

NACHI
**TECHNICAL
REPORT**
Machining

Vol. **28** B2
October/2014

マシニング事業

■ 新商品・適用事例紹介

びびり振動を抑制して高能率・高品位加工を実現
「GSX MILL VLシリーズ」

"GSX MILL VL series"

High Efficiency and High Quality Milling
with Control of Chattering

〈キーワード〉 びびり振動・VL(Vibration Less)
不等分割／不等リード・加工面品位
高能率加工・GSXⅡコート

ラウンドツール製造所／技術部
柴田 朝子 Asako Shibata

要 旨

スマートフォンや携帯電話などの通信機器や、テレビ、洗濯機などの家電製品は、私たちの日常生活に必要不可欠なものとなり、毎年新しい機能・コンパクトな形状の製品が発売され、そのサイクルは年々短くなっている。また、自動車産業においても、ハイブリッドや電気自動車、クリーンディーゼルなど、環境や燃費を重視したエコカーの開発が目まぐるしくすすんでいる。このように私たちの生活が、より便利になる一方で、製造現場では、部品の多品種・小ロット化が促進され、生産効率の向上や短納期対応が困難を極めている。その上、部品の軽量化・長寿命化が求められ、被削材の難削化により加工方法の最適化や工具寿命の向上が課題となっている。

NACHIは、高効率加工に適応したエンドミルとして「GSX MILL VL(Vibration Less)」を2010年に発売し、シリーズ展開をすすめてきた。今年アルミニウム合金の切削に適した「DLC MILL VL」なども追加し、シリーズ数は20以上と用途にあわせた最適な選定が可能となっている。

Abstract

The communication devices such as smart phones and cell phones and household appliances such as TV and washers have become essential for our daily lives. Every year the products with new functions and compact forms have been introduced and the product cycles have become shorter and shorter year after year. Also in the automobile industry, the development is rapidly progressing in the field of eco-cars such as hybrid, electric and clean diesel cars that focus on the environment and fuel efficiency. While our lives have been filled with much more conveniences, at the production floor, the production of the parts with multiple models and with smaller lots is promoted, making it extremely difficult to improve the production efficiency and to achieve the short lead time. In addition, the parts with lightweight and longevity are demanded. Thus, the optimum milling method of the materials difficult to mill and the tool longevity are the challenges.

In 2010 NACHI launched the sale of “GSX MILL VL (Vibration Less)” that is suitable for highly-efficient end milling and has been developing the series since that time. This year NACHI is adding the “DLC MILL VL” that is suitable for milling of aluminum alloy and is providing more than 20 optimum mill series suitable for various usages.

1. エンドミル加工におけるびびり振動^{※1}

エンドミル加工において、びびり振動の発生は、加工面精度の悪化や、工具の短寿命を招くという問題がある。とくに、高速・高送り・高切り込み加工や、工具突き出し量の長い状態で加工する場合、びびり振動が発生しやすくなる。びびり振動には、強制びびり振動^{※2}と自励びびり振動^{※3}とがあり、加工中に大きな振動を伴う場合の多くが、自励びびりの一つである再生型びびり振動^{※4}である。

図1に切削加工におけるびびり振動の発生原理を示す。切削加工は、被削材と工具の相対運動により行なわれ、前加工波状面と現加工波状面との位相差により、切り取り厚さが周期的に変化する(図1b)。これが切削抵抗の周期的な変動となり、その振幅が一定値を超えると振動が成長し、再生型びびり振動につながる。これを抑制するには、切れ刃の間隔を変えるなどして、切り取り厚さの周期性もしくは規則性を変える方法が有効である(図1c)¹⁾。

本稿で紹介する「GSX MILL VLシリーズ」は、不等分割・不等リード^{※5}を採用し、再生型びびり振動を抑制する効果(防振効果)を有するエンドミルである。

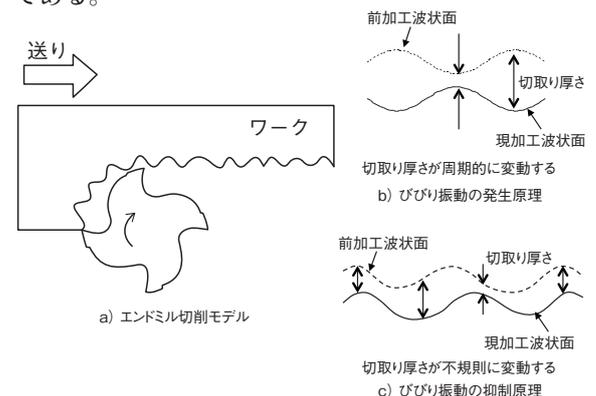


図1 エンドミル加工におけるびびり振動



2. 「GSX MILL VLシリーズ」のラインナップ

NACHIの「GSX MILL VLシリーズ」は、ラインナップを豊富にとり揃えて、様々な加工に最適な工具を適用することができる。シリーズ構成を表1に、外観を図2に示す。



図2 「GSX MILL VLシリーズ」の外観写真

切削する被削材にあわせて、鋼用とTi・SUS用の2種類の用途から選定することができ、2.5D刃長の標準タイプの他に4D刃長のロングタイプ、仕上げ加工に適した多刃タイプ、立ち壁などの深彫り加工に適したロングシャンクタイプをラインナップしている。これらのアイテムはスクエア刃とラジアス刃をとり揃えている。さらに、2014年には、穴あけ〜溝加工を連続して高能率に加工できる3枚刃のスロットタイプや、アルミニウム合金の高速切削で抜群の性能を発揮するDLCコーティングを施した「DLC MILL VLシリーズ」もラインナップに追加した。

表1 「GSX MILL VLシリーズ」の構成表

形状	刃長	1.5D	2.5D	4D
鋼用	標準	—	スクエアφ3～20 / ラジアスφ6～20 GSXVL4-2.5D / GSXVL4-R-2.5D	スクエアφ3～20 / ラジアスφ6～20 GSXVL4-4D / GSXVL4-R-4D
	多刃	—	スクエアφ6～20 / ラジアスφ6～20 GSXVL6-2.5D / GSXVL6-R-2.5D	—
	ロングシャンク	スクエアφ3～20 / ラジアスφ3～20 GSXVLLS4-1.5D / GSXVLLS4-R-1.5D	—	—
Ti・SUS用	標準	—	スクエアφ3～20 / ラジアスφ6～20 GSXVL4T-2.5D / GSXVL4T-R-2.5D	スクエアφ3～20 / ラジアスφ6～20 GSXVL4T-4D / GSXVL4T-R-4D
	多刃	—	スクエアφ6～20 / ラジアスφ6～20 GSXVL6T-2.5D / GSXVL6T-R-2.5D	—
	ロングシャンク	スクエアφ3～20 / ラジアスφ3～20 GSXVLLS4T-1.5D / GSXVLLS4T-R-1.5D	—	—
スロット		—	スクエアφ3～16 GSXVLSLT3-2.5D	—
アルミニウム合金用	標準	—	スクエアφ3～20 / ラジアスφ6～20 DLCVL4-2.5D / DLCVL4-R-2.5D	スクエアφ3～20 / ラジアスφ6～20 DLCVL4-4D / DLCVL4-R-4D
	多刃	—	スクエアφ6～20 DLCVL6-2.5D	—
	ロングシャンク	スクエアφ3～20 DLCVLLS4-1.5D	—	—

3. 「GSX MILL VLシリーズ」の特長

1) 「GSX MILL VLシリーズ」の形状

「GSX MILL VLシリーズ」は、図3に示すように、不等分割・不等リード形状を採用することによって、外周刃の分割比を連続的に変化させている。これにより、切削抵抗の周期性が変化し、再生型びびり振動を抑制する。

加工初期の切削抵抗測定結果を図4に示す。従来品は、波形の振幅が大きいことから、加工時に大きな振動が発生していることが分かる。「GSX MILL VL」は振幅が小さく、防振効果が確認できる。

ねじれ角は鋼用を約40°、Ti・SUS用を約45°としている。鋼用は切れ刃強度を重視する設計、Ti・SUS用は熱伝導率の低い難削材に対しても切削熱の上昇を抑えるため切れ味を重視する設計にして、それぞれの被削性に応じて切れ刃形状を最適化している。

2) 材料およびコーティング

「GSX MILL VLシリーズ」では、鋼用にはコバルト含有量の最適化とWC粒径の微細化で抗折力と耐熱衝撃性に優れた（鋼部品のウェット加工にも強い）超微粒系超硬合金を、Ti・SUS用にはWC粒径の最適化により靱性と硬さをバランスさせ、耐熱合金などの難削材加工時の耐熱性と耐チップング性に優れた超硬合金を採用した。

防振効果に優れ高負荷な加工条件にも耐えられる「GSX MILL VLシリーズ」のコーティングには、耐熱性、耐摩耗性、耐溶着性を高めたAlCr系のGSX IIコーティングを採用した。

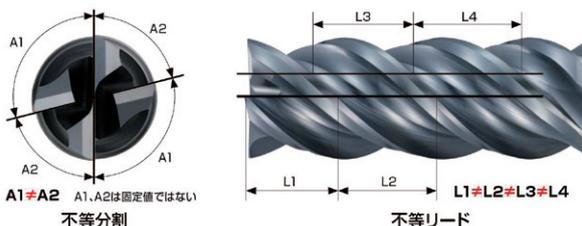
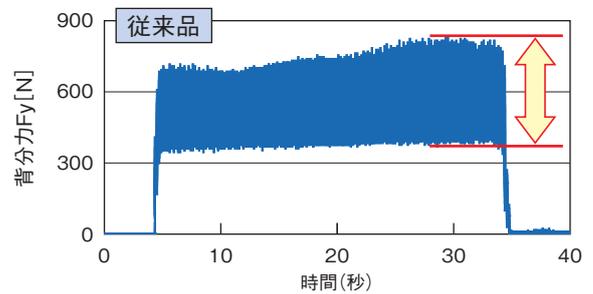
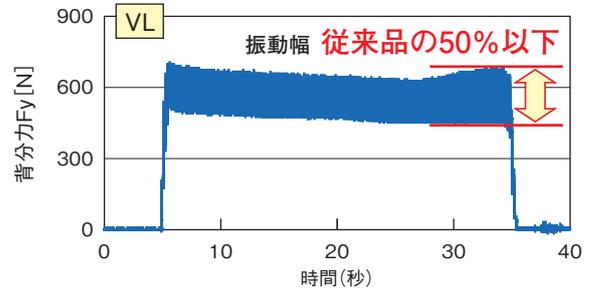
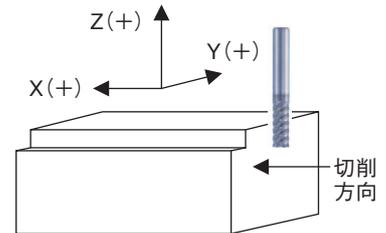


図3 「GSX MILL VL」の形状



Fx: 送り方向分力
Fy: 背分力
Fz: 軸方向分力



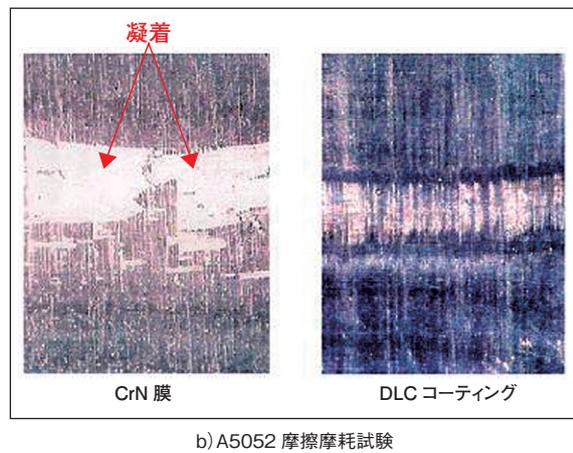
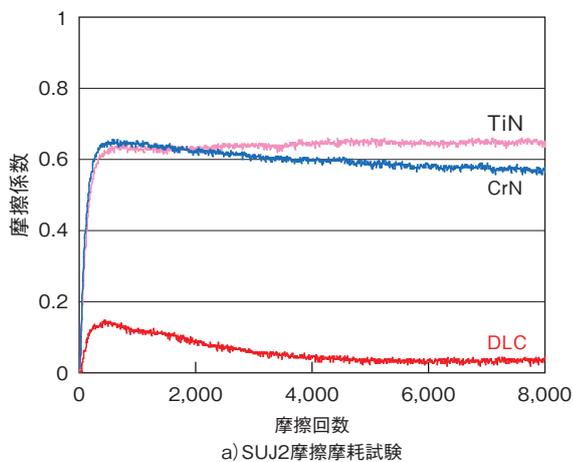
工具	: GSX MILL VL ロングシャンク Ti・SUS
寸法	: φ10
被削材	: SUS304
切削条件	: Vc=63m/min、Vf=400mm/min
切り込み量	: ap10mm、ae2mm
切削油剤	: 水溶性切削油剤

図4 切削抵抗波形

また、「DLC MILL VLシリーズ」のコーティングには、非鉄金属の加工に最適なDLC (Diamond Like Carbon) コーティングを採用した。DLCコーティングはその名の通りダイヤモンドに似た特性を持っており、非鉄金属との反応性が低いため、アルミニウム合金が膜に凝着しにくい。図5にDLCコーティングの特長を示す。(図5a) 摩擦係数のグラフから分かるように、鋼の切削によく用いられるTiN膜や従来の非鉄用コーティングであるCrN膜の摩擦係数は0.6以上と高い。これに対し、DLCコーティングは摩擦係数が0.1程度で、1/6以下と小さく、摺動性に優れる。(図5b) A5052摩擦摩耗試験後の膜表面を見ても、CrN膜表面にピン材質A5052が凝着しているのが観察される。一方、DLCコー

ティングは摩擦摩耗試験後の膜表面にも凝着がほとんど観察されなかった。実際の切削においてもDLCコーティングの耐凝着性能は抜群に優れており、図6はA5052をφ10mmの2枚刃エンドミルでドライ加工したときの、DLCエンドミルと超硬無処理エンドミルの比較である。超硬無処理エンドミルでは、切削開始直後にエンドミルに被削材が凝着し折損したのに対してDLCエンドミルでは、切削長17m時点で凝着は軽微であり、継続して切削可能であった。また、加工面もむしれの無い美しい面に仕上がっている。

以上、鋼用、Ti・SUS用、アルミニウム合金用という他に類の無いシリーズ揃えにより、多種多様な被削材・加工環境に対応し、幅広い被削材での長寿命化と信頼性を向上させた。



ピンオンディスク試験 ※6
 ピン : SUJ2 荷重 : 10N ドライ
 ディスク : Film/HSS (Ry0.2μm) 試験機 : CSEM Tribometer
 回転数 : 500min⁻¹

ピンオンディスク試験 ※6
 ピン : A5052 荷重 : 4N ドライ
 ディスク : Film/HSS (Ry0.2μm) 試験機 : CSEM Tribometer
 回転数 : 1,000min⁻¹

図5 DLCコーティングの特長

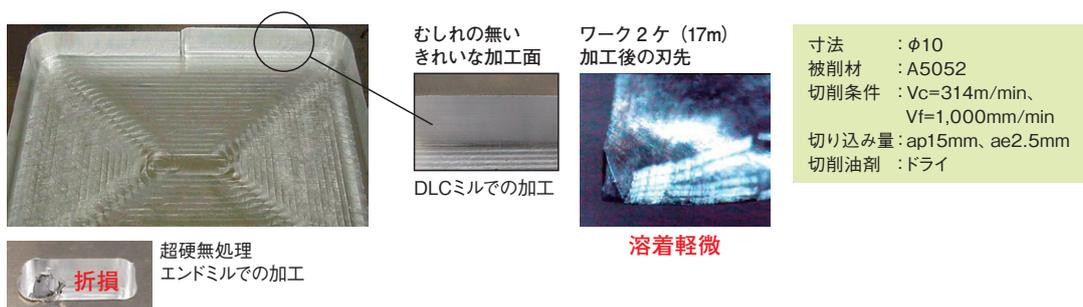


図6 A5052加工の比較

4. 「GSX MILL VLシリーズ」の加工事例

1) 耐熱合金の加工事例

図7に「GSX MILL VL多刃Ti・SUSラジアス」φ12R3による耐熱合金 (Inconel718) の側面加工事例を示す。切削速度41m/min、送り速度260mm/min、切り込み量ap15mm、ae0.5mmでの比較事例である。

切削長4m時点で他社品は摩耗量が200 μm以上と大きく、欠損も見られる。一方、「GSX MILL VL多刃Ti・SUSラジアス」は耐熱合金などの熱伝導率の低い被削材に対しても工具損傷が小さく、摩耗量は100 μm以下と微小であり、継続して加工が可能である。

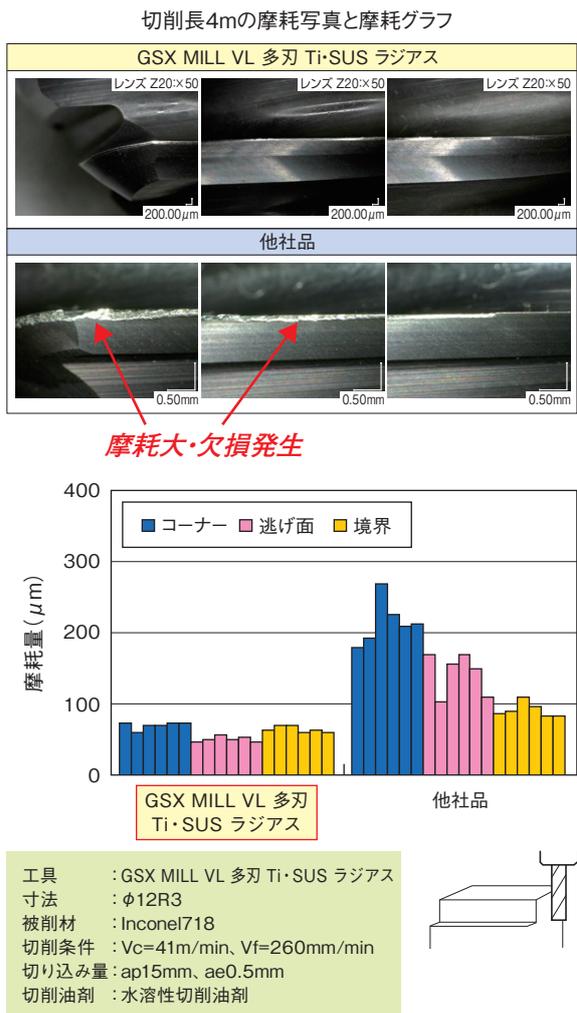


図7 「GSX MILL VL 多刃 Ti・SUS ラジアス」加工事例
～ Inconel718側面加工～

2) 加工工程の短縮

図8に「GSX MILL VL Ti・SUS」φ12による発電部品用ブレード加工の工程短縮事例を示す。ワーク材質はSUS410Jである。

発電機用のブレードは薄肉のため、びびり振動が発生しやすいのが問題である。他社超硬エンドミル (等分割・等リード) を用いた現行の加工でも、中仕上げでの精度が不十分なため、中仕上げ+仕上げ加工の2工程が必要となり、加工コストやびびり振動による工具の欠損が問題となっていた。そこで、「GSX MILL VL Ti・SUS」を使用したところ、びびり振動を抑制し一発で要求精度を満足することができ、さらに後工程である磨き工程の時間短縮も達成できた。工具の欠損も無くなり、「工程短縮」+「工具の長寿命化」という2つの項目を改善できた事例である。

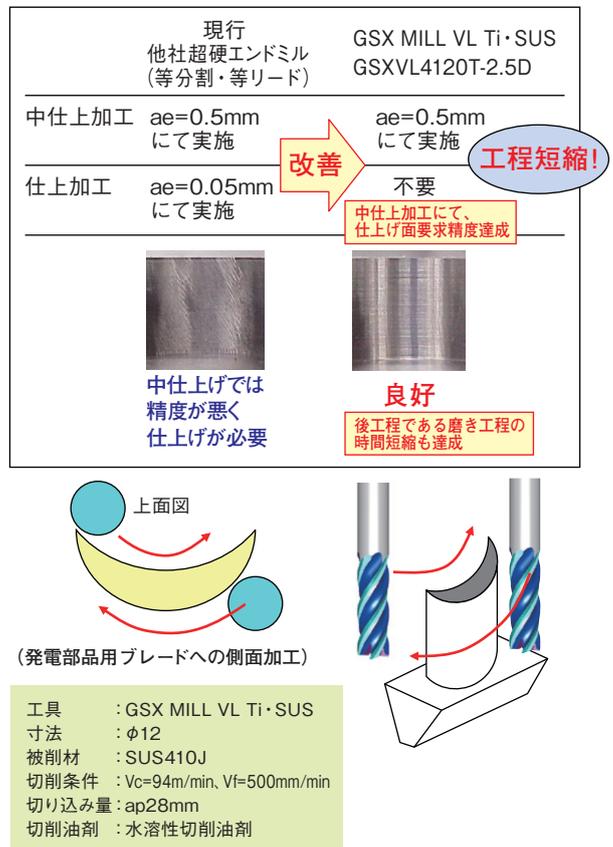


図8 「GSX MILL VL Ti・SUS」加工事例
～発電部品用ブレード加工の工程短縮～

3) 穴～溝の連続加工

図9に「GSX MILL VLスロット」φ16によるS50Cの穴～溝の連続加工事例を示す。切削速度90m/min、送り速度は穴加工80mm/min、溝加工370mm/min、切り込み量ap16mmでの比較事例である。

従来品（スロット）は、まず穴奥で切削抵抗が上昇し切りくずが詰まっていることが分かる。また、溝加工時の振幅も2,000N以上と大きく、びびり振動が発生して加工面が荒れている。これに対し、「GSX MILL VLスロット」は穴加工時の抵抗上昇もなく、溝加工時の振幅は200N以下で従来品の1/10以下である。

穴加工時の切りくず詰まりを改善し、溝加工時のびびり振動も抑制できたことで、加工能率の向上・工具の長寿命化・加工ワークの高精度仕上げを可能とした。

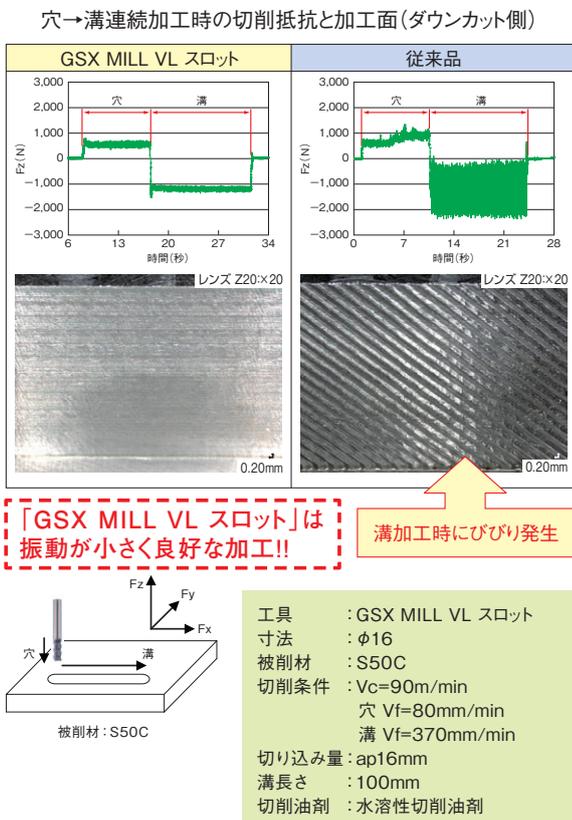


図9 「GSX MILL VL スロット」加工事例
～穴→溝の連続加工～

4) A5052の立ち壁加工事例

図10に「DLC MILL VLロングシャンク」φ10によるA5052の立ち壁加工事例を示す。切削速度251m/min、送り速度2,400mm/min、切り込み量ap12mm×3pass（軸方向に36mm切り込む）、ae2.0mmでの比較事例である。

他社DLCコート品はびびり振動が発生し、加工面が悪化しており、面粗さはRz24.2μmと大きい。これに対し、「DLC MILL VLロングシャンク」は倒れ、うねりが小さく、加工面粗さもRz4.0μmで他社品の1/6以下と良好である。

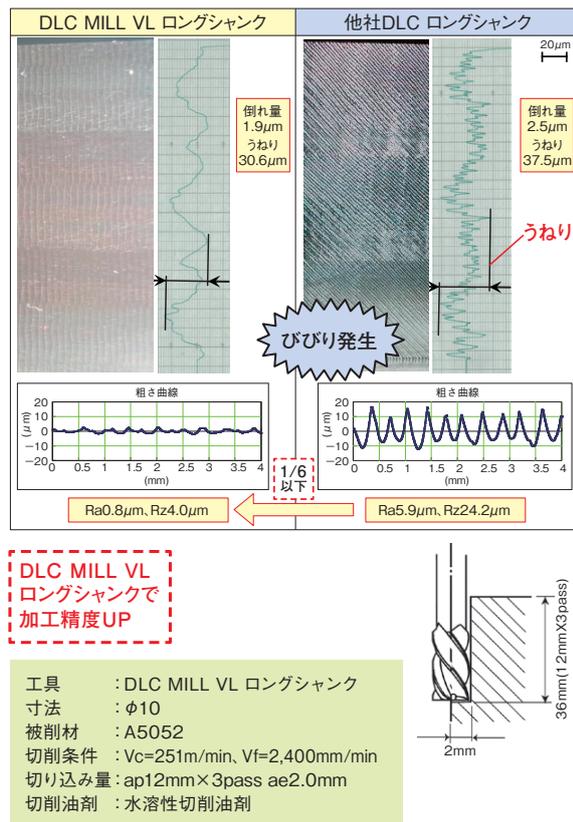


図10 「DLC MILL VL ロングシャンク」加工事例
～A5052立ち壁加工～

5) A5052の高速切削加工事例

図11に「DLC MILL VL多刃」φ10によるA5052の高速切削加工事例を示す。切削速度302m/min、送り速度1,000mm/minおよび3,000mm/min、切り込み量ap15mm、ae1.0mmでの比較事例である。

他社DLCコート品(2枚刃)はびびり振動が発生し、加工面が悪化している(Rz6.3μm)。一方、「DLC MILL VL多刃」は同一送り速度において加工面粗さがRz1.1μmと他社品の1/6程度と小さい。また、送り速度を3,000mm/minまで上げて他社品と同一送り量で加工したところ、びびり振動は発生せず、加工面粗さもRz3.5μmであり、高速・高送りに適した工具であることが分かる。

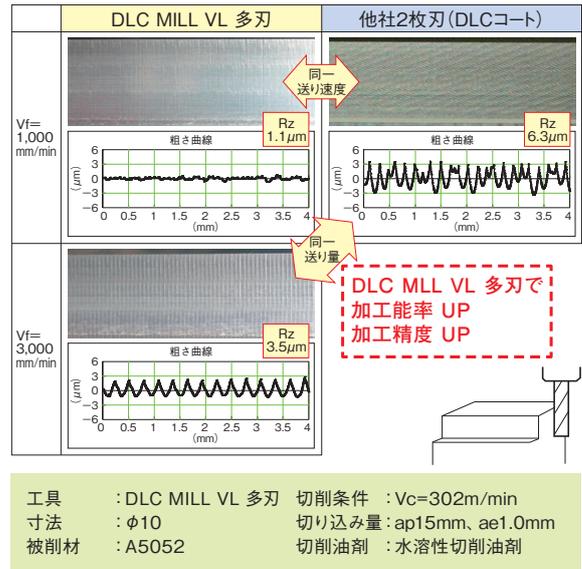


図11 「DLC MILL VL 多刃」加工事例
～ A5052高速切削～

5. 「GSX MILL VLシリーズ」の汎用性

本稿では、製造現場が抱える課題である、高能率加工による製造リードタイムの短縮や、耐熱合金などの難削材の加工に適した工具である「GSX MILL VLシリーズ」を紹介した。

「GSX MILL VLシリーズ」は、高速、高能率、高精度加工を実現し、多様化する加工方法や

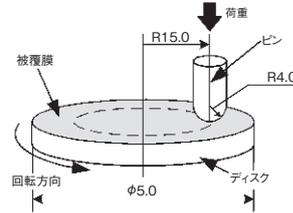
ワーク材質に対し、豊富なラインナップで様々な加工シーンに対応可能な超硬エンドミルである。金型加工の他、クーラントが多用される部品加工など、あらゆるミーリング加工に適用可能である。是非、「GSX MILL VLシリーズ」を使用し、その効果を実感していただきたい。

用語解説

- ※1 びびり振動
切削加工中に生じ、切れ刃や加工面に悪影響をおよぼす振動の総称。
- ※2 強制びびり振動
切削系のどこかに振動源があり、その影響をうけて発生する振動のこと。振動源としては工作機械内部にある駆動装置の振動、フライス加工における断続的な切削力、あるいは工作機械外から伝わってくる振動などである。
- ※3 自励びびり振動
特定の振動源がなくても工作機械の動特性と切削過程が重なって、ある条件を満たしたときに発生する。重切削や、高速切削の時に発生しやすい。
- ※4 再生型びびり振動
一つ前の切削時に生じた振動が加工面の起伏となって残り、その振動が現在の切削の切りとり厚さの変動として再生することによって生じるびびり振動。
- ※5 不等リード
隣り合う切れ刃のねじれ角が異なる形状。(図3に示す形状)

参考図

- ※6 ピンオンディスク試験装置の模式図



参考文献

- 1) 鈴木教和:「切削加工におけるびびり振動」(後編) 精密工学会誌 Vol.76 No.4 2010 p.406