

# 難削材インコネル718の加工について

機械金属室 國吉和男・比嘉眞嗣

## 1. 緒言

ニッケル基超耐熱合金のインコネル718は耐酸化性と高温強度のバランスのとれた優れた材料として航空機用ガスタービン材料を中心に発展し、耐熱材料の重要な位置を占めている<sup>1)</sup>。インコネルとはアメリカのInternational Nickel Co.で開発された合金の名称で今日ではインコネル718以外にインコネル700、インコネル713Cなど数多くのニッケル基超合金が実用化されている。JISでは耐食耐熱超合金としてG4901、G4902に規定されNCF718等と呼ばれている材料に相当する。

これらの超耐熱合金は、発電装置や動力装置などの各内燃機関の省エネルギーを目指した、熱効率向上のための高温化と、宇宙・航空機関連技術の進展にともない、使用量の大幅な増加が予想されている。

しかしニッケル基超耐熱合金は①熱伝導率及び熱拡散率が特に小さい、②化学的活性度が高く珪石材料との親和力が大きい、③加工硬化性が大きい、④高温における強度が高い等の理由のため、機械加工が特に困難な材料として知られている<sup>2)3)</sup>。

しかもこれらの特殊な超耐熱合金の加工データはほとんど公表されることがなく、学、官の研究者から断片的に報告されているに過ぎない。

このような背景のもと、耐熱超合金インコネル718の共同加工試験が中国工業技術試験所の指導により計画されたので平成3年から4年まで参加した。

インコネル718の適性な加工方法の検討と、企業に役立つデータベースの作成のために以下のように形彫り放電加工による実験を行ったので得られた知見を報告する。

## 2. 実験方法

### 2. 1 共同加工実験の分担テーマと機関名

共同加工実験は以下のように7分担テーマを15機関で行った。

- |              |                |                |             |
|--------------|----------------|----------------|-------------|
| 1) エンドミル加工   | 鳥取県工業試験場       | 4) 形彫り放電加工     | 広島市工業技術センター |
|              | 島根県立工業技術センター   |                | 福岡県工業技術センター |
|              | 高知県工業技術センター    |                | 沖縄県工業試験場    |
| 2) 平面研削加工    | 岡山県工業技術センター    | 5) ドリル加工       | 山口県工業技術センター |
|              | 広島県立東部工業技術センター |                | 中国工業技術試験所   |
|              | 鹿児島県工業技術センター   | 6) 旋盤          | 香川県工業技術センター |
| 3) YAGレーザー加工 | 広島県立西部工業技術センター | 7) ワイヤークット放電加工 | 徳島県工業技術センター |

### 2. 2 供試材

供試材は島根県の日立金属(株)安来工場製のインコネル718を共通の材料として分配を受け加工に供した。物理的、機械的性質と化学分析値は表1のとおりである。また比較材料としてSKS3材を用いた。

2. 3 形彫放電加工

放電加工は焼き入れ鋼材はもちろん高硬度の焼結金属の加工、さらに難加工性新素材でも任意形状に加工が出来る特徴があり、近年はマイクロエレクトロニクスを駆使して、高精度で高い生産性を追求した金型加工機として定着している。

本実験では三菱電機製、形彫放電加工機M65Eを使ってインコネル718の加工実験を行った。形彫放電加工機M65Eの機械仕様及び加工条件の要素を表2に示す。

表1 供試材の物理的、機械的性質と化学分析値 (wt %)

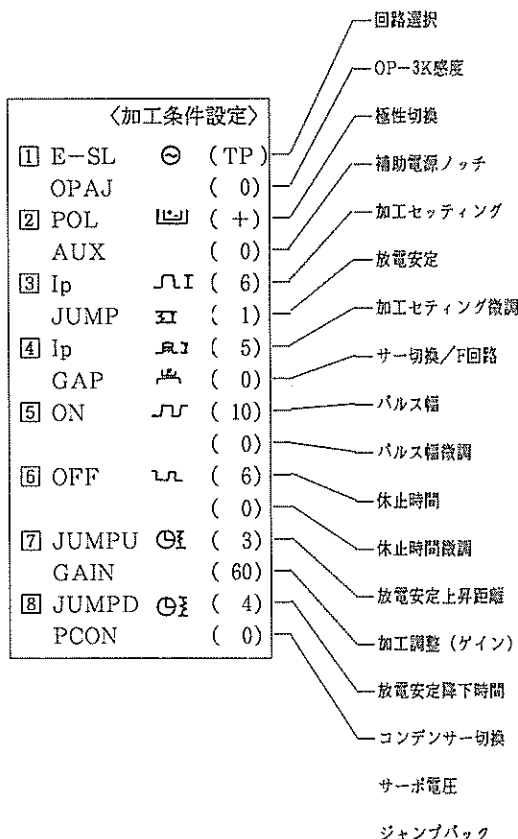
	インコネル718	参考、S45C
引張強さ (kgf/mm <sup>2</sup> )	142	58~61
降伏点 (kgf/mm <sup>2</sup> )	116	35~36
縦弾性係数 (kgf/mm <sup>2</sup> )	2.04×10	2.1×10
伸び (%)	22	>20
硬さHB (10/3000)	415	167~229
熱伝導率 (cal/cm <sup>2</sup> ・s・K)	0.027	0.106
比熱 (cal/gf・K)	0.103	0.11
備考	溶体化+時効	JIS G 4051 焼きならし

C	Si	Mn	P	S
0.03	0.08	0.05	0.008	0.001
Ni	Cr	Mo	Co	Cd+Ta
52.4	18.77	3.11	0.13	5.09
Ti	Al	Cu	B	Fe
0.97	0.53	0.01	0.0044	Bal
Pb	Bi	Se		
0.0001	0.00002	<0.0003		

表2 形彫放電加工機の仕様と加工条件の要素

機械本体

仕様項目	M65E
X軸移動量 (サドル左右) (mm)	650
Y軸移動量 (ラム前後) (mm)	450
Z軸移動量 (主軸上下) (mm)	350
面間距離 (mm)	700~350
C軸取付時 (MACRO) (mm)	519~169
C軸取付時 (MINI) (mm)	519~169
テーブル寸法 (mm)	900×700
最大ワーク重量 (kg)	2000
テーブルTスロット寸法 (mm)	12H8
テーブルTスロットピッチ (mm)	4×125
床面から定盤までの距離 (mm)	850
加工槽内形寸法 (mm)	1050×800×400
電極取り付け面寸法 (mm)	250×250
最大電極重量 (kg)	100
機械の高さ (mm)	2790
機械の所要床面の大きさ (mm)	幅1600×奥行2520
機械重量 (kg)	5700
早送り速度 (mm/分)	2000
最小設定送り量 (mm)	0.001



### 2. 4 実験条件

形彫放電加工機の4つの特性は加工速度、加工面粗さ、電極消耗率、加工拡大しろである。本実験では特性値として加工速度 (cm<sup>3</sup>/min)、加工面粗さ (R<sub>max</sub> μ)、加工硬化層に注目し、Cu電極 (10×10mm) 棒で加工方向を垂直に0.4mmとし、加工セッティング (以後I<sub>p</sub>とする) 3水準と、パルス幅 (以後ON Timeとする) 3水準を変化させて、供試材インコネル718とSKS3を加工した。

加工条件 回路 : TP

回路極性 : +

加工セッティング(I<sub>p</sub>) : 2~6ノッチ

パルス幅 (ON Time) : 2~10ノッチ

JUMPU : 3

デューティーファクター : 50%

電 極 : Cu

加工液三菱 : EDF-K

揺 動 : なし

サ ー ボ : なし

JUMP : 1

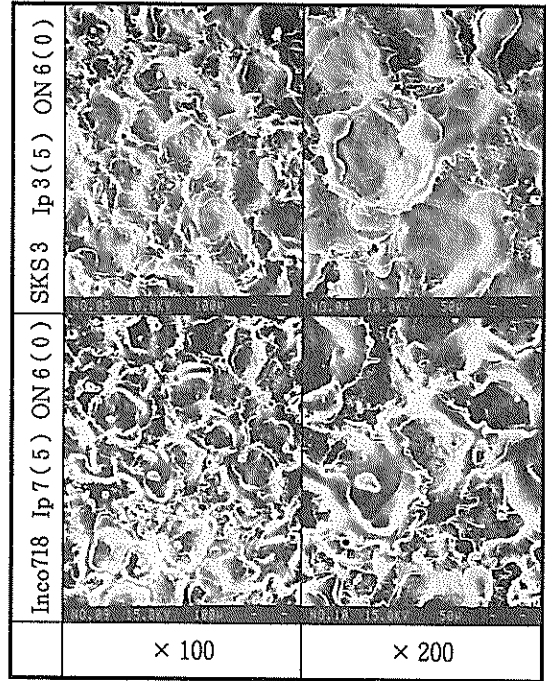


図1 放電加工の表面のSEM像

### 3. 実験結果

図1は加工表面のSEM像の例である。SKS3に比べてインコネル718は粘性の低いクレーター状に荒れているのわかる。

図2はON Timeと加工面粗さ、加工速度の関係を示したものである。I<sub>p</sub>が大きいくほど粗さと加工速度は大きくなり、SKS3よりインコネル718の方が増加割合も大きい傾向がある。ON Timeと加工速度 (cm<sup>3</sup>/min) の関係ではI<sub>p</sub>ごとに加工速度がピークとなるピークON Timeの点がありI<sub>p</sub>が大きいくほどピークON Timeも大きい。

インコネル718はピークON Timeがやや低めでI<sub>p</sub>=2で4ノッチ、I<sub>p</sub>=6で6ノッチ程度であった。

図3は加工面粗さと加工速度の関係を示したものである。加工速度が大きくなれば面粗さは悪くなる傾向があり、インコネル718は加工速

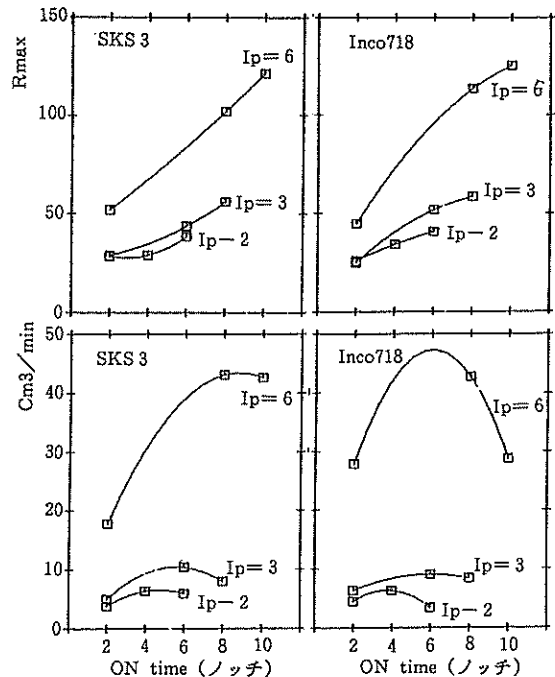


図2 加工条件 (I<sub>p</sub>、ON Time) と加工特性 (粗さ、加工速度) の関係

度がピークを過ぎると面粗さが悪くなるだけで加工速度は急激に低下することがわかる。

図4 A、Bはそれぞれの加工変質層の顕微鏡写真である。SKS3は明瞭な加工変質層が観察されるが、インコネル718は不明瞭な薄い変質層が認められる。しかも放電痕がクレーターのように激しかった図1を裏づけるように表面層の凹凸の大きいことが観察される。

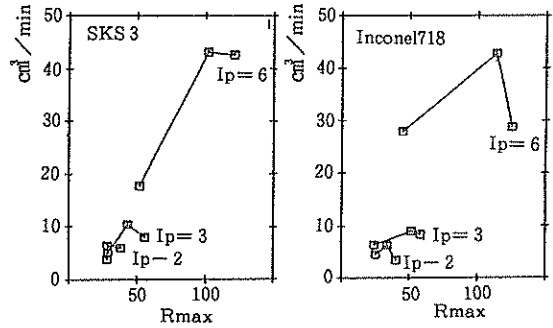


図3 加工面の粗さと加工速度

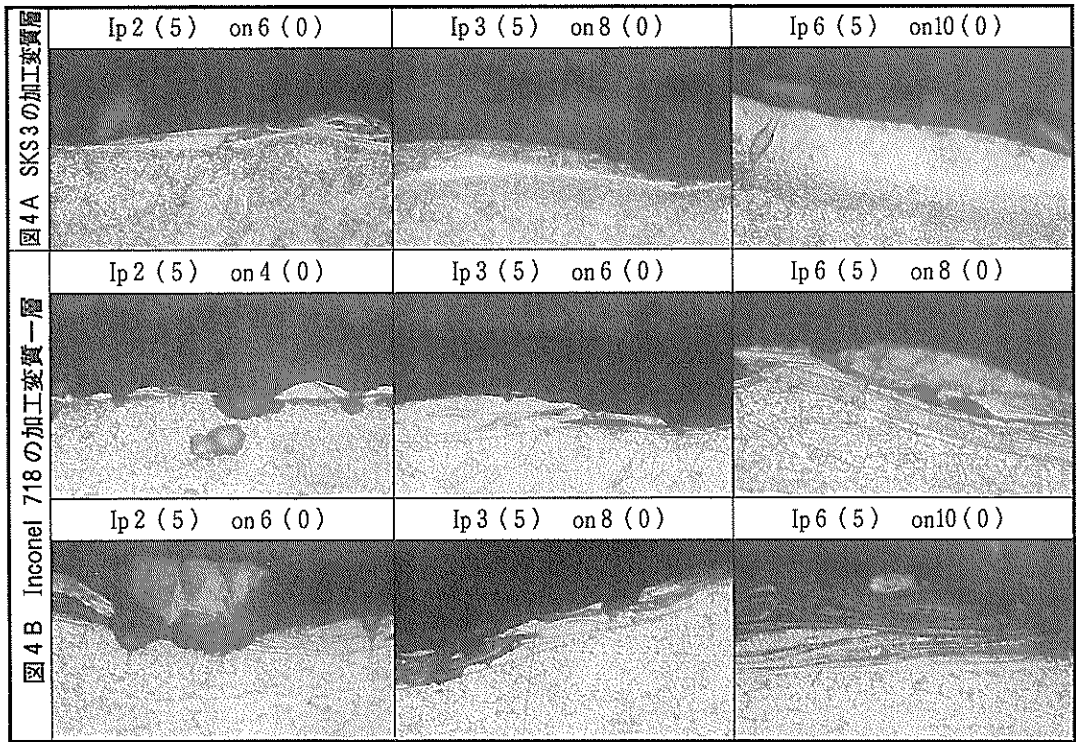


図5はON Timeと加工変質層との関係を示したものであるが、ON TimeとIpが大きいほど加工変質層は大きくなり、インコネル718はSKS3より加工変質層は小さい傾向を示す。

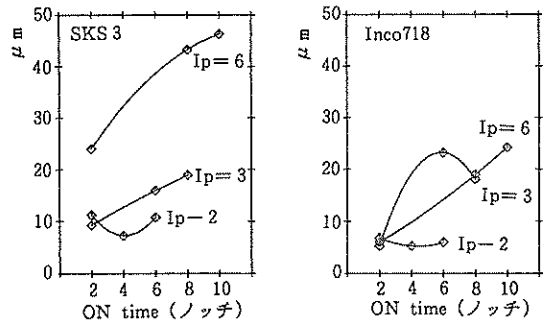


図5 Ip (加工セッティング)、On time (パルス幅) と加工変質層の関係

#### 4. 結 言

平成3年度から平成4年度まで中国工業技術試験所の指導によるインコネル718の共同加工試験に参加し、形彫放電加工による実験を行った結果は以下のとおりであった。

- 1) インコネル718を形彫放電加工すると表面の放電による溶融痕はSKS3に比べて激しく、大きい。
- 2) インコネル718はSKS3に比べてON Timeの小さいところで加工速度( $\text{cm}^3$ )のピークがある。  
ピークON Timeを過ぎると面粗さが悪くなり加工速度( $\text{cm}^3$ )が急激に悪くなる。
- 3) 加工変質層はON Timeと $I_p$ が大きいほど厚くなり、インコネル718はSKS3に比べて不明瞭で薄い。

以上のことからインコネル718の形彫り放電加工は比較的低エネルギーで加工が出来、加工速度もSKS3と同程度の加工が可能であることがわかった。今後中小企業においてもこのようなニッケル基超耐熱合金の活用や、加工の機会が増えると予想されるので、各種加工データの継続的蓄積を図りたい。

#### 参考文献

- 1) 渡辺力蔵：昭和61年度精密工学会秋季大会シンポジウム資料、21、1986
- 2) 熊谷信男：精密工学会誌、58、41、1992
- 3) 水野義弘：精密工学会誌、52、19、1986

編 集 沖縄県工業技術センター

発 行 沖縄県工業技術センター

〒904-2234 沖縄県うるま市字州崎 12 番 2

T E L (098)929-0111

F A X (098)929-0115

U R L <https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/shoko/kogyo/>

著作物の一部および全部を転載・翻訳される場合は、当センターに

ご連絡ください。