グリットブラストの削食機構*

当 舎 勝 次** 飯 田 喜 介***

Stock Removal Mechanism of Grit Blasting

Katsuji Tosha and Kisuken Iida

Several experiments were run to clarify the stock removal mechanism of grit blasting. Factors of the mechanism are treated on surface roughness, work-hardening, residual stress and weight of removed chip. Grit blasting was performed on commercially pure titanium (Ti:99.4%) and carbon steel (C:0.45%) by centrifugal blasting machine. Stock removal decreases with the increase of work-hardening and increases with the increase of the surface roughness. The mechanism of stock removal was mainly consisted of the work-hardened brittle layer. Stock removal is closely related with the machinability of the work material.

Key words: grit blasting, stock removal, surface roughness, work-hardened layer, residual stress, machinability.

1. 緒 言

グリットブラストは削食を主目的とする噴射加工の一分野であるが、それ以外にもピーニング効果、アンカ効果、放熱効果、トライボロジー効果など種々の効果を持ち、色々な分野で使用されている。

これまで述べてきたように、グリットブラストは連続的に投射された多数のグリットが被加工材に衝突し、投射時間の増加と共に加工層を生成しながら削食を行う加工法である^{1) 2)}。従って削食量に影響を及ぼす加工条件としては、グリット径、投射速度、投射角、投射時間などがあり、被加工材の性質からの影響としては、加工硬化性ならびに残留応力、硬さおよび表面粗さなどが考えられる。

本報は、グリットブラストの削食機構を明らかにするために次の3点について実験を行った。

①中炭素鋼(S45C)にグリットブラストを行い、それによって生じた加工層の諸要素(表面残留応力、硬さ、表面粗さなど)がその後のグリットブラストの削食に及ぼす影響。

②工業用純チタン(TP35)にグリットブラストを行い、削食により生じたチップを採取し、重量測定と顕微鏡観察。

③削食はグリットによる切削と考えられるので、中炭素鋼、チタン、黄銅などにグリットブラストを行い、削食量と切削加工により求めた被削性との関係の検討。

2. 実験装置及び方法

本実験で使用した加工装置、グリット、試験片、加工条件およびX線回折についての実験条件は表1に示す通りである。

投射角は加工面の法線に対する角度とし、0°の垂直投射をG1、60°の角度投射をG2とした。

Table 1 Blasting Conditions

Blasting machine		Centrifugal type
Grit	Material	Cast steel, HV:510
	Size	D : 1.84 mm
	Velocity	V : 35 m/s
Blasting time		T : 1 - Tf*) s
Blastin angle		G1 θ : 0°
		G2 θ : 60°
Specimen	Material	Annealed carbon steel 0.45 % C (HV 180)
		Annealed Titanium 99.4 % Ti (HV 150)
	Size	W:25, L:25, t:10 mm
Residual stress measurement		X-ray Diffraction $\sin^2 \psi$ method

*)Tf: full coverage time

* 原稿受付 平成4年3月24日
** 正 会 員 明治大学理工学部(川崎市多摩区東三田1-1-1)
*** 正 会 員 明治大学理工学部

Table 2 Symbols for grit blasting conditions

Symbol	Specimen before grit blasting
O	As annealed
G	As blasted
GG	Chemical etched after grit blasting
GA	Annealed after grit blasting (650 °C, 2 h)

Table 3 Orthogonal cutting conditions

Turning	Tool Material : Carbide
	Side rake angle : 11 °
	Nose radius : 0.8 mm
	End cutting edge angle : 30 °
	Cutting fluid : Dry
	Cutting speed : 90 m/min
	Feed rate : 0.1 mm/rev
	Depth of cut : 2 mm
Specimen	Material, Hardness, Heat treatment
	S45C: 0.45% C, HV180, (820°C, 2h)
	TP35: 99.4% Ti, HV150, (600°C, 2h)
	C3604BD: 59.0% Cu, HV118, (400°C, 2h)
	C4641BD: 60.5% Cu, HV117, (400°C, 2h)
	C1100BD: 99.9% Cu, HV27, (500°C, 2h)
	Diameter: 30 mm

削食量の測定には感量 1 mg の自動天びんを用い、硬さ測定にはマイクロピッカース硬度計を用いた。鋼材に対する残留応力値の算出には次式を用いた。

$$\sigma_R = -\frac{E}{2(1+\nu)} \cot \theta_0 \frac{\partial \theta}{\partial \sin^2 \phi}$$

ここで E : 縦弾性係数 (206 GPa), ν : ポアソン比 (0.28), θ_0 : 標準ブラッグ角, 2θ : 回折角, ϕ : 加工面の法線に対する X 線入射角である。

半価幅は (211) 面の X 線回折から重心法により求めた値で, ϕ 角が 0 ~ 60° のものを平均して求めた。

硬さはマイクロピッカース硬度計を用い, 加工面に垂直な断面を加工面から内部に向かって痕の直下を 3 箇所測定し, 同一深さの値を平均してその深さにおける硬さとした。

表面粗さは万能表面形状測定機を用いて縦倍率 200 ~ 500 倍で記録し, その記録紙上の 3 箇所の最大高さを求め, それらを平均した。

加工面ならびに加工層の特性が削食量に及ぼす影響

Fig.1 Influence of grit hardness on stock removal

を検討するために, 表 2 に示す O, G, GG, GA の 4 種類の被加工材についてグリットブラストを行った。O 材はグリットブラストによる表面粗さも加工層も無いもの, G 材はグリットブラストによる表面粗さも加工層も有るもの, GG 材はグリットブラストによる表面粗さが無く加工層の有るもの, GA 材はグリットブラストによる表面粗さが有り加工層の無いものである。

表 2 中, GG の化学研磨には 25% の硝酸水溶液を用いた。

切削加工における被削性を求めるための切削の条件は表 3 に示す。

3. 実験結果及び考察

3.1 加工面の状態と削食量

削食量はグリットのサイズが同一であっても, 図 1 に示すように硬さによって影響されるが, 投射時間の削食量に及ぼす影響は同一であった。もちろんマルテンサイトグリットや非常に軟質のグリットではその時間的特性も異なることが予想されるが, その点については別報で述べることにする。以後に述べる本実験では HV 510 のグリットのみを使用した。

上述のようにグリットブラストでは投射された個々のグリットが投射時間の増加と共に被加工材を加工して行くので, 加工面は刻々変化する。図 2 は表面残留応力, 半価幅ならびに削食量についての時間的変化を示したものである。表面の残留応力と半価幅が飽和した後も削食量は増加して行く。このとき加工面にはグリットの衝突による表面粗さや加工層の増加が起こる。

Fig.2 Influence of blasting time on surface residual stress, half width and stock removal

Fig.3 Influence of blasting angle on stock removal

図2に示した垂直投射と 60° 角度投射の場合の削食量について投射時間との関係で両対数グラフ上にプロットしたものが図3である。角度投射は垂直投射の場合より切削量が多く、投射時間の初期からかなりの

Fig.4 Hardness distribution

Fig.5 Surface residual stress appeared after etched layer by layer

削食が起こる。垂直投射の場合は加工の初期の削食量は極めて少なく、図2の半幅幅とあわせて考えると表面の加工度がかなり高くなってからでなければ削食が起こらない。

グリットブラスト加工面や加工層の削食量に及ぼす影響を検討するには表面粗さの影響と加工層の影響とを分けて考察する必要がある。それぞれの場合を検討するために、図4、図5に示したようにフルカバレッジタイムのグリットブラストを行った後、硬さの減少を極力おさえ、圧縮残留応力値が最大になる所まで加工面を化学研磨して表面層を取り除き、表面粗さを減少させたものがG1GとG2Gである。

Fig. 6 Characteristics of affected layer on stock removal before Tf (Blasting angle: 0°)

Fig. 7 Characteristics of affected layer on stock removal after Tf (Blasting angle: 0°)

図6はO材とGG材ならびにGA材とについて投射角が0°の場合の投射時間と削食量との関係を示したもので、明らかに3者の削食量は異なっている。O材とGA材との削食量の差は両者の硬さや表面残留応力値が同様なものであるので表面粗さの影響の結果であり、O材とGG材との差は表面粗さが同一であるので加工層の影響の結果であってその差は小さい。表面粗さだけの差はOとGAとの差としてあらわれており、表面粗さの大きいものは削食量も多い。

図6に示したGA材ならびにGG材と、フルカバレージタイム加工したO材はすべて事前にフルカバレージタイムのグリットブラストをしたことになるので、

Fig. 8 Characteristics of affected layer on stock removal after Tf (Blasting angle: 60°)

図7に示すように同一の時間をグリットブラスト加工の出発点として考えることができる。図7中のG材はO材にフルカバレージタイムの加工を行ったものである。上述したように加工の初期には削食は起こらず、痕の生成と被加工材のぜい性化にエネルギーが費やされる。従ってGA材の削食量がG材より少ないのは痕の付近がまず加工硬化しそれがぜい性化してゆくまでの時間的遅れによるものと考えられる。G材とGG材とを同一時間で比較すると、脆性化した表面の粗さを化学研磨によって除去した被加工材GGでは著しく削食量が減少している。

投射角の変化はグリットの被加工材に対する法線方向の速度ならびに衝撃力と痕密度を同時に変化させ、グリットブラストの削食特性を変化させる。

60°の角度投射について、図7に示した垂直投射の場合と同様にフルカバレージタイムを基準にして示したものが図8である。

加工前の加工硬化層がその後の加工による削食量に及ぼす影響を定量的に検討するために、一定の投射条件でグリットブラストを行った被加工材に対して化学研磨量を変えることにより異なる加工硬化層深さをもつ試験片を作成した。その試験片に対して同一の投射条件でグリットブラストを行った場合の削食量を加工硬化層深さとの関係で示したものが図9である。

投射角によらず削食量は加工硬化層深さの減少と共に増加するが、垂直投射では加工硬化層がすべて除去されると削食量は0.4mmの加工層がある場合と比較して $4 \times 10^{-3} \text{ mg/mm}^2$ (29%)増加した。同様に60°の角度投射の場合は $6.5 \times 10^{-3} \text{ mg/mm}^2$ (10%)増加した。

Fig.9 Influence of depth of work-hardened layer on stock removal

Fig.10 Influence of surface roughness on stock removal

削食量に及ぼす表面粗さのみの影響を検討するためにあらかじめ異なった投射エネルギーでグリットブラストを行った後、被加工材に発生した加工層を焼きなましにより消滅させて種々の表面粗さをもつ試験片を作成した。その試験片に一定の投射条件でグリットブラストを行い、加工前の表面粗さの影響について検討したものが図10で、表面粗さの増加は削食量を増加させる。本実験では表面粗さを10倍にすると、垂直投射では削食量が $1.0 \times 10^{-3} \text{ mg/mm}^2$ (5.6%)増加し、 60° の角度投射では $6.5 \times 10^{-3} \text{ mg/mm}^2$ (9.4%)増加した。

3. 2 削食チップの観察および測定

削食チップを採取する場合、被加工材が鋼では装置の削食チップであるか、グリット自身の破碎によるものか見極めが困難である。そこで本報では、鋼とほぼ等しい硬さを持ち、新素材として注目されている工業

Fig.11 Chip removed by grit blasting (Work: TP35)

Fig.12 Dent produced by grit blasting (Work: TP35)

用純チタンを試験片とした。

図11がフルカバレッジ加工による削食チップを示し、図12が加工の初期における加工面の様子を示したものである。角度投射の場合、垂直投射の場合より加工面の痕が小さい。

削食されたチップを重量測定により比較した結果が図13である。採取されたチップでは角度投射による

Fig.13 Size and weight of one chip

Fig.14 Relation between machinability as cutting force and stock removal

チップの方が垂直投射のものより1個当たり50%程度重量が大きかった。

3.3 被削性と削食量

切削加工における被削性には4つのファクタがあるが、第1ファクタである切削抵抗力の主成分と削食量との関係を示したものが図14である。被加工材が鋼の場合を除いて被削性の良いものほど削食量も大きくなっている。

以上からグリットブラストの削食機構を示したものが図15である。焼きなましされた材料にグリットブラストを行うと①まず被加工材には痕の周囲に降伏部分が生成され、②多数のグリットによって降伏層の上部表面付近にぜい性化層が生成され、③その後のグリットブラストによって削食が進行する。角度投射では、被加工材の法線方向に対する角度が大きくなるほどグ

Fig.15 Mechanism of stock removal

リットの切削作用が大きくなり、十分なぜい性化層を生成させることなく切削されるものと考えられる。

4. 結 論

グリットブラストの削食機構を明らかにするために中炭素鋼(S45C)に加工を行い、生じた加工層の諸要素である表面残留応力、硬さおよび表面粗さがその後のグリットブラストの削食特性に及ぼす影響を検討した結果、次の事項が明らかになった。

- (1) グリットブラストの加工機構は、まず加工層が生成され、層内の加工度が進んで、削食が進行して行く。
- (2) 垂直投射の場合、加工の初期には削食が起こらず、加工層の生成と層内の加工度の進行が必要である。
- (3) グリットブラストによる加工層は削食量を減少させる。この効果に及ぼす投射角の影響は大きく、本実験の範囲で 60° の投射角の場合、削食量の減少量が垂直投射の場合の約1.6倍であった。
- (4) 表面粗さの増加は削食量を増加させるが、その影響は垂直投射の方が大きく、 60° の角度投射の約1.5倍であった。
- (5) 本実験において加工硬化層深さ(0~0.7mm)が削食量に及ぼした最大値は、 60° の角度投射の場合で $6.5 \times 10^{-3} \text{ mg/mm}^2$ であった。
- (6) 本実験において表面粗さ(0.5~70 μm)が削食量に及ぼした最大値は、垂直投射の場合で $10 \times 10^{-3} \text{ mg/mm}^2$ であった。
- (7) 材料の被削性を切削抵抗力の主成分で捉えると被削性の良いものほど削食量も大きい。

参 考 文 献

- 1) 当舎勝次, 飯田喜介: グリットブラスト加工面の特性, 精密工学会誌, 53, 2, (1987) 269.
- 2) 当舎勝次, 飯田喜介: グリットブラストの削食特性, 精密工学会誌, 54, 6, (1988) 1132.