

ノリタケ
からの
提案

注目の製品・技術

03

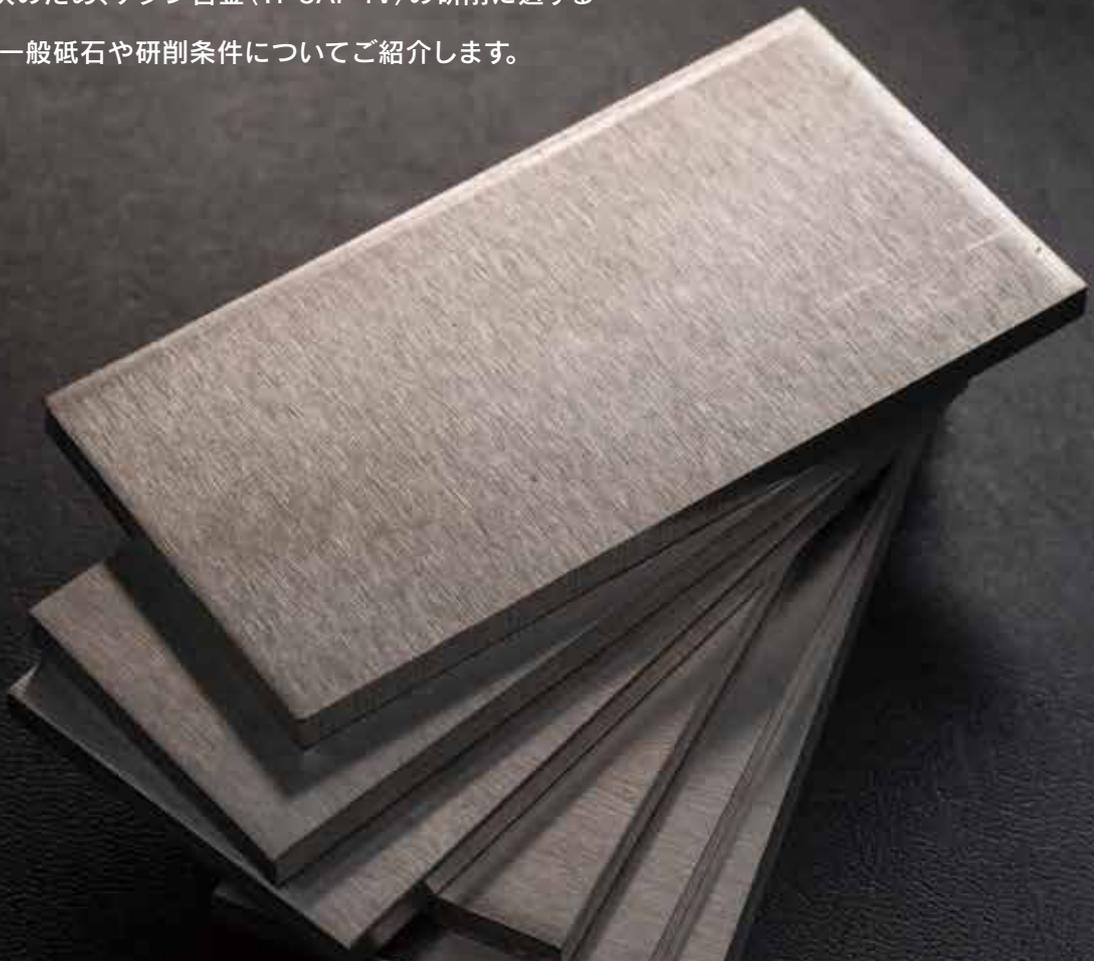


チタン合金〈Ti-6Al-4V〉 に対する適正な ビトリファイド一般砥石

[著者] 福島 正人
工業機材事業本部 技術本部 研削ソフト技術部
加工技術グループ

さまざまな分野で使用されるチタン合金〈Ti-6Al-4V〉は、熱伝導率が非常に低い特徴を持つ難削材であり、ワークの表面粗さや品位を保つことが難しい、また工具の短寿命化などの課題があります。

それら課題解決のため、チタン合金〈Ti-6Al-4V〉の研削に適する
ビトリファイド一般砥石や研削条件についてご紹介します。



一般砥粒

SH砥粒 (A系砥粒) と GC砥粒 (C系砥粒)

[適用範囲と期待効果]

金属材料		非金属材料		その他
鉄系材料	非鉄系材料 (Al・Cuなど)	無機材料 (ガラス・セラミックス)	有機材料 (ゴム・プラスチック)	先端材料
●	●			
サイクルタイム短縮	工具寿命向上	加工品質向上	作業性改善	環境配慮
	●	●		



チタン合金(Ti-6Al-4V)の研削における悩み

チタン合金(Ti-6Al-4V) (JIS60種) (本稿では以降Ti-6Al-4Vと記す)とは、チタン(Ti)に対して、質量分率で、アルミニウム(Al)が6%、バナジウム(V)が4%含まれたチタン合金の一種であり、軽量、高強度、高耐食性という特長をもっていることから、幅広い分野で使用されています(表1)。

こうした高機能な特性を持つTi-6Al-4Vですが、研削においては、「難削材」に分類される研削難易度の高い材料でもあります。Ti-6Al-4Vと構造用合金鋼の代表例SCM440を同一条件で研削したところ、Ti-6Al-4Vは、SCM440に比べ、研削抵抗、表面粗さ、砥石摩耗量のいずれも大幅に悪化する結果となりました(表2、図1)。また、Ti-6Al-4Vの研削後の砥石面状態は、砥粒の摩滅やワークの溶着が激しく(図2)、排出された切り屑も構成刃先形*やむしり形*となっていることがわかります(図3)。このように、Ti-6Al-4Vの研削においては、ワークの表面粗さや品位を保つことが難しく、またドレツ

表1 Ti-6Al-4Vの主な用途例

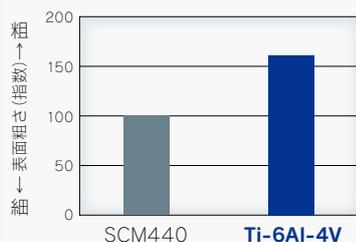
分野	代表例
航空宇宙	エンジンファンブレード
自動車	エンジンバルブ
エネルギー	タービンブレード
医療	人口骨、インプラント
建築・土木	屋根材
スポーツ	ゴルフ用ドライバー

図1 試験結果

【研削抵抗】



【表面粗さ】



【砥石摩耗量】

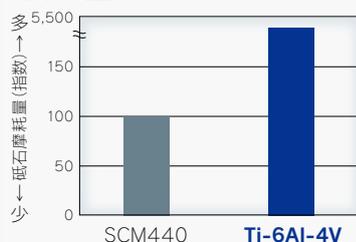
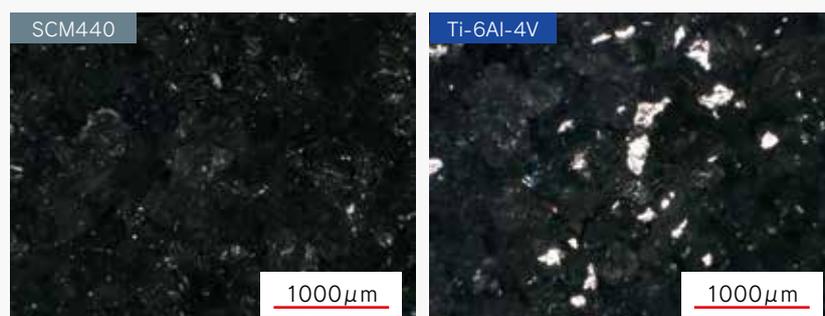


表2 試験条件

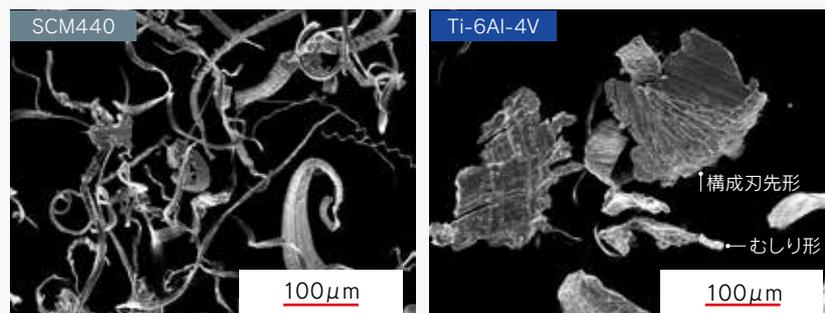
研削方式	平面研削
砥石スペック	SH60-V
砥石寸法	φ176×T19×φ76.2mm
砥石周速度	30m/s
研削能率	3.3mm ³ /mm・s
切込み量	0.01mm/pass

図2 研削後の砥石面状態



白色部: 砥粒の摩滅や溶着

図3 研削時の切り屑



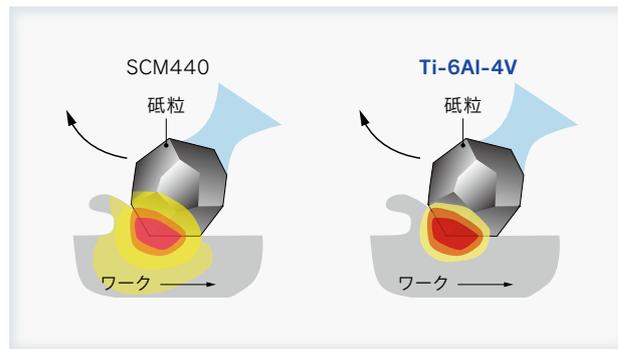
流れ形*の切り屑

構成刃先形*及び、むしり形*の切り屑

シング頻度や砥石摩耗量が多いため、加工コストが高くなる点が課題となります。

では、なぜTi-6Al-4Vが前述のような難削材となるのでしょうか。その1つの要因は、研削熱にあると考えられます。SCM440の熱伝導率と比較すると、一般的にTi-6Al-4Vは熱伝導率が80%程低いと言われています。

図4 研削熱の拡散の違い(イメージ)



SCM440のように熱伝導率が高い材料であれば、研削熱が発生と同時に研削点からワークへ拡散していきますが、Ti-6Al-4Vは熱伝導率が低いため、研削熱が拡散しにくく、研削点の局所的な温度上昇が発生しやすくなります(図4)。その結果、砥粒の摩滅や異常脱落、溶着が進行します。このような砥石面状態で研削をすると、ワークの研削焼け、表面粗さや形状不良といったワーク面の品位や精度不良が発生し、砥石寿命が短くなるなどの不具合へつながります。

それらを解決するため、Ti-6Al-4Vに適するビトリファイド一般砥石や研削条件を次にご紹介します。

Ti-6Al-4Vに適するビトリファイド一般砥石とは？

Ti-6Al-4Vの研削試験をそれぞれWA砥粒(A系砥粒)、SH砥粒*(A系砥粒)、GC砥粒(C系砥粒)を用いた3種のビトリファイド一般砥石で実施しました(表3、図5)。汎用的な砥粒であるWA砥粒を基準にすると、SH砥粒は研削抵抗や表面粗さがほぼ同等である一方で、砥石摩耗量が約30%抑制されています。またGC砥粒はWA砥粒と比較し、研削抵抗が約50%高くなっているものの、表面粗さは20%細かく、砥石摩耗量にいたっては約70%抑制されています。研削後の砥石面状態を確認すると、SH砥粒やGC砥粒は、砥粒の摩滅やワークの溶着が確認される一方で、WA砥粒は、そのような状態が観察される点が少ないです(図6)。これは、WA砥粒では、砥粒の摩滅や溶着の発生後、すぐに砥粒が脱落する異常脱落が発生しており、

表3 試験条件

【研削条件】

研削方式	平面研削
砥石スペック	WA60-V SH60-V GC60-V
砥石寸法	φ176×T19×φ76.2mm
砥石周速度	10m/s
研削能率	3.3mm ³ /mm ² ・s

【ドレッシング条件】

ドレッサ	0.6LL単石ドレッサ
ドレッシングリード	0.1mm/r.o.w.
切込み量	R0.01mm/pass

図5 試験結果

【研削抵抗】



【表面粗さ】

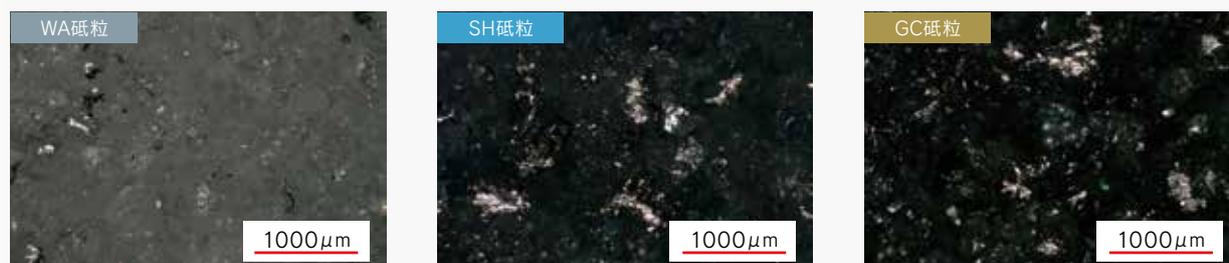


【砥石摩耗量】



(WA砥粒の値を100%とした指数にて表示しています)

図6 研削後の砥石面状態



白色部: 砥粒の摩滅や溶着

正常な研削ができないことを示唆しています。

以上の結果より、Ti-6Al-4Vにおいて、砥石の切れ味と寿命の両立が求められる場合にはSH砥粒を、ワークの表面粗さや砥石寿命を特に重視する場合にはGC砥粒を選択することが望ましいと言えます。

1 砥石の切れ味と砥石寿命を両立するSH砥粒

SH砥粒は、WA砥粒と同等の硬さを有する一方で、より割れにくい特性を持っています(図7)。今回のドレッシング条件では、SH砥粒はドレッシングにより大きな切れ刃が形成されており(図8)、この大きな切れ刃が、優れた切れ味を示した要因と考えられます。またWA砥粒でも同様に大きな切れ刃が形成されていますが、SH砥粒の方がより割れにくい特性がある点を踏まえると、研削時の砥粒の大きな破砕や脱落といった砥石寿命が短くなる要因の影響を受けにくいです。よって、今回の試験条件においてSH砥粒は、砥粒が割れにくく、かつドレッシングにより大きな切れ刃が形成されるため、砥石の

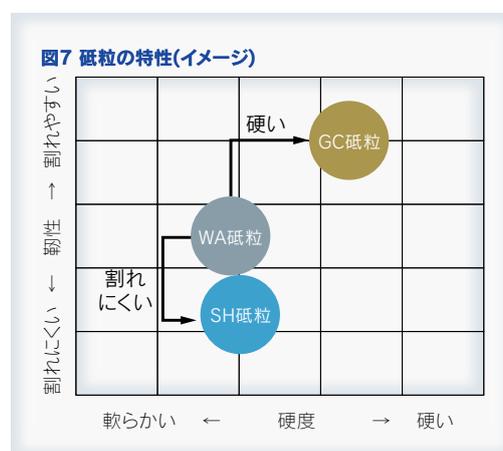


図8 ドレッシング後の砥粒状態と断面イメージ

	WA砥粒	SH砥粒	GC砥粒
砥粒状態(写真)			
砥粒状態(3D)			
砥粒の断面イメージ	大きな切れ刃(割れやすい) 砥石寿命が短い	大きな切れ刃(割れにくい) 優れた切れ味と砥石寿命を両立	小さな切れ刃(硬い) ワーク精度や砥石寿命が特に優れる

切れ味と砥石寿命を両立することができたと考えられます。

②ワークの表面粗さや砥石寿命が優れるGC砥粒

GC砥粒は、WA砥粒に対して高い硬度を有し(図7)、ドレッシングにより砥粒表面には小さな切れ刃が形成されています(図8)。そのため、ワークの表面粗さや砥石寿命について特に優れた結果が得たと考えられます。

まとめると、砥粒特性と、ドレッシングにより形成される切れ刃の違いにより、それぞれの砥石の研削性能に差が生じたと考えられます。

Ti-6Al-4Vの研削における砥石をいかにす砥石周速度とは？

Ti-6Al-4Vに適したビトリファイド一般砥石について記述しましたが、いくら優れた砥石でも、研削条件にミスマッチがあれば、その性能を最大限に発揮することはできません。ここでは適切な研削条件についてご紹介します。

Ti-6Al-4Vに対してビトリファイドSH砥石を使用し、砥石周速度を変更して研削した結果、速いときはワークの表面粗さが細くなり、遅いときは砥石摩耗量が抑制される傾向があることがわかりました(表4、図9)。つまり、ワークの表面粗さなどの精度をより重視する場合は、砥石周速度を速く、砥石摩耗量を抑制しコスト低減を目指す場合は、遅くすることが効果的だと考えられます。

この結果について解説します。砥石周速度が速いとき、砥粒切込み深さが小さくなるため、ワークの表面粗さは一般的に細かめになる傾向です。実際、今回の試験で砥石周速度を10m/sから30m/sへ変更することにより、砥粒切込み深さは約1/3まで減少し、ワークの表面粗さが細かめになっています。砥石摩耗量も、砥粒切込み深さが小さいとき、つまり砥石周速度が速いときに抑制される傾向が一般的ですが、今回の結果は、一般論とは真逆の結果となっています。これは、Ti-6Al-4Vの熱伝導率が低いという特性が関係していると推察されます。砥石周速度が速く、砥粒切込み深さが小さい場合、砥粒は摩滅傾向で研削が進んでいきます。摩滅傾向での研削は、研削熱が発生しやすく、特にTi-6Al-4Vのような熱伝

表4 試験条件

【試験条件】

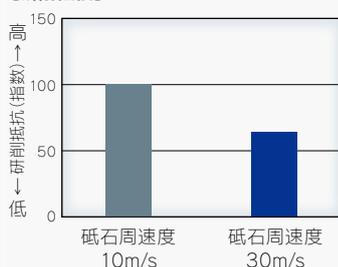
研削方式	平面研削
砥石スペック	SH60-V
砥石寸法	φ176×T19×φ76.2mm
砥石周速度	10m/s 30m/s 砥粒切込み深さは約1/3になる
研削能率	3.3mm ³ /mm ² ・s

【ドレッシング条件】

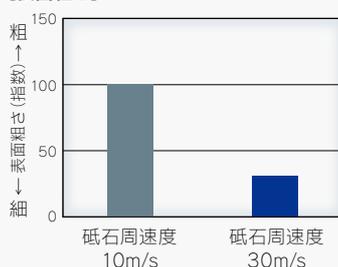
ドレッサ	0.6LL単石ドレッサ
ドレッシングリード	0.1mm/r.o.w.
切込み量	R0.01mm/pass

図9 試験結果

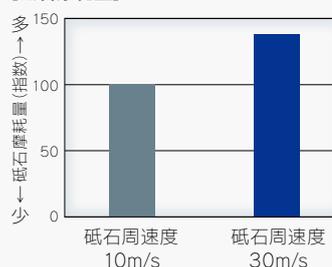
【研削抵抗】



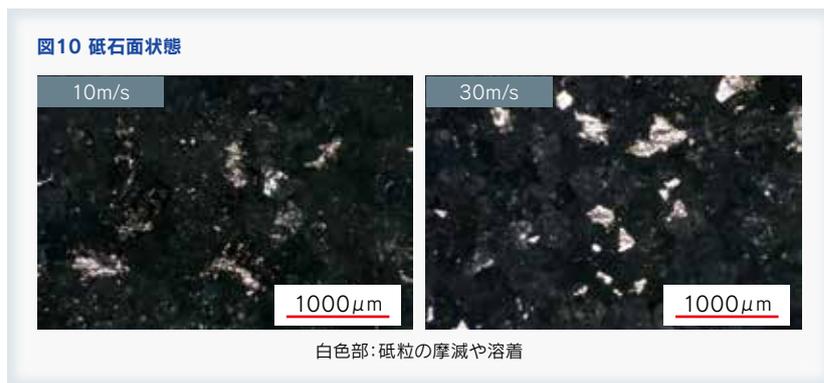
【表面粗さ】



【砥石摩耗量】



導率が低い材料では、その傾向が顕著になると考えられます。発生した研削熱によるダメージで砥粒の摩滅が促進され、砥粒への溶着が発生、進行すると考えられ、研削後の砥石面状態において、砥石周速度30m/sの方が、砥粒の摩滅や溶着が進行していることが確認できます(図10)。このような状態になると、砥粒の保持力に対して研削時に砥粒へ加わる負荷が大きいため、脱落する砥粒が多くなります。この一連の現象が繰り返されることにより、砥石周速度が速いときに砥石摩耗量が多くなったと推察されます。



Ti-6Al-4Vの研削における課題解決への提案

本稿では、Ti-6Al-4Vの難削性とこの材料の研削に適するビトリファイド一般砥石や研削条件についてご紹介しました。Ti-6Al-4Vは熱伝導率が低いという特性を持つため、ワークの精度や品位を保つことが難しい、また砥石寿命が短いといった課題があります。これらは、ビトリファイド一般砥石を用い、切れ味と砥石寿命の両立が求められる場合にはSH砥粒を、ワークの表面粗さや砥石寿命を特に重視する場合にはGC砥粒を用いることで解決できる可能性があります。同様に研削条件としては、ワークの表面粗さを重視する場合は砥石周速度を速く、砥石寿命を重視する場合は、遅くすることで解決できる可能性があります。本稿をご覧になり、Ti-6Al-4Vの研削を検討されている方の参考になれば幸いです。

[注釈]

- ※流れ形の切り屑：リボン状をした切り屑であり、良好な研削時に発生する。
- ※構成刃先形の切り屑：砥石面に溶着堆積した切り屑がはがれ落ちたもの。
- ※むしり形の切り屑：粉末状の切り屑であり、良好でない研削時に発生する。
- ※SH砥粒：単結晶系アルミナ系砥粒であり、WA砥粒に比べ破砕しにくい砥粒。

[文献]

- ① 大浦 雄介：スーパーユニフォーム・ノンクロツティ, NORITAKE TECHNICAL JOURNAL 2018(2017), 8-11

Q Ti-6Al-4Vを高能率で研削したいのですが、どうすればいいのでしょうか？

A 本稿の内容に加え、以下のような方法をご提案します。

- ①局所的な研削熱の発生による砥粒の摩滅や溶着を抑制する効果があり均質砥石構造をもつスーパーユニフォームやノンクロツティ^①への変更
- ②砥粒への溶着の発生、成長を抑制する高圧洗浄装置の追加

Q & A