析出硬化系ステンレス鋼の切削加工技術

（地独）青森県産業技術センター八戸地域研究所　　中居　久明

1. 緒言

近年、航空機市場は新興国における需要の増大、先進国における既存機の更新など中長期的に成長が見込まれている。航空機産業は部品点数が約300万点とも言われ、極めて裾野が広く、中小企業にとってもビジネスチャンスの期待が高まっている。本報では航空機産業で使用される析出硬化系ステンレス鋼15-5PHを取り上げ、切削特性の調査を行った。

2. 調査研究内容

2-1　実験方法

15-5PH はステンレス鋼の中で多く航空機材料として用いられており、C＜0.07%、Ni4.5%、Cr15%、Cu3.5%が主成分の鉄であり、耐腐食性や疲労特性に優れ、低合金鋼の代替としても広く用いられている。15-5PH は JIS 規格外の析出硬化型ステンレス鋼であり、航空機以外ではあまりなじみの無い金属材料である。15-5PH の加工特性を調べるため、旋盤による切削加工を行い、加工表面の観察と粗さ測定、切りくずの排出性、工具摩耗について SUS304 と比較を行った。また、工具形状による 15-5PH の切削加工特性を調べた。

被削材の硬さを表 1、旋削加工における加工条件を表 2、使用した工具を表 3 に示す。工具材種は TiCN コーティング超硬工具に統一した。SUS304 との比較には、当所で SUS304 の切削に通常使用するブレーカ形状①SM タイプの工具を使用し、15-5PH の工具による加工性の調査にはすくい角と切刃形状の異なる 10 種類の工具を使用した。ヤマザキマザック㈱製 CNC 旋盤 Quick Turn8 を使用した。被削材の形状はφ50mm×150mm 丸棒で、軸方向に切削を行った。加工表面の粗さ測定には東京精密㈱製表面粗さ測定装置 surfcom1400D を使用し、加工表面や工具の観察はオムロン㈱製デジタルマイクロスコープ VC3000V2 を使用した。

【表 1　被削材の硬さ（HV)】

15-5PH	300
SUS304	160

【表 2　旋削加工条件】

切削速度（m/min）	100
送り（mm/rev）	0.2、0.25、0.3
切込量（mm）	0.5、1.0、2.0、3.0
切削液	水溶性エマルション

2-2 実験結果

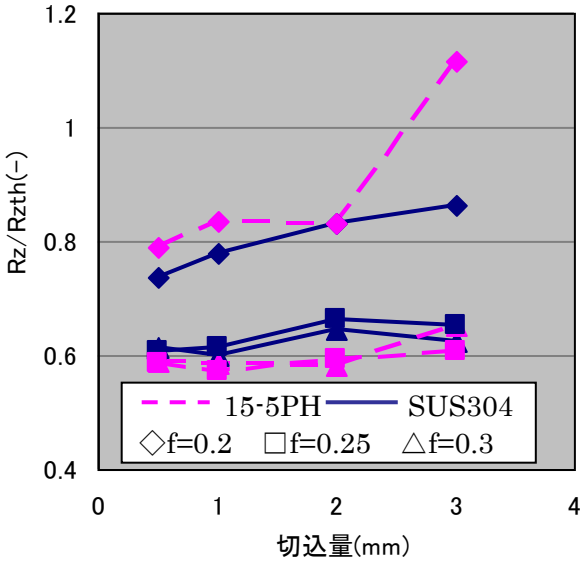
図 1 に切込量と送りを変えて 15-5PH と SUS304 を切削したときの表面粗さ Rz と理論仕上げ面粗さ Rzth の比を示す。理論仕上げ面粗さ Rzth の計算式を（1）式で表される。

$Rzth = f^2 \times 1000 / (8r)$ ・・・（1）

f：送り（mm/rev）

r：刃先ノーズ半径（mm）

刃先ノーズ半径 r=0.4 の場合、送り f=0.2mm/rev で Rzth=12.5μm、送り f=0.25mm/rev で Rzth=19.53μm、送り f=0.3mm/rev で Rzth=28.13μm である。Rz/Rzth は 15-5PH の送り 0.2（mm/rev)、切込量 3mm 以外、理論値を下回る 1 以下であ



【図 1　切込量と送りによる 15-5PH と SUS304 の表面粗さへの影響】

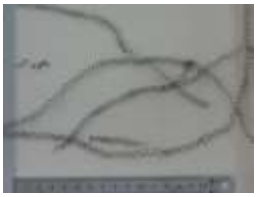
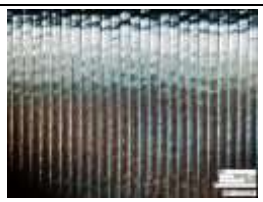
った。また、Rz/Rzth は 15-5PH と SUS304 ともほぼ同等であるが、送り 0.2（mm/rev）のとき大きい値を示していた。これは送りが小さいと被削材と工具の接触時間が長くなるため熱の影響があったのではないかと考えられる。

図 2 に工具①SM による 15-5PH の切りくず形状と加工表面状態、図 3 に工具①SM による SUS304 の切りくず形状と加工表面状態を示す。15-5PH において切込量が 0.5mm のものは切り屑が分断せず螺旋状に長く伸びており、切りくずの厚さが薄いため形状に安定性が無く工具への絡まりの原因になると考えられる。SUS304 は全ての条件において切りくずが分断されており、排出性は良好であった。SUS304 は切込量と送りが大きくなるとビビリ振動が発生したが、15-5PH はビビリ振動の痕は見られなかった。

【表3　切削工具】

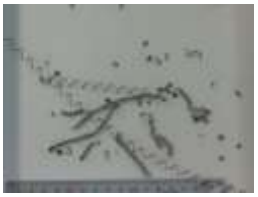
	①SM				
切刃形状	95°				
刃先角	80°				
すくい角	10°				
ノーズ R	0.4mm				
	②SA	③SS	④TM	⑤S	⑥TSF
切刃形状	95°				
刃先角	80°				
すくい角	6°	11°	13°	15°	18°
ノーズ R	0.4mm				
	⑦切刃 45°	⑧切刃 62°	⑨切刃 75°	⑩切刃 91°	⑪切刃 93°
切刃形状	45°	62.5°	75°	91°	93°
刃先角	90°	55°	90°	60°	55°
すくい角	10°				
ノーズ R	0.8mm				

スケール： ⊢――⊣ 100mm

			送り(mm/rev)		
			0.2	0.25	0.3
切りくず	切込量(mm)	0.5			
		1			
		2			
		3			
加工表面	切込量(mm)	0.5			
		1			
		2			
		3			

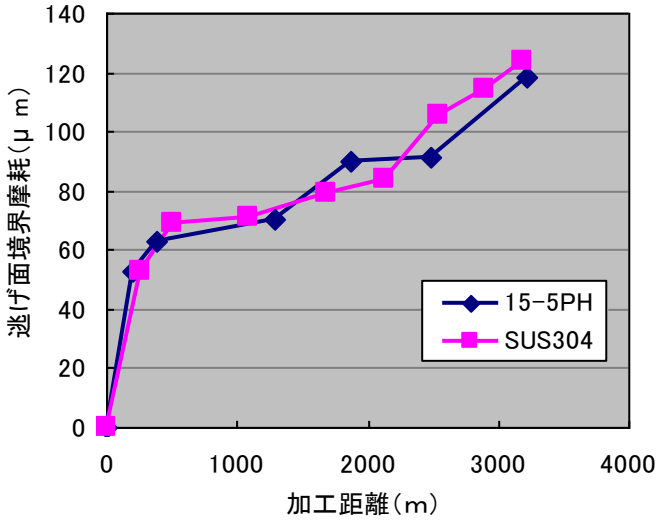
【図 2　工具①SM による 15-5PH の切りくず排出／加工表面状態】

スケール：　100mm

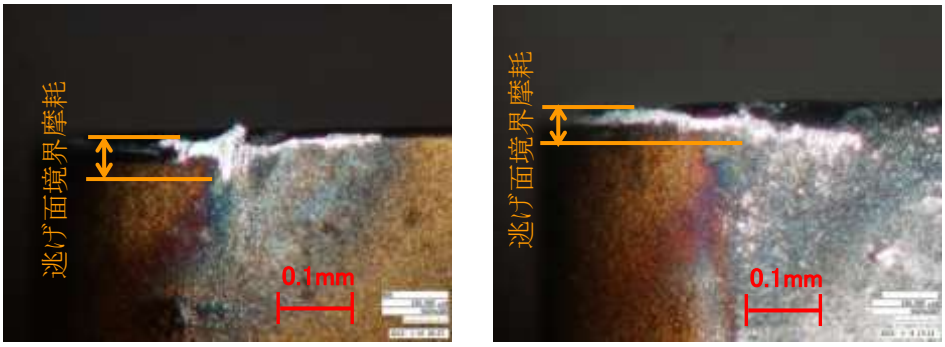
			送り(mm/rev)		
			0.2	0.25	0.3
切りくず	切込量(mm)	0.5			
		1			
		2			
		3			
加工表面	切込量(mm)	0.5			
		1			
		2			
		3			

【図 3　工具①SM による SUS304 の切りくず排出／加工表面状態】

図 4 に加工距離による工具摩耗を逃げ面境界摩耗幅で示した。図 5 に加工距離約 3200m のときの工具の逃げ面を示し、図 4 における逃げ面境界摩耗幅の測定箇所を示した。工具の逃げ面の境界摩耗幅が 100μm を超えるまで切削加工を行ったが、両者ともほぼ同じように摩耗が進むことが分かった。15-5PH を切削した工具には材料の SUS304 を切削した工具の逃げ面には材料が擦りついたような痕が見られるが、15-5PH を切削した工具にはそのような痕は見られなかった。SUS304 は工具材料との親和性が高い材料であるが、15-5PH は親和性が低いと思われる。



【図 4　加工距離による工具摩耗】

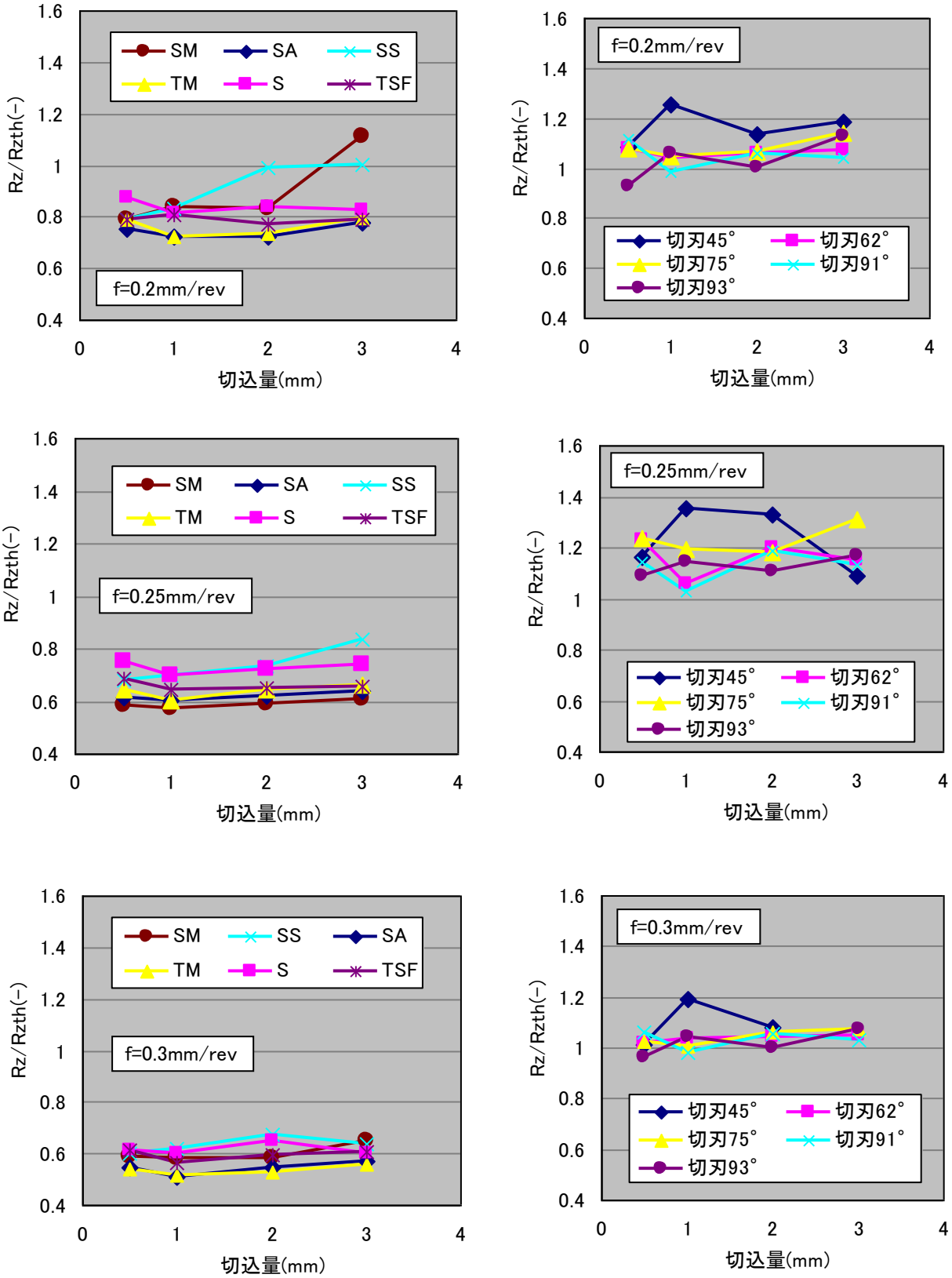


【図 5　工具摩耗状況（加工距離 3200m　左：15-5PH　右：SUS304)】

図 6 に形状（ブレーカ）別工具 6 種類（左列）と切刃形状別工具 5 種類（右列）による 15-5PH の切削加工における表面粗さ指標 Rz/Rzth を送り f 毎に示めす。また、図 7 から図 16 に各工具による切りくずの形状と加工表面状態を示す（①SM の切りくず形状と加工表面状態については図2と図3を参照のこと）。形状(ブレーカ)別工具における理論仕上げ粗さは、送り f=0.2mm/rev で Rzth=12.5μm、送り f=0.25mm/rev で Rzth=19.53μm、送り f=0.3mm/rev で Rzth=28.13μm である。切刃形状別工具 5 種類における理論仕上げ粗さは、送り f=0.2mm/rev で Rzth=6.25μm、送り f=0.25mm/rev で Rzth=9.77μm、送り f=0.3mm/rev で Rzth=14.06μm である。

6 種類の工具の中で①SM は全条件において、送り 0.2（mm/rev）、切込量 3mm 以外は理論値を下回り良好な加工表面であった。また、切込量 0.5mm では切りくずの排出性が悪いので、切込量は 1mm 以上で使うのが望ましいと思われる。②SA は送りに係わらず Rz/Rzth は小さく、切りくず排出性と加工表面状態も良好であり広範囲な条件で使用できる工具であると思われる。逆に③SS は全ての送りと切込量で Rz/Rzth が大きく、切りくず排出性は悪く、加工表面にはむしれが見られた。③SS は 15-5PH の切削には向いていないと思われる。④TM は②SA と同等に全条件で Rz/Rzth が小さかった。切りくずの排出性は切込量 0.5mm において切りくずが分断されず螺旋状に連なる傾向があり、工具への絡まりが懸念される。加工表面状態については切込量 2mm 以上で送り 0.3mm/rev においてむしれが見られた。⑤S は③SS に次いで Rz/Rzth が大きかった。また、切りくずの排出性は悪くないが、切込 3mm の重切削においてむしれがみられた。⑥TSF は全ての条件において Rz/Rzth は平均的な値であった。6 種類の工具の中では切りくずの排出性が最も良好であった。加工表面も良好であった。15-5PH の切削に適している工具の一つであると思われる。

⑦切刃 45° は切刃形状別工具 5 種類の中で Rz/Rzth は大きい方であった。切りくずの排出性については分断されず螺旋状に長く延びる傾向にあった。また、切込量 3mm で送り 0.3mm/rev においては切削加工の途中でスピンドルが停止してしまった。切刃形状が 45° なので切刃と材料との接触距離が長く抵抗が大きいためと思われる。面取りなど特殊な用途の加工のときは切込量や送りを小さくして使うのがよいと思われる。⑧切刃 62° は全条件において Rz/Rzth がほぼ平均的な値であった。切込量が 1mm 以下で切りくずが不規則になるので、切込量を 2mm か 3mm 程度で使用するのが良いと思われる。⑨切刃 75° も全条件において Rz/Rzth が平均的な値であった。切りくずの排出性については切込量が 0.5mm と 3mm のとき分断されず螺旋状に伸びるが、形状が安定してまっすぐ伸びるため工具へ絡まる可能性は低いと思われる。送り 0.3mm/rev で切込量 2mm と 3mm でビビリ振動が見られた。⑩切刃 91° も全条件において Rz/Rzth がほぼ平均的な値であった。切りくずの排出性は切込量 0.5mm のとき切りくずが不規則形状になる傾向にあった。切込量 0.3mm で送り 0.3mm/rev においてビビリ振動が見られた。⑪切刃 93° は切込量が 2mm 以下で Rz/Rzth がやや小さい値を示した。切りくずの排出性は切込量 1mm 以下のとき切りくずが不規則形状になる傾向にあった。ビビリ振動は見られなかった。



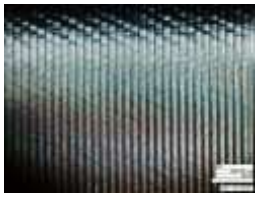
【図 6　各工具における 15-5PH の表面粗さ（左列：ブレーカ別、右列：切刃形状別）】

スケール： ├──────┤ 100mm

			送り(mm/rev)		
			0.2	0.25	0.3
切りくず	切込量(mm)	0.5			
		1			
		2			
		3			
加工表面	切込量(mm)	0.5			
		1			
		2			
		3			

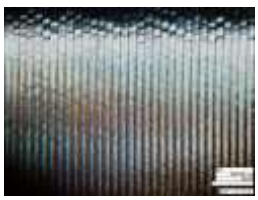
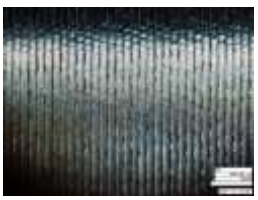
【図 7　工具②SA による 15-5PH の切りくず排出／加工表面状態】

スケール： ⊢――⊣ 100mm

			送り(mm/rev)		
			0.2	0.25	0.3
切りくず	切込量(mm)	0.5			
		1			
		2			
		3			
加工表面	切込量(mm)	0.5			
		1			
		2			
		3			

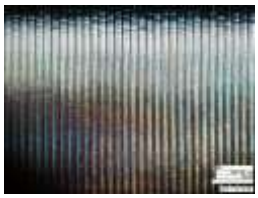
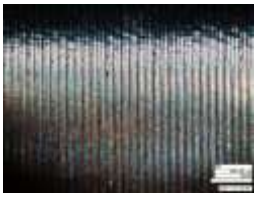
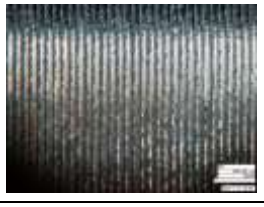
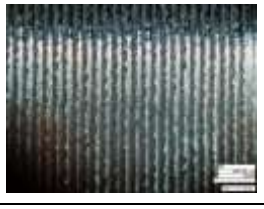
【図 8　工具③S による 15-5PH の切りくず排出／加工表面状態】

スケール： ⊢――⊣ 100mm

			送り(mm/rev)		
			0.2	0.25	0.3
切りくず	切込量(mm)	0.5			
		1			
		2			
		3			
加工表面	切込量(mm)	0.5			
		1			
		2			
		3			

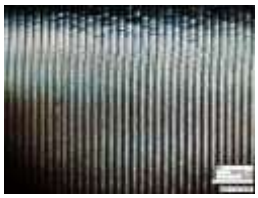
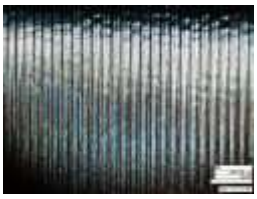
【図 9　工具④TM による 15-5PH の切りくず排出／加工表面状態】

スケール： ⊢――⊣ 100mm

			送り(mm/rev)		
			0.2	0.25	0.3
切りくず	切込量(mm)	0.5			
		1			
		2			
		3			
加工表面	切込量(mm)	0.5			
		1			
		2			
		3			

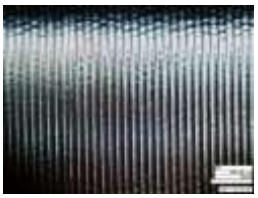
【図 10　工具⑤SS による 15-5PH の切りくず排出／加工表面状態】

スケール： ⊢――⊣ 100mm

			送り(mm/rev)		
			0.2	0.25	0.3
切りくず	切込量(mm)	0.5			
		1			
		2			
		3			
加工表面	切込量(mm)	0.5			
		1			
		2			
		3			

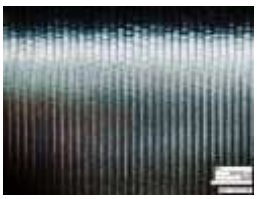
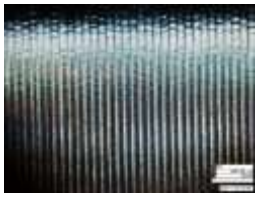
【図 11　工具⑥TSF による 15-5PH の切りくず排出／加工表面状態】

スケール： ├──────┤100mm

			送り(mm/rev)		
			0.2	0.25	0.3
切りくず	切込量(mm)	0.5			
		1			
		2			
		3			スピンドル停止
加工表面	切込量(mm)	0.5			
		1			
		2			
		3			スピンドル停止

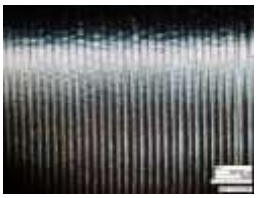
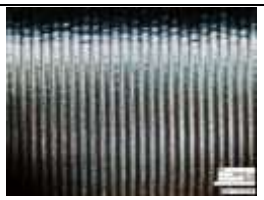
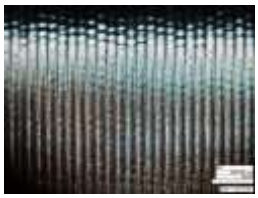
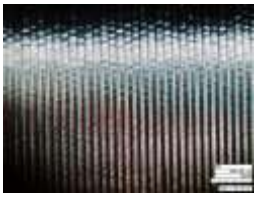
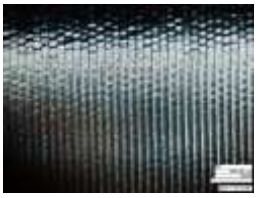
【図 12　工具⑦切刃 45°による 15-5PH の切りくず排出／加工表面状態】

スケール： ⊢――⊣ 100mm

			送り(mm/rev)		
			0.2	0.25	0.3
切りくず	切込量(mm)	0.5			
		1			
		2			
		3			
加工表面	切込量(mm)	0.5			
		1			
		2			
		3			

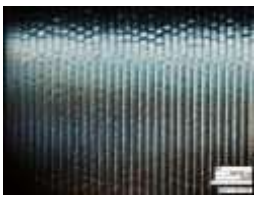
【図 13　工具⑧切刃 62° による 15-5PH の切りくず排出／加工表面状態】

スケール： ├──────┤ 100mm

			送り(mm/rev)		
			0.2	0.25	0.3
切りくず	切込量(mm)	0.5			
		1			
		2			
		3			
加工表面	切込量(mm)	0.5			
		1			
		2			
		3			

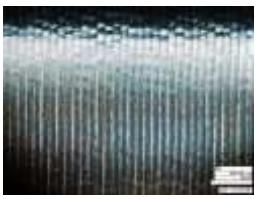
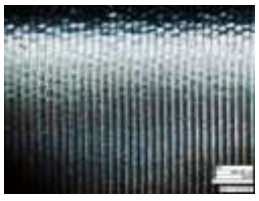
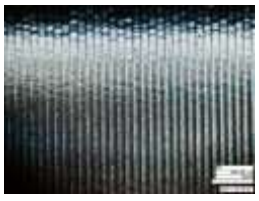
【図 14　工具⑨切刃 75° による 15-5PH の切りくず排出／加工表面状態】

スケール： ⊢――⊣ 100mm

			送り(mm/rev)		
			0.2	0.25	0.3
切りくず	切込量(mm)	0.5			
		1			
		2			
		3			
加工表面	切込量(mm)	0.5			
		1			
		2			
		3			

【図 15　工具⑩切刃 91° による 15-5PH の切りくず排出／加工表面状態】

スケール： ⊢――⊣ 100mm

			送り(mm/rev)		
			0.2	0.25	0.3
切りくず	切込量(mm)	0.5			
		1			
		2			
		3			
加工表面	切込量(mm)	0.5			
		1			
		2			
		3			

【図 16　工具⑪切刃 91° による 15-5PH の切りくず排出／加工表面状態】

3 結言

本調査により以下のことが明らかになった。

(1) 工具形状 SM（切刃形状 95°,刃先角 80°,すくい角 10°,ノーズ R0.4mm）で 15-5PH と SUS304 の切削加工を行い、比較を行った。理論仕上げ面粗さ Rz に対する表面粗さ Rz の比（Rz/Rzth）はほぼ同等であることが分かった。また、SUS304 は切込量と送りが大きくなるとビビリ振動が発生したが、15-5PH はビビリ振動の痕は見られなかった。工具摩耗についてはほぼ同等であった。

(2) 工具形状（ブレーカ）別および切刃形状別で 15-5PH の切削加工特性を調べた。工具形状別では SA（切刃形状 95°,刃先角 80°,すくい角 6°,ノーズ R0.4mm）において Rz/Rzth が小さく、⑥TSF（切刃形状 95°,刃先角 80°,すくい角 18°,ノーズ R0.4mm）において切りくずの排出性が良いことが分かった。切刃形状別では⑪切刃 93°（切刃形状 93°,刃先角 55°,すくい角 10°,ノーズ R0.8mm）において表面粗さ Ra が小さく、⑨75°（切刃形状 75°,刃先角 90°,すくい角 10°,ノーズ R0.8mm）において切りくずの排出性が良いことが分かった。