

# ニッケル基合金の大型製品加工に関する研究

(株)日本製鋼所 青野文朗 高佐成樹 須藤英一 宿村孝博 ○今村祐輔

## 要 旨

ニッケル基合金は高温強度や耐食性に優れる等の特性があることから様々な分野での使用が進んでおり、大型製品についても造塊技術の向上に伴い、今後の需要増加が期待されている。しかし、ニッケル基合金は一般的に加工性が悪く、代表的な難削材の1つに挙げられており、特に大型工作機械の特性に適した加工に関する研究はほとんど行われていない。

本報では、大型工作機械に適したニッケル基合金加工方法の検討内容について報告する。

## 1. 緒 言

ニッケル基合金は高温強度が高く、耐食性に優れる等の特性があることから様々な分野での使用が進んでいる。大型製品では火力発電向けのタービン軸材や圧力容器においてニッケル基合金を用いた製品の需要が期待されている。

しかし、ニッケル基合金は一般的に加工性が非常に悪い材質であり、特に Inconel718 等の時効硬化型ニッケル基合金は代表的な難削材の1つに挙げられている。ニッケル基合金の諸特性の中でも機械加工に影響する特徴を以下に示す。

- ①高温強度が高く、切削時には工具刃先に大きな切削応力が発生するため、チッピングなどの突発的な損傷が生じやすい
- ②熱伝導率が低いために工具刃先が高温になりやすく、塑性変形や拡散摩耗などの異常摩耗が発生してしまう
- ③工具材料との親和性が高く、溶着を起こしやすい
- ④加工硬化を起こすため、切削抵抗が増加しやすい

本報では、トレパンボーリング盤による深穴加工と横中割り盤を用いた試験片採取用穴あけの検討内容について報告する。

## 2. トレパンボーリング盤による深穴加工の検討

### 2-1. トレパンボーリング盤加工の概要と問題点

トレパンボーリング盤は図1に示すように被削材に接続した圧力頭から高压の切削油をドリルヘッド先端へ供給し、ボーリングバー内部を介して切りくずと切削油を機外へと強制排出することで、L/D=20 以上の深穴加工を行う工作機械である。しかし、中空のボーリングバーを長く突出して加工する特性上、びびり振動や切りくず詰まりなどのトラブルが起きやすい。そのため、ドリルヘッドに使用する超硬チップには耐摩耗性の他、低抵抗かつ安定したブレーキング(切りくず処理性)が求められる。

そこで、トレパンボーリング盤によるニッケル基合金の加工に適したチップ材種およびブレーカー形状の検討を行うため加工テストを実施した。表1にテストで使用したトレパンボーリング盤の諸元、表2に被削材と切削条件をそれぞれ示す。

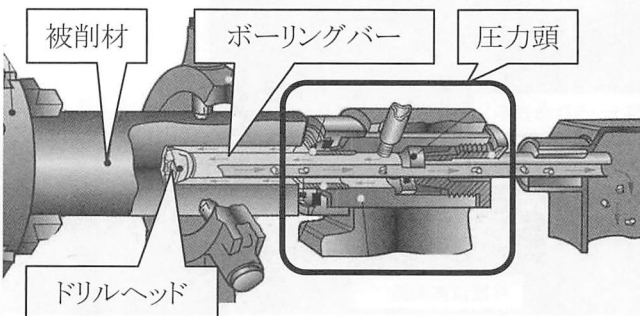


図1 トレパンボーリング盤加工の概要

表1 加工機の諸元

名称	トレパンボーリング盤
穿孔最大長さ (mm)	10,000
面盤回転モーター出力 (kW)	DC 100
バー回転モーター出力 (kW)	AC 37
機械重量 (t)	50

表2 被削材と切削条件

被削材	Rene41相当
加工穴径 (mm)	φ66 (ソリッドボーリング)
切削速度 (m/min)	13.5 (ドリル外周)
送り速度 (mm/min)	3
切削油	不水溶性切削油

### 2-2. チップ材種の検討

表3にテスト品の概要とテスト結果を示す。今回は旋削加工で良好な結果<sup>①</sup>が得られた PVD コーテッド超硬材種を中心に CVD コーテッド超硬、未コーティングの超硬合金でテストを実施した。なお、刃先形状はすべて同一形状である。

テストの結果、コーティングによる刃先形状の鈍化が起きづらい PVD コーティング材種で良好な結果が得られた。その中でも耐熱・耐酸化性重視の TiAlN コーティングが耐摩耗性重視の TiCN コーティングよりも良好な加工性を示している。

このことから、切削油が連続的に供給されることで良好な工具冷却性が得られる環境下においても耐熱性を重視したチップ材種の方が好ましいといえる。

表3 テスト品の概要とテスト結果①

テスト品名	ISO分類	コーティング	最大加工時間	評価	備考
A	P20相当	CVD	3min	×	加工初期からスラスト値 <sup>※</sup> が高い
B	K20相当	PVD <TiCN系>	9min	△	加工時間5min程度までスラスト値 <sup>※</sup> は安定しており、その後徐々に増加する
C	K15相当	PVD <TiCN系>	7min	×	加工時間1~2minからスラスト値 <sup>※</sup> の増加が著しくなる
D	M20相当	PVD <TiAlN系>	15min	○	加工時間10min程度までスラスト値 <sup>※</sup> は安定しており、その後徐々に増加する
E	K20相当	なし	3min	×	加工初期からスラスト値 <sup>※</sup> の増加が著しい

※スラスト値：ボーリングバーの送り方向にかかる推力の値

### 2-3. ブレーカー形状の検討

表4にテスト品の概要とテスト結果を示す。今回は切削熱対策用ディンプル付きタイプ、強ブレーキングタイプを含めた3種類で評価を実施した。

テストの結果、いずれのブレーカーも切りくずが詰まるトラブルは見られなかった。しかし、テスト品 H(強ブレーキング)では切りくずが細かく折れすぎたことが原因と思われるびびり振動が発生しており、チップの突発欠損を誘発する可能性が高いといえる。また、テスト品 G(ディンプル付き)は短時間で切りくずが伸び始める傾向が見られており、放熱性向上を期待したディンプルがすくい面と切りくずの接触面積を減少させ、すくい面摩耗を逆に助長してしまったのではないかとと思われる。

以上のことからトレパンボーリング盤によるニッケル基合金の深穴加工は切りくずが比較的折れやすく、汎用のブレーカーが適しているといえる。

表4 テスト品の概要とテスト結果②

テスト品名	ブレード形状	切りくず形状	評価	備考
F			○	・汎用タイプ ・加工初期はややブレードキंगが強いものの長時間安定した切りくずが得られた
G			△	・ディンプル付きタイプ(切削熱対策品) ・加工初期は安定した切りくずが出るものすくい面摩耗の進展により短時間で切りくずが伸びてしまう
H			×	・強ブレードキングタイプ ・ブレードキングが強すぎてびりびり振動が発生

3. 試験片採取用穴加工の検討

3-1. 加工の概要と問題点

大型製品は機械的特性を確認するため製品近傍の余材部から引張試験や衝撃試験用の試験片採取が行われる。採取には専用ドリルを用いるが製品形状や採取位置によってドリルの大きさに制約を受けるため、状況に応じてハイス総形ドリルと超硬スローアウェイドリルを使い分けている。どちらのドリルもツイストドリルに比べて溝が小さく、切りくず排出性が悪い上に任意の位置で試験片採取を行う都合上、加工機は小型のものに限定されることから機械剛性が低いという特徴がある。

ニッケル基合金の試験片採取加工に関しては知見が全く無いことから、ハイス総形ドリルと超硬スローアウェイドリルそれぞれについて加工可否の検証と工具の検討を行うため、加工テストを実施した。表5にテストで使用した加工機の諸元、表6に被削材と切削条件をそれぞれ示す。

表5 加工機の諸元

名称	横中割盤
主軸回転数 (rpm)	5.3~680
主軸径 (mm)	φ100
主軸回転モーター出力 (kW)	AC 5.4
機械重量 (t)	17

表6 被削材と切削条件

	ハイス総形ドリル	超硬スローアウェイドリル
被削材	Inconel718相当材	
加工穴径 (mm)	φ56	
切削速度 (m/min)	4 (ドリル外周)	13.5 (ドリル外周)
送り速度 (mm/min)	ハンドル送り	
送り速度 (mm/min)	3	
切削油	水溶性切削油	

3-2. ハイス総形ドリル加工の検討

ハイス総形ドリルは使用後再研磨を行い繰り返し利用するためにコーティングを施すことが難しい。そこで、テスト品はすべてノンコーティングのハイスとしており、ハイス工具として一般的なSKH57の他、高温硬度に優れる粉末ハイス2種類でテストを実施した。表7にテストドリルの概要とテスト結果を示す。

テストの結果、加工距離20mm程度であればどの材種でも加工が可能であることが確認できた。しかし、ドリルC(SKH57)は切刃部の摩耗が著しく加工の継続が困難であったことから、実機加工では粉末ハイスが必須であるといえる。また、ドリルB(HAP72)は最も良好な耐摩耗性を示したものの、切刃端部でのチッピングが多く、実機加工では大規模な工具破損に繋がる可能性が高いといえる。

これらのことから、ハイス総形ドリルには粉末ハイスの適用が必須であるといえるが、抗折力の低い材種では欠損を起こす可能性が高く、HAP50と同程度の抗折力をもつ粉末ハイス材が最も適しているといえる。

表7 テスト品の概要とテスト結果③

テスト品名	材種	硬度	抗折力	加工深さ	切刃の損傷状態	評価	備考
ドリルA	HAP50 (粉末ハイス)	96 (HRC)	○	20 <sup>mm</sup> (mm)		○	・ドリルBに比べ若干摩耗が進んでいる ・チッピングはほとんど無し ・加工継続は可能な状態
ドリルB	HAP72 (粉末ハイス)		△			×	・摩耗はほとんど進んでいない ・切刃両端でチッピングが多発 ・加工継続は難しい状態
ドリルC	SKH57 (Coハイス)		◎			△	・テスト品の中で摩耗が最も進んでいる ・加工継続は難しい状態

※被削材サイズの都合上、加工深さは最大20mmとしている

3-3. 超硬スローアウェイドリル材種の検討

表8にテスト品の概要とテスト結果を示す。テスト品はすべてコーテッド超硬で、刃先もすべて同一形状である。

テストの結果、耐熱・耐酸化性重視のTiAlNのPVDコーテッド超硬が最も優れた結果を示した。

このことから、トレパンボーリング盤の深穴加工と同様、耐熱性重視のチップ材種選択が好ましいといえる。

表8 テスト品の概要とテスト結果④

テスト品名	ISO分類	コーティング	加工時間	評価	備考
A	P40相当	PVD <TiN系>	22min	△	・加工時間20min付近から主軸モータの負荷が上昇したためテストを中断
B	P40相当	PVD <TiAlN系>	33min	○	・目標距離に到達したため、試験を終了 ・加工継続は可能な状態だった
C	M35相当	CVD	20min	×	・加工初期から主軸モータの負荷が高くチップの摩耗進展が著しい

3-4. 超硬スローアウェイドリル用チップ形状の検討

表9にテスト品の概要とテスト結果を示す。今回2種類のブレードで評価を行ったところ、テスト品E(低抵抗タイプ)の方が安定した加工が行えており、テスト品D(汎用タイプ)はびりびり振動が大きく実機加工での使用は困難という結果となった。これは加工機の剛性が低いいため汎用ブレードの切削抵抗に耐えられなかったのではないかと考えられる。

そのため、試験片採取用の穴加工では極力低抵抗なブレードが適しているといえる。

表9 テスト品の概要とテスト結果⑤

テスト品名	ブレード形状	切りくず形状	評価	備考
D			×	・汎用タイプ ・終始針状の細かい切りくずが発生 ・Eに比べて振動がやや大きい
E			○	・低抵抗タイプ ・鳴くような切削音が終始出るが、チッピング等の損傷は見られなかった ・小さくカールした切りくずが出ており、排出性良好

4. 結 言

本報では、ニッケル基合金の深穴加工と試験片採取用穴加工について検討を行い、以下の成果を得た。

- (1) 超硬スローアウェイドリルチップを用いた穴加工ではTiAlNのPVDコーテッド超硬が適している
- (2) ブレード形状については比較的剛性の高いトレパンボーリング盤による深穴加工では汎用タイプ、横中割盤による試験片採取用穴加工では低抵抗タイプが適している
- (3) ハイス総形ドリル加工では粉末ハイスのドリルを用いることで加工は可能だが、抗折力の低い粉末ハイスでは欠損を起こす可能性が高い

参考文献

- [1] 青野他:「ニッケル基合金の効率的加工に関する研究」  
2012年度精密工学会北海道支部学術講演論文集