

アルミニウム合金の反転切削における仕上面特性

東京農工大学 ○越智 柚葉, 薄井 雅俊, ◎笹原 弘之

要旨

切削において良好な仕上面特性を得るため、粗加工と反対方向に仕上加工を行う反転仕上切削を適用した。本研究では A1100, A6061, A7075 の 3 種類のアルミニウム合金の二次元切削およびドリル切削を行った。その結果、同方向仕上に比べて反転仕上切削のほうが切削動力が大きくなった。また、反転仕上のほうが A1100 ではより小さい圧縮残留応力が、A6061 と A7075 ではより大きな圧縮残留応力が生じた。

1. 緒言

穴加工は、機械加工において盛んに用いられている一般的な加工法であり、自動車部品や航空機部品などに用いられる機械加工全体のうちの 6割を占めることから、穴加工において高い表面性状を得ることは製品の安全性や耐久性に大きな影響を及ぼす。切削加工において高い表面性状を得るための方法として、粗加工と反対方向に仕上加工を行う反転仕上切削が提案されている。先行研究では、純アルミニウムやアルミニウムシリコン合金に反転仕上切削を適用すると、残留応力や加工硬化を低減できることが報告されている¹⁾。しかし、穴加工に適用した研究はほとんどなされていない。そこで本研究では、まず 3種類のアルミニウム合金の二次元切削に反転仕上切削を適用しその基本特性を明らかにする。さらに、それらを基にドリル加工に回転方向が反転する反転仕上切削を適用し、反転仕上切削が加工面に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。

2. 二次元切削における反転仕上切削と同方向仕上切削の比較

3 種類のアルミニウム合金の基本的な切削後の仕上面特性を得るため、二次元切削実験を行った。図 1 に実験装置を示す。CNC フライス盤(オークマ FMV-30)のテーブルに、切削動力を測定するための動力計(KISTLER 9257B, 9139AA)を設置し、その上にバイスを用いて被削材(A1100, A6061, A7075)を固定した。工具を主軸に固定し、テーブル送りにより切削を行った。どちらの装置も工具の向きと送りの向きを変えることで、同方向および反転仕上切削を行った。この実験では、全ての加工工程において油性切削油剤を使用した。表 1 に実験条件を示す。実験前後にポータブル型 X 線残留応力測定装置(PULSTEC μ -X360)を用いて切削方向残留応力を測定した。

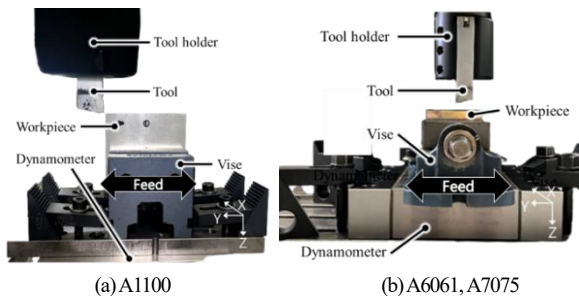


Fig.1 Experimental setup (2D cutting)

Table.1 Experiment conditions

Workpiece material	A1100, A6061, A7075			
Tool material	Tungsten Carbide (K10)			
Rake angle	deg	8.8	18.9	28.4
Clearance angle	deg	5.95	5.51	5.71
Tool edge radius	μm	13.0	10.3	10.5
Cutting speed	m/min	0.10		
Depth of roughing	mm	0.25		
Depth of finishing	mm	0.10		
Finishing direction		Forward / Reverse		
Lubricant		DH30		

図 2 に A1100 の切削動力測定結果を示す。切削動力は、粗加工は加工時間 25~30 秒間、仕上加工については 1~3 秒と 22~24 秒間でそれぞれ最小二乗法を用いて近似式を算出し、代表値を求めた。図からわかるように、どの材料においても同方向仕上に比べて反転仕上切削のほうが切削動力は大きくなっている。

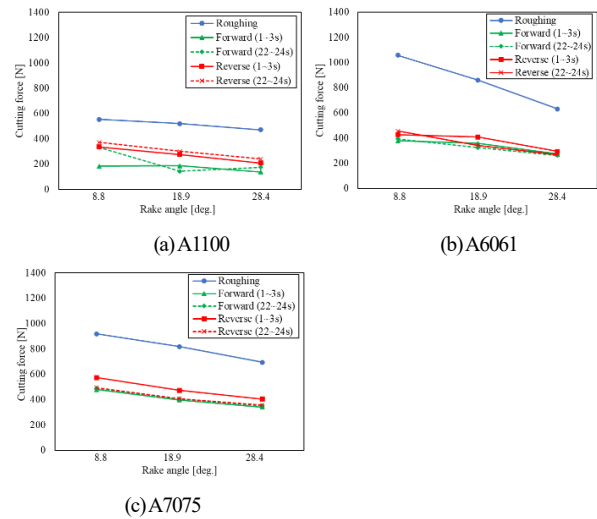


Fig.2 Representative value of cutting force [N]

図 3 に切削方向残留応力の測定結果を示す。A1100 では、反転仕上切削のほうがより小さい圧縮残留応力が生じておりその値は 0 に近づく。それに対し、A7075 では反転仕上切削のほうがより大きな圧縮残留応力が生じていることがわかる。A6061 についてはすくい角によって仕上方向による圧縮残留応力の値が異なっている。これらのことから、材料によって反転仕上が残留応力に及ぼす影響が異なっていると考えられる。

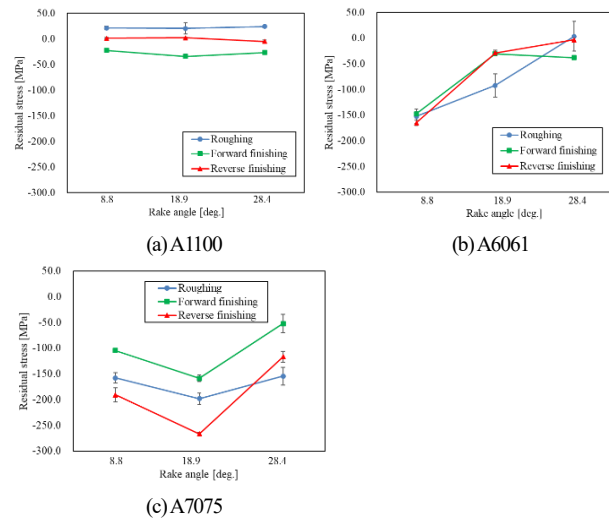


Fig.3 Residual stress on 2D cutting [MPa]

3. ドリル加工における仕上切削方向が及ぼす影響

二次元切削実験で得られた基本特性を基に、ドリル切削実験において反転仕上切削を適用した。図4に実験装置を示す。マシニングセンタのテーブルに動力計(KISTLER 9257B)を取り付け、その上部に治具を用いてトルクセンサ(KISTLER 9365B)を固定しトルクを測定した。これらを用いてスラスト力、トルクを測定した。今回の実験では、Φ6mmのドリルを用いて予備加工を行った後、Φ10mmの粗加工、Φ12mmで仕上加工を行った。反転仕上切削は、左ねじれのストレートシャンクドリルを用い、工具の回転を反転させることにより行った。表2に工具の諸元、表3に実験条件を示す。板厚4mmの板を3枚重ねて固定し12mmの貫通穴を加工した。実験前後に二次元切削実験と同様に切削方向残留応力を測定した。

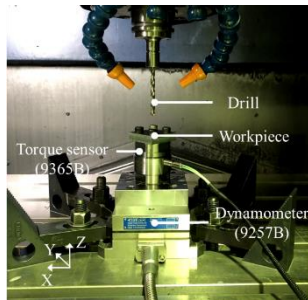


Fig.4 Experimental setup (Drilling)

Table.2 Specification of drills

		High-speed steel		
Material		High-speed steel		
Standard		JIS B 4301		
Diameter	mm	6.0	10.0	12.0
Distortion		Right	Right	Right/Left
Length	mm	102	130	149
Tip angle	deg.	118		
Helix angle	deg.	30±2	26±2	
Thinning		-		

Table.3 Experimental conditions

Workpiece material	A1100, A6061, A7075		
Tool material	High-speed steel		
Diameter of cut on pre-machining	mm	6.0	
Diameter of cut on roughing	mm	10.0	
Diameter of cut on finishing	mm	12.0	
Spindle speed	rpm	Pre-machining	4200
		Roughing	2500
		Finishing	2100
Feed rate	mm/min	Pre-machining	630
		Roughing	625
		Finishing	525
Cutting direction	Forward / Reverse		
Type of coolant	Emulsion		

図5にスラスト力の測定結果を示す。どの材料においても、同方向仕上より反転仕上のほうがスラスト力は大きくなっている。これは、二次元切削実験で得られた切削動力の結果とも一致している。材料ごとに比較すると、A1100では、粗加工時のスラスト力が徐々に増大していることがわかる。これは、A1100は強度が低く延性の高い材料であるため、切りくず排出が悪く刃先に巻き付いたまま切削が行われるためである

と考えられる。A6061, A7075ではほぼ一定のスラスト力が得られた。

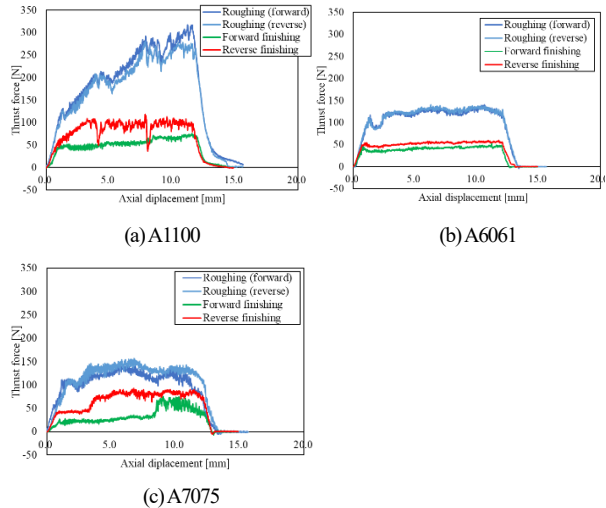


Fig.5 The effects of drill rotation direction on thrust force

図6に切削方向残留応力測定結果を示す。A1100では反転仕上のほうがより小さい圧縮残留応力が生じているのに対し、A6061とA7075では反転仕上のほうがより大きい圧縮残留応力が生じている。この結果は、二次元切削で得られた切削残留応力の傾向と一致している。

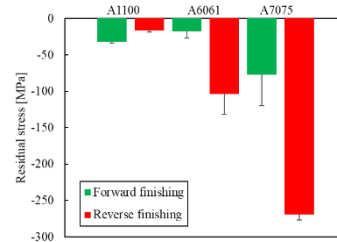


Fig.6 Residual stress on drilling [MPa]

今回の実験では、同方向および反転仕上についてA6061, A7075, A1100の順に連続で実験を行ったため、各材料の加工後に刃先の観察を行っていない。そのため、加工途中での刃先への材料の凝着や摩擦などが加工に影響を及ぼしている可能性がある。今後の実験計画として、各加工が終了するごとに刃先の観察を行い刃先の様子が及ぼす影響についても検討していく。

4. 結 言

二次元切削およびドリル切削において3種類のアルミニウム合金に反転仕上切削を適用し、反転仕上切削が仕上面に及ぼす影響を調査した。その結果、以下の結論を得た。

- (1) 二次元切削およびドリル切削において、同方向仕上に比べて反転仕上切削のほうが切削動力、スラスト力は大きいことを示した。
- (2) 反転仕上切削が切削方向残留応力に及ぼす影響は材料によって異なり、A1100ではより小さい圧縮残留応力が生じ、A6061, A7075ではより大きな圧縮残留力が生じた。

文 献

- (1) 財満鎮雄, 大須賀章郎: アルミニウムの反転仕上切削について, 日本金属学会誌 Vol. 42, No. 7, (1978), 658-664.
- (2) Sun, H., Li, A., Zhou, Y., Song, X., and Xue, C., "Surface Integrity Enhancement of ZL109 Aluminum-Silicon Piston Alloy Employing the Forward and Reverse Finish Cutting Method," Int. J. Adv. Manuf. Technol., 107(1-2), pp. 617-629, 2020