難削材切削時の凝着機構に関する基礎的研究 (第3報) *

—各種 Ni 基合金と超硬合金との凝着性および界面反応現象の検討—

生 田 明 彦** 篠 崎 賢 二*** 政 田 英 昭† 山 根 八 洲 男***
黒 木 英 憲†† 有 年 雅 敏††† 深 谷 保 博††††

Fundamental Study on Adhesion Mechanism of Difficult-to-Machine Materials during Cutting (3rd Report)
- Adhesion and Reaction between Ni-base Alloys and Cemented Carbides -

Akihiko IKUTA, Kenji SHINOZAKI, Hideaki MASADA, Yasuo YAMANE,
Hidenori KUROKI, Masatoshi ARITOSHI and Yasuhiro FUKAYA

The purpose of this study is to clarify the adhesion mechanism in cutting process on the difficult-to-machine material such as Ni-base alloys like Inconel 718, Inconel 600 and so on. For the elucidation of the adhesion mechanism, it seems to be important to know the reaction which is generated at the interface between cutting tool and material. However, it is difficult that the reactive phenomenon is observed in detail because the region where cutting tool contacts the material in cutting process is very small. Then, the friction welding test between cutting tool material, K10 (8mm diameter) and material was carried out. The reactive phenomenon between cutting tool and material in cutting process was analogized by the observation of the interface of friction welded joint. In addition, 4 point bending test at high temperature was carried out for diffusion bonding joint between K10 and material at 1373K. From analyzing fracture strength and rupture position, the strength of the bonded interface between K10 and material was examined. As a result of the friction welding test, Ni-base alloys and K10 were bonded together only for the friction time of 0.4s. Friction welding of Inconel 718 was easy to be done in comparison with Inconel 600 and pure Ni. In either material, the reaction layer was not observed in the interface of friction welding. On the other hand, the width of the reaction layer increased with the increase in the bonding time in the interface of the diffusion bonding joint. The growth of the reaction layer was the biggest in Inconel 718. This reaction phase was the η phase. High-temperature bending strength of the diffusion bonding joint in Inconel 718 and Inconel 600 was bigger than that in pure Ni. From the above experimental result, the reason why Inconel 718 and Inconel 600 are easy to adhere to cutting tool comparing with pure Ni was seemed to be that these materials were easy to react with cutting tool and bonding strength between these materials and cutting tool were high.

Key words: Ni-base alloys, cemented carbide, adhesion, friction welding, reaction phase, high-temperature strength

1. 緒 言

筆者らは、前報までに^{1,2)}切削時の被削材と工具との凝着が接合現象の一つであるとの観点から、各 Ti 合金と超硬合金との切削時における凝着性評価方法を提案した。また、切削時の再現実験として被削材と工具との摩擦圧接および固相拡散接合を実施し、短時間での接合性および界面反応現象を観察し、切削時の凝着現象の検討を行った。その結果、凝着による工具寿命低下が著しいとされる Ti 合金では超硬合金への凝着性が高く、Ti 合金と超硬合金との接合継手の、高温強度が高いことがわかった。さらに、Ti 合金と超硬合金との接合界面で、ごく短時間で反応相が形成され、しかも反応相の形態は、Ti 合金の種類により異なった。さらに、反応相の形態の違いにより、接合継手の強度に差が見られたことより、反応相の形成が、工具寿命の低下に影響をおよぼすことが示唆された。このように Ti 合金と超硬合金との組み合わせについては、切削時

の凝着による工具損傷機構が明らかとなった。

そこで本報告では、凝着による工具寿命低下が著しい他の難削材として Ni 基合金を取り上げ、これまでに提案した凝着性評価方法、摩擦圧接および固相拡散接合による凝着性ならびに接合性および界面反応現象について明らかにし、工具損傷機構について検討を行った。

2. 供試材料および実験方法

2.1 供試材料

本実験においては、被削材として、各種 Ni 基合金、工具材料として超硬合金 K10 種を使用した。Ni 基合金は工業用純 Ni (以下 Ni)、固溶強化型の Inconel 600 および析出強化型の Inconel 718 を使用した。なお、Inconel 718 については、1318K × 1h の条件で溶体化処理を行った材料 (以下 Inconel 718 S. T.) および溶体化処理後、993K × 8h + 893K × 12h の条件を 2 度繰り返して時効処理を行った材料 (以下 Inconel 718 Aging) を用いた。これら Ni 基合金および超硬合金の化学組成を表 1 ならびに表 2 に示す。

2.2 凝着性評価試験方法

2.2.1 凝着試料作製方法

凝着性評価試料は、マシニングセンタを用いた乾式フライス削りを行い作製した。この時の切削条件を表 3 に示す。この凝着試料作製方法は第 1 報¹⁾で超硬工具を用いて Ti 合金を切削し

* 原稿受付 平成 14 年 1 月 30 日
** 正 会 員 広島大学大学院 (現、近畿大学工学部; 東広島市高屋うめの辺 1 番)
*** 正 会 員 広島大学大学院工学研究科 (東広島市鏡山 1-4-1)
† 広島大学大学院 (現、(株)長府製作所; 下関市長府扇町 2-1)
†† 広島大学大学院工学研究科
††† 兵庫県立工業技術センター (神戸市須磨区行平町 3-1-12)
†††† 近畿大学工学部

Table 1 Chemical compositions of Ni-base alloys used(mass%)

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Co	Mo	Nb+Ta	Ti	Al	Fe	B	Cu
Ni	0.02	0.21	0.19	-	<0.01	Bal.	-	-	-	-	-	-	<0.01	-	<0.01
Inconel 600	0.03	0.27	0.37	-	0.001	Bal.	15.84	-	-	-	-	-	8.26	-	-
Inconel 718	0.03	0.02	0.15	0.002	0.001	Bal.	18.56	0.20	2.90	5.15	1.01	0.49	18.69	0.004	0.02

Table 2 Chemical compositions of cemented carbide tool used(mass%)

	WC	TiC + TaC	Co
K10	92	2	6

Table 3 Face milling conditions

Cutting fluid	Dry
Width of work mm	10
Cutting speed m/min	5, 15, 30, 60, 105, 150, 200, 300
Cutting feed mm/tooth	0.1
Depth of cut mm	0.5
Number of cutting	3

た場合と同様である。すなわち、切削条件はごく初期の凝着状態を評価することを目的として選定した。

2.2.2 凝着性評価方法

凝着性評価方法においても、第1報¹⁾で超硬工具を用いてTi合金を切削した場合と同様とした。その際、Ti合金においては工具すくい面および切りくず上の凝着物の面積和を求め、この面積を凝着パラメータとした。なお、ここでは切りくずが工具すくい面に付着しなかったため、すくい面上の凝着物面積のみを求め、この面積を凝着性評価パラメータとした。

2.3 切削時のモデル実験方法

2.3.1 摩擦圧接方法

切削時の被削材と工具との界面現象をより詳細に検討するためのモデル実験として、プレーキ式の摩擦圧接機を用いて摩擦圧接を行った。試料には接合界面を15 μ mのダイヤモンドペーストで研磨した各Ni基合金（ $\phi 8 \times 60$ mm¹）と超硬合金（ $\phi 10 \times 60$ mm¹）を用いた。各Ni基合金を固定側、超硬合金を回転側とし、表4に示す摩擦圧接条件で行った。なお、摩擦圧接界面観察用の試料は加工時に折損するもののみ、500MPaで6s間アップセットを行った。

2.3.2 摩擦圧接界面観察および元素分析方法

摩擦圧接によって得られた試料を用い、試料を圧接界面から破断させた。その破面について、破断面全面積に対する凝着物の付着面積を凝着面積率として求め、凝着性の評価パラメータとした。なお、凝着物付着面積の測定方法は第1報¹⁾で超硬合金とTi合金とを摩擦圧接した場合と同様とした。また、試料を圧接界面に対して垂直に切断し、その破断面を研磨した後、10%塩酸アルコール中に電圧5Vで5s間浸して電解腐食し、SEMによる組織観察を行った。さらに、加速電圧20kV、ビーム電流20nAでEPMA線分析を行った。このときのEPMAによる分析元素はNi、W、CおよびCoである。

2.4 固相拡散接合方法

2.4.1 接合継手試料作製方法

各Ni基合金と超硬合金の接合性を調査するため、8 $\times$ 6 $\times$ 4.5mm¹の寸法の試料を用いて固相拡散接合を行った。接合は

接合時間を0、540、960および1500sと変化させ、接合温度1473K、接合圧力10MPaとし、その他の条件を第2報²⁾で超硬合金とTi合金とを固相拡散接合した場合と同様とした。また、接合継手試料は接合面に対して垂直に切断し、摩擦圧接界面の観察と同様に接合界面部のミクロ組織観察およびEPMA線分析を行った。

2.4.2 X線回折による反応相の同定方法

接合界面に生成された1種類の層状の反応相を同定するため、接合した試料を界面近傍から界面に対して平行に切断し、Ni基合金および超硬合金以外のピークが得られるまでその切断面を数十 μ mずつ研磨し、その都度X線回折を行った。X線回折は、ターゲットにCuを用い、管電圧40kV、管電流100mAで行った。

2.5 高温4点曲げ試験方法

接合継手の高温強度を調査するため、高温4点曲げ試験を行った。用いた試験片および試験条件は第2報²⁾の場合と同様とし、固相拡散接合して得られた試料を高温4点曲げ試験に供した。接合は圧力13mPa以下の真空中で、接合温度を1373Kとし、反応相の影響を明確にさせるため、接合時間を十分な反応相厚さに達する1500sとした。なお、試験温度は、Ni基合金においても、実際の切削時に工具刃先部の温度が1300K以上に達するとの報告³⁾があることから1373Kを選定した。

3. Ni基合金と超硬工具との凝着性

図1はNi基合金を超硬工具を用いて切削した場合における工具すくい面のSEM観察結果、ならびにEPMA面分析結果を

Fig. 1 Example of reflective electron image and EPMA area analysis on tool surface in the case of Inconel 718 Aging cutting

Table 4 Conditions of friction welding

	Ni / K10	Inconel 600 / K10	Inconel 718 S. T. / K10	Inconel 718 Aging / K10
Rotating speed rpm	3600	3600	3600	3600
Friction time s	0.02, 0.05, 0.2, 0.4	0.02, 0.05, 0.2, 0.4	0.02, 0.05, 0.2, 0.4	0.02, 0.05, 0.2, 0.4
Friction pressure MPa	500	500	500	500
Upset pressure MPa	(500)	(500)	-	(500)
Upset time s	(6)	(6)	-	(6)

Fig. 2 Fractured surface on tool in the case of Ni-base alloys cutting

示したものの一例である。これらの結果から、工具すくい面上の反射電子像において黒く観察される領域と、EPMA面分析によるNiの分析結果がよく一致している。また、図中において模式的に示した工具の摩耗領域も観察された。このような摩耗は、NiおよびInconel 600においては観察されなかったが、Inconel 718 S. T. および Inconel 718 Aging において観察され、Inconel 718の切削が他のNi基合金に比べ厳しいと考えられる。本実験は凝着のごく初期の状態を観察するため、被削材と工具が3回のみ接触する条件で行っており、この摩耗が通常の機械的摩耗であるとは考えにくく、凝着が主要因となって発生したものであると推察される。これらのことから、各Ni基合金切削時には工具への切りくずの付着はマクロ的に観察されなかったが、微視的には凝着が発生していたものと推察される。そこで、図2に示すように、反射電子像において黒く観察される領域について高倍率のSEM観察を行った。これらを見ると、Niにおいてはごくわずかな付着物が観察されるのみで、ほとんどの部分は超硬合金粒子が観察された。一方、インコネル系材料は超硬合金粒子を覆うように被削材が付着していることがわかる。よって、被削材は工具に凝着し、接合されていると判断できる。したがって、第1報において提案したように、付着した被削物を凝着面積として測定することにより、各Ni基合金においてもその凝着性を定性的に評価できると考えられる。図3はその面積を測定することにより、凝着面積におよぼす切削速度の影響を示したものである。この結果から、Niはほとんど凝着を発生させないが、これに比較してインコネル系材料はいずれの切削速度においても凝着面積が著しく大きい。Inconel 600は切削速度が増すにしたがって凝着面積も増加する傾向を示す。一方、Inconel 718 S. T. および Inconel 718 Aging はとも

Fig. 4 Microstructure of fractured surface of friction welding joint between Ni-base alloys and K10

Fig. 3 Relation between adhesion area and cutting speed of Ni-base alloys using K10 tool

に切削速度が増すにしたがって凝着面積も減少する傾向を示す。この時、Inconel 718は、マクロ的にも切削速度が増すにしたがって、切りくずと工具の接触する面積自体が減少する傾向がみられた。各Ni基合金の高温引張強度は、Ni, Inconel 600, Inconel 718の順に高いと言われている⁴⁾。これより、Inconel 718は他のNi基合金より高温強度が高いため、高速切削時の変形は小さいと考えられる。したがって、被削材の高温強度の観点からは、Inconel 718は他の合金に比して凝着面積が小さくなるであろう。しかしながら、図3の結果において、Inconel 718の凝着面積は他のNi基合金に対して大きい。これより、Inconel 718は凝着性が高いと言える。

4. 摩擦圧接を用いた凝着現象の再現

4.1 Ni基合金と超硬合金との摩擦圧接性評価

Ni基合金においても、摩擦圧接により、切削時の凝着現象を再現できると考えられたので、摩擦圧接継手の解析を行った。図4は、摩擦時間0.02sで摩擦圧接した継手の破面について、中心から半径方向に1mmずれた位置で観察した破面の一例である。矢印に示すように、超硬合金側破面には多くのNi基合金が付着しており、Ni基合金側破面には超硬合金粒子が付着していることがわかる。このような観察の結果、実際の切削時と同様、Niについては超硬合金側、Ni側ともほとんど付着物は観察されなかったが、インコネル系材料についてはいずれも図4に示したような付着状態となっていた。よって、ここでもこれら付着物を凝着物とみなし、凝着面積率を求めた。図5は各Ni基合金ごとの凝着面積率を測定した結果を示したも

Fig. 5 Area fraction of adhesion on fractured surface of friction welded joint between Ni-base alloys and K10

Fig. 6 Microstructure of friction welded interface of Ni-base alloys/K10 joint

のである。その結果、Niはほとんど凝着を起こしておらず、インコネル系材料は著しく凝着を起こしている。また、これらインコネル系材料はInconel 600, Inconel 718 Aging, Inconel 718 S. T.の順に凝着性が高くなっており、図3で示した実際の切削時における凝着傾向に定性的にはよく一致している。

このことから、摩擦圧接は切削時の状況を再現していると考えられ、Ni基合金においても被削材の凝着性を比較的簡単に知る一つの方法として有効であると言える。

4.2 摩擦圧接界面の組織および元素分析

図6は各Ni基合金と超硬合金との摩擦圧接界面部の組織の一例として、摩擦時間0.4sにおける観察結果を示したものである。これより、Ni以外のインコネル系材料は、摩擦時間がごく短時間であっても超硬合金とよく密着していることがわかる。また、このインコネル系材料はNi基合金内部にWC粒子が巻き込まれた様子が観察され、摩擦圧接時には過酷な状況下にあったことが推察される。しかし、反応相は観察されなかった。

図7はNi基合金と超硬合金との摩擦圧接界面におけるEPMA線分析結果の一例として、Inconel 718 S. T.の場合について示したものである。界面近傍のNi基合金側で矢印で示したようにCo量のごくわずかに高くなっており、超硬合金側か

Fig. 7 EPMA line analysis of Inconel 718 S. T./K10 joints by friction welding

らNi基合金側へ拡散したと考えられる。その他の元素については拡散したと考えられるような富化領域は観察されなかった。

これらのことから、各Ni基合金はごく短時間の場合であっても超硬合金と密着状態にはなるものの、反応相の生成を伴う元素拡散が発生しているのかについては不明な点が残った。

5. 固相拡散接合による反応性の検討

5.1 Ni基合金と超硬合金との接合界面組織および反応相

摩擦圧接により切削時の凝着性を評価することが比較的容易に行えることが明らかとなった。一方、反応性については不明な点が残るため、ここでは固相拡散接合を用いて検討することにした。図8は接合温度1473K、接合時間0および1500sの場合について接合部組織を示したものである。いずれのNi基合金においても摩擦圧接と同様に、短時間の接合時間0sであっても超硬合金とよく密着しているが、反応相は観察されない。しかし、インコネル系材料については、接合時間を1500sとすると超硬合金内部に接合時間に依存して成長する厚さ2~3μm程度の層状の反応相が観察される。

図9はこれら接合界面のEPMA線分析結果の一例として、層状の反応相が観察された接合時間1500sのInconel 718 S. T.について示したものである。超硬合金側からはWおよびCoがNi基合金側へ拡散し、Ni基合金側からはNiが超硬合金側へ拡散している。超硬合金側界面においては、前述した図8において反応相が観察された領域に2~3μm程度のW、CおよびCoのピークが比較的強く検出された。このような傾向はInconel 600の場合も同様に

Fig. 8 Microstructure of bonded interface of Ni-base alloys/K10 joint

Fig. 9 EPMA line analysis of Inconel 718 S. T./K10 joints by diffusion bonding

Fig. 10 X-ray diffraction patterns near bonded interface of Inconel 718 S.T./K10 joint

なっており、組織観察において見られた反応相厚さともほぼ一致することから、これらのピークが反応相を示しており、反応相はW、CおよびCoから構成されていると考えられる。図10は接合時間1500sのInconel 718 S.T.と超硬合金との接合界面部におけるX線回折結果を示したものである。この結果より、接合界面部にはInconel 718 S.T.マトリックス、η相およびWCのピークが認められた。組織観察の結果から反応相は1種類のみであり、EPMA線分析結果からこの反応相がW、CおよびCoから構成されていることから、接合界面に生成した反応相はη相であると言える。

5.2 反応相の成長

インコネル系材料と超硬合金の固相拡散接合界面部には、反応相としてη相が生成することが明らかとなった。しかし、摩擦圧接界面においては反応相と考えられる相は観察されなかった。そのため、本来、切削時や摩擦圧接のような短時間の接合条件下において、反応相が生成し得るか否かの検討を行うことが重要である。固相拡散接合界面部に観察されたη相の層厚は接合時間の増加に伴って成長する傾向を示した。そこで、図11はインコネル系材料と超硬合金との固相拡散接合部における反応相厚さと接合時間の平方根との関係を示したものである。反応相の成長は接合時間の平方根に比例しており、拡散が成長の支配要因と考えられる。また、この時の速度定数を求めると、Inconel 600が $0.11\mu\text{m/s}^{1/2}$ 、Inconel 718 S.T.が $0.16\mu\text{m/s}^{1/2}$ となる。ここで、第1報で示したように、例えば切削速度105m/minで切削した際の工具と被削材の接触時間を求めると、インコネル系材料も $4.0 \times 10^{-4}\text{s}$ となった。速度定数と接触時間を用いて

Fig. 12 High temperature 4-point bending strength of Ni-base alloys/K10 joint

Fig. 11 Relation between thickness of reaction layer of Inconel alloys/K10 joint and square root of bonding time

反応相厚さを計算すると、Inconel 600が $2.1 \times 10^{-3}\mu\text{m}$ 、Inconel 718 S.T.が $3.2 \times 10^{-3}\mu\text{m}$ となり、Inconel 718の方がη相の成長が速い。これらのことから、切削時や摩擦圧接のような短時間接合条件下においても反応相が生成する可能性はあると考えられる。インコネル系材料の場合は、生成する反応相の大きさがTi合金の場合と比較してあまりに小さいため、摩擦圧接界面部の組織には観察されなかった可能性がある。

5.3 接合継手の高温4点曲げ強さ

Ni基合金と超硬合金の場合においてもTi合金と超硬合金の場合と同様、短時間における接合界面にはごくわずかではあるものの反応相が生成することが示唆された。ここで工具の損傷について考えると、接合状態となったNi基合金と超硬合金がどの位置から破断するかが重大な問題となる。そのため、第2報²⁾で示したように破断位置を詳細に検討するため、接合継手の高温4点曲げ試験を行い、破断機構について検討した。

図12は接合継手の1373Kにおける高温4点曲げ強さを示したものである。この結果より、Inconel 600が最も高い高温4点曲げ強さを示した。また、Inconel 718 S.T.においても、Niと比較すると約2倍の値を示す。このことから、インコネル系材料の高温4点曲げ強さは高い値を示し、接合強度が凝着性に影響を与えていると考えられる。

5.4 高温曲げ試験における接合継手の破断位置

図13は高温4点曲げ試験後の破面について、X線回折を行ったインコネル系材料の結果の一例として、Inconel 718 S.T.側

Fig. 13 X-ray diffraction patterns fractured surface of Inconel 718 S.T./K10 joint

Fig. 14 Microstructure of fractured surface of Ni-base alloys/K10 joint

および超合金側破面について示したものである。これらの結果からわかるように、Inconel 718 S. T. 側、超合金側ともに η 相のピークが検出される。なお、接合界面に反応相を生成しなかったNiについては両破面にはNiのピークが検出された。また、図14は破断起点になったと考えられる破面先端部のSEMによる組織観察結果を示したものである。この結果、Niと超合金では、薄くNiが超合金側に付着している様子が観察され、破断位置はNi内部であることがわかる。一方、インコネル系材料においては、超合金側破面に η 相が観察され、Ni基合金側破面は比較的平滑な状態で付着物は観察されない。しかし、前述した図13に示すように、インコネル系材料の場合、Ni基合金側、超合金側ともに η 相のピークが検出されたことから、破断位置は η 相内部のインコネル系材料と超合金との界面近傍で発生していると考えられる。

6. Ni基合金の場合の凝着による工具損傷機構

各Ni基合金と超合金との接合継手における破断位置が明らかとなった。さらに、各Ni基合金の凝着性の違いが、界面に生成する反応相の有無および成長速度に依存している可能性が示唆された。これらの関係が、切削時における工具の損傷にどのような影響をおよぼしているかについて考察を行った。図15は各Ni基合金と超合金との継手について、高温での破断位置を模式的に示したものである。ここにまとめたように、Niにおける破断位置はNi内部が支配的であると考えられる。インコネル系材料における破断位置は、 η 相内部のインコネル系材料と超合金との界面近傍が支配的であると考えられる。このことより、切削時の工具内部からの破断は工具損傷に直結することから、高温曲げ試験において継手各部の強度が破断位置に影響をおよぼしていると考えられる。同じインコネル系材料でもInconel 600とInconel 718を比較した場合、高温曲げ試験の結果はInconel 600の方が高い値を示した。しかし、実際の切削時を比較するとInconel 718の凝着性が高く、工具損傷も著しい。接合継手の高温曲げ試験では、長時間接合を行い、十分に反応相を成長させ、破断位置を明確にしようと試みたため、 η 相とインコネル系材料との界面強度だけを比較している結果になったと推察される。実際の切削時には界面強度のみならず、被削材の高温強度が影響をおよぼしていると考えられ

Fig. 15 Schematic illustration of fracture position of Ni-base alloys/K10 joint

る。すなわち、試験温度1373Kにおける各Ni基合金の高温強度は不明であるが、高温引張強度はNi、Inconel 600、Inconel 718の順に高くなると予想される。また、Inconel 718はInconel 600と比較して、同じ温度における反応相の成長速度が速く、切削温度もより高温になることが推察されるため、ごく短時間であっても、容易に強固な接合状態になると考えられる。これらのような傾向が各Ni基合金の凝着性の違いとしてあらわれ、Inconel 718は他のNi基合金と比較して工具損傷が著しくなるものと考えられる。

7. 結 論

凝着による工具寿命低下が著しい難削材としてNi基合金を取り上げ、Ti合金の場合に提案した切削実験、摩擦圧接、固相拡散接合および高温4点曲げ試験を行い、凝着性ならびに接合性、界面反応現象および破断形態について調べた結果、以下の結論を得た。

- (1) 切削実験において凝着物面積を測定した結果、凝着が著しいとされるInconel 718の凝着面積は、特に低速切削域では、NiおよびInconel 600と比較して著しく大きくなることがわかった。
- (2) 切削の再現モデル実験として摩擦圧接を行った結果、いずれのNi基合金においても摩擦時間0.4sで接合可能であり、Ni、Inconel 600、Inconel 718 Aging、Inconel 718 S. T.の順に凝着性が高くなっており、切削実験の結果と同様であった。また、摩擦圧接界面部の破面形態は、切削時の工具すくい面の被削材付着状態に酷似していた。
- (3) 固相拡散接合の結果、Inconel 600およびInconel 718と超合金との接合界面に生成する反応相は η 相であることが同定された。また、 η 相は拡散現象がその成長速度の支配要因であり、ごくわずかではあるが短時間の接合条件下においても生成の可能性があることが示唆された。
- (4) 各Ni基合金と超合金との継手において、高温4点曲げ強さはインコネル系材料が高い値を示し、Niの2倍以上の強さを有することがわかった。その際の破断位置はインコネル系材料は層状に生成した η 相内部であり、そのためにインコネル系材料は凝着による工具損傷が著しいと考えられた。その中でもInconel 718は高温における界面強度が高いため、より η 相内部での破断が支配的となり、切削時において著しい工具損傷が発生すると推察された。

参 考 文 献

- 1) 篠崎賢二，生田明彦，増田秀基，山根八洲男，黒木英憲，有年雅敏，深谷保博：難削材切削時の凝着機構に関する基礎的研究（第1報）－各種Ti合金と超硬工具との凝着性評価方法の提案－，精密工学会誌，66，2(2000) 224
- 2) 篠崎賢二，生田明彦，増田秀基，山根八洲男，黒木英憲，深谷保博：難削材切削時の凝着機構に関する基礎的研究（第2報）－各種Ti合金と超合金の固相拡散接合性におよぼす界面反応相の影響－，精密工学会誌，66，3(2000) 414
- 3) 板倉勝利，有浦泰常，黒田基文，重川英文，山本恵一，猪谷彦太郎：超耐熱合金インコネル718の切削加工におけるコーテッド超硬工具の摩耗機構，精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集，(1999) 494
- 4) ASM Handbook Committee: Metals Handbook Ninth Edition, Vol. 3 Properties and Selection: Stainless Steels, Tool Materials and Special-Purpose Metals, AMS for Metals(1980)