、等方性を数値で示すパラメータのテクスチャのアスペクト比Strと表面性状の方向を示すStdで比較を行った。

表面性状の評価を行った後、この表面性状の違いによる摩擦と摩耗の影響度は新東科学製回転往

復試験機TYPE2040を用いて評価した。回転往復試験機の条件をTable 4に示す。

Table 4 Friction and wear test conditions.

Measurement type	Pin on disk
Force	7.8 N
Rotational speed	200 rpm
Measuring time	900 s
Temperature	22 °C
Humidity	40 %

3. 実験結果

3.1 平滑処理のツールマーク除去検証

ブラスト処理と平滑処理の複合プロセスによるツールマーク除去の検証をする前に、平滑処理のみでツールマークの除去と粗さ低減効果が得られるかの検証を行った。Fig. 1に処理前後の線粗さ測定値を示す。平滑処理を施すことによって表面粗さの低下は確認されたがFig. 2のレーザー顕微鏡の表面画像からわかるようにツールマークが残存している。凸部分の削食により、凸部の高さが小さくなることによって粗さの数値は小さくなるがツールマークのうねりを完全に除去できるほどの表面は得ることはできなかった。

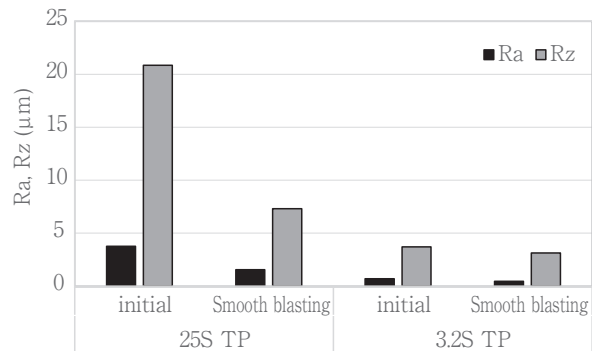
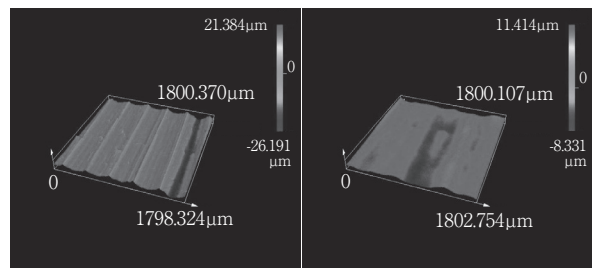


Fig. 1 Line roughness result.



Before smooth blasting. After smooth blasting.

Fig. 2 Laser microscope image before surface treatment and after surface treatment.

3.2 グリットによるブラスト処理のツールマーク除去検証

鋭角形状のグリットを用いてブラスト処理によるツールマークの除去度合を確認した。またブラスト処理後、平滑処理を施し表面粗さの低下度合を確認した。ツールマークの有無は定量評価のためStr値で比較し、結果をFig. 3に示した。Strは0の値に近いほど筋目などが表面に存在することを示しStr>0.5で強い等方性を示す³⁾。G100でブラスト処理を施した表面及びそれに平滑処理を施した表面はStr>0.5を示しツールマークは除去されている。一方、G30では、3.2S TPはブラスト処理後の表面は打痕により等方性を示すが、その後の平滑処理によって細かい粗さが除去されることによって、ツールマークが浮き出てくる結果となった(Fig. 4)。このことから、G30はツールマークを除去できるほどの加工能力がないといえる。

一方、表面粗さについてはFig. 5に示し、ブラスト処理した表面粗さに対して平滑処理を施すとRa1/5程度Rz1/6程度の値を示した。G100の表面粗さは数値では下がるが、ブラスト処理により生じた多くの凸凹が残存しており、十分な平滑面は得られなかった。

以上の結果より、ツールマーク除去に対するグリットの効果は投射材サイズがG100程度であれば除去能力が得られるが、大きい打痕を表面に付けるため、その後の処理で平滑面が得られない。一方、投射材が小さいと次工程で平滑面が得られるが、ツールマークが除去できない結果となった。

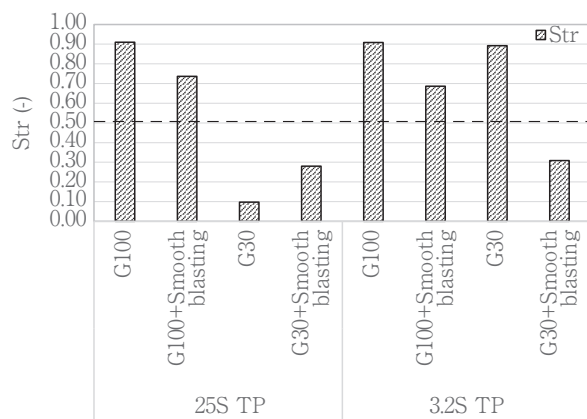


Fig. 3 Result of texture aspect ratio.

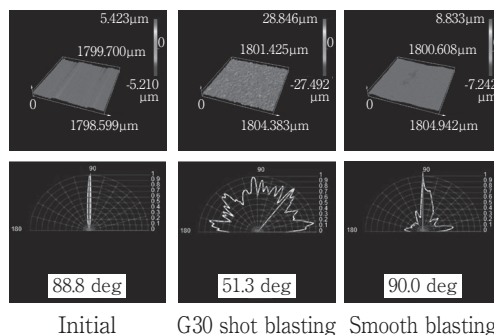


Fig. 4 Result of texture direction of the scale-limited surface.

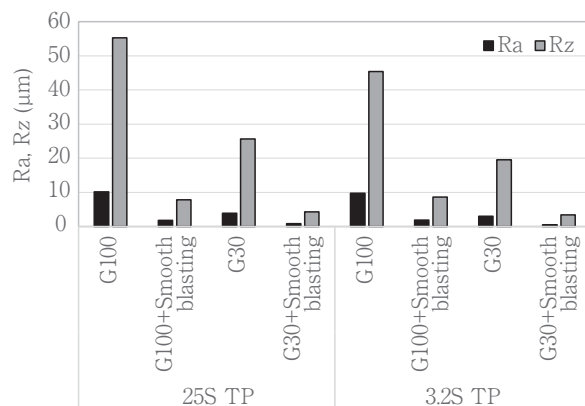


Fig. 5 Line roughness result of grit blasting and smooth blasting.

3.3 ショットによるブラスト処理のツールマーク除去検証

3.2の検証と同様の方法で、球状投射材でツールマークを叩き潰した後、平滑処理にて表面粗さ低下を狙った検証を行った。Fig. 6にStr値の測定結果を示す。S100～S40すべてのブラスト条件下でツールマークの方向性はキャンセルされ等方性を示している。ただし25SのツールマークはS40のブラスト処理は除去エネルギーが足りないため、平滑処理後にツールマークが浮き出る結果となった。よって、S60以上の投射材が必要と考えられる。

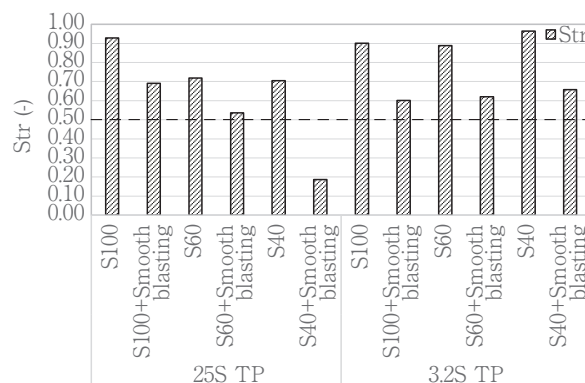


Fig. 6 Result of texture aspect ratio.

Fig. 7 に表面線粗さ測定結果を示す。平滑処理後の表面粗さはRa, Rzともに1/7～1/4程度に低下しており、ブラスト処理後の粗さが小さい程表面は平滑面となった。そのテクスチャの方向性を示すStd値をFig. 8に一例を示す。

しかしながら、S100, S60については粗さの低下は確認されるがブラスト面のうねりが残存する表面となった。

以上より球状投射材はツールマーク除去に有効であり、その後の平滑処理も粗さ低減に有効であることが確認された。

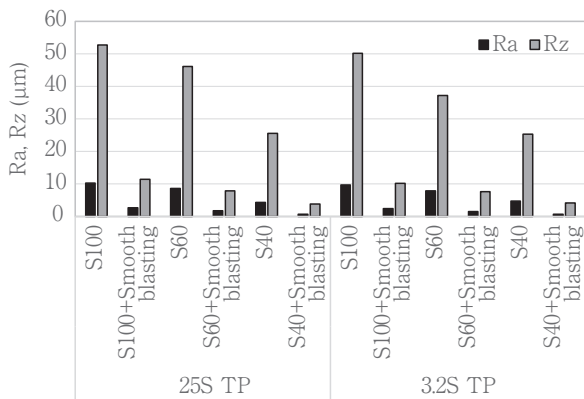


Fig. 7 Line roughness result of shot blasting and smooth blasting.

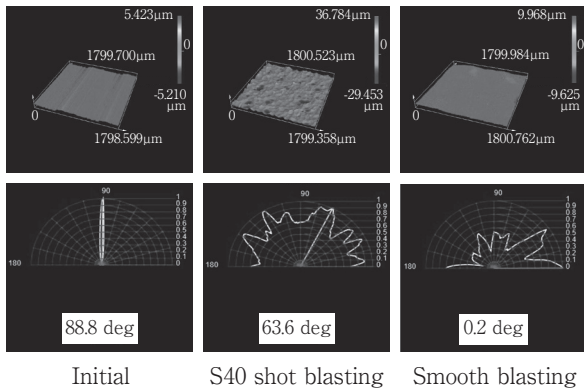


Fig. 8 Result of texture direction of the scale-limited surface.

3.4 表面粗さの違いによる摩擦・摩耗の影響

ピンオンディスク摩擦摩耗試験方式を用いて各ブラスト処理した表面に対して試験を行った。摺動条件は7.8Nの荷重下で200rpmの回転速度、900s乾式雰囲気中で保持させた。摩擦試験の結果をFig. 9に示し、参考として鏡面時のデータも記載した。全ての条件で、摩擦係数は0.6～0.8の

範囲で安定した値を示し、鏡面時と同程度の値を示した。測定初期段階では表面粗さの影響が確認され、粗い表面では緩やかに摩擦係数が上がるのに対して、粗さが低いと摩擦係数はすぐに安定する傾向を示した。

一方、摩耗については900s測定終了後のテストピースの圧痕をレーザー顕微鏡にて断面を測定し、圧痕深さで比較した。Fig. 10に測定結果を示す。表面粗さが粗いと圧痕深さが深くなる傾向にあり、これは粗さが粗いと摩耗量が多くなることを示す。実測定では、粗さが粗いと摩耗粉が多く発生しており、それに加えて振動と騒音も粗さと比例して大きくなる傾向にあった。

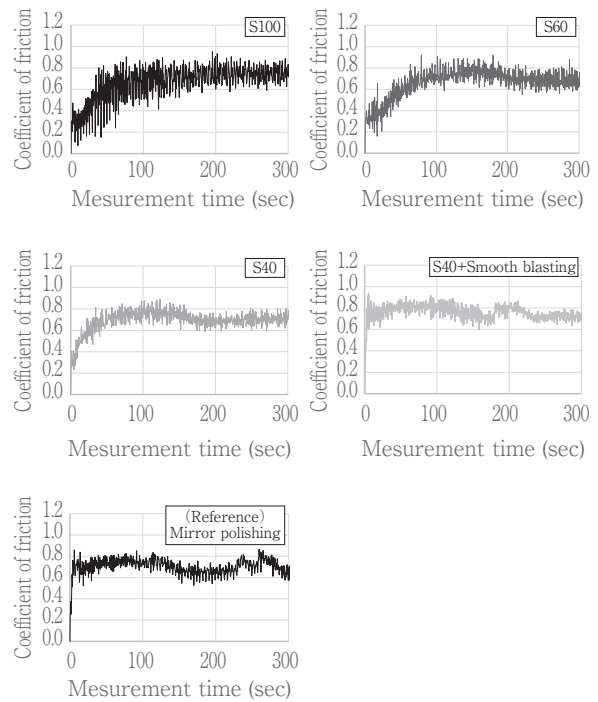


Fig. 9 Result of friction and wear test.

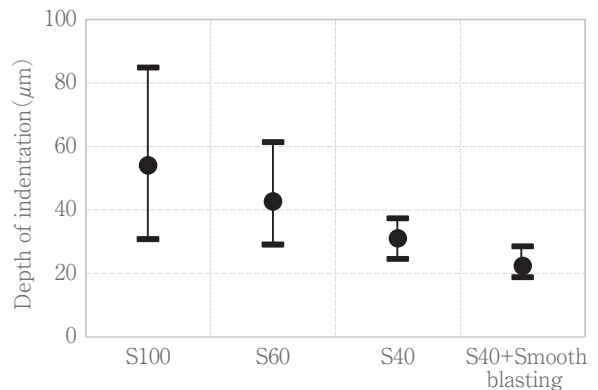


Fig. 10 Depth of indentation measurement result.

3.5 実製品を想定した検証テスト

実製品を想定した場合、材料が違うため機械的性質が異なってくる。そのため、代表的な摺動部品である歯車を想定し、真空浸炭処理を施したSCM420Hを用いて同様に試験を実施した。

3.2S程度のツールマークが付与されたTPに対して、新東工業製マイクロ鋳鋼ショットSBM210Cの投射材（以下、「SBM210C」と略す。）でブラスト処理することにより、ツールマークの除去及びピーニングの効果も狙った。その後、平滑処理で粗さ低減を図った。Fig. 11 にテクスチャの方向性を示すStd値と3D画像を示す。

3.3の検証結果と同様に、SBM210Cでブラスト処理した面はツールマークの方向性を除去しブラストの打痕によって等方性の面を示している。その後、平滑処理を施した面においてもツールマークの方向性が生じることは無かった。

Str値はツールマーク面：0.161、SBM210Cブラスト処理面：0.881、平滑処理面：0.763の値を示しており、ツールマークの表面が除去されたことが確認された。

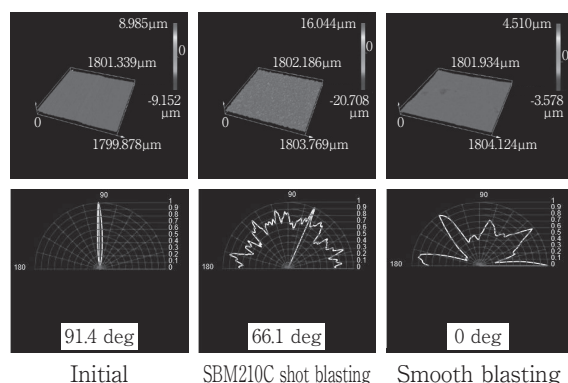


Fig. 11 Result of texture direction of the scale-limited surface.

ブラスト面と平滑面の摩擦度合は、回転往復試験機を用いて測定を行った。摩擦係数の結果をFig. 12に示す。また、レーザー顕微鏡を用いて摩擦摩耗試験後の圧痕深さを測定しFig. 13に測定結果を示す。

平滑面の方が早い段階で摩擦係数が安定する傾向を示し、圧痕深さも小さい結果であった。このことより平滑処理を施し、粗さを下げた方が耐

摩耗に有効であることが確認された。

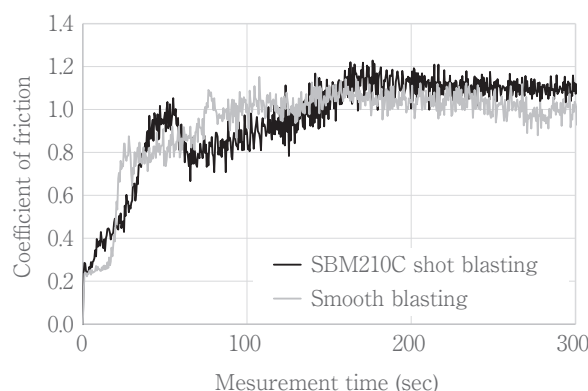


Fig. 12 Result of friction and wear test.



Fig. 13 Depth of indentation measurement result.

4. 考察

本研究結果から、ブラスト工法を用いたツールマークの除去及び表面粗さ低減に有効なプロセスについて考察する。

4.1 ブラスト工法のツールマーク除去効果

ツールマークの方向性を除去する効果においてグリットとショットで明らかな違いが確認された。

グリットの粒子形状は鋭角部を有するため、加工時にその鋭角部が被投射物に転写されることによって削食が生じる⁴⁾。この削食効果によってツールマークを除去するが、細かい投射材粒度はツールマークを除去するための投射エネルギーが不足するため、それに応じたエネルギーが必要である。

一方、ショットは球形状のため、被投射物に対して削食する効果はなく、衝突部分は塑性変形によって打痕を生じさせる。本検証の場合、ツール

マークの凸部を叩き潰すことにより、細かい投射材でも除去ができたと考えられる。

4.2 平滑処理の粗さ低減効果

ブラスト面で生じた粗さに対して、平滑処理を施すことによって、表面の凸凹の凸部分を噴射材の砥材が擦る効果で優先的に凸部分を削食しRa : 1/7 ~ 1/5 程度、Rz : 1/6 ~ 1/4 程度まで低減できた。

しかしながら、Rz25 以上保有する表面粗さは、ブラスト処理で生じた打痕を完全に除去することができなかった。これは砥材の削食能力が足りないため、凸部を除去しきれなかったためであると考えられる。ブラスト処理時に生じた砥粒サイズの選定が必要である。

4.3 摩擦摩耗における粗さ低減効果

摩擦摩耗試験結果から、平滑処理面は鏡面研磨の摩擦摩耗曲線を示しており実製品でも鏡面研磨に近い挙動を示すのではないかと推測される。ブラスト工程による粗さの違いは、測定初期の段階で粗い表面では緩やかに摩擦係数が上がるのに対して、粗さが低いと摩擦係数はすぐに安定する傾向を示していた。これは、テストピースの粗さが低い場合は、細かな凸部が、初期の段階で摩耗しピンとテストピースが短時間でなじむが、逆に粗さが粗い凸部を摩耗し馴染むまでに時間がかかる。ピンはテストピースの表面粗さ凸部の上部のみの接触になるため、最初は接触面積が小さく凸部が削られることによって徐々に接触面積が増えてくる。このピンとテストピース表面の接触面積の影響が初期の摩擦係数の違いの要因の一つと推測される⁵⁾。

また、粗さが粗いほど摩耗が多く生じる傾向にあり Fig. 14 に関係性を示す。この原因はアプレシブ摩耗が影響していると考えられる。表面粗さが粗いと凸部の削食量が多く、摩耗粉が多く発生する。この摩耗粉がピンとテストピースに巻き込まれることにより、更に摩耗を促進したと推測される。実際に測定時は表面粗さに比例して摩耗粉

が多く発生したのを確認した。真空浸炭材の摩耗差は更に硬さの違いの影響も考えられる。ブラスト処理面の最表面はHRC58 に対して平滑面はHRC60 であった。平滑処理は表面を削り取る効果があり、ブラストで生じた応力の高い層が最表面に露出したことにより、硬さの差が生じたと考える。

硬さは凝着摩耗に影響する因子であるため、硬いと耐摩耗性に有効である⁶⁾。この硬さの差も摩耗に影響したと考えられる。

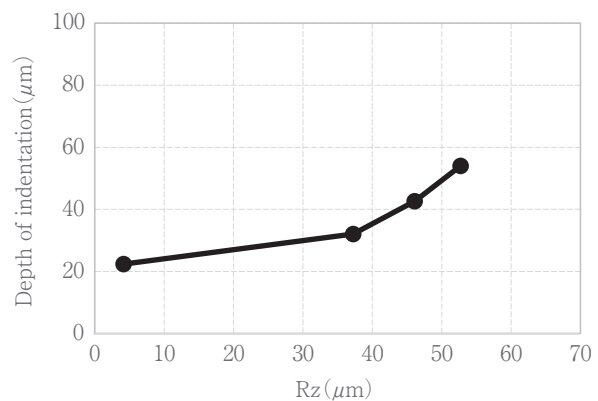


Fig. 14 Relationship between roughness and depth of indentation.

5. 結言

本研究より下記の事項が明らかになった。

- (1) ツールマーク除去は球状投射材が有効であり、25SのツールマークはS60 以上の投射材が有効であり、3.2SではS40 以上でツールマークが除去できる。
- (2) 粗さ低減の平滑処理は、ブラスト処理で生じた粗さに対してRa : 1/7 ~ 1/5 程度、Rz : 1/6 ~ 1/4 程度まで低減ができる。
- (3) Rz25 以下の表面粗さは、平滑処理でブラスト処理時に生じた打痕が除去することができ平滑面が得られる。
- (4) 平滑処理の表面粗さは摩耗に大きく寄与し、粗いと摩耗も多くなる。

6. おわりに

本報ではブラスト処理と平滑処理を用いたツールマーク除去方法とその表面がもたらす効果

について報告した。

特に粗さと摩擦の関係は粗さの形状、接触する材料、凝着の有無等複雑に因子が関わるためそれを解明するには、さらなる試験が必要である。また、実製品は潤滑環境で使用されるため、潤滑油種によっても大きく変わる。本検証で得られた表面効果を、さらに試験・分析する必要がある。そして、お客様にとって、より高い価値を生む表面処理を提案していく。

参考文献

- 1) 山口一馬, 佐々木信也: 機械材料・材料加工技術講演会講演論文集 17 卷 (2009) P.328
- 2) CRDS国立研究開発法人: 研究開発の俯瞰報告書 (2021) PP.369-379
- 3) 寒川哲夫, 下元一輝, 長田昌文, 手塚一博: 精密工学会学術講演会講演論文集 精密工学会春季大会 (2019) PP.203-204
- 4) 窪堀俊文, 伊藤亨, 乾保之: 高温学会誌 第 33 卷 6 号 (2007) PP.306-312
- 5) 松本將, 豊田展光: 日本トライボロジー学会誌 (2013) PP.676-684
- 6) 似内照夫: マテリアルライフ 12 卷 2 号 (2000) PP.75-78