

ニッケル基合金の効率的加工に関する研究

(株)日本製鋼所 青野文朗 高佐成樹 佐藤将一 宿村孝博 ○今村祐輔 大宮拓也

要 旨

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。しかし、ニッケル基合金は一般的に加工性が悪いことから、代表的な難削材の1つに挙げられている。

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ガスタービン、航空機、圧力容器など様々な分野での使用が進んでいる。エネルギー分野においても火力発電のさらなる高効率化を図るため、ニッケル基合金を用いたタービン軸材等の大型部材製造に向けた研究開発が進んでおり、弊社においてもニッケル基合金製品の増加が今後予想される。

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
- ⑤特に調質前の穴加工では穴の狭窄が起きやすい

本報では、穴あけ加工と旋削加工について超大型工作機械の特性に適したニッケル基合金加工の検討内容について報告する。

2. 大型工作機械によるニッケル基合金加工の問題点

表1に代表的な超大型旋盤と大型穴あけ加工機の仕様を示す。これらの加工機は高い機械剛性と高トルクの回転軸によって大型製品の高効率な加工を可能としている。その反面、高速高送りが要求される加工に対して十分な切削速度を満たすことが難しいことや機械が大型であるために切削油の回収率が低く連続的な切削油供給を行う加工に不向きといった弱点がある。

ニッケル基合金加工では、多量の切削油を用いた加工、セラミックス材種を用いた高速切削が一般的に適用されるが、大型機でこれらの加工方法を適用することは困難であり、専用の加工方法の確立が必要となる。

表1 加工機械の主な仕様

(超大型旋盤)			
機 種	A	B	C
最大加工径 (mm)	3,980	3,300	2,480
最大加工長 (mm)	20,000	13,600	20,000
最大加工重量 (t)	350	350	100
主モーター出力 (kW)	370	315	200
切削油回収機構	無	無	無
機械重量 (t)	433	440	196
(大型穴あけ加工機)			
機 種	A	B	C
種 別	横中割盤	横中割盤	立ポール盤
最大スピンドル回転数 (r.p.m.)	300	900	1,450
主モーター出力 (kW)	132	83	5.5
切削油内部給油機構	無	無	無
切削油回収機構	無	無	無
機械重量 (t)	285	110	16

3. 穴あけ加工

ニッケル基合金の穴あけは、切削油の工具内部給油に対応したコーテッド超硬ドリルを用い、常に刃先を冷却しながら加工を行うのが一般的である。しかし、前述したように大型加工機で超硬ドリルの要求する切削速度を満たしつつ、切削油連続供給を行う加工は難しい。

そこで、ハイスドリルを用いたニッケル基合金の穴あけ加工について、材種と刃先形状の検討を行った。

3-1. ハイス材種の検討

ニッケル基合金に対し、ハイスドリルでの加工可否の検証と加工に適するハイス材種を検証するため加工テストを実施した。表2にドリルの諸元と加工条件を、表3にテスト結果、図1に加工後のドリルの様子をそれぞれ示す。

テストの結果、ハイス材種の中でも耐摩耗性や耐欠損性に優れる粉末ハイスであれば、少量の外部給油でも加工が可能であることが確認できた。さらにドリルCに再研磨を施し、コーティングが無い状態での加工を実施しているが、大きく加工性を損なうことは無かった。そのため、粉末ハイスドリルはニッケル基合金加工での運用に対応可能と判断した。

表2 テストドリルの諸元、および加工条件

テスト品名	材 種	コーティング	ドリル径(mm)	先端角(°)	被削材	
					Waspaloy	被削材
A	ハイス	無	φ20	118	切削速度 (m/min)	6
					(r.p.m.)	95
B	コバルトハイス	無	φ20	118	送り (mm/min)	10
C	粉末ハイス	PVD(Cr系多層)	φ20	120	切削油	水溶性 (外部給油)

表3 テスト結果

テスト品名	試験結果
ドリルA (ハイス)	× 切削開始直後からドリルが食い付き辛い 加工距離7mmで加工不能
ドリルB (コバルトハイス)	△ 食い付きに異常は見られなかった 加工距離20mmで加工不能
ドリルC (粉末ハイス)	○ 食い付きに異常は見られなかった 加工距離40mmで試験を中断、加工の継続は可能な状態

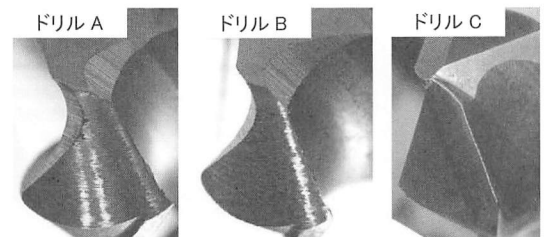


図1 テスト後のドリル損傷状態

3-2. 実機加工用ドリルの製作

テスト結果を基に図2に示す専用ドリルを製作した。さらに、ニッケル基合金の諸特性を考慮し、以下の点についても変更を加えている。

- ・シンニング形状をX形にすることで切削抵抗の増加を抑制
- ・ねじれ角を小さくして剛性を強化
- ・芯厚を厚めに取るようにポケット形状を変更し、剛性を強化
- ・バックテーパを大きめに取り、穴狭窄時の焼き付を防止

このドリルを用い、実機加工での運用と同じ少量の切削油供給、ドリル再研磨による繰り返し加工という状況下でテストを行い、問題なく加工できることが確認できた。

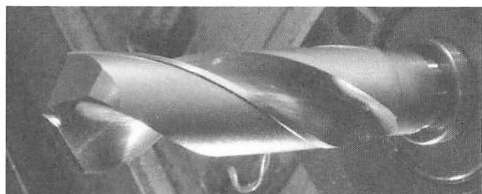


図2 製作した特殊ハイスドリル(φ60)

4. 旋削加工

旋削加工においてもドリル加工と同様に切削油の回収が難しいことから、刃先への連続的な切削油の供給を行わない加工方法の確立が必要となる。

そこで、少ない供給量で比較的冷却性が高いミスト給油による加工について検討を行った。また、材種と工具形状については、要求性能が大きく異なる調質前鍛錬肌粗加工と調質後等肉加工についてそれぞれ検討することとした。

4-1. 調質前鍛錬肌加工の検討

調質前の鍛錬肌は表層部が非常に硬い上に強断続の加工となるため強靱な切刃が要求される。そのため、テスト品はすべて刃先形状が強靱なものを選択している。表4にテスト品の諸元と加工条件を示す。

表5のテスト結果を見ると、切削抵抗の増加による刃先温度の上昇でM30相当のチップC以外はすべて塑性変形により加工不能となってしまった。このことから、M30相当の耐熱性と靱性を備えたコーテッド超硬工具であれば、ミスト給油でも鍛錬肌の断続加工が可能であるといえる。

表4 テスト品の諸元, および加工条件

テスト品名	材種	コーティング	チップ形状	プレーカー形状 (刃先形状)	ノーズR	被削材	Inconel706
A	超硬 (P30相当)	CVD	□32ネガ	中粗用 (チップアーナフラットラド)	2.4	切削速度 (m/min)	20
B	超硬 (P40相当)	CVD	□32ネガ	粗用 (チップアーナフラットラド)	3.2	送り (mm/rev)	0.5
C	超硬 (M30相当)	CVD	□32ネガ	粗用 (チップアーナフラットラド)	2.4	切り込み (mm)	0~15
D	超硬 (M35相当)	CVD	□32ネガ	粗用 (チップアーナフラットラド)	2.4	切削油	水溶性 (ミスト給油)
E	超硬 (M40相当)	CVD	□32ネガ	粗用 (チップアーナフラットラド)	2.4		

表5 テスト結果

テスト品名	逃げ面の損傷状態	テスト結果
チップA		× 切削時間: 12min ・切刃が塑性変形したため、テストを中断
チップB		× 切削時間: 15min ・切刃が塑性変形したため、テストを中断
チップC		○ 切削時間: 20min ・規定加工距離に達したため、テストを終了 ・加工継続は可能な状態
チップD		× 切削時間: 9min ・切刃が塑性変形したため、テストを中断
チップE		× 切削時間: 5min ・切刃が塑性変形したため、テストを中断

4-2. 調質後等肉加工の検討

調質後の等肉加工では切削抵抗の増加抑制や耐摩耗性はもちろん、耐酸化性(耐境界摩耗性)に優れた工具が必要となる。そのため、テスト品の形状には低切削抵抗のシャープエッジタイプから比較的切刃の強度が高いタイプまで広い範囲のものを、材種についても高強度膜のCVDコーティング超硬とコーティングによる切刃の形状鈍化が起きにくいPVDコーティング超硬、高い耐酸化性と高温強度をもつサイアロン系セラミックスを選択している。表6にテスト品の諸元、表7に加工条件を示す。

表8の結果を見ると、刃先形状が鈍化しにくいPVDコーティングのチップH~Jが良好であり、その中でもシャープエッジタイプのチップI, Jは特に優れた傾向を示していた。

セラミックスチップは加工量としてはH~Jに近いものの、境界摩耗が著しいことから欠損を起こす可能性があり、加工の安定性に不安が残る結果となった。

以上のことから、ミスト給油を用いた等肉加工では切削抵抗増加を抑えたシャープエッジタイプの工具形状、コーティングも形状鈍化を極力押さえた薄膜のものを選択することが望ましいといえる。

表6 テスト品の諸元

テスト品名	材種	コーティング	チップ形状	プレーカー形状 (刃先形状)	ノーズR
チップF	超硬(P05相当)	CVD	正方形ネガタイプ	中粗用	1.2
チップG	超硬(P20相当)	CVD	正方形ネガタイプ	中粗用	1.2
チップH	超硬(M20相当)	PVD	正方形ネガタイプ	中粗用	1.2
チップI	超硬(M20相当)	PVD	正方形ネガタイプ	仕上げ用	1.2
チップJ	超硬(K15相当)	PVD	正方形ネガタイプ	仕上げ用	1.2
チップK	サイアロン系セラミックス	-	正方形ネガタイプ	無し	1.2

表7 加工条件

被削材	Inconel718 (時効処理済)	
切削速度(m/min)	20(超硬)	150(セラミックス)
送り(mm/rev)	0.2	
切り込み(mm)	3	
切削油	水溶性 (ミスト給油)	

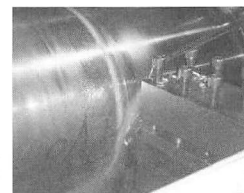


図3 加工テストの様子

表8 テスト結果

テスト品名	逃げ面の損傷状態	テスト結果
チップF		・切削時間: 4min ・境界摩耗が急激に進展したため、テストを中断
チップG		・切削時間: 24min ・境界摩耗が進展したため、テストを中断 ・熱亀裂が確認できる
チップH		・切削時間: 35min ・急激に面粗度が悪化したためテストを中断 ・境界摩耗は確認されなかった
チップI		・切削時間: 40min ・規定加工距離に達したため、テストを終了 ・境界摩耗は確認されなかった
チップJ		・切削時間: 30min ・面粗度が悪化したため、テストを中断 ・僅かに境界摩耗が確認できる
チップK		・切削時間: 3min ・境界摩耗が急激に進展したため、テストを中断

5. 結 言

本報では、超大型加工機によるニッケル基合金の穴あけ加工と旋削加工について検討を行い、以下の成果を得た。

- (1) 専用形状の粉末ハイスドリルを用いることで、ハイス材種による加工が可能であるという知見を得た。
- (2) 旋削加工では、鍛錬肌断続加工と調質後等肉加工においてミスト給油での加工を検討し、それぞれに適した工具材種と工具形状の知見を得た。