

チタン合金 (Ti-6Al-4V)、ステンレス鋼 (SUS304) のエンドミル切削 — 産業技術総合研究所と中国・四国・九州地域公設研究機関による平成13年度共同加工試験 —

羽地龍志、棚原 靖

1 概要

独立行政法人 産業技術総合研究所 中国センター（以下、「中国センター」と示す）の前身である経済産業省 産業技術総合研究所 中国工業技術研究所は、平成12年度に中国地域5県の金属切削企業を対象に切削技術上の問題点、外部機関からの支援策などに関するアンケート調査を実施した¹⁾。支援策に関する具体的調査内容として、適切な切削工具・切削条件を調べられるホームページ提供の希望調査などが挙げられる。

調査の結果、ホームページ掲載を希望する工作物としては「ステンレス鋼」が最も多く、次いで「チタン合金」、「ニッケル合金」、「工具鋼」などであった。切削法としては「穴あけ」、「エンドミル加工」、「ネジ・タップ加工」などの順であった。

共同加工試験は、この調査結果に示された企業ニーズに応えるために中国センターと中国・四国・九州地域公設研究機関が共同で実施したものである。各研究機関では独自の加工条件を設定して試験を行った²⁾。

当センターにおいては、チタン合金 (Ti-6Al-4V) とステンレス鋼 (SUS304) のエンドミル切削を担当し、切削加工特性 (工具摩耗、加工精度など) について検討した。

2 試験材料

切削試験に用いた材料および工具を以下に示す。

被削材：①チタン合金 (Ti-6Al-4V)

②ステンレス鋼 (SUS304)

工 具：神鋼製ミラクルハイヘリエンドミル
(TiAlNコーテッド超硬)

3 使用機器

切削試験に用いた機器および測定機を表1に示す。

表1 使用機器

	機器名	メーカー名	型式
加工機	立形マシニングセンター	株式会社 松浦機械製作所	FX-1
測定機	デジタルマイクロスコープ	株式会社 キーエンス	VH-7000
	三次元測定機	株式会社 ミットヨ	Super FN905
	形状測定機	株式会社 ミットヨ	SV-C534

4 試験方法

4-1 試験条件

試験方法を図1に、試験条件を表2に示す。供試材の形状はw100×t60×h60mmであり、長手方向(100mm)をマシニングセンターのX軸に平行に固定した。加工方式は湿式の側面切削、ダウンカットとし、マシニングセンターのX軸方向を切削方向とした。すなわち一回の切削(1 pass)距離は0.1mである。軸方向切り込み量と半径方向切り込み量はそれぞれ5~20mmおよび0.8mmとし、切削距離10m(100pass)を試験終了の目安とした。

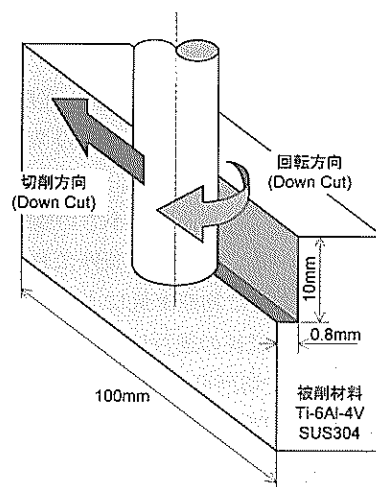


図1 試験方法

4-2 測定項目

各加工条件における工具摩耗量の測定結果と切り屑形状の観察結果から工具寿命の検討を行った。工具寿命は一般に逃げ面摩耗幅0.3mmとされていることから、これを工具寿命の判断基準とした。また、被削材加工面の加工方向と垂直方向の2方向の粗さを測定し加工精度を求めた。更に加工面の断面形状測定も併せて行った。

表2 試験条件

1	エンドミル	商品名	神鋼製ミラクルハイヘリエンドミル				
		材質	TiAlNコーテッド超硬				
		工具径	φ 8mm				
		刃数	3枚				
2	被削材料	材料	チタン合金(Ti-6Al-4V)		ステンレス鋼(SUS304)		
		形状(mm)	w100×t60×h60				
		前加工	研削		—		
3	切削条件	切削方式	側面切削 ダウンカット(湿式)				
		切削液	水溶性切削油(ニコテックCS:重切削用)				
		回転数(r.p.m.)	2000				
		半径方向切込み(mm)	0.8				
		①	軸方向切込み深さ(mm)	10			
			切削速度(m/min)	50			
			送り速度(mm/tooth)	0.04	0.20	0.04	0.20
		②	軸方向切込み深さ(mm)	5	10	20	—
			切削速度(m/min)	50			—
			送り速度(mm/tooth)	0.04			—

5 試験結果

5-1 チタン合金(Ti-6Al-4V) 切削

5-1-1 工具寿命

軸方向切り込み深さを10mm、送り速度を0.20mm/toothおよび0.04mm/toothとしたときのエンドミルの耐摩耗性を調べた結果を図2に示す。

図から、工具摩耗は送り速度の小さい条件の方が発生しにくいことがわかる。いずれの条件においても切削距離1m(10pass)までに初期摩耗による急激な摩耗が発生するが、その後の摩耗の進行は緩やかで目標加工距離10m(100pass)まで切削可能であった。

切削距離1mおよび10mにおける切り屑形状を図3に示す。送り速度が大きい条件の切り屑は比較的厚いが良好な切削状態であることがわかる。同一の送り速度条件における加工初期(切削距離1m)と加工後期(切削距離10m)の切り屑形状に顕著な差は認められず切削性は良好であったことなどから、今回の試験条件の範囲内(切削距離10m)では工具寿命に達しなかったといえる。

5-1-2 加工精度

軸方向切り込み深さを10mm、送り速度を0.20mm/toothと0.04mm/toothとしたときのチタン合金の加工表面粗さ測定結果を表3に示す。

表3 加工表面粗さ

	0.04mm/tooth		0.20mm/tooth	
	切削方向	垂直方向	切削方向	垂直方向
Ra(μm)	0.169	0.429	0.901	1.394
Ry(μm)	1.118	2.506	4.258	7.136
Rz(μm)	0.878	1.424	3.453	2.660

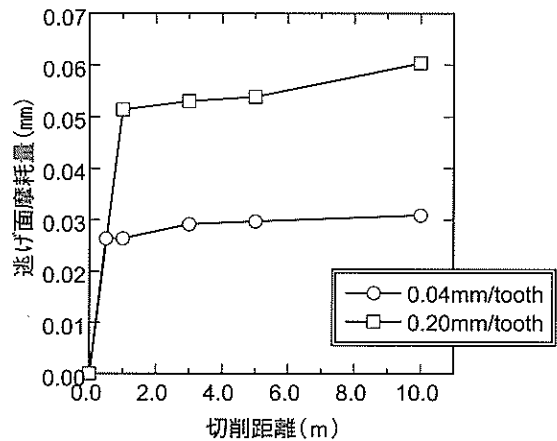


図2 送り速度vs.逃げ面摩耗量

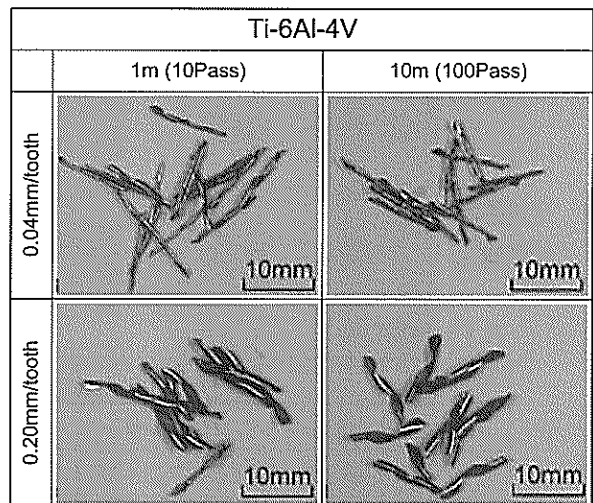


図3 切り屑形状

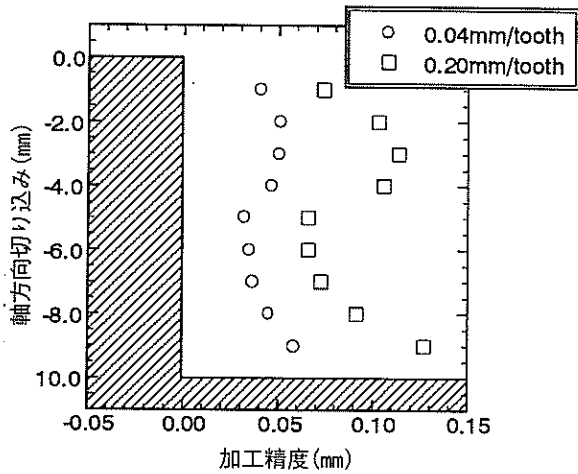


図4 送り速度vs.加工断面形状

測定は切削方向と垂直方向の2方向について行った。両条件ともに切削方向の粗さは小さく、垂直方向は粗いことがわかる。また垂直方向粗さ測定時の断面曲線はうねりを伴うものであった。

三次元測定機による加工面断面形状測定結果を図4に示す。

送り速度が小さい条件は比較的加工精度がよいが、両条件とも加工断面形状にうねりが見られ、その傾向が非常によく似た形状となっているが、これはエンドミル切削における特徴的な断面形状である³⁾。

5-1-3 断面形状

図4で見られた加工断面形状と軸方向切り込み量との関係を調べた結果を図5に示す。図中の斜線部分は加工目標形状を示している。試験は切削距離0.5m (5pass)で終了した。

両条件ともに加工目標からの削り残しと断面形状のうねりが見られ、切り込み量が多い条件では周期的なうねりが顕著に現れた。これらうねりの幅は表面粗さのオーダーよりもはるかに大きく、加工精度に及ぼす影響は大きい。うねりの発生をできるだけ抑える対処策として、①工具径を大きくする、②刃数を多くすることなどが報告されている⁴⁾。しかしながら、今回の試験ではそれらの条件を確認することはできなかった。

5-2 ステンレス鋼 (SUS304) 切削

5-2-1 工具寿命

軸方向切り込み深さを10mm、送り速度を0.20および0.04mm/toothとしたときの工具摩耗を調べた結果を図6に示す。チタン合金切削時と同様、工具摩耗は送り速度の小さい条件の方が発生しにくく、切削初期において急激な摩耗が発生するが、その後の摩耗の進行は緩やか

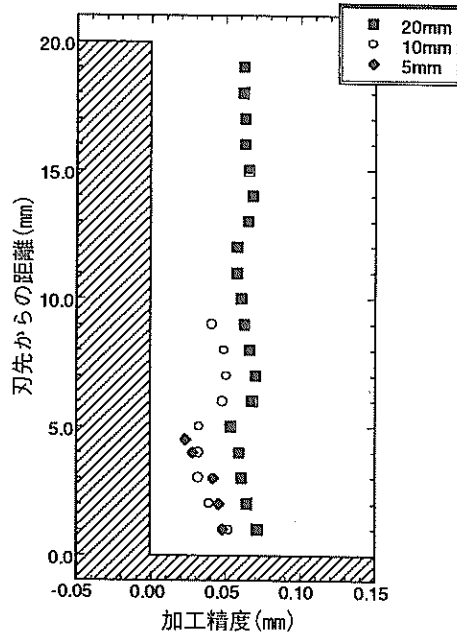


図5 軸方向切り込み量vs.加工断面形状

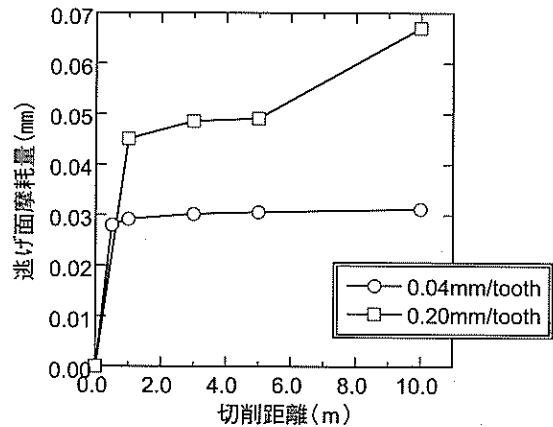


図6 送り速度vs.逃げ面摩耗量

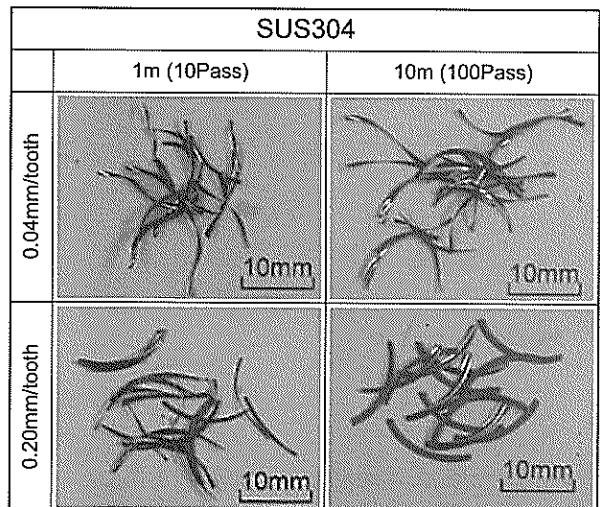


図7 切り屑形状

で目標加工距離10m (100pass) まで切削可能であった。切削距離1mおよび10mの切り屑形状を図7に示す。同一の送り速度における加工初期と加工後期の切り屑形状に顕著な差は認められず、切削性は良好であったことなどから、工具寿命に達しなかったといえる。

5-2-2 加工精度

軸方向切り込み深さを10mm、送り速度を0.20mm/toothと0.04mm/toothとしたときの加工表面粗さ測定結果を表4に示す。

測定はチタン合金と同様の2方向について行った。送り速度が大きい場合、切削方向の粗さは垂直方向よりも大きい。垂直方向粗さ測定時の断面曲線はうねりを伴うものであった。

三次元測定機による加工面断面形状測定結果を図8に示す。送り速度が小さい条件は比較的加工精度がよいが、両条件とも加工断面形状に削り残しとうねりの発生が見られた。

6 まとめ

- (1) 今回行った試験条件の範囲において、チタン合金およびステンレス鋼のエンドミル切削は良好な加工性を示し、工具寿命は切削距離10m以上であった。
- (2) 加工面の粗さは切削方向は粗さが小さく、垂直方向は比較的粗かった。加工面断面には削り残しとエンドミル切削における特徴的なうねりが確認された。
- (3) 加工精度向上のためには、うねりの発生を抑える加工条件の検討が必要である。

参考文献

- 1) 経済産業省 産業技術総合研究所 中国工業技術研究 産学官連携推進センター 「中国地域ものづくり技術調査」報告書
- 2) 独立行政法人 産業技術総合研究所 産学官連携部門 中国産学官連携推進センター ものづくり基盤技術支援室 産業技術総合研究所と中国・四国・九州地域公設研究機関による「平成13年度共同加工試験」報告書
- 3) ツールエンジニアリング編集部 エンドミルのすべて 大河出版
- 4) 梅沢三造、菅野成行 超硬工具のカンドコロ 大河出版

表4 加工表面粗さ

	0.04mm/tooth		0.20mm/tooth	
	切削方向	垂直方向	切削方向	垂直方向
Ra (μm)	0.322	0.622	1.351	0.725
Ry (μm)	2.063	4.222	6.539	4.862
Rz (μm)	1.428	2.642	4.865	2.166

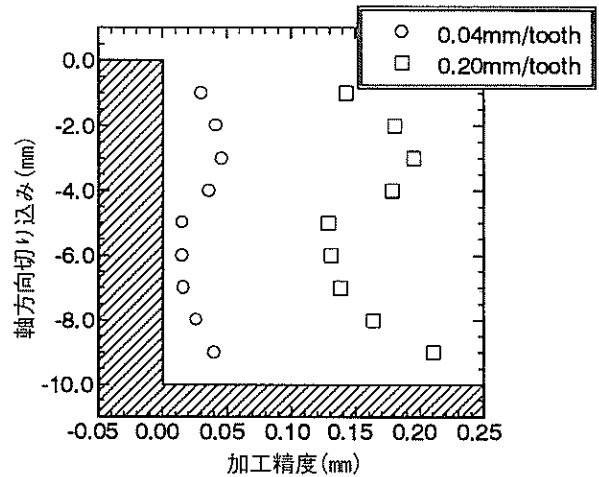


図8 送り速度vs.加工断面形状

編 集 沖縄県工業技術センター

発 行 沖縄県工業技術センター

〒904-2234 沖縄県うるま市字州崎 12 番 2

T E L (098)929-0111

F A X (098)929-0115

U R L <https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/shoko/kogyo/>

著作物の一部および全部を転載・翻訳される場合は、当センターに

ご連絡ください。