

## 高硬度難加工材料の旋削加工技術の確立

堀田 昌宏<sup>\*\*</sup>, 若槻 正明<sup>\*\*</sup>, 和合 健<sup>\*\*</sup>,  
飯村 崇<sup>\*\*</sup>, 多田 三郎<sup>\*\*\*</sup>

高硬度難加工材としてオーステンパ球状黒鉛鑄鉄を取り上げ、各切削条件（切削速度、送り速度、冷却方法）が工作物の製品品位（表面粗さ、残留応力）に及ぼす影響を調べた。その結果、送り（長手）方向において、送りが大きくなるに従い、残留応力が圧縮から引張りの方向に変化することが判った。この結果は昨年度焼入鋼を切削した場合の送りが大きくなると残留応力変化が圧縮方向に向かうことと逆の結果となっている。また工具寿命は冷風により長くできることが判った。

キーワード：オーステンパ球状黒鉛鑄鉄、旋削、残留応力

## Study on Turning Technique for Difficult-to-machine Materials of High Hardness

HOTTA Masahiro, WAKATUKI Masaaki, WAGO Takeshi,  
IIMURA Takashi and TADA Saburo

We took up Austempered Spheroidal graphite cast iron as Difficult-to-machine Materials of High hardness, and we examined the effect of cutting conditions, such as cutting speed, feed rate and cooling, on the dignity of roughness and residual stress of the work. As a result, we found that residual stress changed from compressive stress to tensile stress according to growing up the feed rate, as a feed direction. This result is different from the result that residual stress changed from tensile stress to compressive stress according to growing up the feed rate, when we cut Hardened steel last year. And we found that Tool life can be extended using cool air.

key words : Austempered Spheroidal Graphite Cast Iron, turning, residual stress

### 1 緒 言

工具の素材改良や工作機械の高速化等に伴い、機械加工時間の短縮や金型製作コストを削減するために、切削による仕上げ加工が脚光を浴びている。しかし、切削加工は、製品品位（寸法精度、面粗さ、残留応力）に及ぼす影響が大きく、特に残留応力の影響は、製品の機械的性質の劣化や、工作物の変形など幾何学的精度を満たせない問題が生じている。笹原ら<sup>1) 2)</sup>は残留応力を発生させない、また、発生量を小さくする方法として、切り込みを変えることにより残留応力を制御できる可能性を示している。本報では、前年度<sup>3)</sup>の焼入鋼に続き、難加工材であるオーステンパ球状黒鉛鑄鉄について、切り込み配分を変えることで工作物の製品品位（表面の粗さ及び残留応力）がどのように変化するかについて検討し、

また、焼入鋼を切削した場合による工具寿命についても併せて検討したので、その経緯について述べる。

### 2 実験方法

切削は外周旋削とし、仕上がり寸法を任意の被削材径（ $\phi$  40mm）- 2mm と設定し、仕上げしろを 2mm に固定した。また、1回で仕上げることは無いこと、1回目の切り込みが総切り込み量の半分以下とはならないと仮定し、また加工能率も考慮し、最高3回の切り込みとした。なお、総切り込み量 1.0mm に対する 0.1mm 刻みでの切り込み配分は 3 8 通りの組み合わせとなる。

一方、切削時には 1 回目切り込み / 2 回目切り込み / 3 回目切り込みと各仕上げ面の表面を段差をつけて残しておき、触針式表面粗さ測定機で表面粗さの測定を行

\* 高硬度難加工金属材料の高精度加工技術の開発（第3報）（東北ブロック広域共同研究推進事業）

\*\* 電子機械部

\*\*\* 電子機械部（現在 木工特産部）

った。なお切り込みの設定は、図1に示すようにレーザー変位計で確認した。

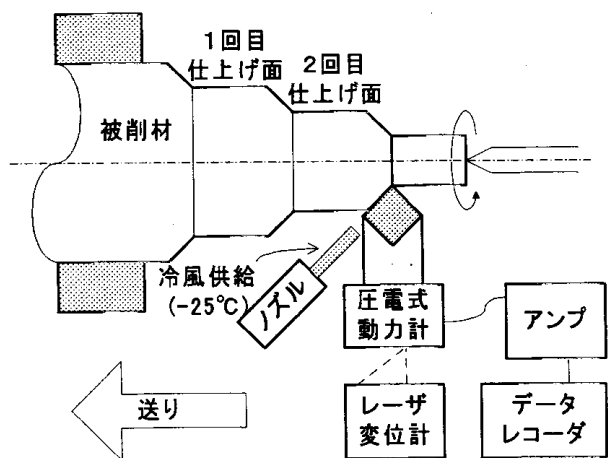


図1 実験模式図

工具は SNGN120408 型アルミナ系セラミックスローアウェイチップ (以下セラミックスと称す) 工具を用いた。表1、表2に本実験の使用機器、被削材の化学成分を示す。なお、今回簡単に冷風を得る手段として、昨年度と同様、市販の超低温空気発生器 (以下コルダと称す) を用い、工作機械に取り付けた。そして、コンプレッサーからコルダに圧縮空気を供給し、吐出口から冷風が吹き出していることを確認後、工具刃先付近の温度を測定した結果、約-25℃を観測した。また、被削材は、熱処理済のSKD11相当鋼 (850℃×1.5h-1040℃×2.5h-0.5h油冷, 550℃×2h空冷, HRC 58, 以下SKD11改) 及びオーステンパ球状黒鉛鋳鉄 (900℃×1h-300℃×1h, HRC 38.1, 岩手県工業技術センター金属材料部で熱処理のみ実施, 以下ADI) の2種類を使用した。

昨年度の焼入鋼を用いた実験では、冷風をかけて切削する方が工具摩耗の進行を抑え、表面粗さも改善することがわかった。しかし、昨年度の実験において切削時間が短時間であったことから、本年度は焼入鋼を長時間外周旋削した場合について確認するため、切削時間の変化による工具摩耗について実験を行った。本実験では、横逃げ面摩耗幅が0.3mmに達した時、あるいは工具損傷が発生し切削が正常に行われないと判断した時点工具寿命と判定した。

なお、本文中の記号は下記のとおりである。

- V : 切削速度 (m/min)
- f : 送り (mm/rev)
- a : 切り込み (mm)
- t : 切削時間 (min)
- Ry : 実際の仕上げ面粗さ (μm)
- Vb : 横逃げ面摩耗幅 (mm)

表1 使用機器の仕様

・工作機械	汎用旋盤 昌運カズノブ(無段変速)
・冷風発生装置	超低温空気発生器 サンワエンタープライズ 185-65SV
・表面粗さ測定	触針式表面粗さ測定機 テラホブソン Form Talysulf S5
・応力測定	PSPC微小部X線応力測定装置 理学電機
・工具摩耗観察	CCDマイクروسコープ キーエンス VH-6200
・切削力測定	圧電式3成分動力計 キスラー 9257B マルチチャンネル・チャージアンプ キスラー 5019A メモリハイコーダ 日置電機 8086型

表2 被削材の化学成分

被削材	化学成分(%)									
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Mg	Cr	Mo	V
ADI	3.71	2.81	0.27	0.019	0.011		0.047			
SKD11改	1.46	0.26	0.37	0.025	0.01	0.07	15	12.83	0.82	0.23

(メーカー提供mill sheetより抜粋)

### 3 実験結果及び考察

#### 3-1 工具寿命

切削時間と工具寿命の関係について検証するため、焼入鋼について表3の切削条件で実験を行った。なお今回の実験では、冷風供給ノズルを工具逃げ面側から切れ刃に45°の角度で最高加圧点が刃先部になるように設定し、冷風供給を実施した。表3で示した加工条件による横逃げ面摩耗結果結果を図2に示す。

表3 工具寿命試験の切削条件

切削条件	
V	100m/min
f	0.1mm/rev
a	0.5mm
方法	乾式, 冷風供給(-25℃)
被削材	SKD11改(HRC58)
工具	アルミナ系セラミックス

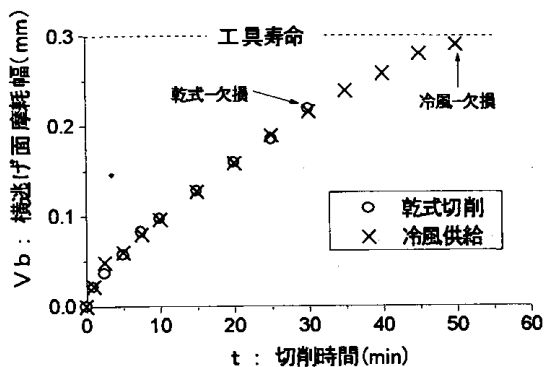


図2 SKD11改における工具寿命試験結果

図2より、 $t = 30$  min 前では乾式切削の場合と冷風供給切削の場合では工具寿命に明らかな違いはみられなかった。しかし、乾式切削の場合では、 $t = 34$  min の時点で工具すくい面にフレーキング損傷が発生し、安定な正常切削ができない状態となってしまう、冷風供給切削の場合では  $t = 54$  min を過ぎると乾式切削の状態と同様に工具すくい面にフレーキング損傷が発生し、安定な正常切削ができない状態となった。また、写真1において、 $t = 30$  min の工具摩耗痕比較から、乾式切削における摩耗痕が冷風供給切削のものより鮮明である。

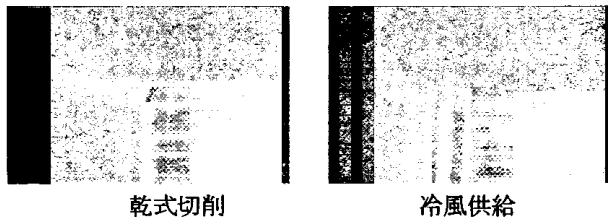


写真1 SKD11改における横逃げ面工具摩耗  
 切削条件： $v=100\text{m/min}$ ,  $f=0.1\text{mm/rev}$ ,  $a=0.5\text{mm}$   
 工具材種：アルミナ系セラミクス  
 (-6-66615150.8)  
 被削材：SKD11改 (HRC58.1)

一般に高硬度材料の切削では、工具すくい面側に貝殻状の剥離損傷（フレーキング損傷）が生じやすい<sup>4)</sup>と言われるが、今回の実験において、乾式切削、冷風供給切削どちらの場合も工具すくい面側にフレーキング損傷が発生する。しかし、冷風供給切削の方がよりフレーキング損傷発生時間が遅くなっている。また、フレーキング損傷が発生する直前での被削材の表面粗さを比較すると、乾式切削において  $R_y$  が  $3.6\ \mu\text{m}$ 、冷風供給切削において  $R_y$  が  $2.8\ \mu\text{m}$  となっており、後者の方が前者より長時間切削しても表面粗さが小さくなっている。これらのことより、切削の際冷風供給を行った方が工具寿命を長くし、かつ粗さも小さくすることが可能であることがわかった。

### 3-2 残留応力

切り込み配分及び切削条件が被削物の残留応力にどのような影響を及ぼすかを検証するため、ADIについて表4の切削条件で実験を行った。なお、切削条件は昨年度の結果から残留応力変化に最も影響する送り速度のみを変化させることとした。切削面の応力測定は微小部X線応力測定装置を用いて行い、 $\sin^2\phi$ 法により求めた<sup>5)</sup>。特性X線はCrK $\alpha$ 線を使用し、管電圧30kV、管電流40mA、コリメータの直径を1.0mmとした。

図3は送り速度を変化 ( $f=0.05, 0.1, 0.2\text{mm/rev}$ ) させた場合による送り（長手）方向及び切削（円周）方向の残

表4 切削条件2

No.	切り込み配分(単位:mm)			切削条件	
	1回目	2回目	3回目	V	f
①	0.5	0.4	0.1	100m/min	0.05, 0.1, 0.2mm/rev
②	0.7	0.3		a	左記切り込み配分による
				方法	乾式切削
				被削材	ADK(HRC38.1)
				工具	アルミナ系セラミクス

留応力変化を示す。ここで、正の値は引張りの残留応力を、負の値は圧縮の残留応力を示す。鑄造し面には200~400MPa程度の圧縮応力があり、送り方向、切削方向ともほぼ同じ値となっている。理由として、表面に付着したすずを除去する目的でサンドブラストをかけており、表面にショットピーニング加工を施したことと同じ効果があったためと考えられる。但し3回切込みを実施した試料の中で  $f=0.1\text{mm/rev}$  の場合の試料は、他の試料と素材、熱処理、サンドブラストのいずれかが異なるためと思われる。

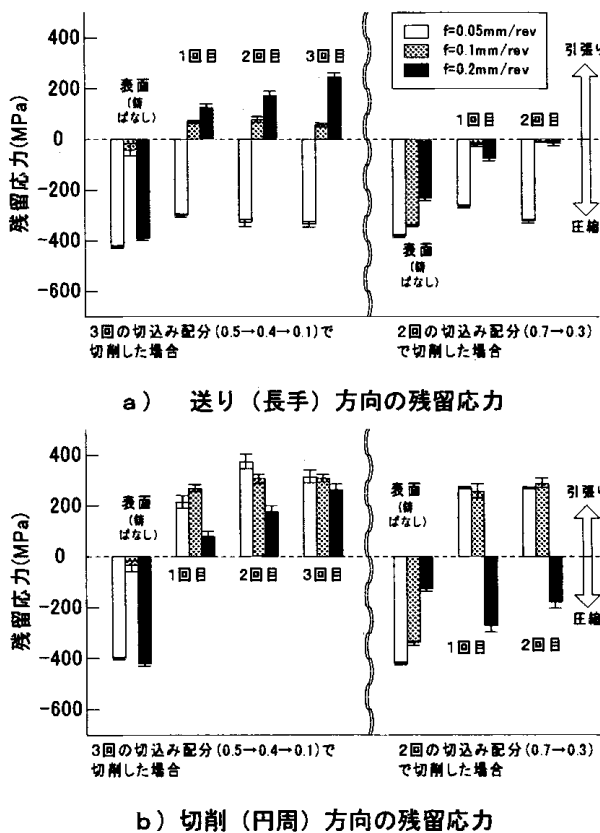
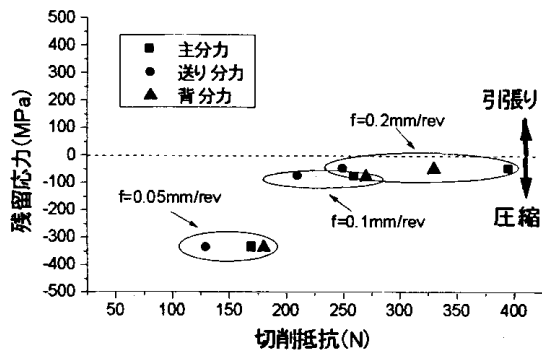


図3 送り（長手）方向及び切削（円周）方向における切込み配分と残留応力の関係

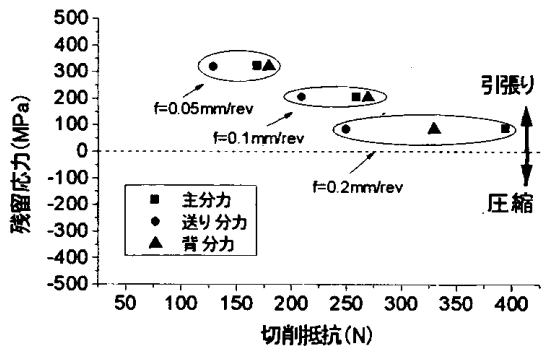
送り方向において、送りが大きくなるに従い、残留応力は圧縮から引張へ変化している。また、切削方向においては、送り方向とは逆に送りが大きくなるに従い、残留応力は引張から圧縮へ変化している。一般に切削の場合、引張りの残留応力が発生し、その大きさは切削速度や送りが大きいほど大きくなることが実験で求められて

いる<sup>9)</sup>が、今回の結果では切削方向がそのことと反する結果となっている。

また図4に  $a=0.7\text{ mm}$ とした際の送り方向及び切削方向における切削抵抗と残留応力の関係を示す。送り方向において、切削抵抗が大きくなるほど残留応力変化は引張り方向に向かうのに対し、切削方向では送り方向とは逆に切削抵抗が大きくなるほど残留応力変化は圧縮方向に向かっているのがわかる。昨年度の結果では焼入鋼を切削した場合、送り及び切削どちらの方向でも、切削抵抗が大きくなるほど残留応力変化が圧縮の方向に向かうのが確認された。このような違いは焼入鋼が均一的に硬い組織であるが、ADIが硬くて粘り組織の集合体であるという材料の特性によって生じるのではないかと思われる。



a) 送り（長手）方向における切削抵抗と残留応力



b) 切削（円周）方向における切削抵抗と残留応力

図4 ADIにおける切削抵抗と残留応力の関係

#### 4 結 言

前年度に引き続き、切り込み配分の変更を積極的に行い、また切削条件（切削速度、送り、冷却方法）を変更して切削加工した場合、工作物の表面品位（残留応力）がどのように変化するのかについて、高硬度難加工材料（焼入鋼、ADI等）を旋削加工し、検証した。今回の実験で以下のことがわかった。

- 1) セラミックス工具における焼入鋼の切削加工において、切削の際冷風供給を行った方が工具寿命を長くし、かつ表面粗さも小さくすることが可能である。
- 2) ADIにおいて、残留応力は送り（長手）方向において、送りが大きくなるに従い圧縮から引張りの方向に変化する。この結果は昨年度焼入鋼を切削した結果と逆の結果となった。

#### 謝 辞

本研究の遂行にあたっては、東北工業技術研究所金属材料部主任研究官高橋利夫氏及び岩手県地域活性化アドバイザー仁科健治氏の貴重なご意見をいただき、厚く御礼申し上げます。

#### 文 献

- 1) 笹原, 帯川, 白樫: 切削工程による加工変質層の推移と制御, 精密工学会誌, 61, 1453(1995)
- 2) 笹原, 帯川, 白樫: 加工工程による切削仕上面の残留応力制御, 1997年精密工学会春季大会学術講演会講演論文集誌, 137(1997)
- 3) 堀田, 若槻, 和合, 飯村, 多田: 高硬度難加工材の旋削加工技術の開発, 岩手工技セ研報 5, 7(1998)
- 4) 狩野勝吉: 難削材の切削加工技術, 工業調査会, 213 (1991)
- 5) 日本材料学会: 改著X線応力測定法, 養賢堂, 146
- 6) 梅本忠宏: 残留応力の発生と制御, 日本金属学会会報, 29, 12, p976(1990)