

生産加工技術を支える

# 機械と工具

2015  
2

特集

加工の高度化を支える工作機械の  
要素技術と周辺技術

扉の先にあるもの、  
タンガロイが実現する  
究極の航空機部品加工



高能率な切削パフォーマンス



株式会社タンガロイ [www.tungaloy.co.jp](http://www.tungaloy.co.jp)



タンガロイ Dr. Carbide  
エクスパート

# 超高压クーラントによる切りくず処理・ 工具寿命改善の実際

関本 昌利\*

## 1. 金属加工を取り巻く社会的背景

### 1.1 航空機業界の活性化

航空機は大きな世代交代の時代へと突入する。大型機から中・小型機生産へのシフトが進み、今後20年間に倍に拡大が想定される航空機業界は、従来の欧米主導から日本の技術的貢献が求められるようになってきている<sup>1)</sup>。これを機会とし、日本に継続的受注を取り込むため、従来の部品加工単位でなくコンポーネント単位で検査まで包括して納品可能な体制を確立する動向が見られる。

受注残への対応には、生産性向上のため、自動車業界に見られる24時間稼働も視野に入れた工場計画が進行している。

### 1.2 地下資源の有効活用

将来有望視されている話題のシェールガス・メタンハイドレードを含む非在来型天然ガス採掘、また現在主流の原油採掘では、深位置から確実に採取する必要があるため、使用機材に高耐食性が求められる材料が使用される<sup>2)</sup>。

こうしたガス・原油の需要の拡大は、震災をはじめとする電力不足に起因したガスタービン発電の高効率化にも現れ、タービン入口温度1,600℃級の超高効率ガスタービンの開発も急がれている<sup>3)</sup>。

### 1.3 自動車部品需要

金属加工業への自動車産業が占める割合の多さは日本特有とも言えるが、完成品の供給でコストパフォーマンスを高くするためには、部品製造コストの削減と量産は欠かせない条件となり、そこには切削工程の減少を見込んだ鉄系プレス材の多様性も含まれる。さらには燃費向上のため、メーカーからの部品の精度・素材の耐久性の向上な

どその要求仕様も厳しくなっている。

1.1では、機体・エンジンコンプレッション部に軽量高耐久金属（64・6242チタン合金など）、エンジンホットセクションに超耐熱鋼（インコネル、ハステロイ、ワスパロイ）、1.2では、継手部に高耐食金属（クロム13）、タービンに超耐熱鋼（インコネル、ハステロイ、ワスパロイ）、1.3においては、プレス材に代表される低炭素鋼（SPHC、SAPH）、ターボハウジングやタービンに耐熱鋼が使用される。

上記で述べたように、金属加工を取り巻く背景には、難環境でも能力を発揮する高耐久材料や、特定の工程短縮を目的とした量産材料など被加工性の悪い材料が、増加してきている。

まず、そういった材料のうち本稿では、当社の超高压クーラントが顕著に貢献する可能性の高い、超耐熱鋼・プレス材について述べてゆく。

## 2. 超耐熱鋼と鉄系プレス材について

### 2.1 超耐熱鋼の特徴と加工への影響

切削時に発生する熱量は通常、その大半が切りくずとともに奪われることになる。しかし、耐熱要求の高い部位に使用される超耐熱鋼は熱伝導率が極めて低いため、特に旋削加工の場合、高温に至る切削域が極度に被削材加工面および工具切削部に集中することになり、すくい面摩耗・逃げ面摩耗を促進する。

工具寿命が短いため、航空機部品加工などの大型部品の場合、頻繁な工具交換・交換時の精度測定などを必要とするため、加工効率が上がらないといった現状がある。

高温域での加工に適したセラミック工具では、ブレーカ形状の多様性をとれないことから処理性の良い切りくずが生成されにくく、被削材・工具への巻き付き・噛み込みが発生し、切りくずの除去作業が、加工効率に影響を与える。

\*SEKIMOTO, Masatoshi/㈱トクピ製作所 営業部

## 2.2 鉄系プレス材の特徴と加工への影響

切削熱の大半は切りくずに遷移しやすいため、鉄系プレス材は超耐熱鋼のように熱滞留を原因とする極度の工具摩耗性の低下は見られない。

プレス加工技術の発達で、切削工程にかかるコスト削減を目的とした完成形に近い形状プレスの部品が自動車業界ではよく見られる。この場合でも、仕上げ工程の切削加工工程は必要となる。この延性の高い薄く細い切りくずは、工具のブレーカによる切りくずコントロールに限界があり、工具、被削材に絡み付いたり、仕上げ面に傷を生じる原因となる。結果、自動加工ラインを構築しても、加工停止するもしくは、その防止策として切りくず除去人員が必要となる。

## 3. 高圧クーラントでの加工改善

前項では、加工効率を低下させる被削材の代表として、超耐熱鋼・鉄系プレス材を両極として挙げたが、高圧クーラントの適用での改善について述べる。

### 3.1 刃先近接ノズル付き高圧工具ホルダの出現

従来より、クーラント供給で加工点・工具の潤滑・冷却がおこなわれているが、より効果的と言われる供給方法が、刃先近傍のノズルからクーラント液の高圧吐出を行うことによるものである。加工点に対して、効果的な供給方向と距離を考慮している点が特徴であり、工具先端にクーラント吐出ノズルを持ち工具メーカー数社より市販されている(図1<sup>4)</sup>)。

一般的な工作機械の刃物台に吐出用パイプを固定する方法では、加工中のクーラント吐出方向が

被削材と干渉したり、作業者の被削材脱着時の接触による方向変化が生じたりと、加工点への確実な供給が難しかったが、吐出ノズルが刃先に近接実装された工具(以下、刃先近接ノズル付き高圧工具ホルダと表記する)を使用すれば、被削材位置と加工方向に影響されることなく、加工点に正確に、しかも近距離で供給することが可能となる。

### 3.2 高圧クーラント供給方式による改善効果

刃先近接ノズル付き高圧工具ホルダの使用の工具・切りくず生成効果は、以下のとおりである。

- ① クーラント液の工具刃先への到達率が高くなり、加工熱が効果的に除去される。継続的な熱滞留の軽減は、工具寿命の延長につながる。
- ② クーラント液が、切りくず生成個所と工具刃先との間に高圧くさび状に働き、切りくずはウェッジ効果と言われる、すくい上げ効果や、生成時のカール径の変化を生む。
- ③ 工具巻き付きや加工品への傷を防止する切りくず離脱機能が円滑に働き、切りくず除去作業を減少させ、効率的かつ良好な加工を継続することが可能になる。

### 3.3 高圧クーラントと超高压クーラント

前述で刃先近接ノズル付高圧工具ホルダが、高圧クーラントの効果的利用に適していることを述べた。当社では、超高压域での利用でより効果があがると判断し、その効果を検証してみた。

海外文献での高圧クーラントを利用した研究内容は主に超耐熱鋼を被削材としたものが多い。項目2.1の超耐熱鋼、たとえば、インコネル718である。0.6から30MPaまでの供給圧力と逃げ面

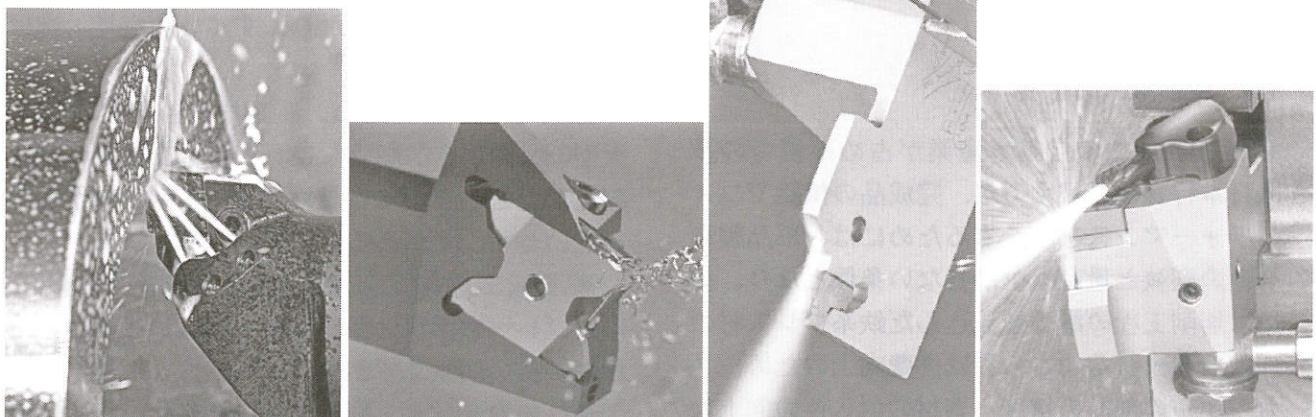


図1 刃先近接ノズル付高圧工具

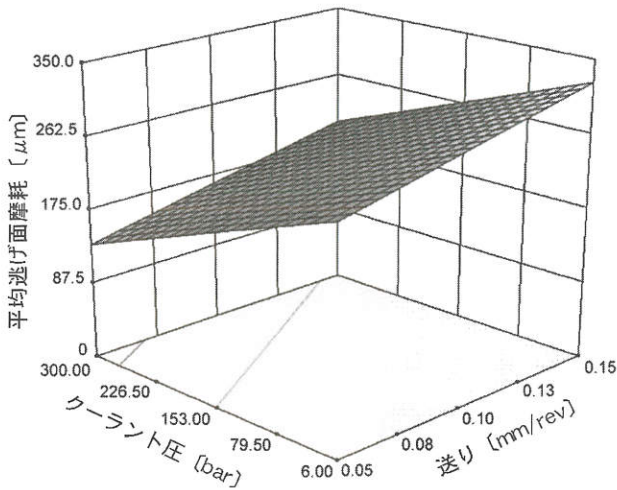


図2 クーラント供給圧力と逃げ面摩耗

摩耗の関係を表しているが、圧力上昇とともに逃げ面摩耗が減少していく様子が見られる(図2<sup>5)</sup>)。

図3<sup>6)</sup>では、クーラント供給圧力が0.6と10、30MPaでの、工具すくい面および逃げ面摩耗状態変化を画像で確認できる。すくい面・逃げ面ともにクーラント供給圧力上昇に従い、摩耗が減少していることがわかる。

当社ではもう一つ、項目2.2の鉄系プレス材への効果にも注目している。

本被削材は、高圧クーラントでの効果が海外

文献でも紹介されていないと思われる。理由として、製品単価が非常に安価で加工付加価値が評価されにくい被削材であること、また高圧クーラントが7MPaを最高圧とした通常認識の中では、顕著な被削性改善効果が発現しないことにあると考えられる。

しかし、加工産業で自動車の生産の割合が高い日本国内では、本被削材の加工工程において、伸びる切りくずによる加工機自動化の障害が問題となっている。

以下にその被削性改善効果を挙げる。

被削材質には低炭素鋼 (SPHC) を対象とし、加工条件についても実際に近似した内容とした。結果7MPaでは分断性に問題があるが、14MPaで改善され、処理性の良い切りくず生成が生じていることがわかる(図4)。

刃先近接ノズル付高圧工具ホルダと高圧クーラント供給での検証は、一般に圧力が7MPa付近を上限とした確認であることが多く、低炭素鋼の加工において高圧クーラントを利用した切りくずの処理性改善効果は少ないと思われる。そのため、工具刃先のブレーカ形状の工夫で切りくず流れ方向を制御する、あるいは切削条件の変化で対応している現状であり、低炭素鋼の加工条件が

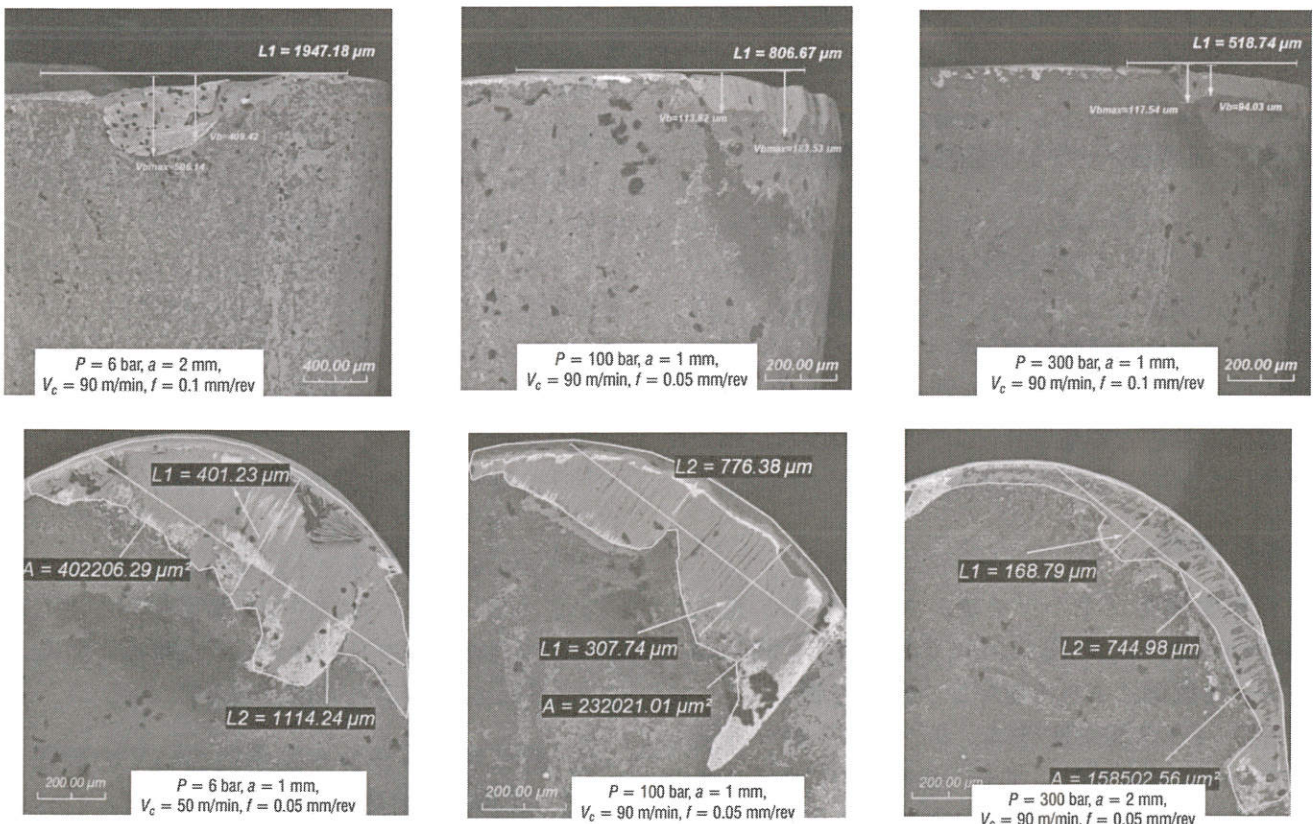


図3 クーラント供給圧力とすくい面・逃げ面摩耗

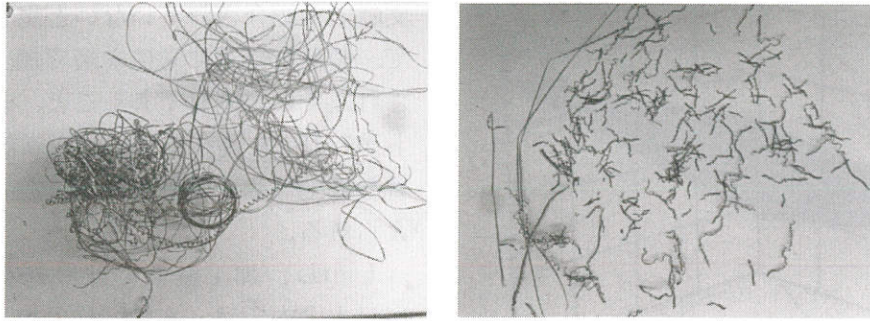


図4 低炭素鋼 (SPHC) 内径の切り屑分析 (左7MPa右14MPa)

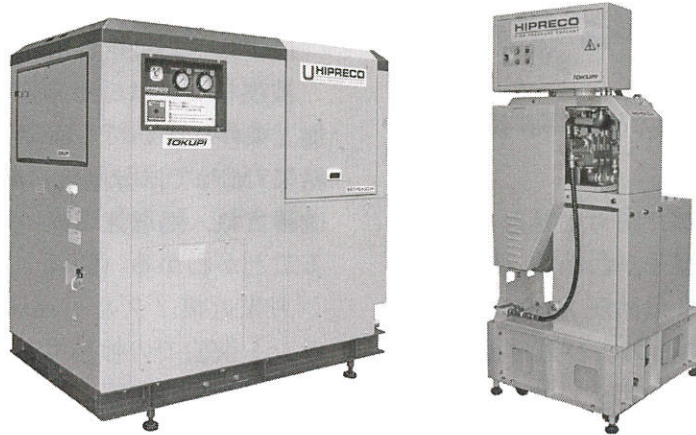


図5 超高压クーラント装置 (左、標準インバータ仕様・右、スマート仕様)

仕上げに近くブレーカ効果が得にくい場合は、分断性と言う意味での効果は限界と言われている。しかし、7MPaを超える超高压領域を活用することで、切りくず処理性改善にはまだ可能性が残されていると思われる。

#### 4. 超高压クーラント装置について

##### 4.1 超高压クーラント装置の装置構成

当社では、単なるポンプとモータをセットした装置でなく、超高压切削に必要な環境をセットした加圧装置として提供している (図5)。工作機械のタンク (通常はダートタンク) から供給ポンプにて圧送されたクーラント液は、サイクロン濾過され、大容量クリーンへ貯水ののち、高压プランジャポンプで高压供給される。

##### 4.2 特徴

自社製高压プランジャポンプを使用し、最大30MPaの超高压吐出が可能である (工作機械からの信号制御により高压ポンプ運転可能)。

インバータ装備機種は、クーラントホール径がツールにより変化しても、設定圧力に応じて最適化されたポンプ流量を自動制御する仕組みとなっている。この制御を行うことで、非制御の場合

と比較した場合、無駄な運転を抑制するだけでなく、装置内のクリーンタンクの液温上昇防止に作用し、加工精度改善に貢献する。

クリーンタンクは本機単独で上限下限の液面管理制御となっており、下限時に先の工作機械側の供給ポンプを稼働させる仕様としている (常時運転での電力をカット)。

超高压で吐出されるクーラント液は、微細な切りくずの混在しない状態が理想であり、クリーンタンク液の濾過割合によるが、遠心分離15 $\mu$ m90%濾過精度のサイクロンセパレータを採用し、ユーザーのフィルタ管理状態に依存しない、安定濾過を保っている (ユーザー希望オプションでサイクロンセパレータからクリーンタンクの間さらにカートリッジフィルタの追加仕様も可能)。

なお、サイクロンセパレータは、供給ポンプ圧送開始・停止時の流速不安定時に、濾過精度が不安定となるが、バルブを切り替えることで安定時の濾過液のみクリーンタンクに供給されるように制御していることも付け加えておく。

#### 5. 超高压クーラント実用における課題

##### 5.1 工作機械の高耐圧仕様

仮に7MPa以上での超高压クーラントの効果

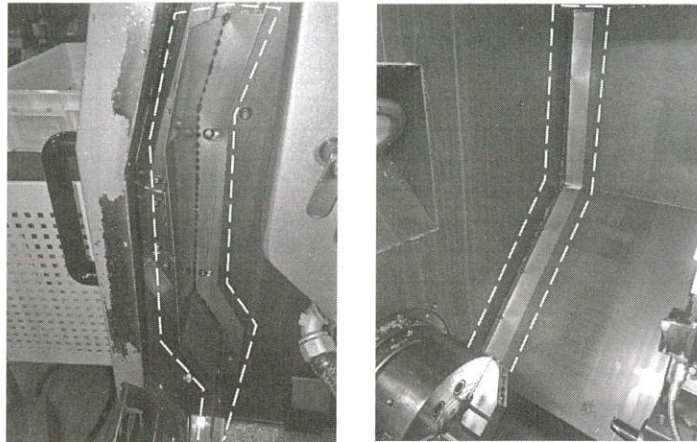


図6 高圧水対策プロテクト

確認をする場合は、特に工作機械に耐圧仕様は必要ないと思われる。項目3.1にある、市販の刃先近接ノズル付き高圧工具ホルダには最高圧力30MPa仕様があるので、直接、目的圧力の耐圧ホースを繋げば可能である。

先の実験や、工具ホルダの自動交換をしない専用機であればそのまま使用できる。しかし、実際は工具を自動交換できるタレット式CNC旋盤や、マシニングセンタが主流であるため、工作機械メーカーの協力が必要となる（設計上の耐圧は確保されている場合があるようなので、ご確認いただきたい）。

当社で確認したCNC旋盤の一例では、タレット裏側に供給用の切削油ブロック（タレット回転とは別に固定してあり、主軸と同時に前後左右には動くが回転はしない）があり、低圧ポンプの配管がなされていたため、当社独自で目的耐圧の配管交換を実施して工具交換も自動運用している。

同じタレット型でもタレット回転軸内部をクーラント通水する型の場合は、タレットの刃物台の一つのみに給水する切削油ブロックが存在しないため、タレットすべての刃物台に通水し、超高

圧が得られない場合がある。

良く質問のある、加工室内の高圧水外部洩れへの対策であるが、通常扉の隙間や加工室背面にワイパ状の樹脂部材でカバーされているので、その部分に飛散した高圧水が直接当たらないように当社では簡易プロテクトにて対応している（図6）。

## 5.2 刃先近接ノズル付き高圧工具ホルダの選定

超高圧を利用するために、非常に大きな高圧ポンプが必要と言った一般論があるが、ピンポイントで刃先に供給するのが目的であるので、ノズル径の選定に注意すれば、適切な高圧ポンプ流量が導き出される（表1）。また、工作機械によっては、クシ刃型のように複数の配管を切り替え使用する場合があるが、こちらは配管内径にも注意が必要である。刃先近接ノズル付高圧工具ホルダに至るまでの配管内径の断面積が小さい場合には、その部位で圧力損失が発生し、刃先近接ノズルよりの吐出圧力が大幅に下がってしまうことが生じる。

## 5.3 高圧ポンプのメンテナンスについて

低圧・流量ポンプは、モータ直結にて高回転

表1 ノズル孔径と圧力別吐出量参考値

噴射孔詳細 孔径 (φ)	吐出圧力					
	7MPa	10MPa	15MPa	20MPa	25MPa	30MPa
0.3	0.28	0.33	0.41	0.47	0.52	0.57
0.4	0.49	0.59	0.72	0.83	0.93	1.02
0.5	0.77	0.92	1.12	1.29	1.45	1.59
0.6	1.11	1.32	1.62	1.86	2.09	2.29
0.7	1.51	1.80	2.20	2.54	2.84	3.11
0.8	1.97	2.35	2.88	3.31	3.71	4.06
0.9	2.49	2.98	3.64	4.19	4.70	5.14
1.0	3.07	3.68	4.50	5.17	5.80	6.35
1.1	3.72	4.45	5.44	6.26	7.02	7.68
1.2	4.43	5.29	6.48	7.45	8.35	9.14
※ 当社基準ノズルでの参考値						単位、L/min

表2 超高压クーラント装置の導入コストの一例

稼働条件・電気					
HPB/kW	5.5	HP/稼働率	70%	%	
H/日稼働	16	日/月稼働	21	日	
日/稼働率	85%	時間/単価	20	h/円	
				HPB稼働/月	21.991
送りポンプ電気 (HPB用1.0KW-従来刃物台ポンプ0.4KW⇒0.6kW)					
kW	0.6	kW/日	9.6		
		kW/月	119.952		
月/稼働	21	日	円/月	2.399	
				電気経費	2.399
総経費					
HPB設備投資	3,500,000	7年2%	月々経費	44,700	
HPB電気	20円/kW		月々経費	21,991	
メンテナンス	10万1回/年	100,000	月々経費	8,333	
送りポンプ電気	20円/kW		月々経費	2,399	
			総経費	円/月	77,424

時間当り 月77,424円/21日/16H⇒230円/時間

除外費用 (高压改造 冷却装置 ミスト処理装置など)

するスクリー状の羽根・ギヤ状の部品とケース間の隙間で圧送することから、摩耗が回転側とケース側の両方で進行し、加圧できなくなるため、部品メンテナンス交換でなく、基本的に本体を入れ替えることが多い。

当社の超高压ポンプは、プランジャポンプのため、シリンダ内を前後に運動するピストン状の部品で水鉄砲のような原理で流体は圧送される構造であり、シリンダ延長上に位置するシールパッキンが消耗品となる。シールパッキンは脱着できるカートリッジ構造の本体に収められているため、交換自体は容易である。ご興味のある方はぜひご質問いただければと思う。

## 5.4 導入コスト

当社に超高压クーラントでの被削性見学に来られるユーザーと、効果検証後に導入コストについて打ち合わせとなることが多いが、投資金額として大きいと感じられているようなので、全加工工程の中で切りくず処理工程が原因で後工程が歩留り・もしくは人員を投入しているのであれば、超高压クーラント装置の導入で加工品のでき上がり数量の増加、もしくは切りくず処理性改善による人員の削減・別部署活用など、投資の有効性についてご説明している。表2は導入コストの一例である。

## 6. おわりに

本稿では、超耐熱鋼と鉄系プレス材という両

極に位置するとも言える被削材についての解説、および刃先近接ノズル付高压工具での超高压クーラント供給による被加工性の向上、そして超高压装置の概要、工作機械の高耐圧仕様について一部述べた。

超高压クーラントの加工適用は、未知な部分もあるが、加工改善への1アイテムとして魅力を感じている潜在ユーザーが思いのほか多い。ただ、周辺環境の整備が必要であることが、導入へのブレーキとなっていることも事実である。

当社なりにその現状を感じつつ、ユーザーの超高压クーラントによる加工実験要望に応えることのできる環境を、自社旧型旋盤を一部改造する手段などで実現し、その効果を体感していただく努力をしているが、各方面からのご協力無しでは成り立たない。

技術立国としてわが国の牽引力は、あらゆる難局でこれからも必要とされて来るのは間違いなく、その一支援になることを望みたく思う。

### 参考文献

- 1) 経済産業省製造産業局航空機武器宇宙産業課、第59回評価小委員会補足資料3
- 2) JFEスチールの高強度高耐食性シームレス油井用鋼管、JFE技報、29 (2012) 61-63
- 3) 1600℃級J形技術を適用した発電用高効率ガスタービンの開発、三菱重工技報50、3 (2013)
- 4) サンドビック、セコ・ツールズ、イスカル、タンガロイ
- 5) Oğuz Çolak : Investigation on Machining Performance of Inconel 718 under High Pressure Cooling Conditions, Journal of Mechanical Engineering 58 (2012) 11, 683-690