

主催: 東京大学 生産技術研究所 先進ものづくりシステム連携研究センター

日時: 2014年10月17日(金)

会場: 東京大学 生産技術研究所 コンベンションホール

第2回 CMIシンポジウム

～新しい切削加工技術の展開～

難削材切削の基本戦略

と

新技術の動向

元 三菱マテリアル(株) 筑波製作所 切削加工技術顧問
高度職業能力開発促進センター 非常勤講師

狩野 勝吉

== 主な内容 ==

1. はじめに＝「切削加工の支配要因」と「切削現象の見える化」
2. 難切削現象を的確に把握せよ！
 - 2.1 加工硬化が生じやすい特性と難切削現象
 - 2.2 工具材料との高親和特性と難切削現象
 - 2.3 熱伝導率が小さい特性と難切削現象
 - 2.4 高温強度が大きい特性と難切削現象
3. 切削加工の基本戦略
 - 3.1 最適な工具材種を選べ！
 - 3.2 切削工具の切れ刃形状は最適なものを選べ！
 - 3.3 切削条件は適正に設定せよ！
4. チタン合金, 超耐熱合金切削における最適工具材種の選び方
 - 4.1 Waspaloy切削での工具材料の種類別の工具損傷形態
 - 4.2 Ti-6Al-4V 切削と最適工具材種の切削性能特性
 - 4.3 Inconel718切削と最適工具材種の切削性能特性
5. 難削材切削の新技术動向＝超耐熱合金の切削
 - 5.1 コーテッド超硬合金の切削性能の進化
 - 5.2 セラミックス工具による旋削加工の高速化事例
 - 5.3 セラミックス工具による超高速正面フライス切削の試み

1.はじめに＝「切削加工の支配要因」と「切削現象の見える化」

*切削加工の支配要因

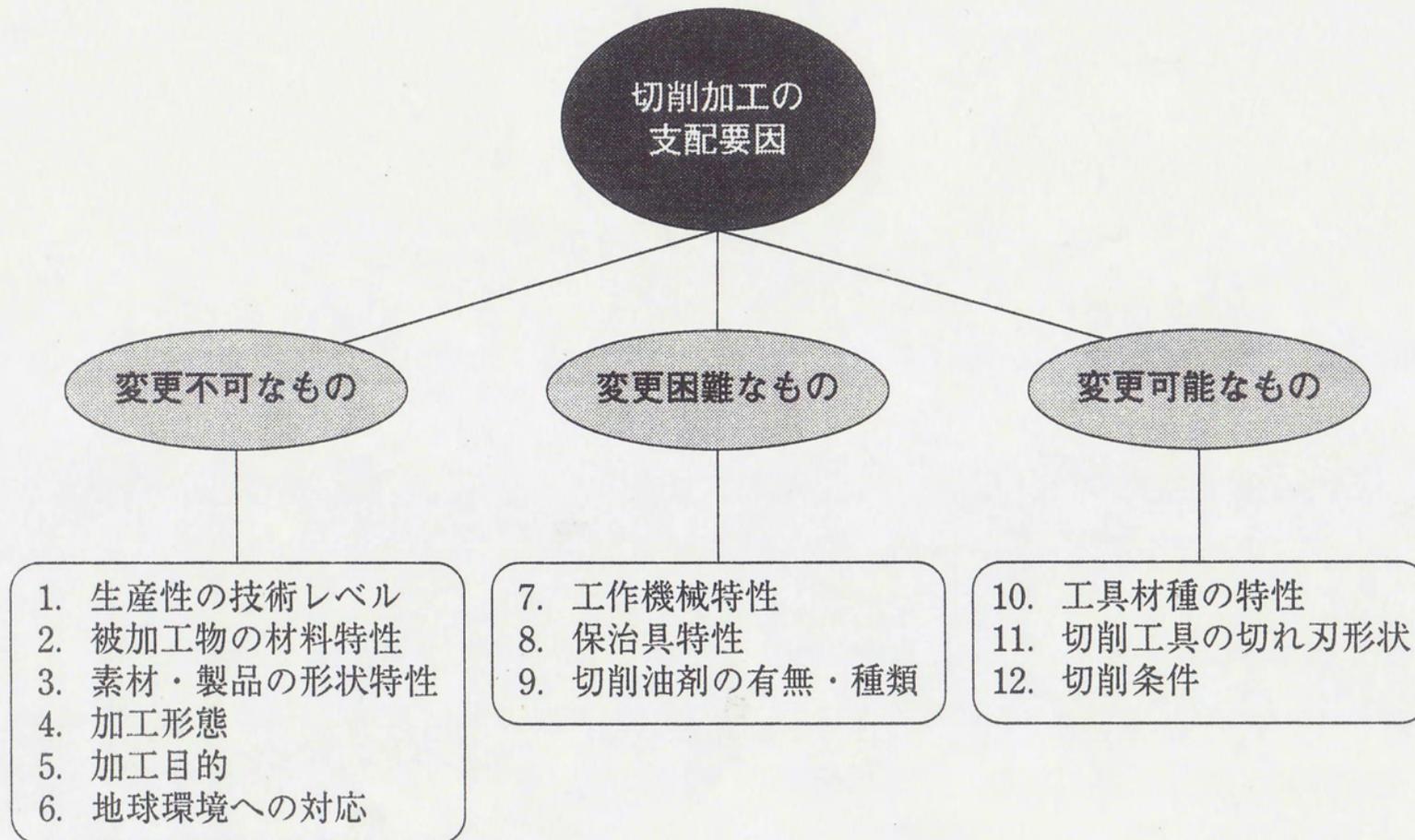


Fig1 切削加工の支配要因の分類⁸⁾

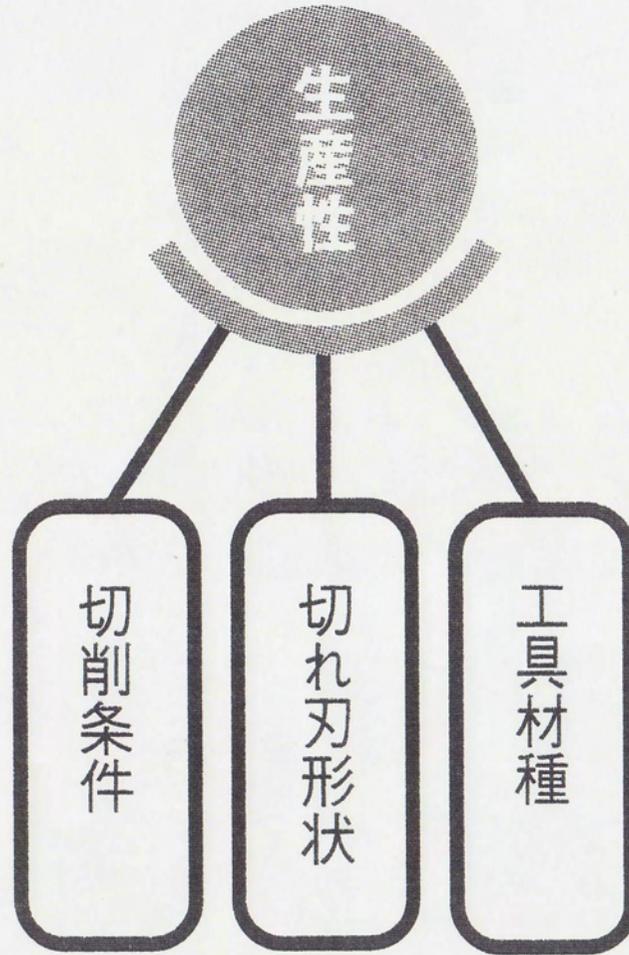
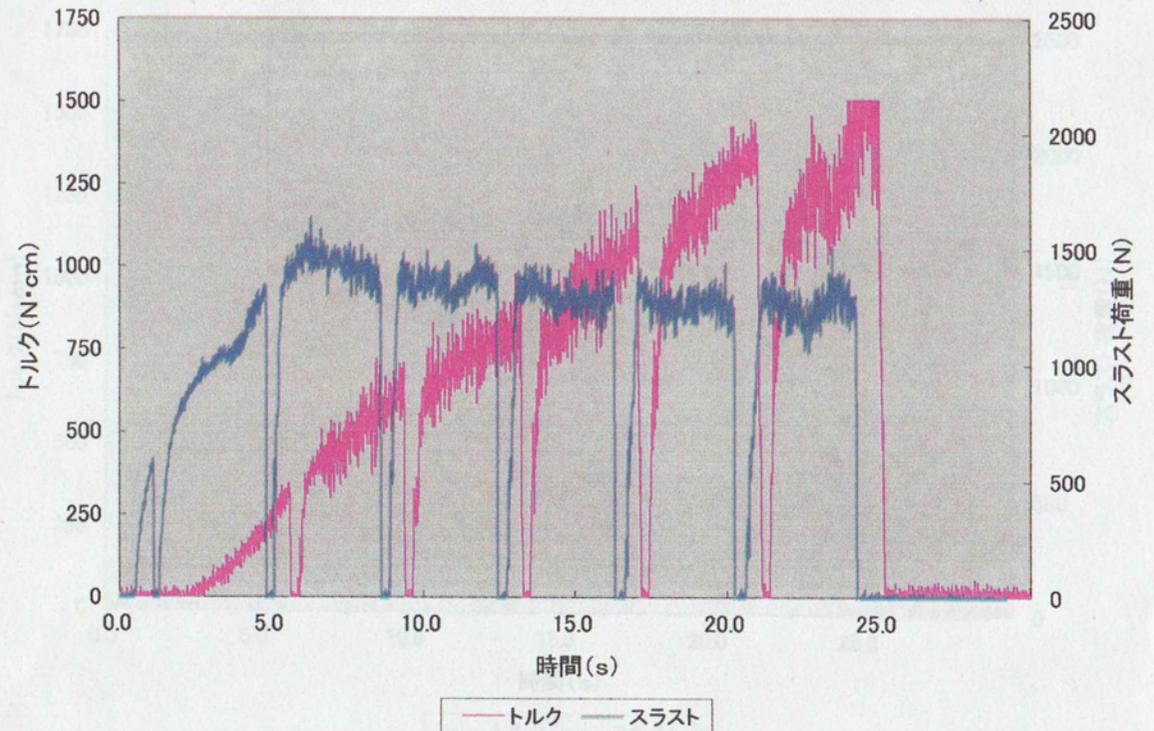


Fig2 高生産性を支える切削工具と切削条件

* 切削現象の見える化



Fig3 チタン合金のドリル切削における切りくず詰まり現象⁷⁾



切削条件： $v_c = 12\text{m/min}$ 、 $f = 0.12\text{mm/rev}$
穴深さ $L = 15\text{mm}$ 止まり穴 ($L/D = 3$)
ステップフィード $= 2.5\text{mm}$
内部給油 (水溶切削油剤)

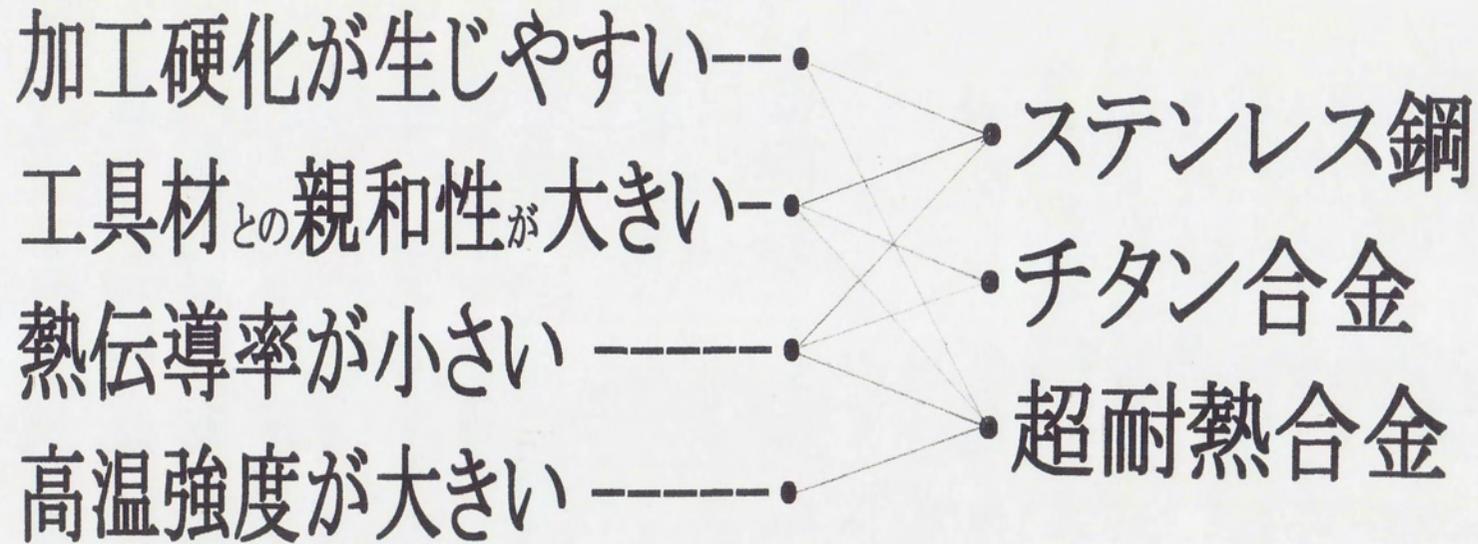
Fig4 チタン合金のドリル切削での切りくず詰まりによる切削トルクの増大事例
(通常ステップフィード切削でのトラブル事例)⁷⁾

2. 難切削現象を的確に把握せよ！

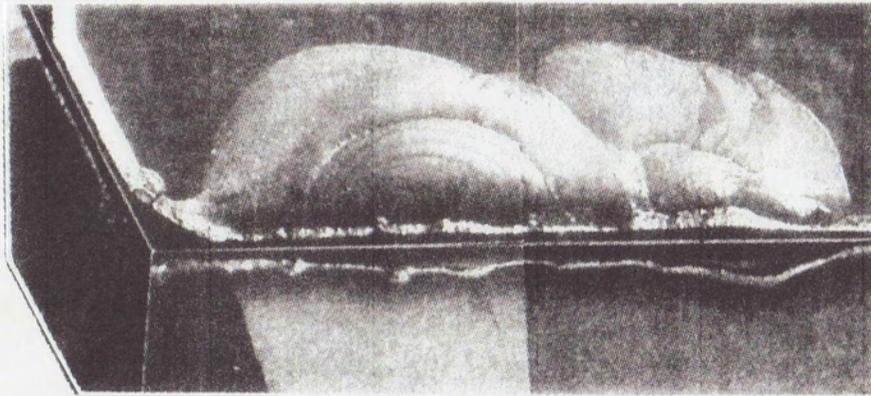
- 2.1 加工硬化が生じやすい特性と難切削現象
- 2.2 工具材料との高親和特性と難切削現象
- 2.3 熱伝導率が小さい特性と難切削現象
- 2.4 高温強度が大きい特性と難切削現象

航空機関連材料と難切削特性

* ステンレス鋼と航空機関連材料の難切削現象を引き起こす材料特性



2.1 加工硬化が生じやすい特性と難切削現象



被削材：ハステロイ C-276
 切削工具：正面フライス：P425R0506E
 工具材種：超合金 M20 (UTi20T)
 切削条件： $v_c=60.8\text{m/min}$ 、 $a_p=7.0\text{mm}$ 、 $f_z=0.152\text{mm/tooth}$ 、
 $a_e=40\text{mm}$ 、センターカット、加工長=960mm、
 切削油剤(エマルジョン)

Fig5 Ni 基超耐熱合金ハステロイ C-276 の正面フライス
 切削における切りくず噛み込みによる切れ刃すくい
 面のフレーキング損傷¹⁰⁾

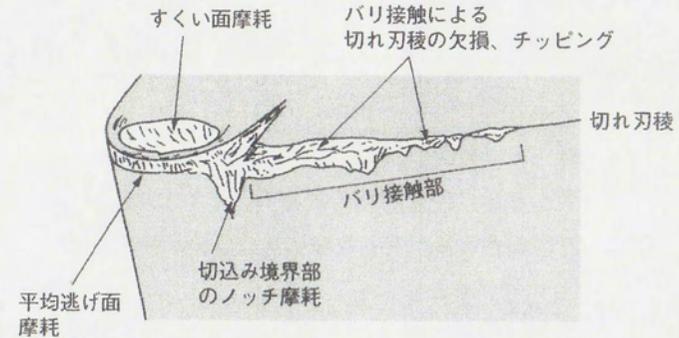


Fig6 ステンレス鋼旋削加工で切込み境界部のノッチ
 摩耗で生じたバリが接触して切込み境界部後方が異
 常損傷したときの切れ刃のスケッチ²²⁾

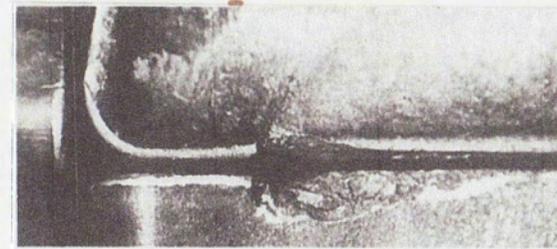
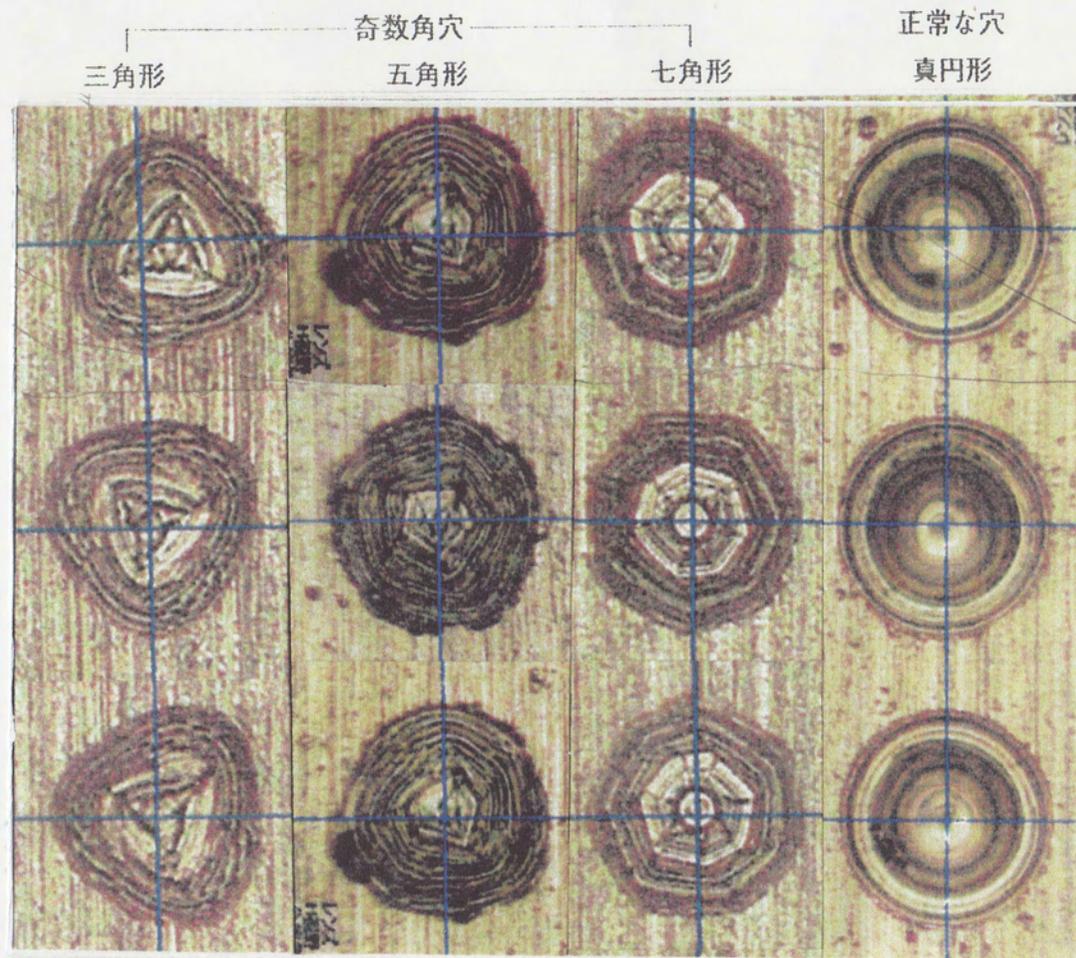


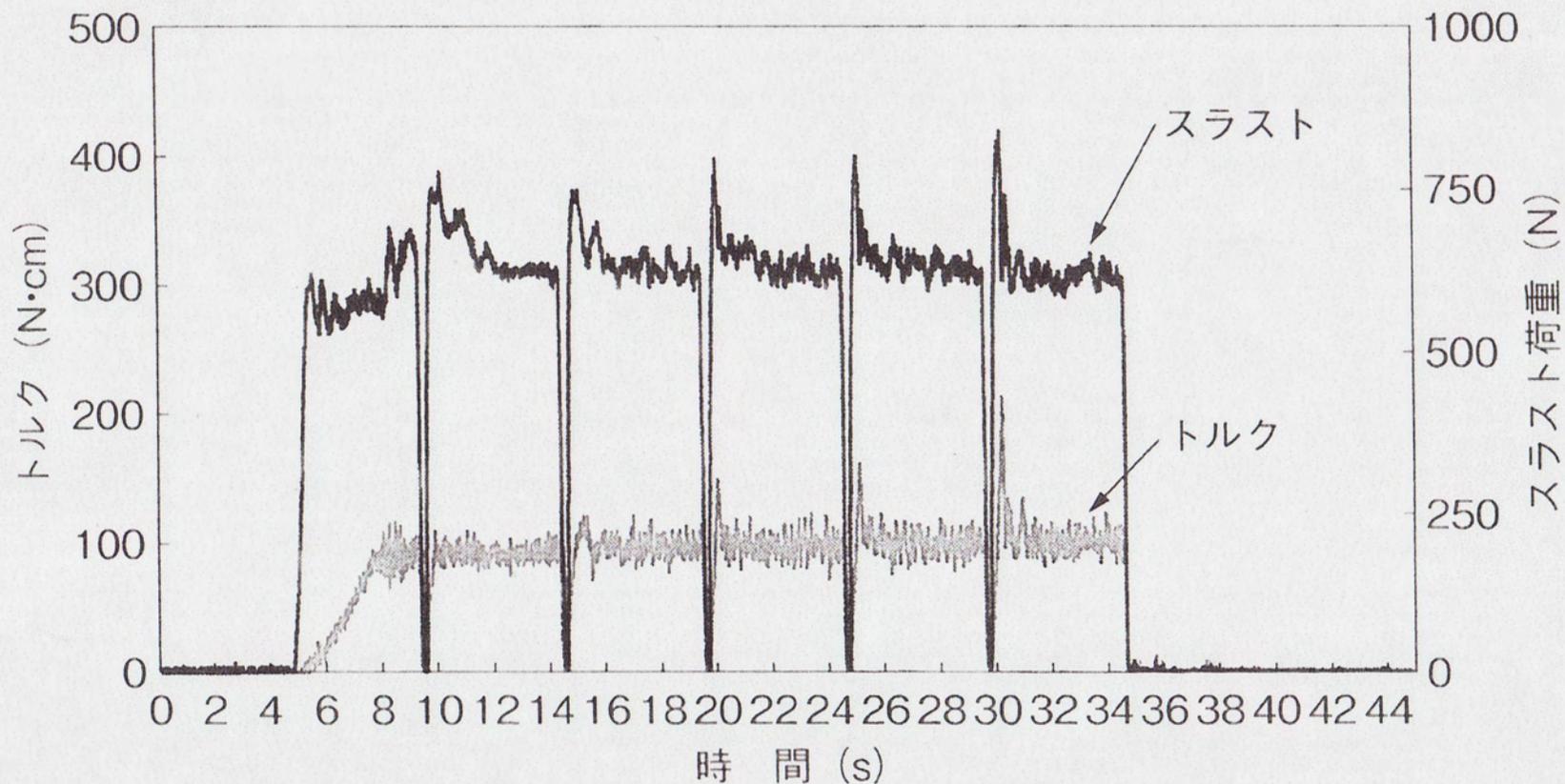
Fig7 ステンレス鋼旋削加工で切込み境界部のノッチ
 摩耗で生じたバリが接触して切込み境界部後方
 の切れ刃稜が傷んだ切れ刃異常損傷の例²³⁾



*ガイド穴ドリル
 $n = 10,000 \text{ min}^{-1}$
 $v_f = 5.0 \text{ mm/min}$
 MQL使用

*本加工ドリル $\phi 0.35 \text{ mm}$
 $n = 15,000 \text{ min}^{-1}$, $v_c = 16 \text{ m/min}$
 $v_f = 50 \text{ mm/min}$, $f = 0.004 \text{ mm/rev}$
 MQL使用

Fig8 微小径ドリル ($\phi 0.35 \text{ mm}$) による
 SUS 304 の穴切削での奇数角穴と真円穴の再現性 (2穴ずつ)³⁾



被削材：SUS304

切削工具：ハイスドリル、 $\phi 6.0\text{mm}$ 、EX-SUS-GDR

切削条件： $v_c=12\text{m/min}$ 、 $f=0.12\text{mm/rev}$ 、ステップフィード=3mm
 穴深さ $L/D=3(18\text{mm})$ 、Wet (水溶性)

Fig9 ステンレス鋼のドリル切削のステップフィードとトルク、スラストの変化³⁾

2.2 工具材料との高親和性特性と難切削現象

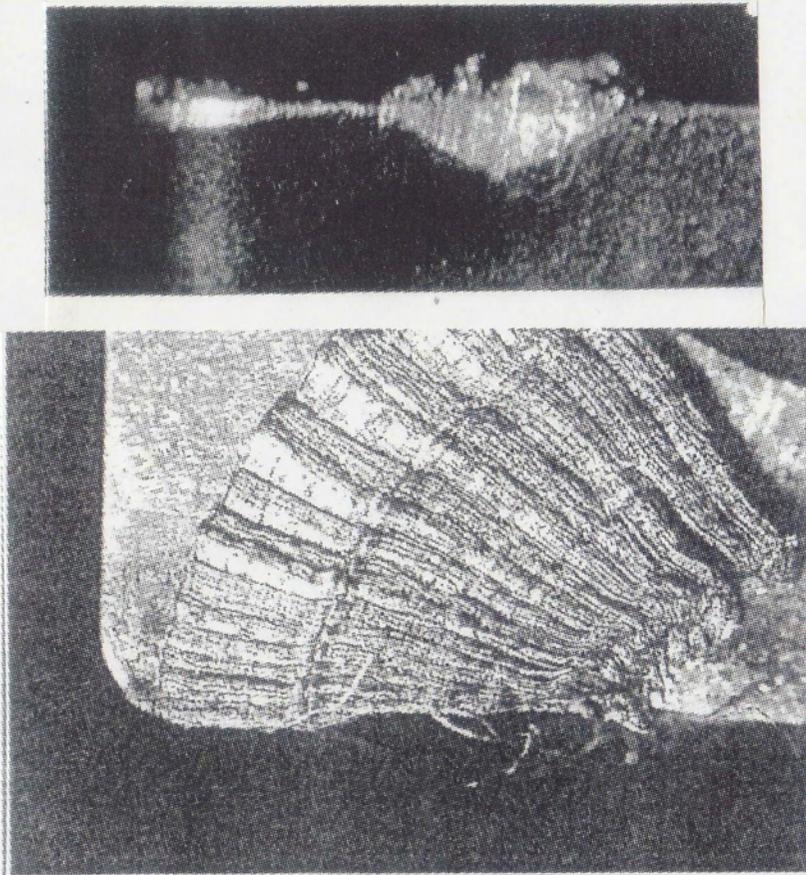


Fig10 ステンレス鋼 SUS 304 の旋削での切れ刃への切りくず溶着現象⁴⁾

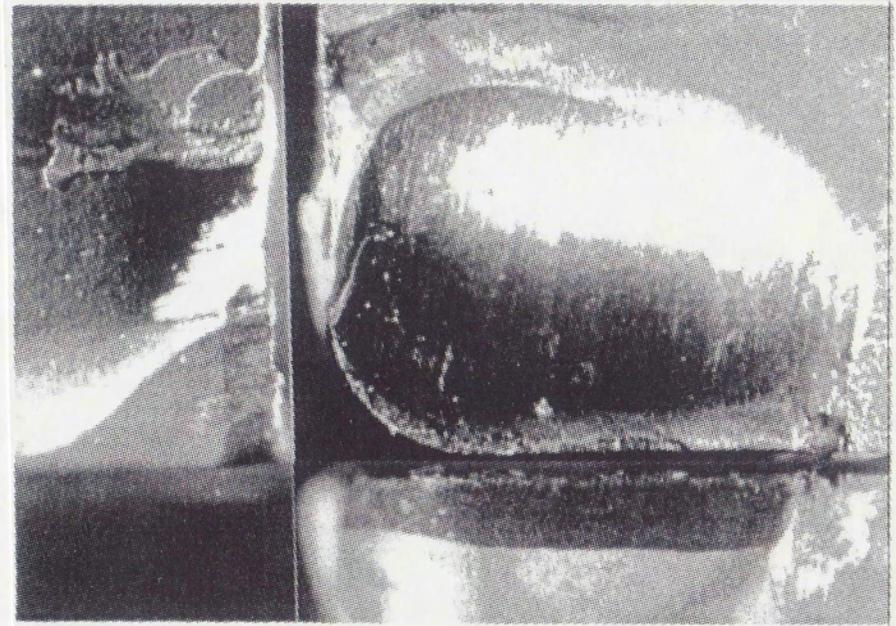


Fig11 ステンレス鋼 SUS 304 の高速旋削加工での切れ刃すくい面の拡散摩耗（クレータ摩耗）と前切れ刃部の酸化摩耗¹⁰⁾

2.3 熱伝導率が小さい特性と難切削現象

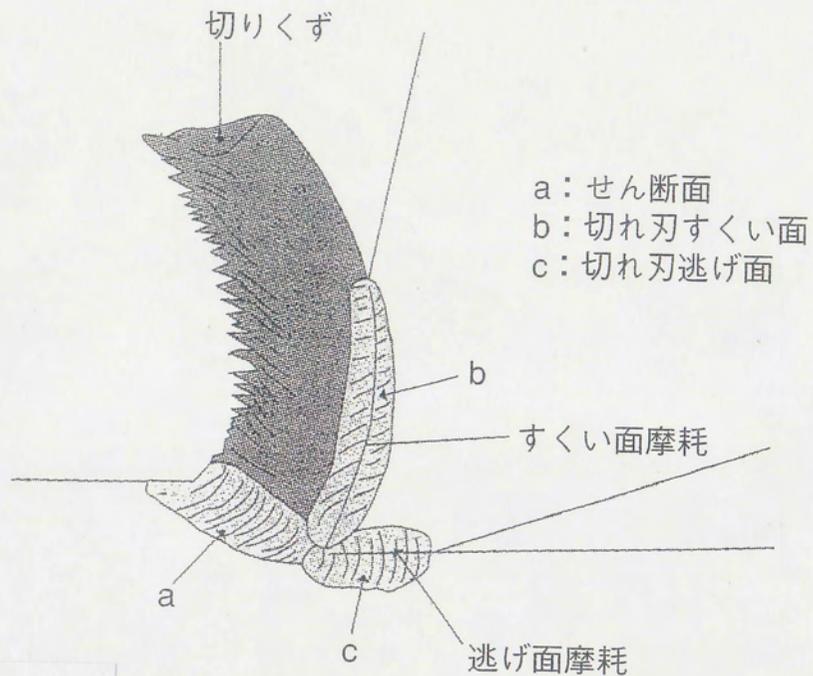


Fig12 切削加工での切りくず生成と切削熱の発生部位¹²⁾

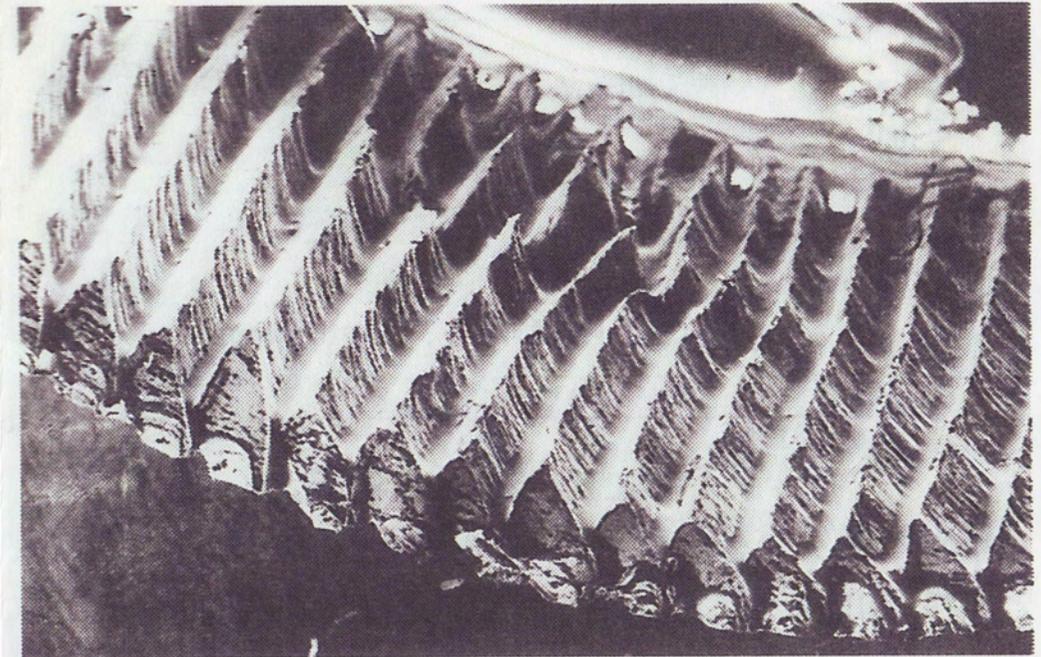
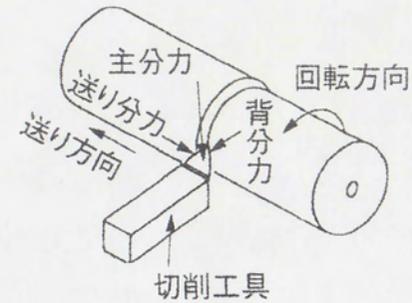
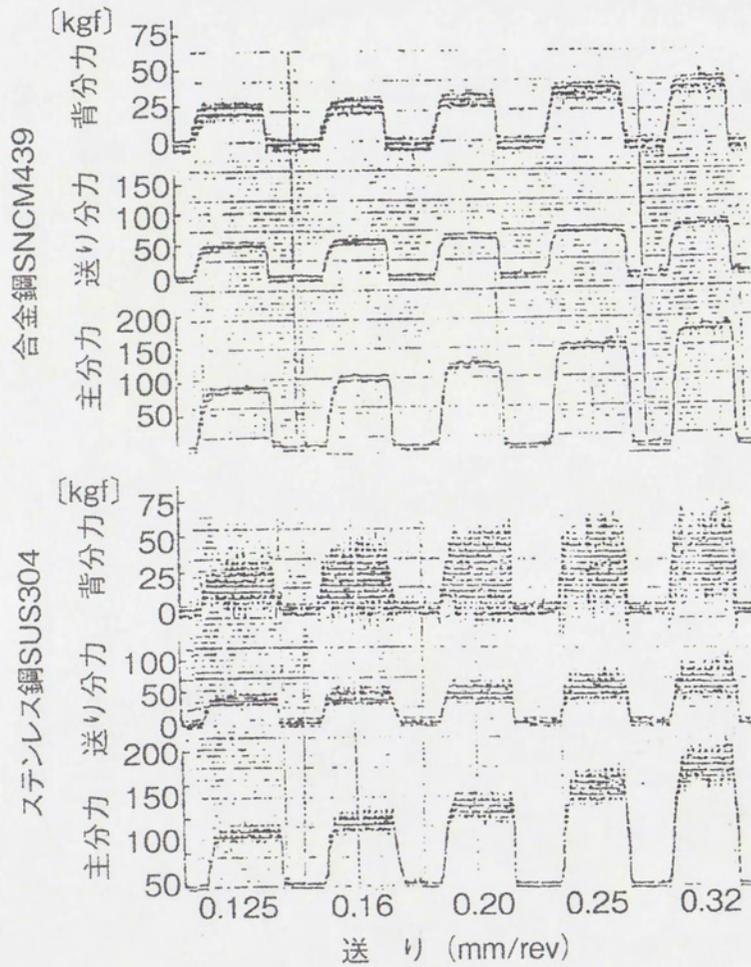
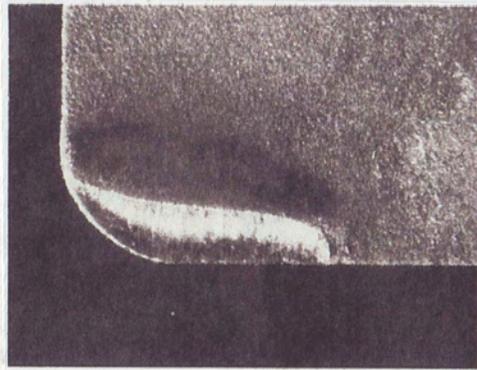


Fig13 Ti-6Al-4V の鋸歯状切屑

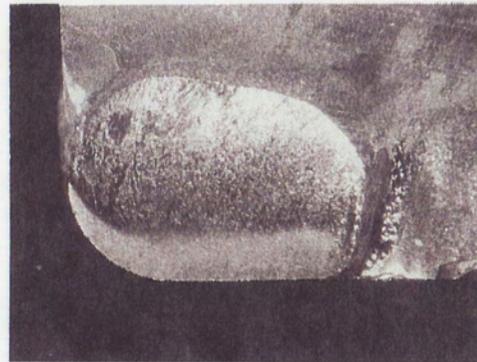


被削材：SUS304、180HB
 SNCM439、260HB
 切削工具：CSBNR2525M12、SNMG120408
 工具材種：超硬合金 M20 (UTi20T)
 切削条件： $v_c=53\text{m/min}$ 、 $a_p=2.0\text{min}$ 、 $f=\text{var. mm/rev}$ 、Dry

Fig14 旋削加工におけるステンレス鋼 SUS 304 と合金鋼 SNCM 439 の切削抵抗の3分力測定チャートの波形²⁹⁾



(1) チタン合金 Ti-6Al-4V



(2) 合金鋼 SCM440



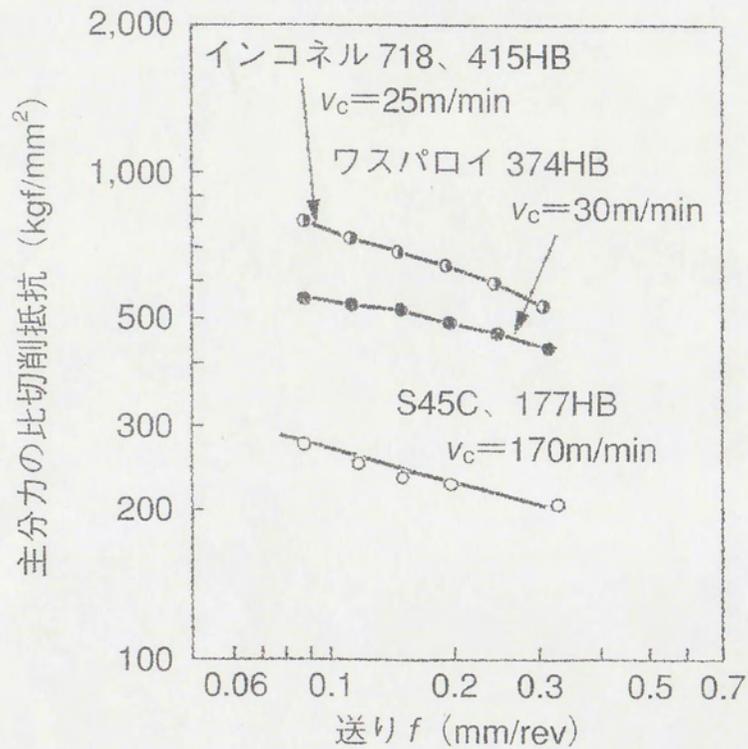
Fig15 チタン合金 Ti-6 Al-4 V と合金鋼 SCM 440 を切削したときに発生するクレータ摩耗特性の比較
(上：工具摩耗形態、下：摩耗形態断面の測定チャート)²⁾



被削材：チタン合金 Ti-6Al-4V、310HB
 切削工具：PTG NR2525M22、TNGG220408
 工具材種：超硬合金 S10 (HTi10)
 切削条件： $v_c=60\text{m/min}$ 、 $a_p=5.0\text{mm}$ 、 $f=0.106\text{mm/rev}$ 、 $t=15\text{min}$ 、切削油剤(水溶性)

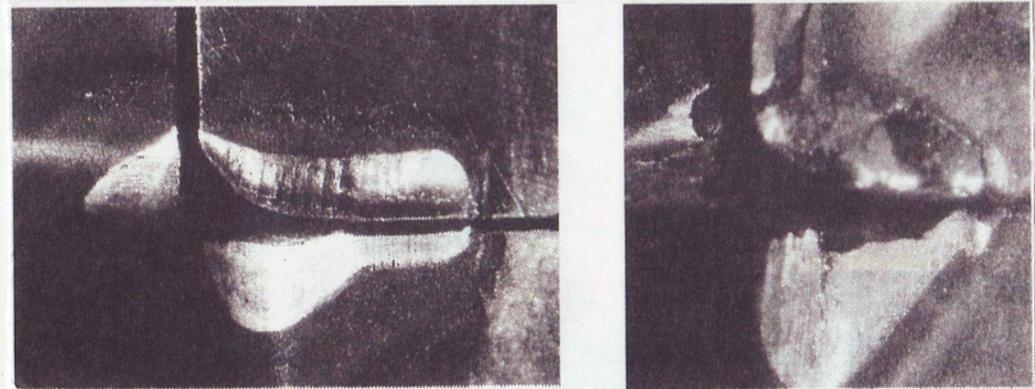
Fig16 チタン合金 Ti-6 Al-4 V の旋削でのクレータ摩耗による切れ刃稜の欠落損傷²⁾

2.4 高温強度が大きい特性と難切削現象



切削工具：CSBNR2525M43、SNGN120408
 切削条件： $a_p = 2.0 \text{ mm}$ 、Wet（水溶性）

Fig17 Ni基超耐熱合金インコネル718とワスパロイの旋削加工での比切削抵抗（比較炭素鋼S45C）²⁾



切れ刃の塑性変形

ノーズ部切れ刃の摩滅

インコネル718、K10、 $v_c = 60 \text{ m/min}$ 、 $a_p = 2 \text{ mm}$ 、 $f = 0.2 \text{ mm/rev}$ 、 $t = 2 \text{ min}$ 、Wet

ハステロイB-2、コーテッド超硬 $v_c = 40 \text{ m/min}$ 、 $a_p = 2 \text{ mm}$ 、 $f = 0.15 \text{ mm/rev}$ 、 $t = 4 \text{ min}$ 、Wet

Fig18 Ni基超耐熱合金の旋削加工における切れ刃の塑性変形と摩滅³⁾

3. 難削材切削の基本戦略

3.1 最適な工具材種を選べ！

難削材切削では特に重要。不適な工具材種を選択してしまうと、その後で切れ刃形状の選択や切削条件の設定で努力してもリカバリーは不可能。

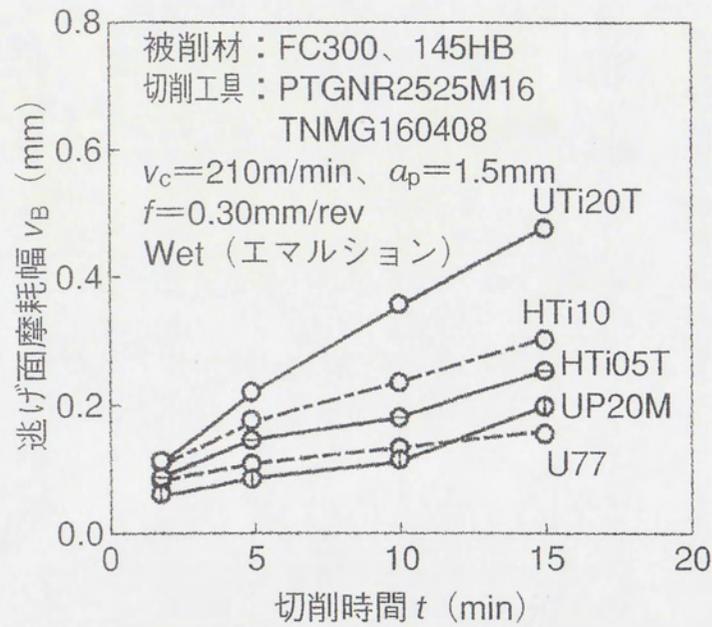
3.2 切削工具の切れ刃形状は最適なものを選べ！

最適な工具材種の選択に成功しても、切れ刃形状が不適だと工具材種のすぐれた特性を引き出すことは不可能。

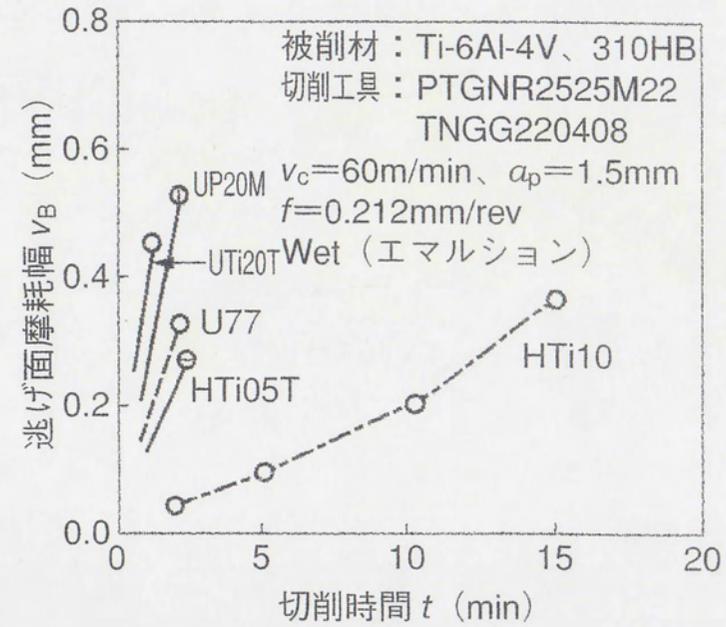
3.3 切削条件は適正に設定せよ！

最適な工具材種と切れ刃形状を選択しても、切削条件が不適だと、すべての努力が報われなくなる。

3.1 最適な工具材種を選べ！



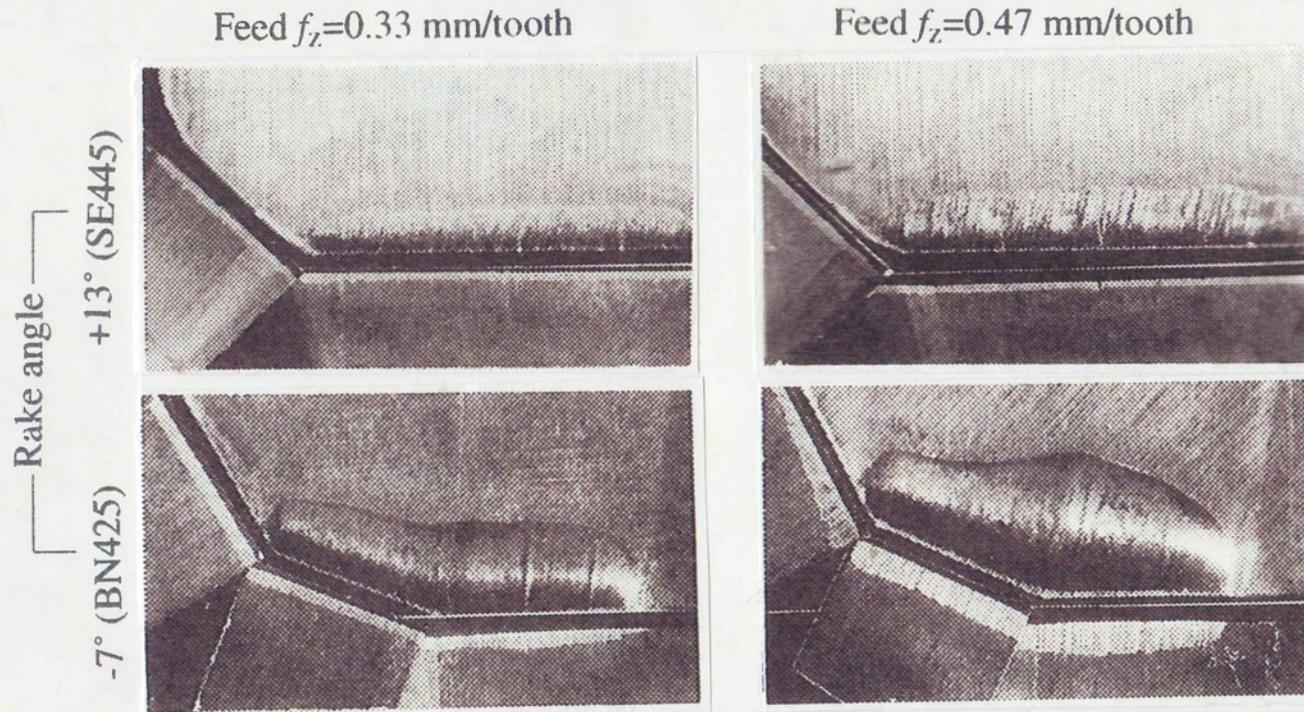
ねずみ鋳鉄 FC300, 145HB の切削データ



チタン合金 Ti-6Al-4V, 310HB の切削データ

Fig19 5種類の同一工具材種によるねずみ鋳鉄FC300とチタン合金Ti-6Al-4Vの旋削加工における工具摩耗進行の差異

3.2 切削工具の切れ刃形状は最適なものを選び！



Workpiece : Alloy steel, AISI 4340(279HB)

Tool : ϕ 160 mm

Insert no. : Single

Tool grade : UTi20T

Conditions : $v_c=126$ m/min., $a_p=3.0$ mm, $a_e=90$ mm,

Centre cut, Dry

Cutting length : 3 m

Fig20 Differing rake angles and tool wear comparison

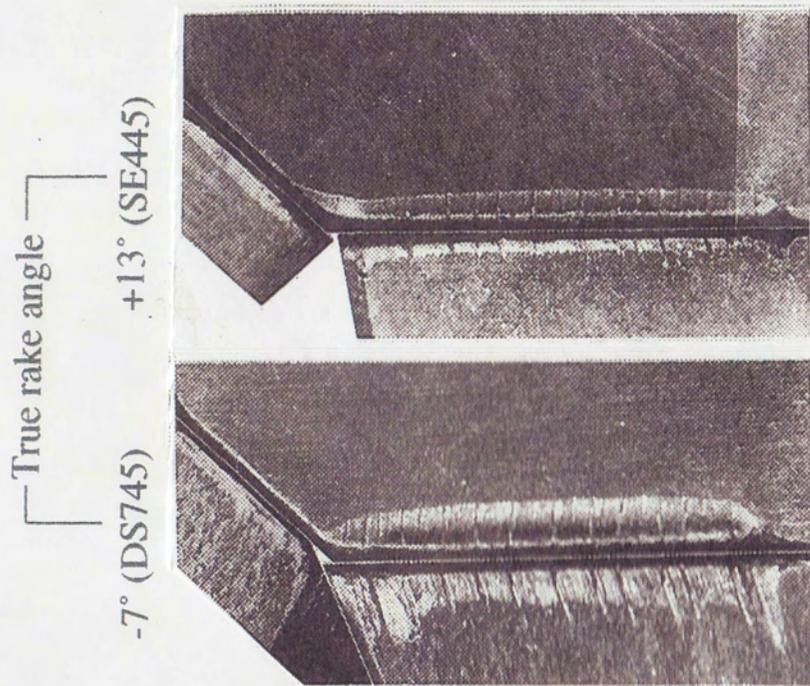


Fig21 Facemill cutting edge geometry and tool damage in stainless steel machining

Workpiece : Stainless steel, ISO 11 (165HB)

Tool diameter : ϕ 125 mm

Tool grade : UTi20T

Tool design :

	AR	RR	I	T	CH
DS745	+9°	-17°	+13°	-7°	45°
SE445	+19°	-2°	+15°	+13°	45°

AR : Axial rake angle, RR : Radial rake angle

I : Cutting edge inclination angle, T : True rake angle

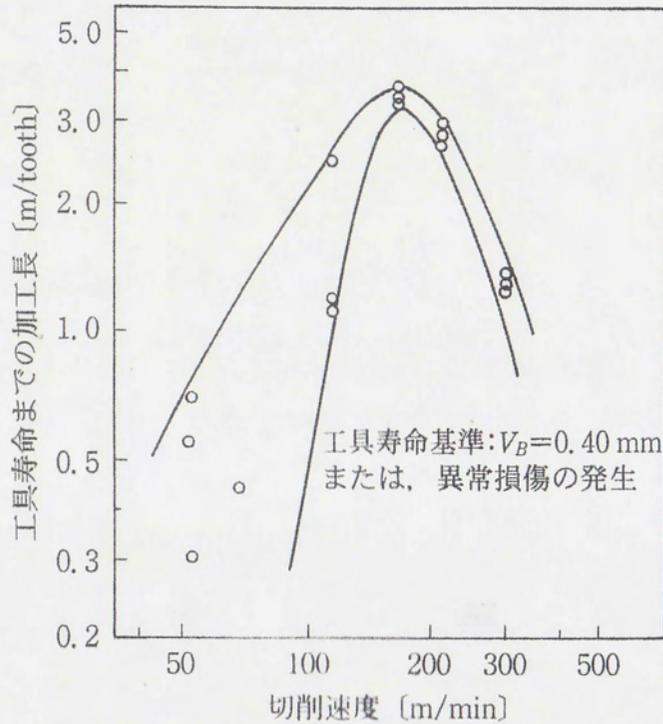
CH : Corner angle

Conditions : $v_c=210$ m/min., $a_p=3$ mm

$f_z=0.20$ mm/tooth, $a_e=110$ mm

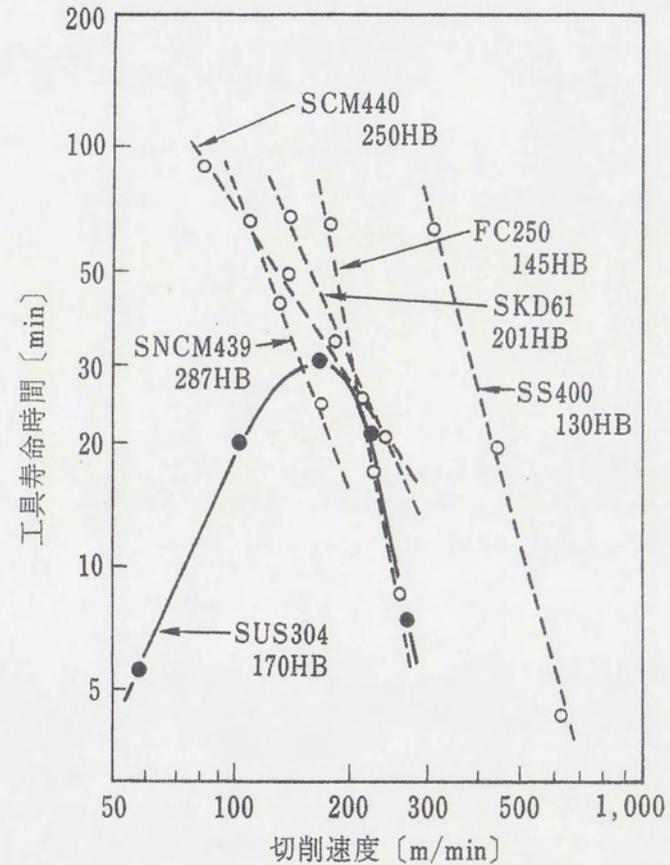
$t=18$ min., Dry

3.3 切削条件は適正に設定せよ！



被削材：ステンレス鋼 SUS304, 170HB
 正面フライス：SE445R0506E
 SECN1203AFTN1
 切削条件： $a_p=3.0$ mm, $a_e=100$ mm
 センタカット
 $f_z=0.20$ mm/tooth, Dry
 (同一切削条件にて3回の繰り返し切削テスト)

Fig22 ステンレス鋼 SUS304 の正面フライス切削における切削速度と工具寿命のばらつき関係 (青木ほか³⁾)

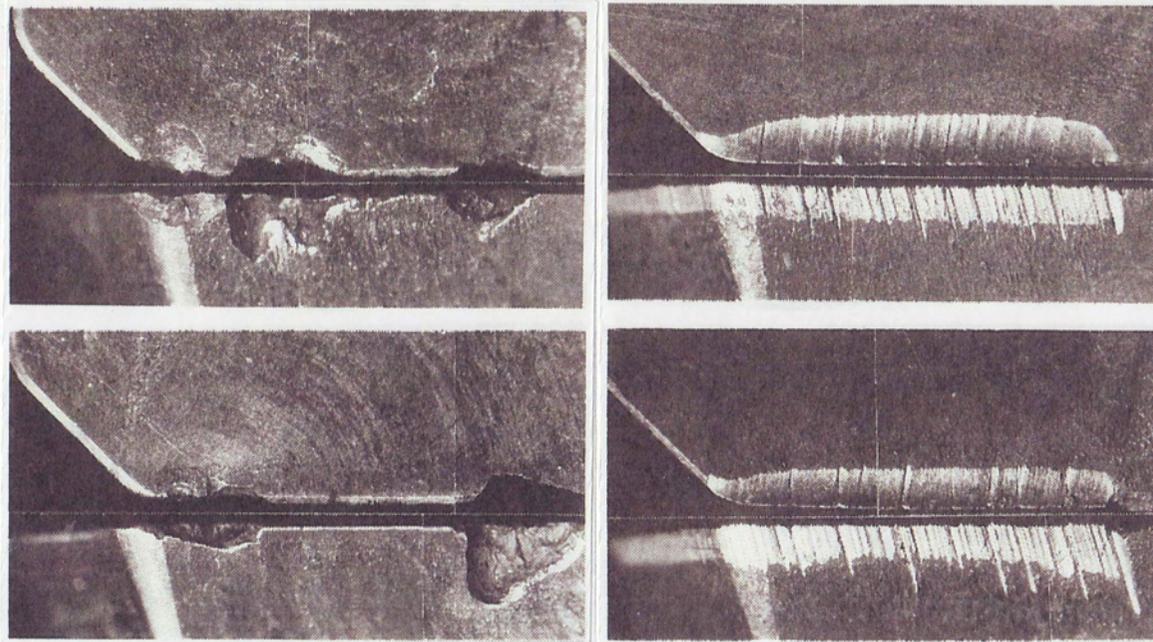


正面フライス：SE445R0506E
 SECN1203AFTN1
 工具材種：UTi20T (SS400, SCM440,
 SUS304, SNCM439, SKD61)
 HTi10 (FC250)
 切削条件： $a_p=3.0$ mm, $a_e=110$ mm
 センタカット
 $f_z=0.20$ mm/tooth, Dry

Fig23 正面フライス切削におけるステンレス鋼 SUS304 と他の被削材質の V-T 線図の比較

$v_c=53$ m/min.
 $t=5$ min.

$v_c=212$ m/min.
 $t=30$ min.



Workpiece : Stainless steel, ISO 11

Tool : Facemill SE445R0506E,

Insert SEEN42AFTN1, Grade UTi20T

Conditions : $a_p=3$ mm, $f_z=0.2$ mm/tooth, $a_c=110$ mm

Centre cut, Dry

Fig24 Wear and abnormal damage for face milling stainless steel at high and low cutting speed

4. チタン合金, 超耐熱合金切削における最適工具材種の選び方

4.1 Waspaloy切削での工具材料の種類別の工具損傷形態

* Sグレードが適する(WC-Co系組成)

4.2 Ti-6Al-4V切削と最適工具材種の切削性能特性

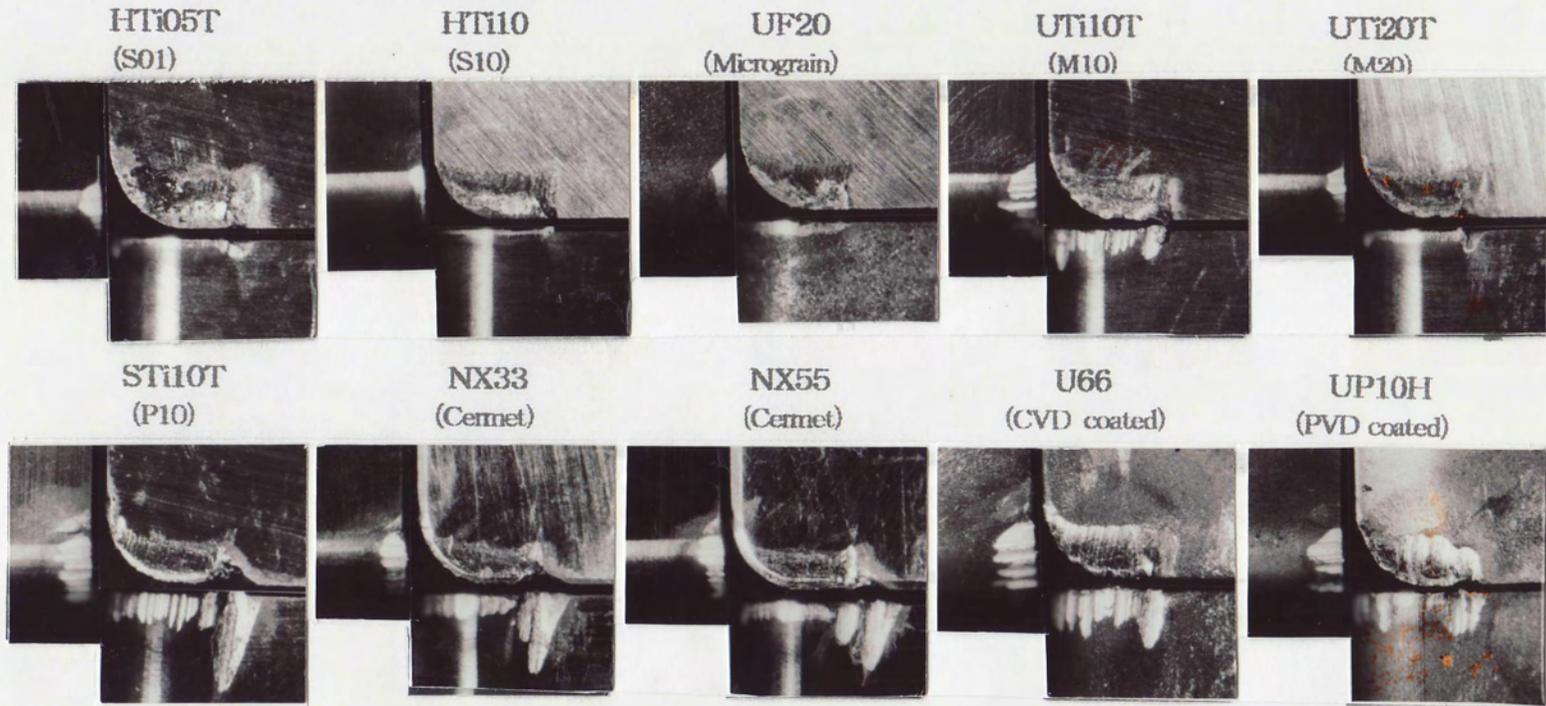
* 工具摩耗性が正常で工具損傷が進行しても切れ刃稜の鋭利性が保たれていること。

4.3 Inconel718切削と最適工具材種の切削性能特性

* 工具摩耗性が正常で主切れ刃部が損傷しても切れ刃稜が鋭利でノッチ摩耗が発生しにくいこと。

4. チタン合金, 超耐熱合金切削における最適工具材種の選び方

4.1 Waspaloy切削での工具材料の種類別の工具損傷形態



Tool Materials: Cemented Carbide: HTi05T, HTi10, UF20 (micro-grain), UTi10T, UTi20T, STi10T Cermet: NX33, NX55
Coated Cemented Carbide: U66 (CVD), UP10H (PVD)

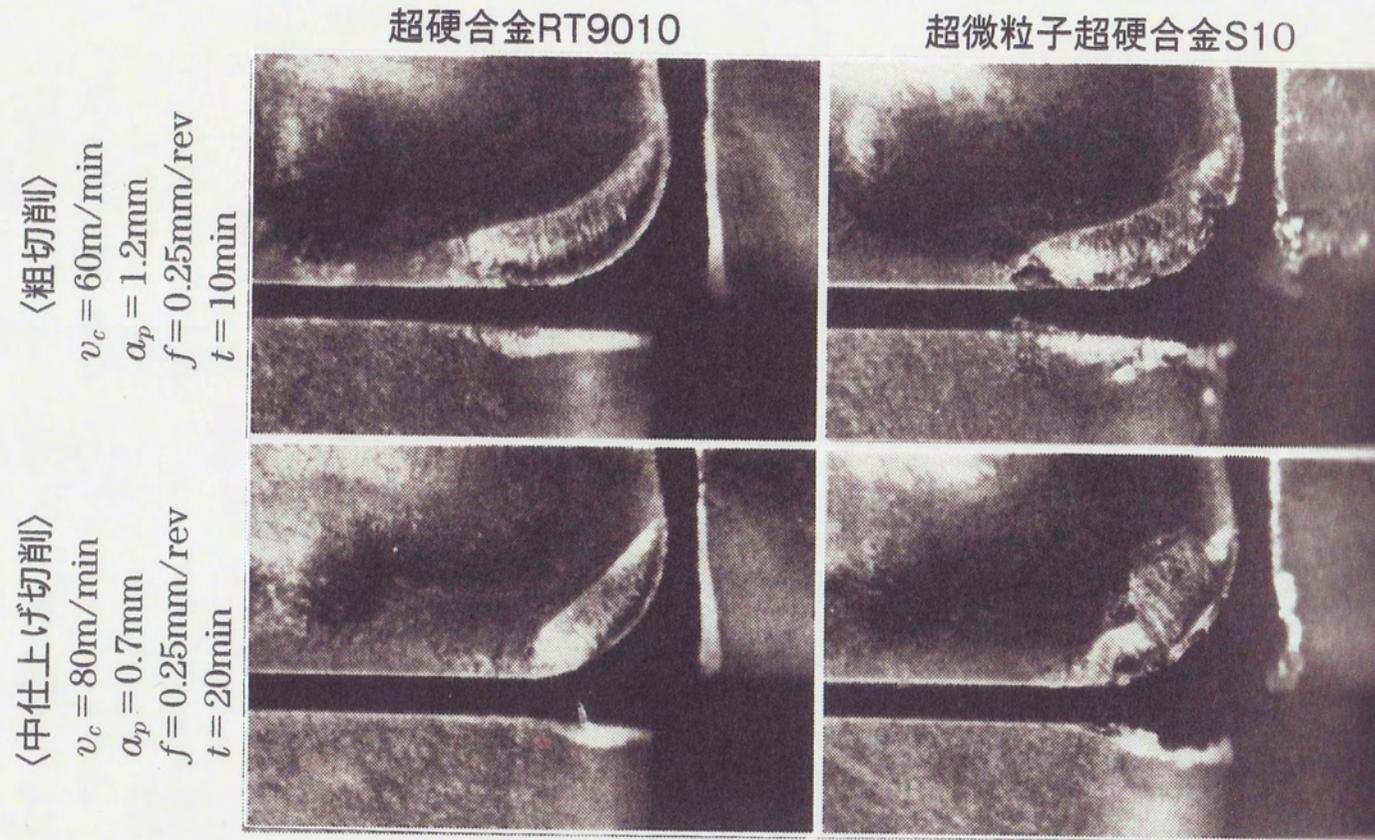
Work Piece: Waspaloy (Solution Treated & Aged), 374HB
Tool Geometry: CSBNL2525M43, SNGN120408

Cutting Conditions:
Cutting Speed (vc) = 25 m/min, Cutting Fluids = WSO
Feed Rate (f) = 0.10 mm/rev, Cutting Time (t) = 5 min.

Fig25 超耐熱合金 Waspaloy の旋削加工における工具材料別の工具損傷形態

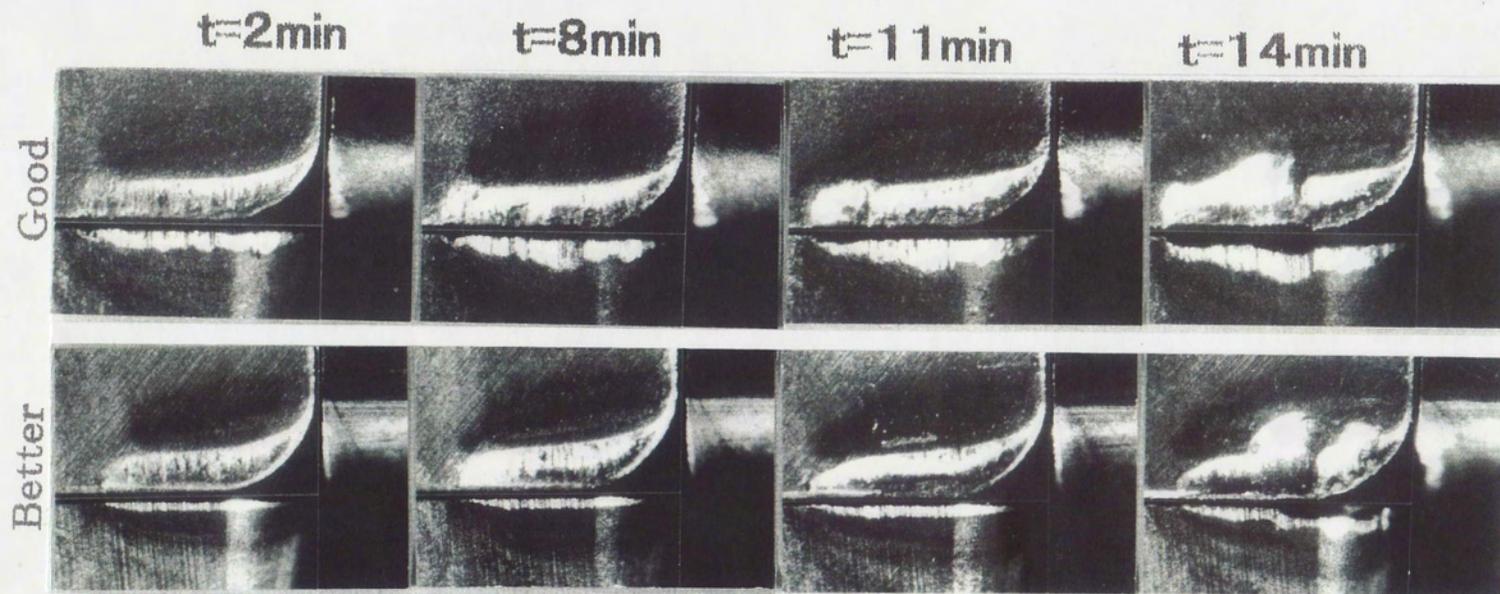
4.2 Ti-6Al-4V 切削と最適工具材種の切削性能特性

* 工具摩耗性が正常で工具損傷が進行しても切れ刃稜の鋭利性が保たれていること。



被削材：チタン合金Ti-6Al-4V、305HB
切削工具：PCLNL2525M12、CNMG1204GJ
切削条件：Wet（水溶性）

Fig26 チタン合金 17 の旋削加工における超硬合金 RT 9010 と通常 S 10 工具材種の工具損傷形態の比較⁵⁾



Work Piece: Titanium Alloy Ti-6Al-4V(Aged),310HB

Tool: CSBPL2525,SPMN120308

* Tool Materials: Cemented Carbide S Grade)

Cutting Conditions:

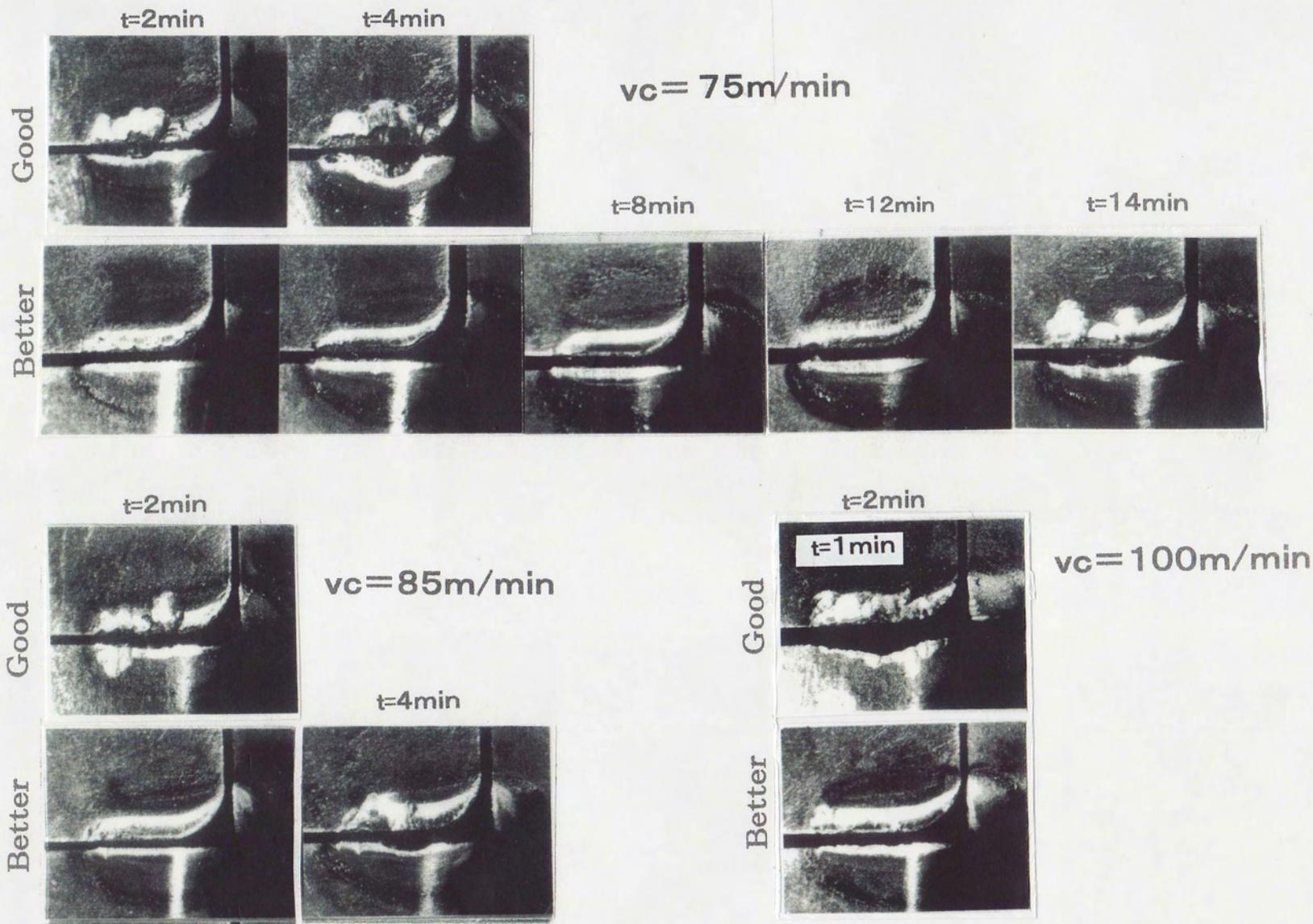
Cutting Speed (vc)=70m/min

Depth of Cut (ap)=1.5mm

Feed Rate (f)=0.20mm/rev,

Cutting Fluids=WSO

Fig27 チタン合金 Ti-6Al-4V の旋削加工における工具材種の特性と工具損傷の進行過程



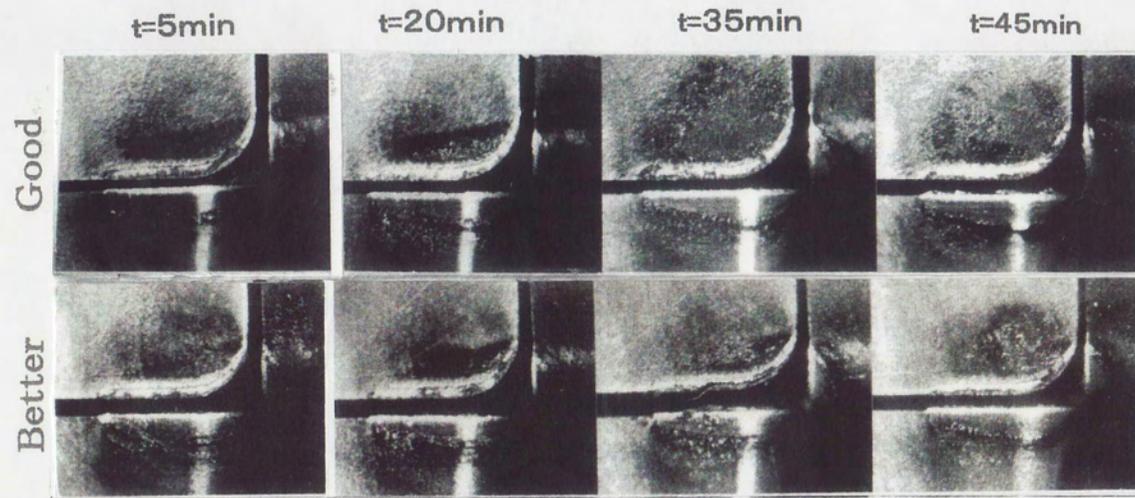
Work Piece: Titanium Alloy Ti-6Al-4V (Aged), 310HB

Tool Geometry: CSBPL2525, SPMN120308 Tool Materials: cemented carbide S Grade)

Cutting Conditions:

Depth of Cut (a_p)=1.5mm, Feed Rate (f)=0.20mm/rev, Cutting Fluids=WSO

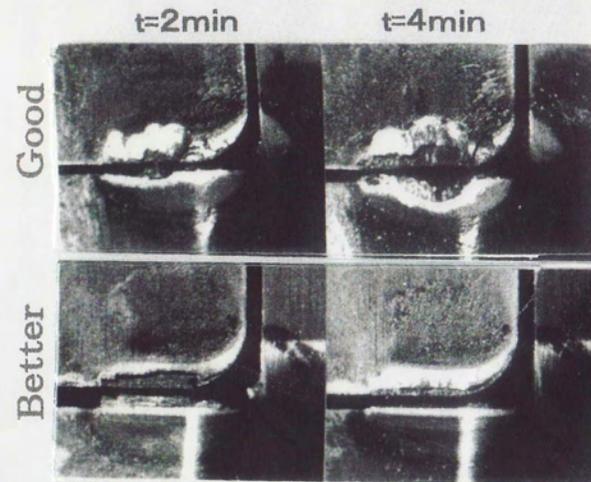
Fig28 チタン合金Ti-6Al-4Vの旋削加工における切削速度と工具損傷



$f=0.10\text{mm/rev}$

Work Piece: Titanium Alloy Ti-6Al-4V (Aged), 310HB
 Tool Geometry: CSBPL2525, SPMN120308
 Tool Materials: cemented carbide S Grade)
 Cutting Conditions:

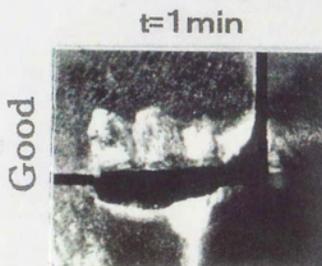
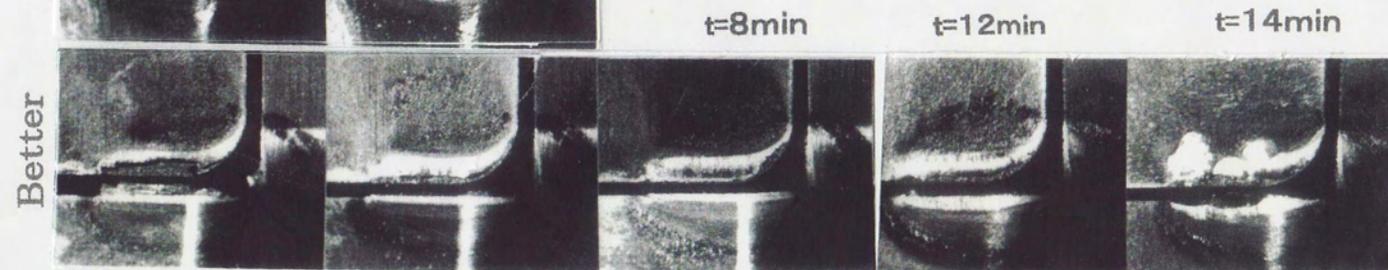
Cutting Speed=75m/min. Depth of Cut (a_p)=1.5mm
 Cutting Fluids=WSO



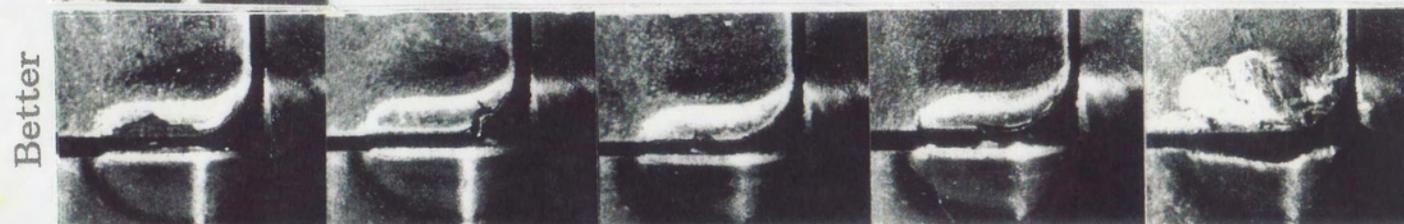
$f=0.20\text{mm/rev}$

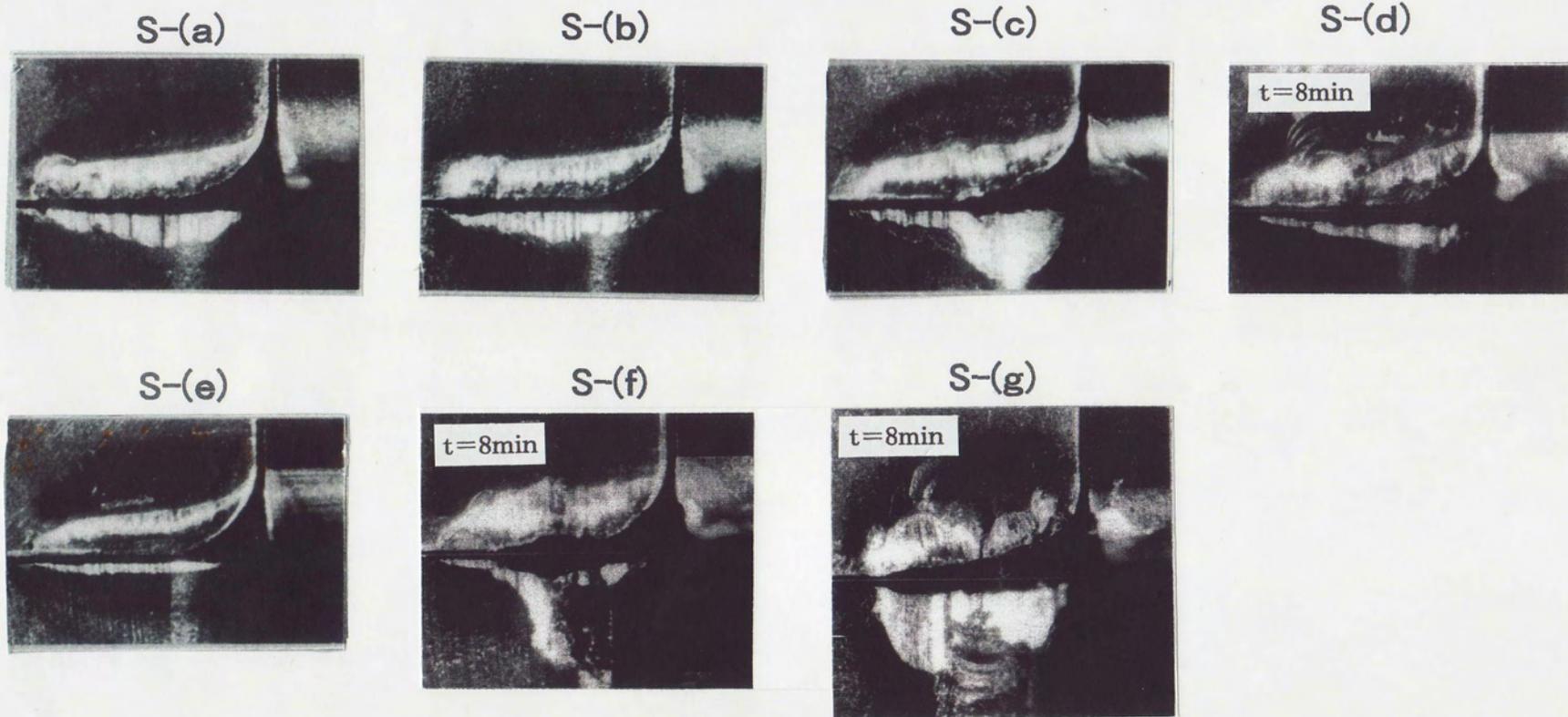
Fig29

チタン合金Ti-6Al-4Vの旋削加工における
 送り量と工具損傷



$f=0.30\text{mm/rev}$





Work Piece:Ti-6Al-4V (Solution Treated&Aged), 310HB

Tool Geometry:CSBPL2525, SPMN120308

Tool Materials:Cemented Carbide S Grade

Cutting Conditions:

Cutting Speed(vc)=70m/min, Depth of Cut (ap)=1.5mm、

Feed Rate (f)=0.20mm/rev, Cutting Time(t)=11min

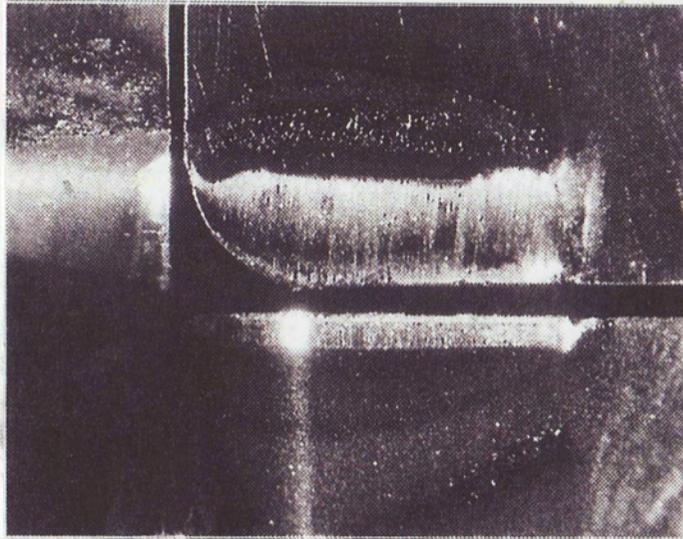
Cutting Fluids=WSO

Fig30 チタン合金Ti-6Al-4Vの旋削加工における工具材種別の工具損傷形態

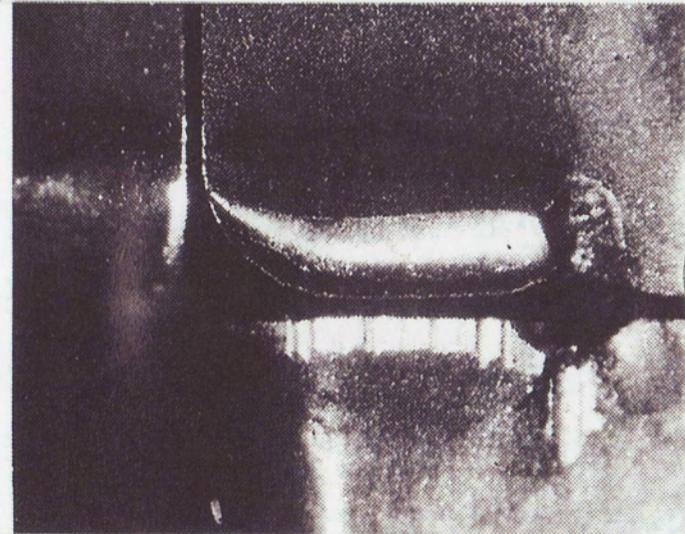
* 工具摩耗性が正常で工具損傷が進行しても切れ刃稜の鋭利性が保たれている工具材種 S-(e)のみ。

4.3 Inconel718切削と最適工具材種の切削性能特性

* 工具摩耗性が正常で主切れ刃部が損傷しても切れ刃稜が鋭利でノッチ摩耗が発生しにくいこと。



超合金 HTi10



境界損傷の生じやすい超合金 K10

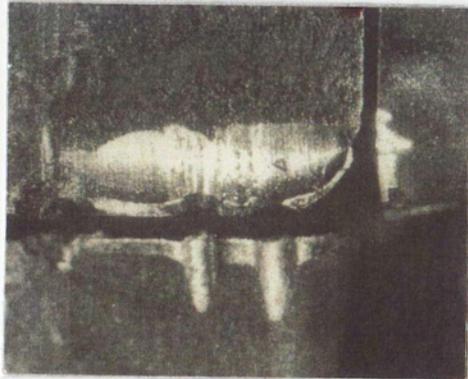
被削材：Inconel Alloy718

工具：CSBPR2525, SPGN120308

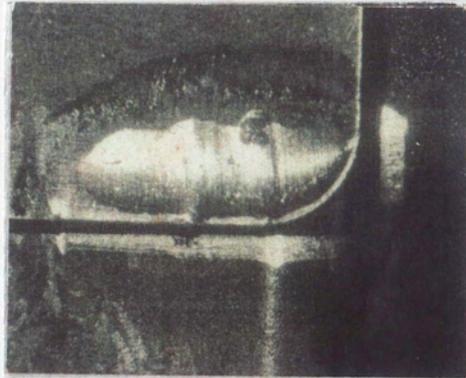
切削条件： $v_c=30\text{m/min}$, $a_p=2\text{mm}$, $f=0.2\text{mm/rev}$, $t=13\text{min}$, Wet
(水溶性)

Fig31 Ni基超耐熱合金の旋削加工における超合金 K10 のメーカーの異なる工具材種と切れ刃損傷の差異

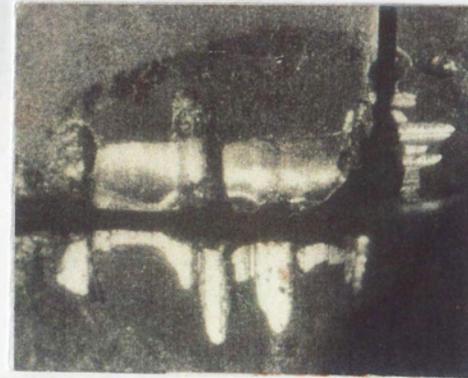
S-(B)



S-(D)



S-(G)



(d) - (T)

0.5mm - 5min

1.0mm - 5min

2.0mm - 5min

Total=15min

Work Piece: Inconel 718 (Solution Treated & Aged), 415HB

Tool Geometry: CSBPL2525, SPMN120308

Tool Materials: Cemented Carbide S Grade

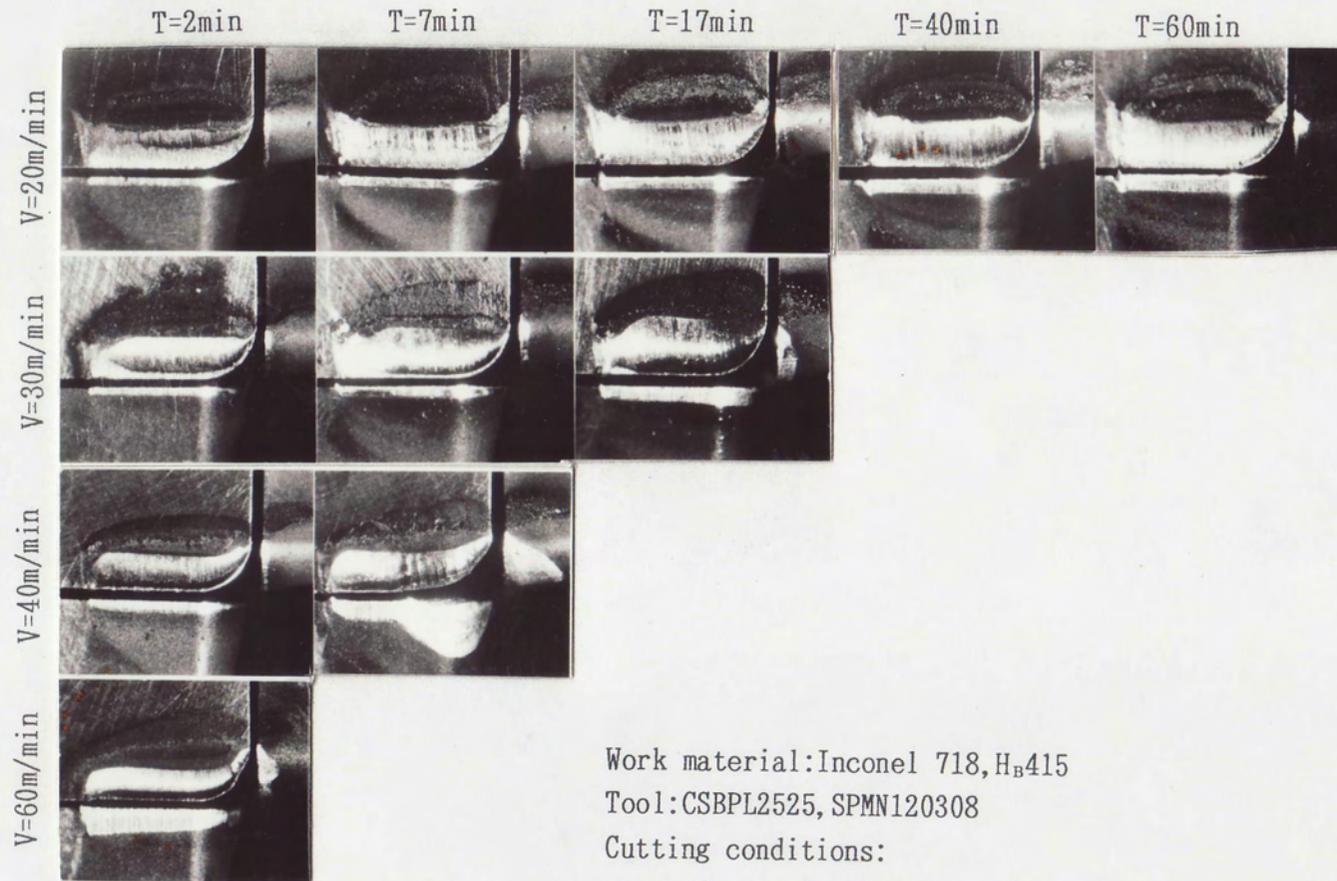
Cutting Conditions:

Cutting Speed (vc) = 30m/min

Feed Rate (f) = 0.25mm/rev

Cutting Fluids = WSO

Fig32 超耐熱合金Inconel 718の切り込み量が変動する旋削加工における
工具材種の耐ノッチ摩耗性と工具損傷形態の健全性の比較 (その3)



Work material: Inconel 718, H_B415

Tool: CSBPL2525, SPMN120308

Cutting conditions:

Depth of cut=2.0mm

Feed rate=0.20mm/rev, Cutting fluid=WSO

Fig33

超耐熱合金 Inconel 718の旋削加工におけるノッチ摩耗の発生しにくい工具材種の切削速度別の工具損傷形態の推移

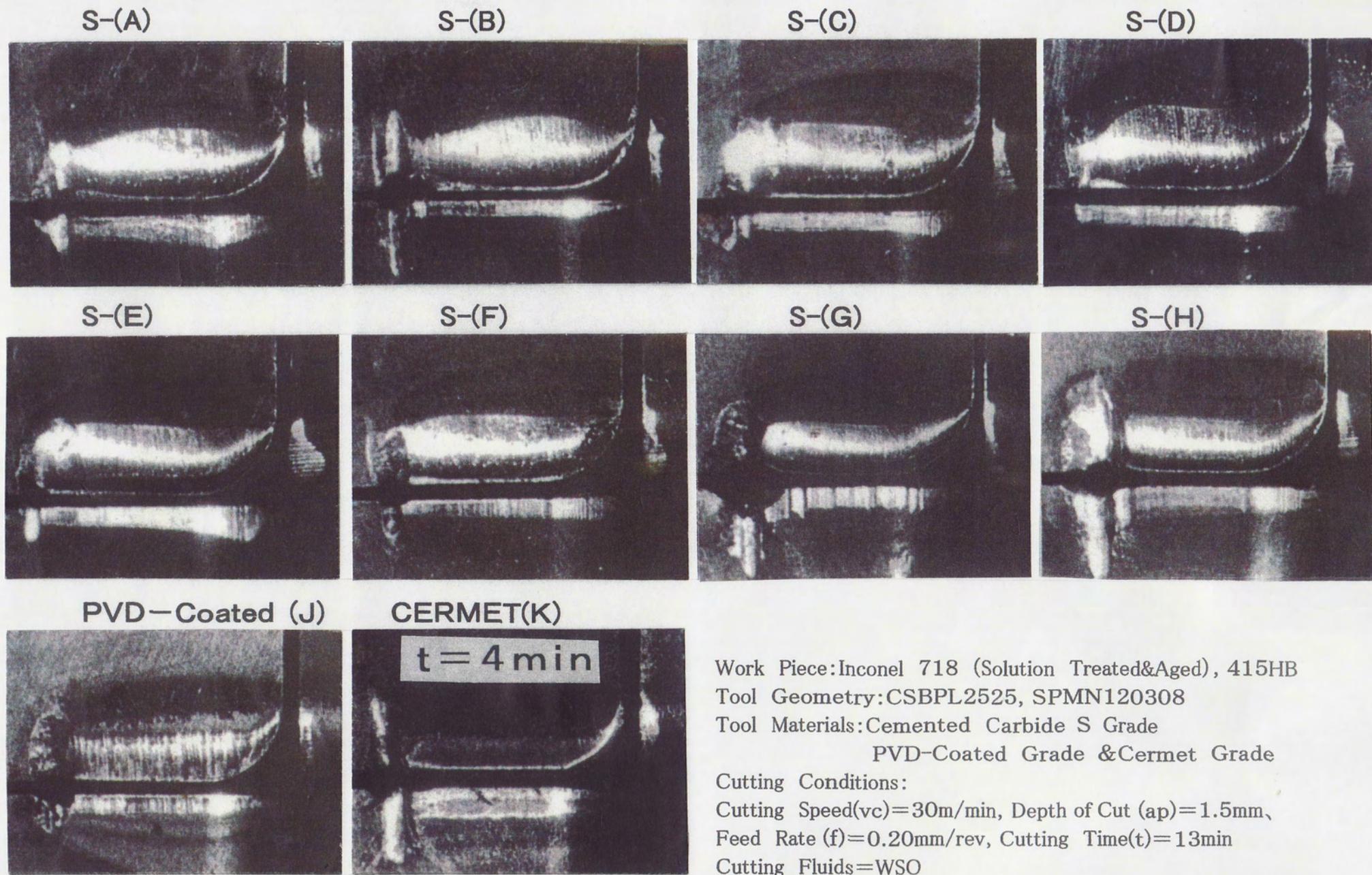


Fig34 Inconel 718 の旋削加工における工具材種別の工具損傷形態 (その3)

* 工具摩耗性が正常で主切れ刃部が損傷しても切れ刃稜が鋭利でノッチ摩耗が発生しにくい工具材種 S-(D)のみ。

5. 難削材切削の新技术動向＝超耐熱合金の切削

5.1 コーテッド超硬合金の切削性能の進化

切削速度の高速化と長寿命化を実現した新しい工具材種の開発

5.2 セラミックス工具による旋削加工の高速生産加工実例

超耐熱合金Inconel 718部品の切削速度 $v_c=300\text{m}/\text{min}$ での
生産加工例

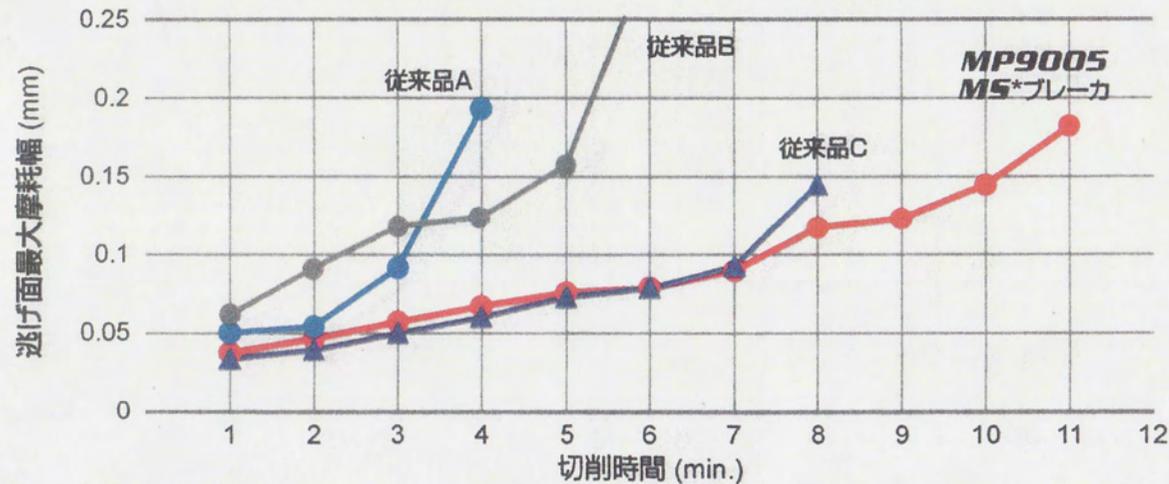
5.3 セラミックス工具による超高速正面フライス切削の試み

正面フライス切削で超耐熱合金Inconel 718を切削速度 $v_c=2,000\text{m}/\text{min}$ まで高速化を試みた例

5. 難削材切削の新技术动向 = 超耐熱合金の切削

5.1 コーテッド超硬合金の切削性能の進化 = Inconel 718の旋削加工データ

〈vc=100m/minでの高速仕上げ切削データ〉



<切削条件>

被削材: Inconel®718

インサート: CNMG120408-00

ホルダ: DCLNL2525M12

切削速度: 100m/min

送り: 0.15mm/rev

切込み: 0.5mm

湿式切削

〈vc=50m/minでの中仕上げ長寿命切削データ〉

MP9005+LS	従来品A(S10)	従来品B(S10)	従来品C(S10)
摩耗量 0.24mm 切削時間66分	摩耗量 0.22mm 切削時間22分	摩耗量 0.23mm 切削時間36分	摩耗量 0.25mm 切削時間16分

<切削条件>

インサート: CNMG120408-LS(MP9005)

被削材: Inconel®718

切削速度: 50m/min

送り量: 0.15mm/rev

切込み量: 0.5mm

切削油剤: 湿式切削

Fig35 難削材切削用コーテッド超硬合金の切削性能の進化(その1:高速仕上げ切削データと中速長寿命切削データ)

出典:三菱マテリアル(株)技術資料 TOOLS NEWS B214J
難削材旋削加工用インサートシリーズ

〈粗切削($v_c=40\text{m/min}$, $a_p=2.0\text{mm}$, $f=0.20\text{mm/rev}$)での長寿命切削データ〉

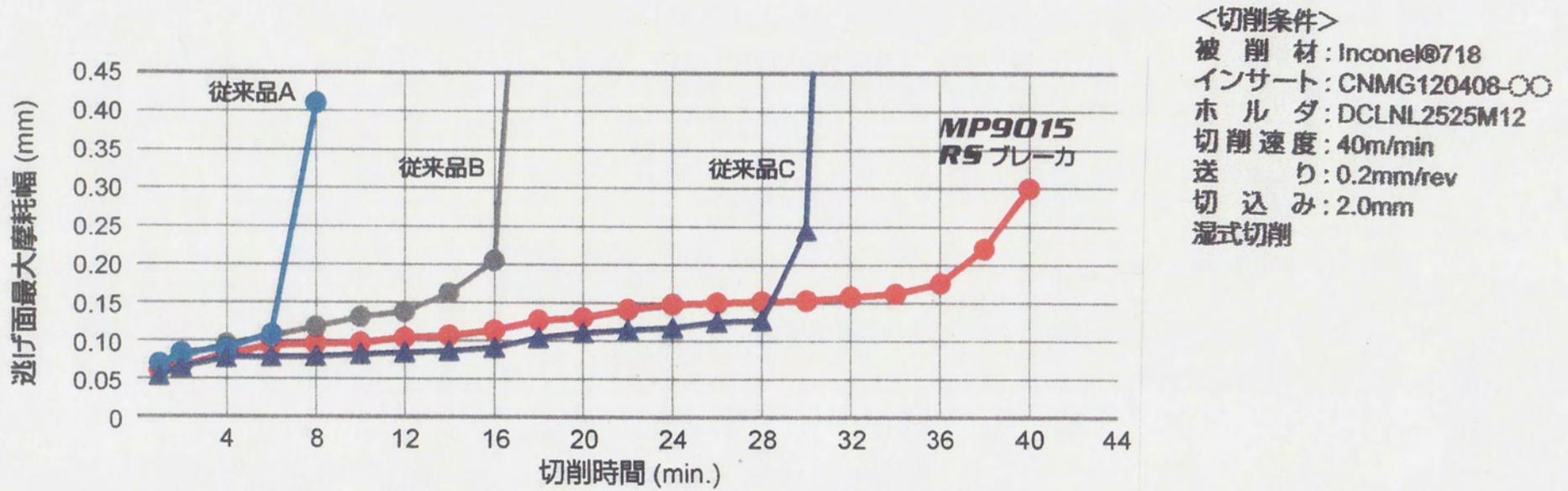
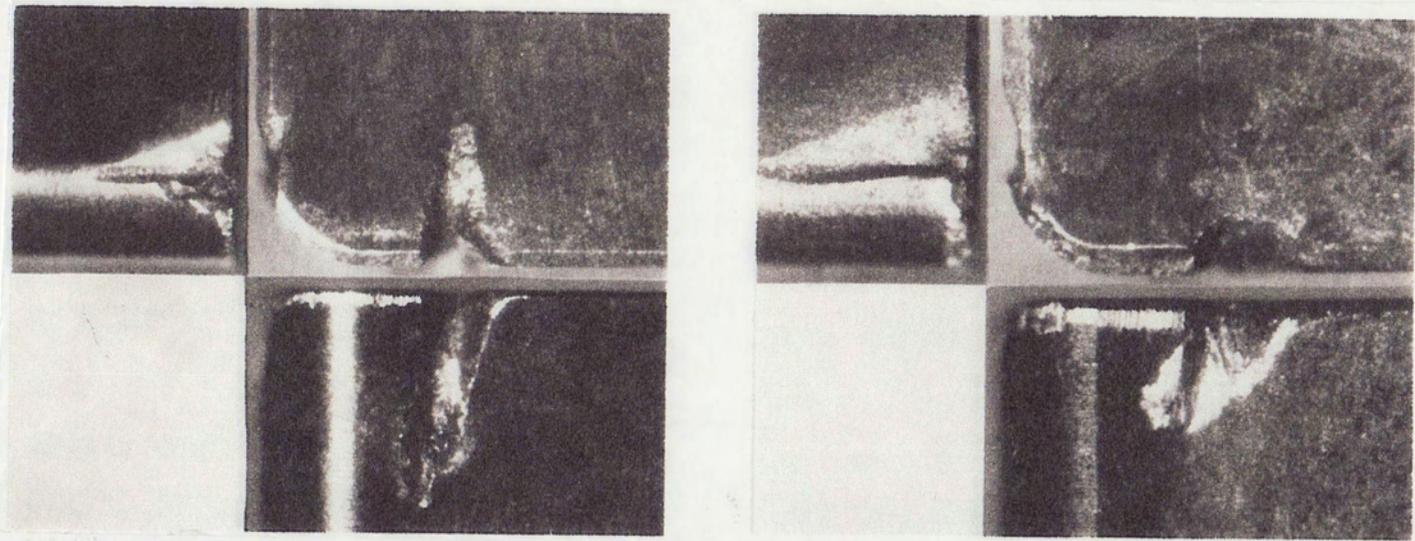


Fig36 難削材切削用コーテッド超硬合金の切削性能の進化(その2:粗切削長寿命切削データ)

出典:三菱マテリアル(株)技術資料 TOOLS NEWS B214J
 難削材旋削加工用インサートシリーズ

5.2 セラミックス工具による高速旋削の生産加工事例 *セラミックスの上手な使い方 == 不成功事例



(a) Al_2O_3 -TiC 系セラミックス

(b) Al_2O_3 -ZrO 系セラミックス

被削材: Waspaloy, 374HB

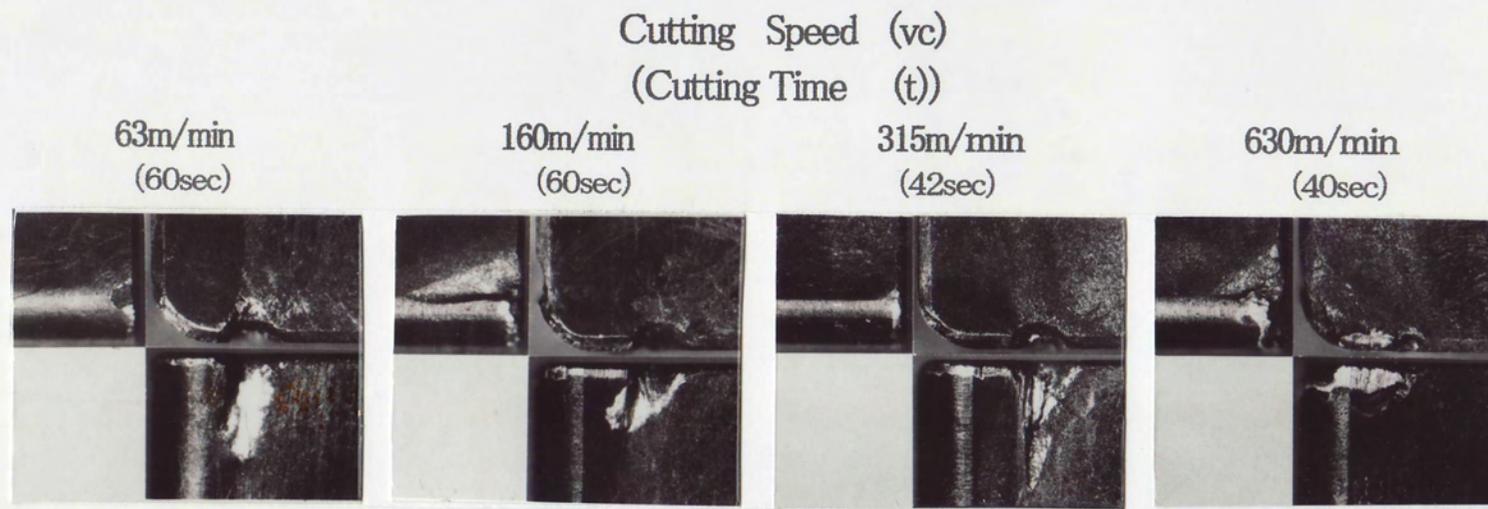
工具: CSBNR2525M43, SNGN120408

切削条件: $v_c=160$ m/min, $a_p=1.0$ mm, $f=0.1$ mm/rev, $t=1.0$ min

切削油剤: 水溶性

Fig37

超耐熱合金 Waspaloy の旋削加工におけるセラミックス材種の
切れ刃境界部の異常損傷



Work Piece: Waspaloy (Solution Treated&Aged), 374HB

Tool Materials: Al_2O_3 Ceramics

Tool Geometry: CSBNL2525M43, SNGN120408

Cutting Conditions:

Cutting Speed(vc)=63, 160, 315, 630m/min,

Depth of Cut(a_p)=1.0mm, Feed Rate (f)=0.10mm/rev

Without Cutting Fluid

Fig38

超耐熱合金 Inconel 718の旋削加工におけるセラミックス工具の切削速度と工具損傷形態の差異

*セラミックスの上手な使い方 == 成功事例

切れ刃損傷状態 チップ1

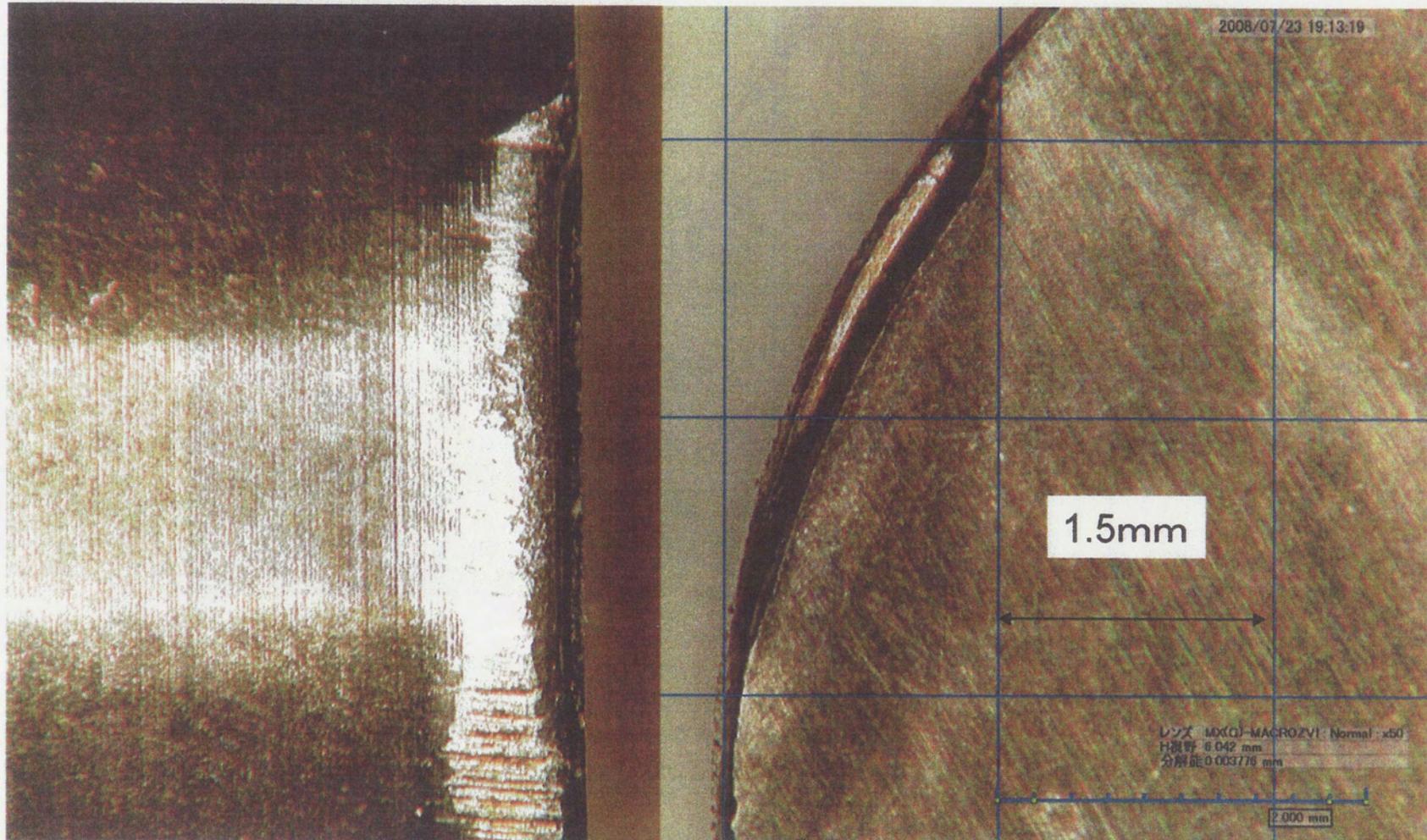
材料 : Inco718 ϕ 265x86

使用設備 : SL-35(森精機)

使用チップ : RNGN120400T01020 KY1540 (ケナメタル)

Vc=300m/min ap=1.5mm
f=0.25mm/rev wet

L= ϕ 265x3pass 端面加工



データ提供: 有限会社 矢崎製作所 矢崎孝弘

切れ刃損傷状態 チップ2

材料 : Inco718 $\phi 265 \times 86$

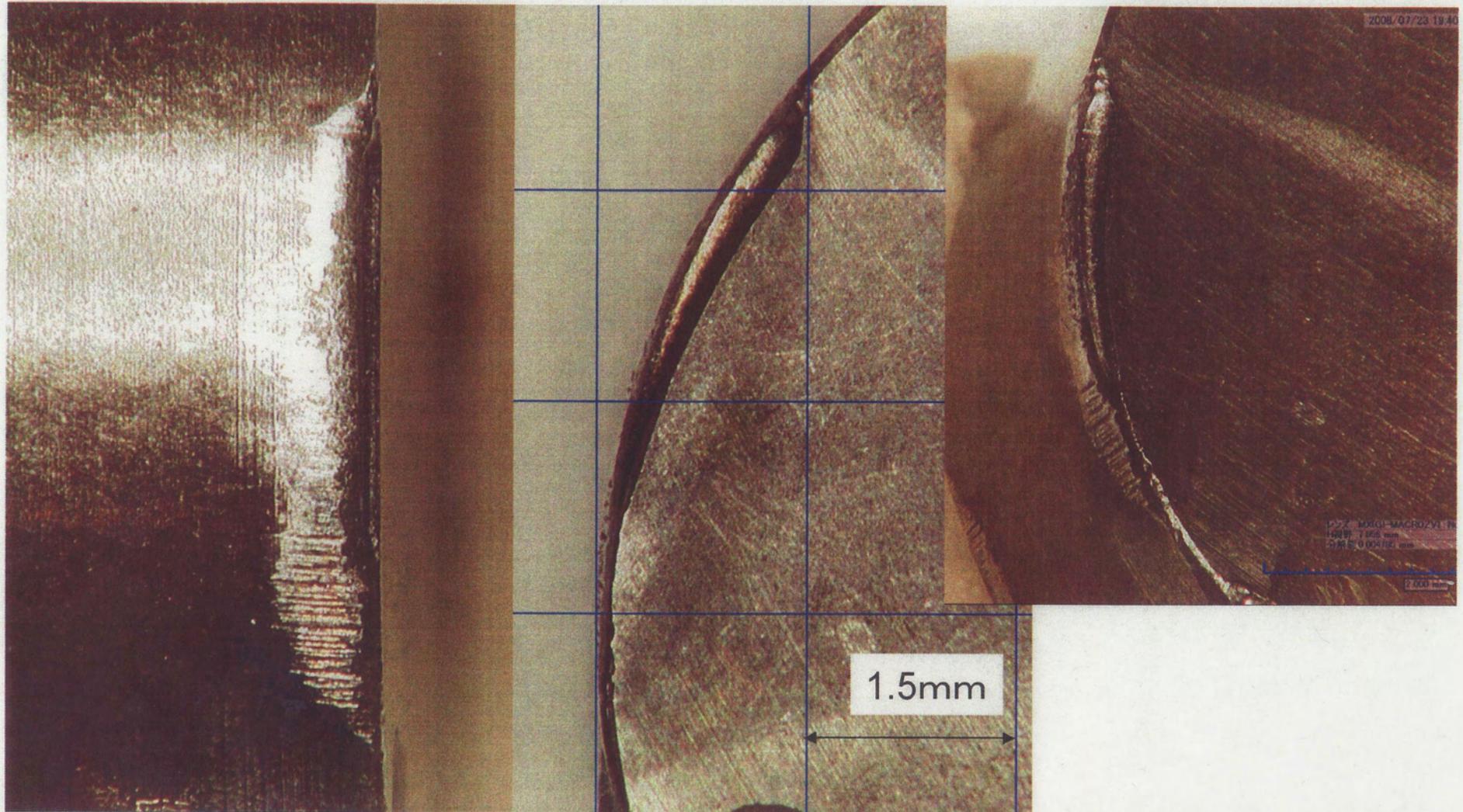
使用設備 : SL-35(森精機)

使用チップ : RNGN120400T01020 KY1540 (ケナメタル)

$V_c=300\text{m/min}$ $a_p=1.5\text{mm}$

$f=0.25\text{mm/rev}$ wet

$L=\phi 265 \times 3\text{pass}$ 端面加工



切りくず

材料 : Inco718 ϕ 265x86

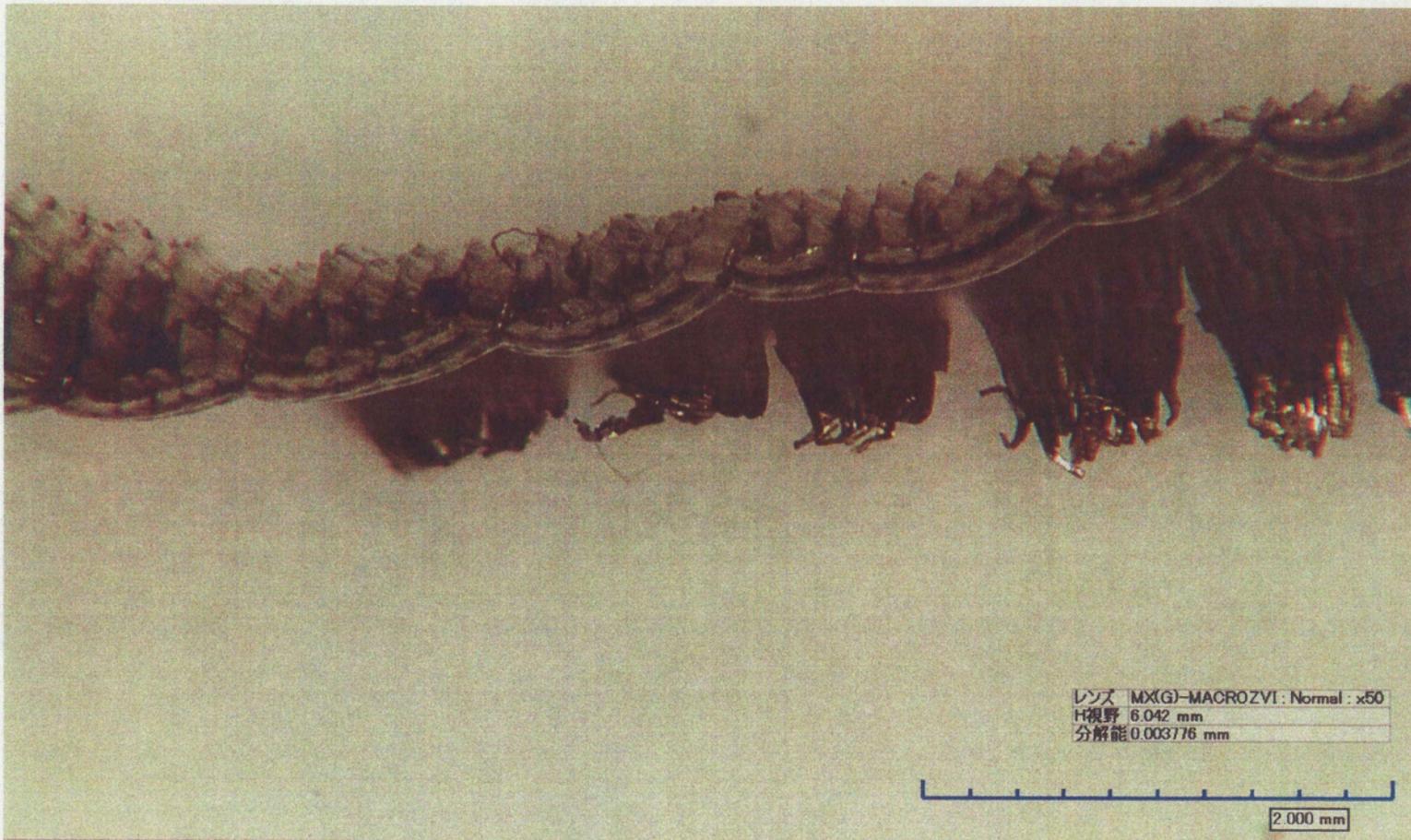
使用設備 : SL-35(森精機)

使用チップ : RNGN120400T01020 KY1540 (ケナメタル)

$V_c=300\text{m/min}$ $a_p=1.5\text{mm}$

$f=0.25\text{mm/rev}$ wet

$L=\phi 265 \times 3\text{pass}$ 端面加工



データ提供: 有限会社 矢崎製作所 矢崎孝弘

切りくず

材料 : Inco718 ϕ 265x86

使用設備 : SL-35(森精機)

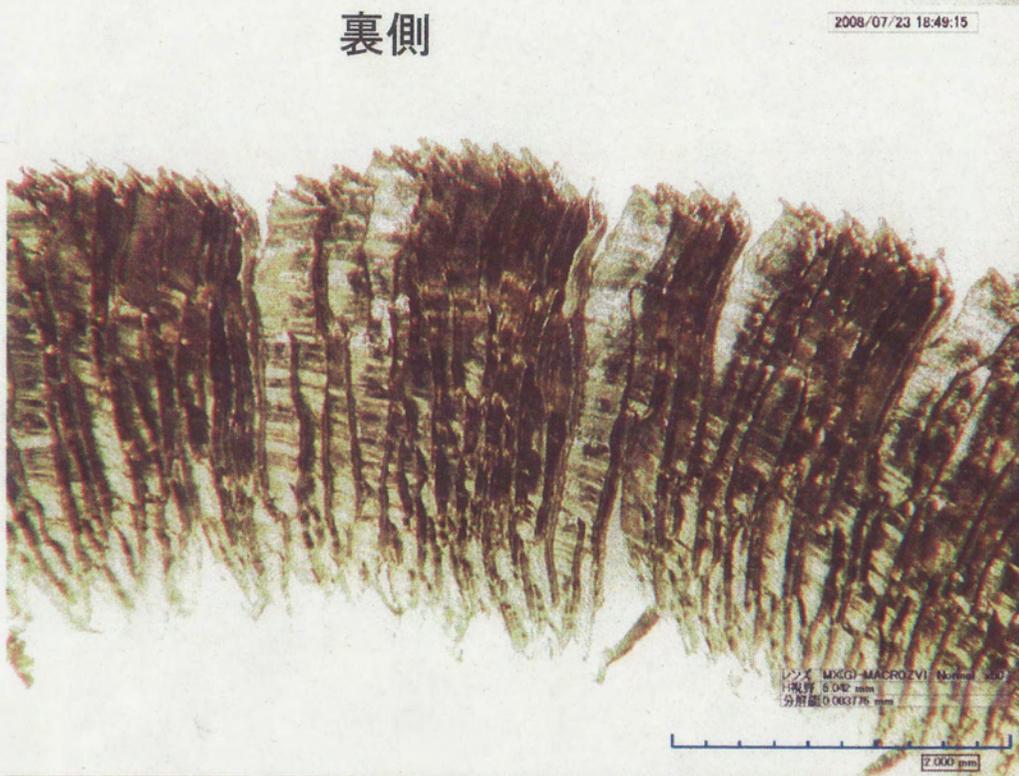
使用チップ : RNGN120400T01020 KY1540 (ケナメタル)

$V_c=300\text{m/min}$ $a_p=1.5\text{mm}$

$f=0.25\text{mm/rev}$ wet

$L=\phi 265 \times 3\text{pass}$ 端面加工

裏側



すくい面側



データ提供: 有限会社 矢崎製作所 矢崎孝弘

5.3 セラミックス工具による超高速正面フライス切削の試み

正面フライス切削で超耐熱合金Inconel 718を切削速度 $v_c=2,000\text{m}/\text{min}$ までの高速化を試みた例

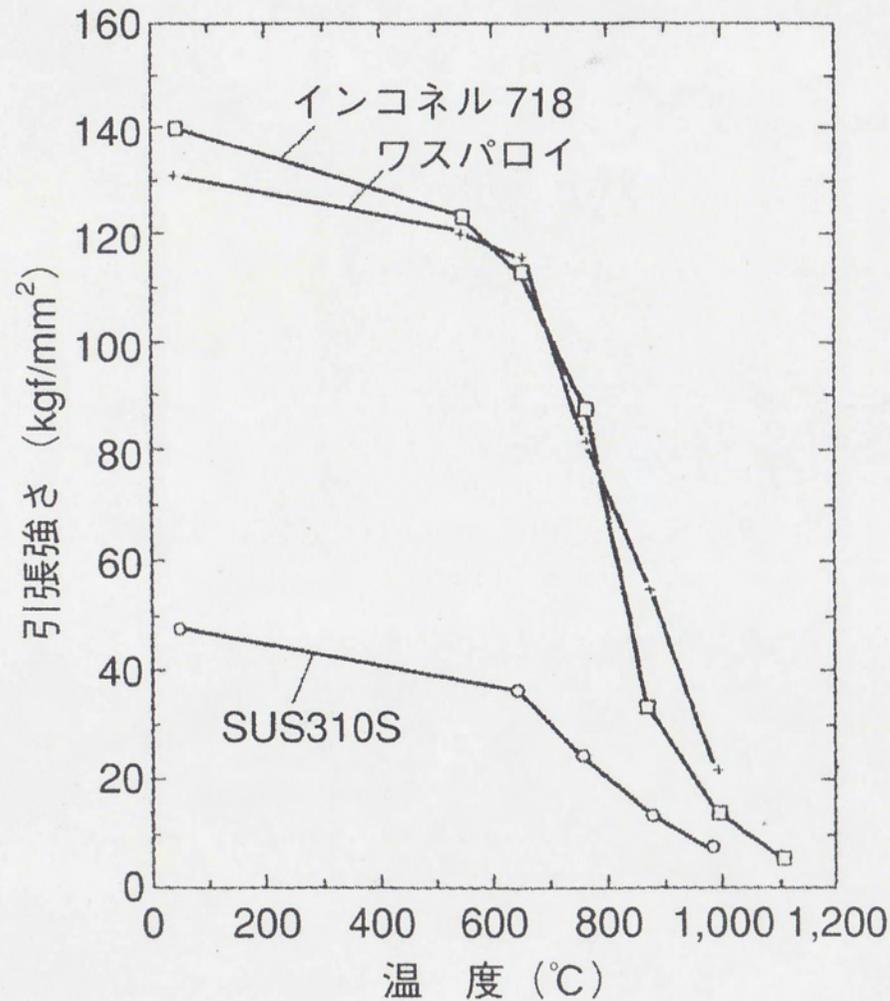
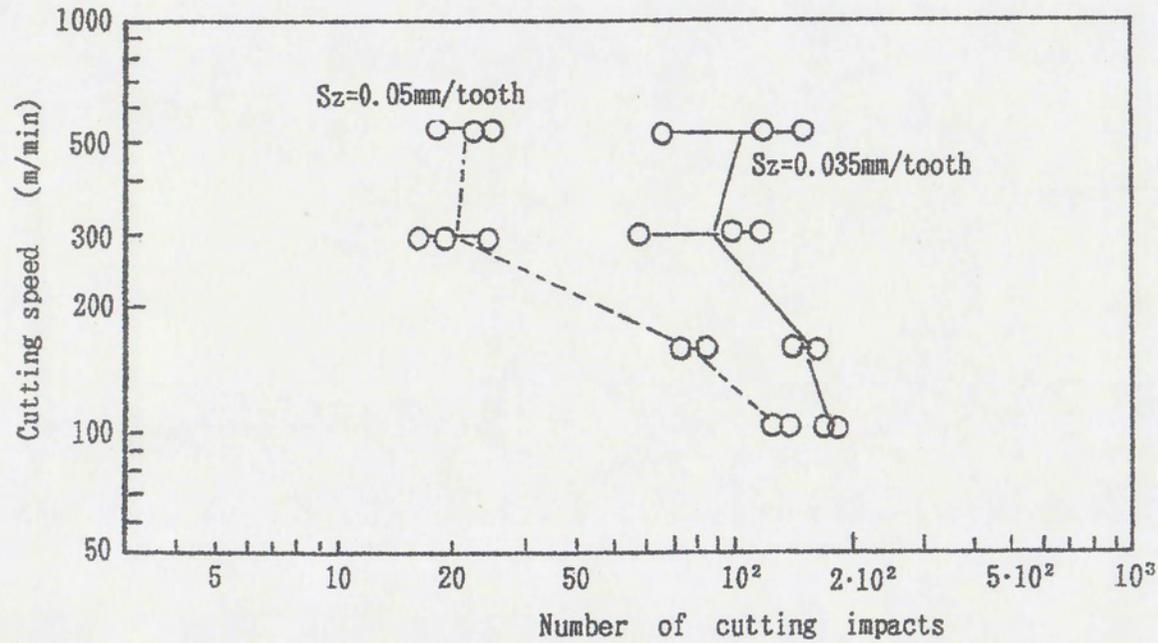


Fig39 Ni基超耐熱合金インコネル718とワスパロイの環境温度と引張強さ(比較ステンレス鋼 SUS 310 S)²⁾



Work material: Inconel 718, H_B415

Cutter diameter: 200mm

Tool geometry: AR=-5°, RR=-6°, T=-7°, I=-3°

Cutting conditions:

Cutting speed=100, 150, 200, 300, 500m/min, Depth of cut=1.0mm

Feed rate=0.035, 0.050mm/tooth, Without cutting fluid

Cutting width=95mm, Center cut

Fig40

Al₂O₃-TiC系セラミックスによるNi基超耐熱合金Inconel 718相当合金の正面フライス切削における切削速度 $v_c=500\text{m/min}$ 以下領域の工具寿命までの切削衝撃回数。

Cutting Speed (vc)

125m/min



500m/min



Work Piece: Inconel 718 (Solution Treated&Aged), 415HB

Milling cutter-diameter: 200mm

Tool Geometry: AR=-5° , RR=-6° , T=-7° , I=-3°

Tool Materials: Al₂O₃-TiC Ceramics

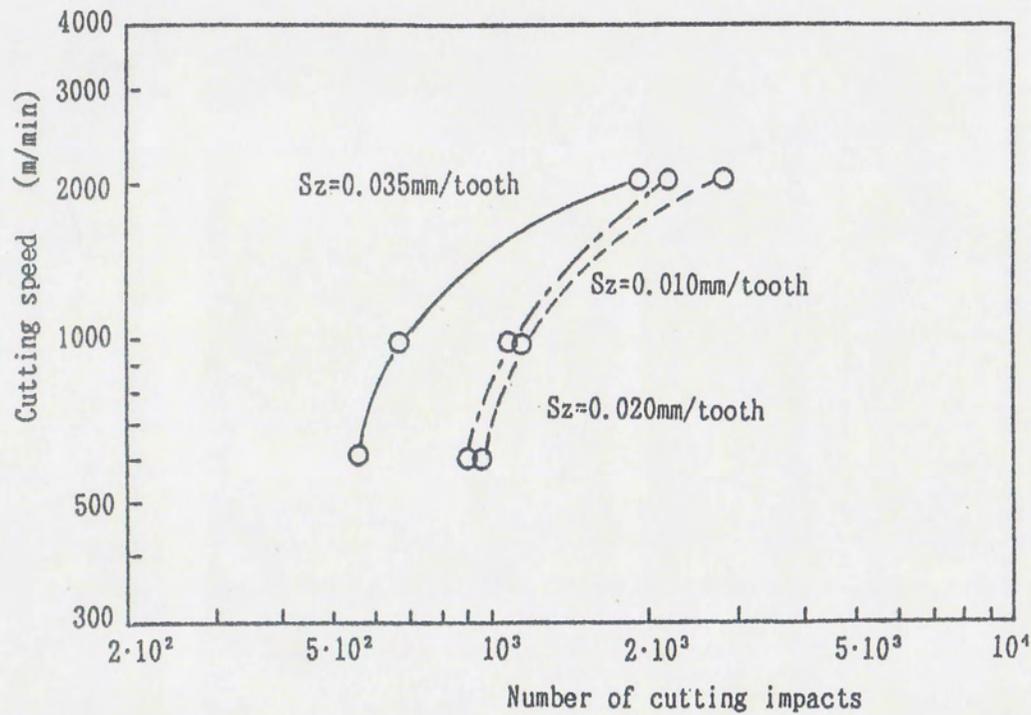
Cutting Conditions:

Cutting Speed(vc)=125, 500m/min. Depth of Cut(ap)=1.0mm,

Cutting Width(ae)=95mm, Depth of Cut (ap)=1.0mm,

Feede Rate(fz)=0.02mm/tooth, Center Cut, Without Cutting Fluids

Fig41 セラミックスによるNi基超耐熱合金Inconel718相当合金の低・中速正面フライス切削 (vc = 125, 500m/min) における剪断型切りくず形態。



Work material: Inconel 718, H_B415

Cutter diameter: 200mm

Tool geometry: AR=-5°, RR=-6°, T=-7°, I=-3°

Cutting conditions:

Cutting speed=600~2000m/min, Depth of cut=1.0mm

Feed rate=0.010, 0.020, 0.035mm/tooth, Without cutting fluid

Cutting width=95mm, Center cut

BN 425 形



軽合金	鋳鉄	一般鋼	ステンレス鋼	焼入れ高硬度鋼
	↔			

CH : 25°

A.R : -6° T : -7°

R.R : -5° I : -3°

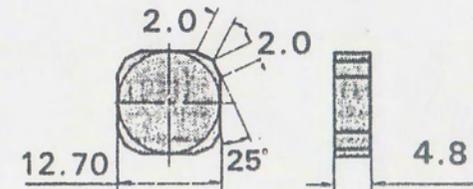
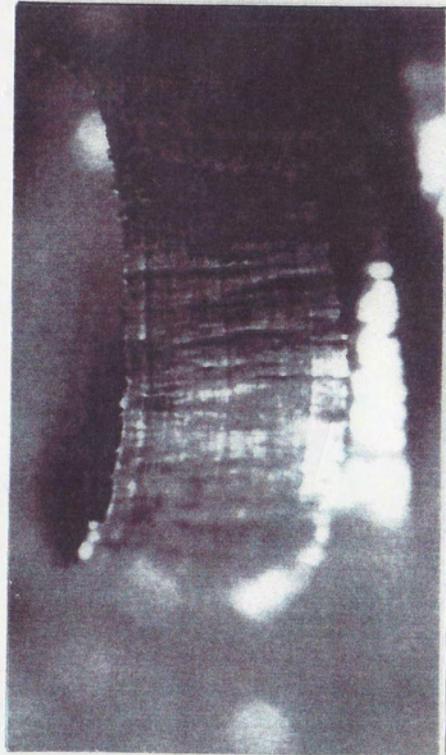


Fig42 Al₂O₃-TiC系セラミックスによるNi基超耐熱合金Inconel 718相当合金の正面フライス切削における切削速度 $v_c=630\sim 2,000$ m/min領域の工具寿命までの切削衝撃回数。

Cutting Speed (vc)

1,000m/min



2,000m/min



Work Piece: Inconel 718 (Solution Treated&Aged), 415HB

Milling cutter-diameter: 200mm

Tool Geometry: AR=-5° , RR=-6° , T=-7° , I=-3°

Tool Materials: Al₂O₃-TiC Ceramics

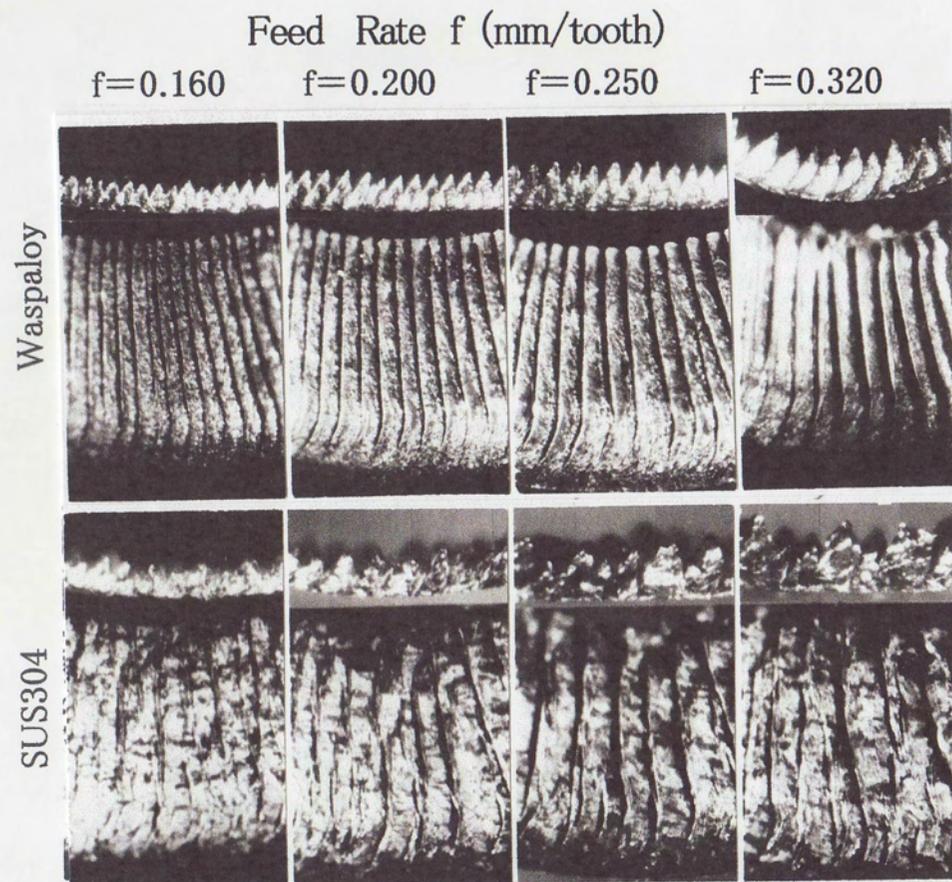
Cutting Conditions:

Cutting Speed(vc)=125, 500m/min. Depth of Cut(ap)=1.0mm,

Cutting Width(ae)=95mm, Depth of Cut (ap)=1.0mm,

Feede Rate(fz)=0.02mm/tooth, Center Cut, Without Cutting Fluids

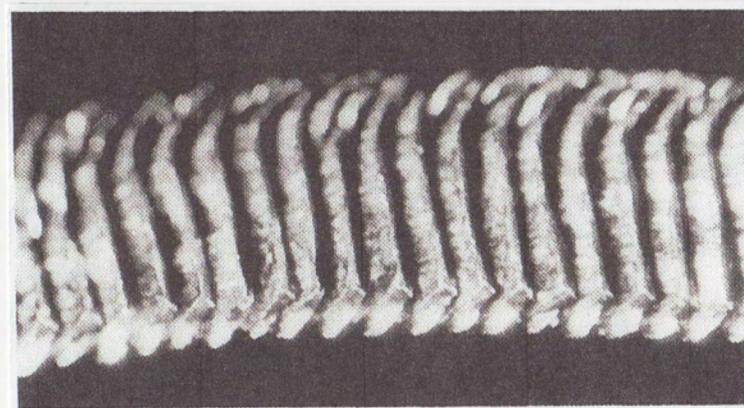
Fig43 セラミックスによるNi基超耐熱合金Inconel718相当合金の高速・超高速正面フライス切削 (vc=1,000, 2,000m/min) における流れ型切りくず形態。



Work Piece: Waspaloy , 374HB
 SUS304, 180HB
 Tool Materials: Al_2O_3 Ceramics
 Tool Geometry: CSBNL2525M43
 SNGN120408

Cutting Conditions:
 Cutting Speed (v_c) = 53 m/min,
 Depth of Cut (a_p) = 2.0 mm
 Cutting Fluids = Dry

Fig44 超耐熱合金WaspaloyとSUS304
 の旋削加工における切りくず形態



超耐熱合金Inconel718の旋削加工の切りくず形態

vc=125m/min



vc=2,000m/min



Work Piece: Inconel 718 (Solution Treated&Aged), 415HB

Milling cutter-diameter: 200mm, Tool Geometry: AR=-5° , RR=-6° , T=-7° , I=-3°

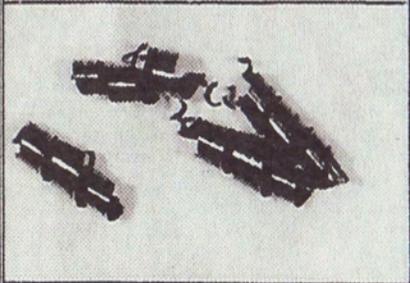
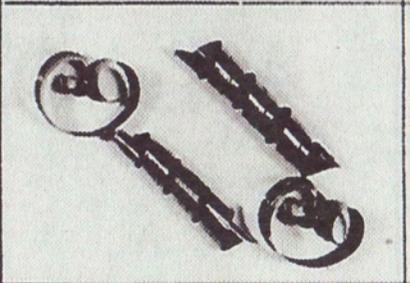
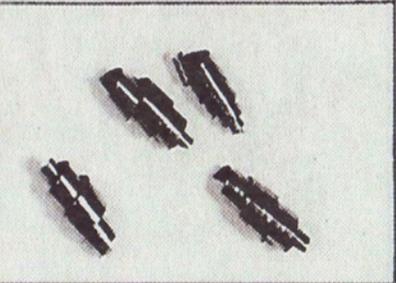
Tool Materials: Al₂O₃-TiC Ceramics

Cutting Conditions:

Cutting Speed(vc)=125m/min, 2,000m/min. Depth of Cut(ap)=1.0mm

Cutting Width(ae)=95mm, Feede Rate(fz)=0.010mm/tooth, Center Cut, Without Cutting Fluids

Fig45 セラミックスによるNi基超耐熱合金Inconel 718の低速切削 (vc=125m/min) と超高速切削 (vc=2,000m/min) における切りくず形態の比較。

	$V = 24\text{m/min}$	$V = 35\text{m/min}$	$V = 41\text{m/min}$
新切れ刃			
寿命切れ刃			

Inconel Alloy 718, $H_R C 37$

工 具 : SE 445 R 0506 E, SECN 42 AFTN 1, HTi 10

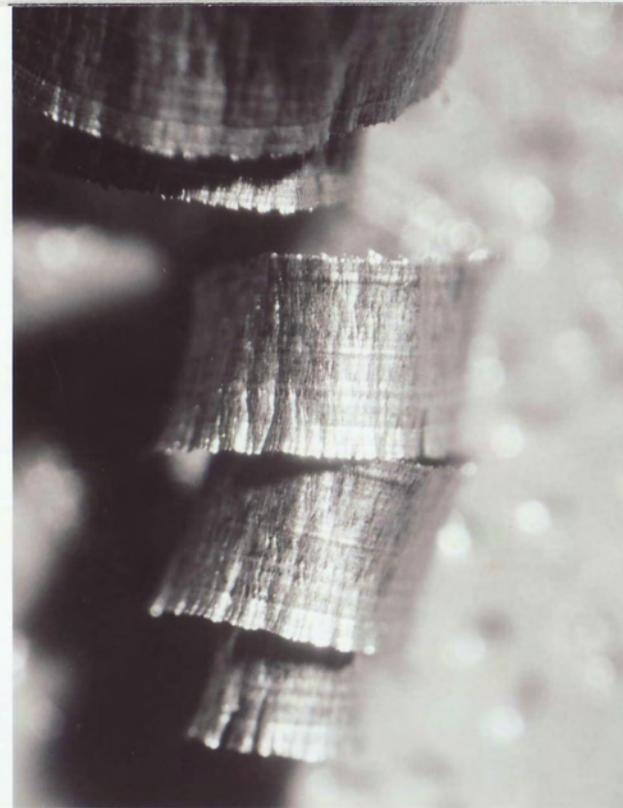
切削条件 : $d = 3\text{ mm}$, $B = 105\text{ mm}$, センターカット, $S_z = 0.156\text{ mm/tooth}$, 切削油剤 : ユシロンカット UF 75

Fig46 超耐熱合金の正面フライス切削における切削速度別の工具寿命の切り屑と新切れ刃の切り屑

新切れ刃の切りくず



寿命切れ刃のきりくず



Work Piece: Inconel 718 (Solution Treated&Aged), 415HB

Milling cutter-diameter: 200mm

Tool Geometry: AR=-5° , RR=-6° , T=-7° , I=-3°

Tool Materials: Al₂O₃-TiC Ceramics

Cutting Conditions:

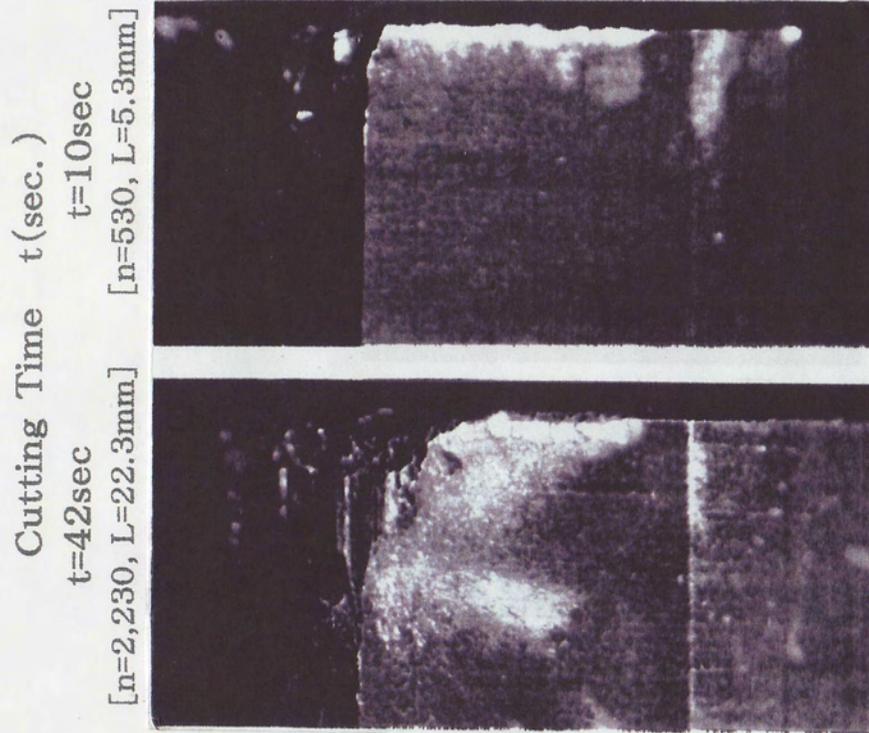
Cutting Speed(vc)=125, 500m/min. Depth of Cut(ap)=1.0mm,

Cutting Width(ae)=95mm, Depth of Cut (ap)=1.0mm,

Feede Rate(fz)=0.02mm/tooth, Center Cut, Without Cutting Fluids

Fig47

セラミックスによるNi基超耐熱合金Inconel718相当合金の超高速正面フライス切削 (vc=2,000m/min) における新切れ刃、寿命切れ刃の切りくず形態の差異。



Work Piece: Inconel 718 (Solution Treated&Aged), 415HB

Milling cutter-diameter: 200mm

Tool Geometry: AR=-5°, RR=-6°, T=-7°, F=-3°

Tool Materials: Al₂O₃-TiC Ceramics

Cutting Conditions:

Cutting Speed(vc)=2,000m/min.

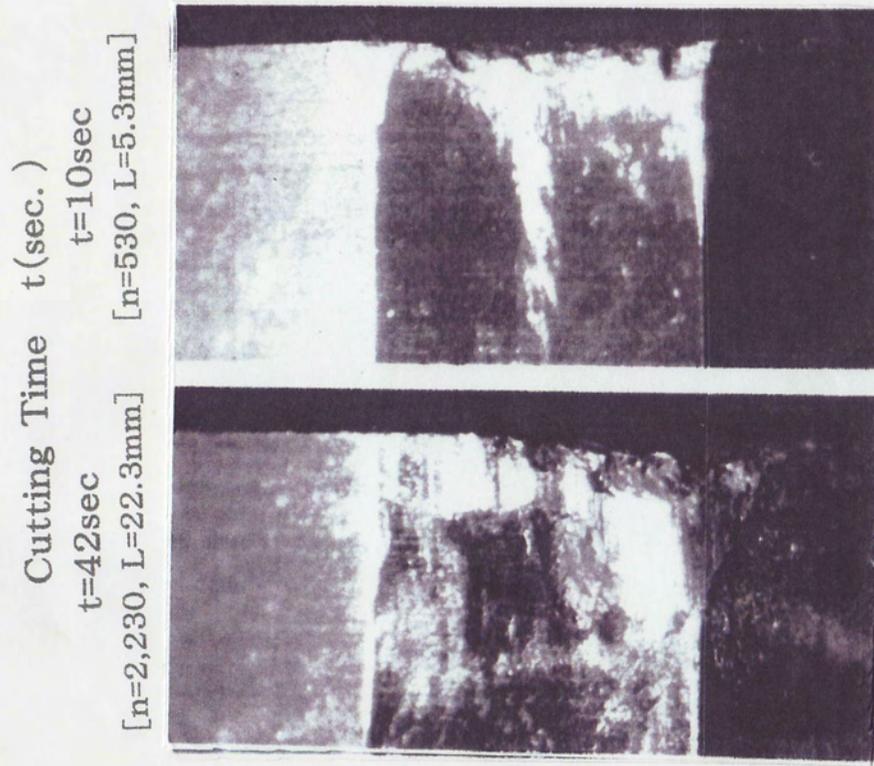
Depth of Cut(ap)=1.0mm

Cutting Width(ae)=95mm

Feede Rate(fz)=0.010mm/tooth

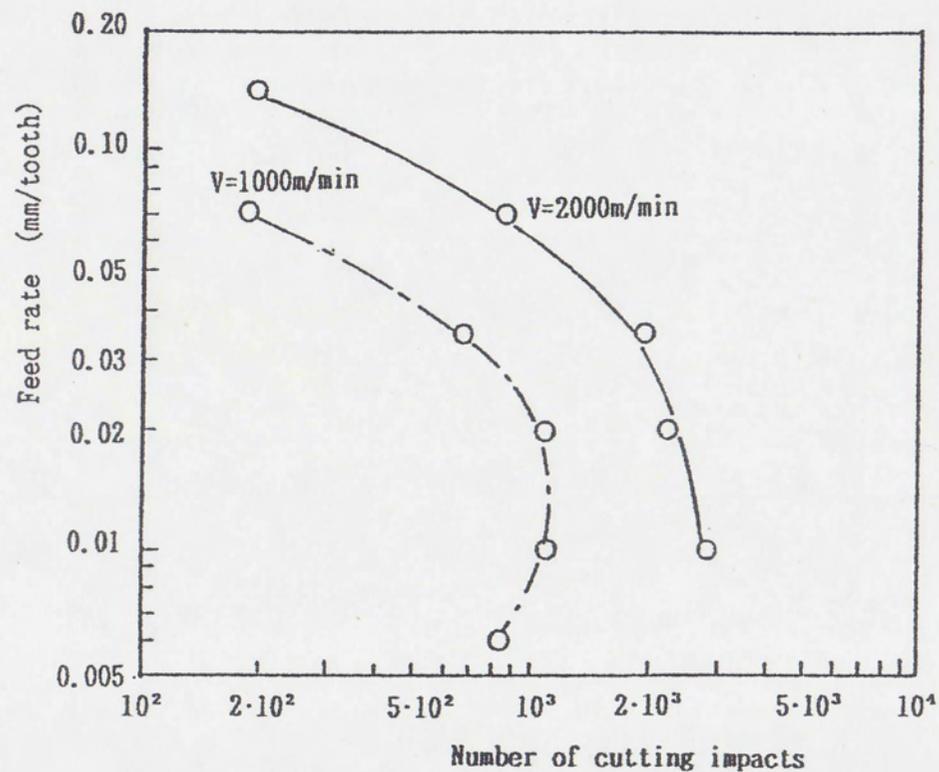
Center Cut, Without Cutting Fluids

Fig48 セラミックスによるNi基超耐熱合金Inconel 718の超高速切削 (vc=2,000m/min) における主切れ刃部の工具損傷形態。



Work Piece: Inconel 718 (Solution Treated&Aged), 415HB
 Milling cutter-diameter: 200mm
 Tool Geometry: AR=-5° , RR=-6° , T=-7° , I=-3°
 Tool Materials: Al₂O₃-TiC Ceramics
 Cutting Conditions:
 Cutting Speed(vc)=2,000m/min.
 Depth of Cut(ap)=1.0mm
 Cutting Width(ae)=95mm
 Feede Rate(fz)=0.010mm/tooth
 Center Cut, Without Cutting Fluids

Fig49 セラミックスによるNi基超耐熱合金Inconel 718の超高速切削 (vc=2,000m/min)における副切れ刃部の工具損傷形態。



Work material: Inconel 718, H_p415

Cutter diameter: 200mm

Tool geometry: AR=-5°, RR=-6°, T=-7°, I=-3°

Cutting conditions:

Cutting speed=1000, 2000m/min, Depth of cut=1.0mm

Cutting width=95mm, Center cut, Without cutting fluid

Fig50 Al₂O₃-TiC系セラミックスによるNi基超耐熱合金Inconel 718相当合金の高速正面フライス切削 (vc=1, 000, 2, 000m/min)での送り量と工具寿命までの切削衝撃回数。

*超高速正面フライス切削期待されるメリットと課題

A) 期待されるメリット

* 生産性向上

2,000m/minで30秒間の切削

→ 200m/minで300秒(5分間)

→ 100m/minで600秒(10分間)

→ 50m/minで1200秒(20分間)

B) 課題

* 被加工面のSurface Integrityの確保。

* セラミックスの切削性能を知りつくすこと。

・CMC系, ・ Al_2O_3 系, ・ Al_2O_3 -TiC系, ・ Si_3N_4 系, その他。

* 最適工具材種の研究。

・コーテッドセラミックス, ・cBN焼結体, ・コーテッドcBN焼結体, その他。

* 切削工具の最適切れ刃形状の研究。

・超多刃化の可能性, ・等ピッチ/不等ピッチそれぞれの適否。

・切れ刃強化(ホーニング)の手法。

* 切削データの積み上げ。

* トラブル予知情報の蓄積。

ご静聴ありがとうございました。

== ご質問をいただきます ==