

NACHI  
**TECHNICAL  
REPORT**  
Machining

Vol. **25** B2  
October/2012

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・  
GSX IIコート

ラウンドツール製造所／技術部／技術開発

柴田 朝子 Asako SHIBATA

# 要 旨

近年、エネルギー問題や、CO2削減など地球環境問題に配慮した物作りが求められている。その中で、製造現場では短納期対応、コスト競争が激しく、いかに生産効率を上げるかが大きな課題となっている。一方、各種部品の軽量化・長寿命化が求められ、被削材の難削化がすすんでおり、耐摩耗性、耐腐食性、耐伸縮性に優れた耐熱合金をはじめ、難削材に対する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、高能率加工に適應したエンドミルとして「GSX MILL VL (Vibration Less)シリーズ」を開発した。GSX MILL VLシリーズは不等分割・<sup>※1</sup>不等リードを採用し、高能率加工においてびびり振動を抑制し、加工面品位の向上を実現する。また、チタン合金などに最適なTi・SUS用と、炭素鋼・合金鋼などに最適な鋼用とに分けてシリーズ化し幅広い被削材の加工に対応する。

## Abstract

Recently, the manufacturing has been called for to take into consideration global environmental issues such as energy consumption and CO2 reduction. Under these circumstances, the manufacturing floor faces a major challenge in improving production efficiency in order to satisfy a short lead time and fierce cost competition. On the other hand, lightweight and longevity of various parts have been demanded and such materials are difficult to machine. Thus, the challenges are improvement on a tool life and optimization for machining of difficult materials like heat-resistant alloy that excels in wear resistance, corrosion resistance and elasticity resistance.

NACHI has developed "GSX MILL VL (Vibration Less) Series" which are end mills suitable to highly efficient milling. GSX MILL VL Series adopt the functions of uneven angles and uneven lead <sup>1</sup>, control chattering in highly efficient milling and improve the surface quality of milling. In addition, the series consist of the end mills for Ti/SUS that is optimum for titanium alloy and end mills for steels such as carbon steel and alloy steel, which is to satisfy the milling of the wide-ranging materials.

# 1. エンドミル加工における<sup>※2</sup>びびり振動

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易くなる。

びびり振動には、<sup>※3</sup>強制びびり振動と<sup>※4</sup>自励びびり振動とがあり、加工中に大きな振動を伴う場合の多くが、<sup>※5</sup>自励びびりの一つである再生型びびり振動である。

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、被削材と工具の相對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、切りと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、切りと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)。<sup>1)</sup>

本稿で紹介するGSX MILL VLシリーズは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。

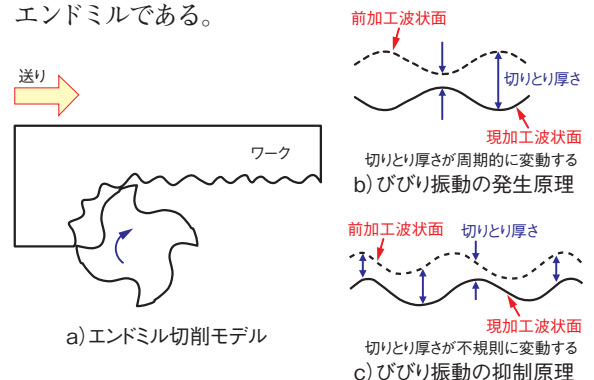


図1 エンドミル加工におけるびびり振動



## 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、様々な加工に最適な工具を適用するため、シリーズのラインナップを豊富にとり揃えている。シリーズ構成を表1に、外観を図2に示す。

鋼用とTi・SUS用の2種類の刃型形状から切削する被削材に合わせて選定することができ、標準タイプのスクエアおよびラジアスは2.5D刃長の他に4D刃長もシリーズ化している。これに加え2012年7月には、仕上げ加工に適した多刃タイプや、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に追加した。



図2 GSX MILL VLシリーズの外観写真

表1 GSX MILL VLシリーズの構成表

刃長 形状		1.5D	2.5D	4D
鋼用	スクエア	—	φ3~20  GSXVL4-2.5D	φ3~20  GSXVL4-4D
	ラジアス	—	φ6~20  GSXVL4-R-2.5D	φ6~20  GSXVL4-R-4D
	多刃	—	φ6~20  GSXVL6-2.5D	—
	ロング シャンク	φ3~20  GSXVLLS4-1.5D	—	—
Ti・SUS用	スクエア	—	φ3~20  GSXVL4T-2.5D	φ3~20  GSXVL4T-4D
	ラジアス	—	φ6~20  GSXVL4T-R-2.5D	φ6~20  GSXVL4T-R-4D
	多刃	—	φ6~20  GSXVL6T-2.5D	—
	ロング シャンク	φ3~20  GSXVLLS4T-1.5D	—	—

### 3. GSX MILL VLシリーズの特徴

#### 1) 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。VLは振幅が小さく、防振効果が確認される。

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。

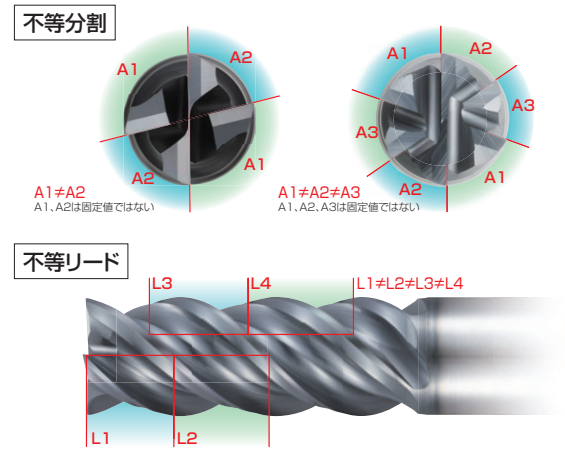
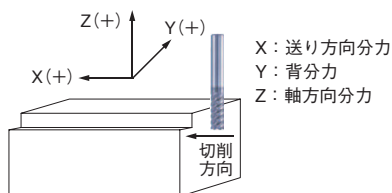
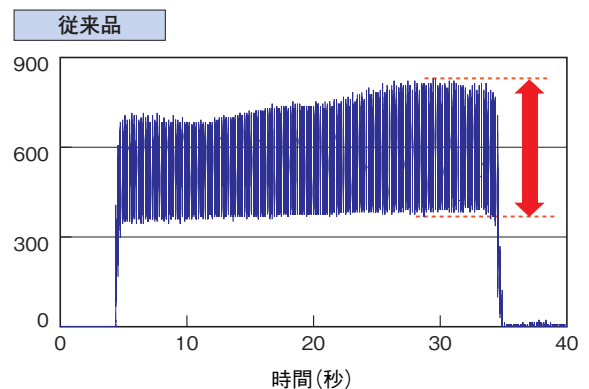
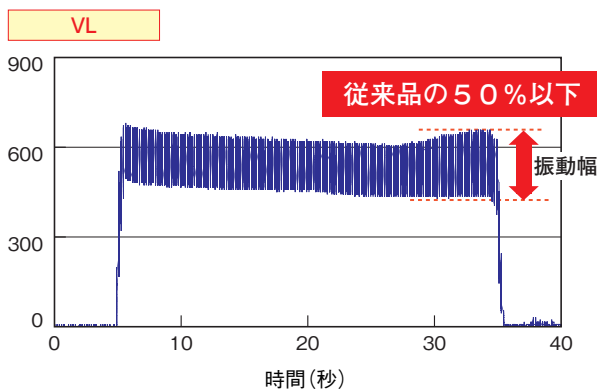


図3 GSX MILL VLの形状



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

## 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とWC粒径の最適化で高い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溶着性と耐チップング性に優れた微粒系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、そして耐溶着性を高めたAlCr系のGSXIIコーティングを採用した。図5に膜の断面構造を示す。GSXIIコーティングの耐熱性の評価を行なった結果を図6に示す。1,100℃の大気中に1時間放置した後に、コーティングの状態を観察した。GSXIIコーティングは表層0.3μmが酸化した程度に留まっているが、他社のコーティングは、カタログ値が1,200℃であるにも関わらず全酸化している。この結果は、GSXIIコーティングが、実験的にも高い耐熱性を有していることを示している。これは、一般的な切削における工具寿命の延長だけでなく、高硬度材の高速ドライ加工や耐熱合金の高効率加工なども可能にしている。

以上、鋼用とTi・SUS用という他に類の無い2種類の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。

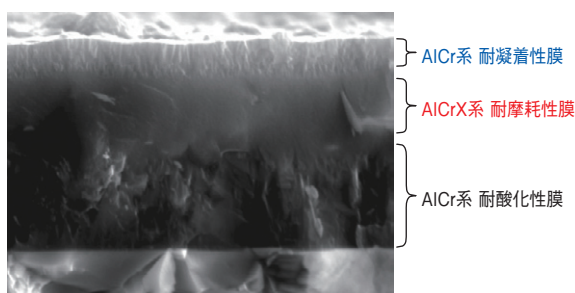


図5 GSXIIコーティングの断面構造

大気中 1,100℃ -1 時間保持後のカロテスト痕

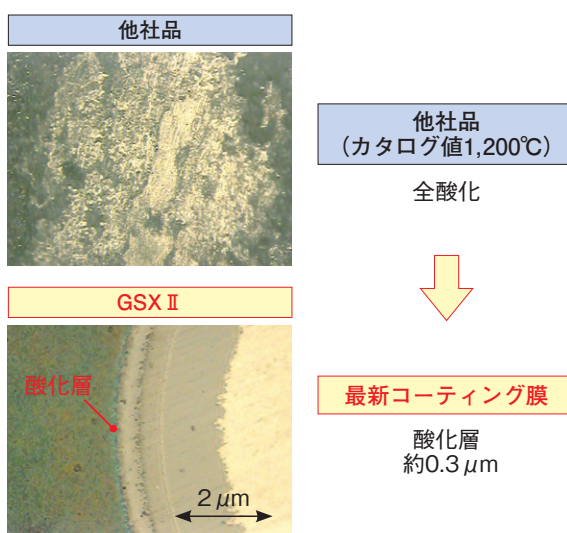


図6 GSXIIコーティングの耐酸化性評価

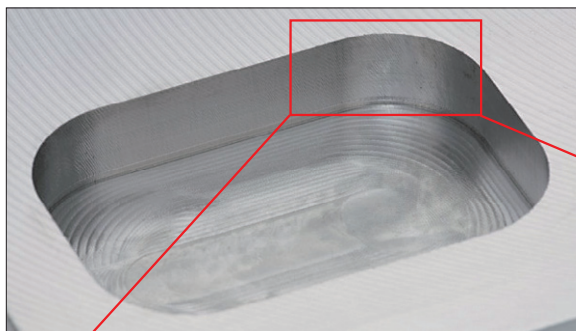
## 4. GSX MILL VLシリーズの加工事例

### 1) チタン合金の加工事例

図7にGSX MILL VL Ti・SUSφ10によるチタン合金(Ti6Al4V)のポケット加工事例を示す。切削速度90m/min、送り速度460mm/min、切り込み量ap10mm、ae0.7mmでの比較事例である。

ポケットのコーナー部はエンドミルが被削材と接触する範囲が広がるため切削抵抗が大きくなり、

また、びびり振動が発生し易く、加工面の悪化や工具損傷を招く可能性が大きい。標準4枚刃エンドミルはびびり振動が発生し、コーナー部の加工面が悪化していることが分かる。これに対し、VL Ti・SUSはびびり振動が発生せず、良好な加工面が観察できる。



工具	: GSX MILL VL Ti・SUS
寸法	: φ10
被削材	: チタン合金(Ti6Al4V)
切削条件	: Vc=90m/min、Vf=690mm/min コーナー部 Vf=460mm/min
切り込み量	: ap10mm、ae0.7mm
切削油剤	: 水溶性切削油剤



高速・高送り加工でも  
高精度な加工面を実現!!



図7 GSX MILL VL Ti・SUS加工事例  
～ Ti6Al4Vポケット加工～

## 2) ロング刃長による高能率加工

図8にGSX MILL VL 4D φ10によるS50Cの側面加工事例を示す。VL4Dの仕上げ条件は切削速度120m/min、送り速度900mm/min、切り込み量ap35mm、ae0.2mmで標準4枚刃エンドミルのカタログ条件での切削との加工面および加工能率の比較事例である。

VL4Dは標準条件において標準4枚刃エンドミルの9倍の加工能率で切削が可能で、加工面粗さも1/2程度でありロング刃長においてもびびり振動を抑制し、高能率加工が可能であることが示された。また、仕上げ条件で切削速度を高速にすることで、加工面精度が向上し、高能率仕上げ加工にも適していることが分かる。

工具	GSX MILL VL-4D φ10		標準EM-4D φ10
	標準条件	仕上げ条件	標準条件
切削速度	100m/min	120m/min	47m/min
回転数	3,200min <sup>-1</sup>	3,800min <sup>-1</sup>	1,500min <sup>-1</sup>
送り速度	1,500mm/min	900mm/min	330mm/min
送り量	0.117mm/t	0.06mm/t	0.055mm/t
切り込み量	ap35mm、ae0.4mm	ap35mm、ae0.2mm	ap35mm、ae0.2mm
切削油剤	ドライ(エアブロー)		

加工能率  
9倍

加工能率  
2.7倍

超高精度な  
加工面

びびり振動が抑制され  
高能率加工で高精度な加工面を実現!!!


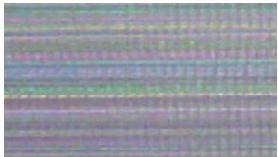

GSX MILL VL-4D		標準EM-4D
標準条件	仕上げ条件	標準条件
		
Rz6.1 μm	Rz2.5 μm	Rz12.3 μm

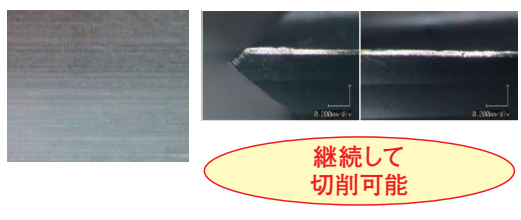

図8 GSX MILL VL 4D加工事例  
～ S50C側面加工～

### 3) 耐熱合金の加工事例

図9にGSX MILL VL 多刃Ti・SUSφ6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360mm / min、切り込み量ap9mm、ae0.5mmでの比較事例である。

3.5m切削時点で他社品は工具欠損が見られ、加

工面もびびり振動により悪化している。一方、VL 多刃Ti・SUS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、加工面も良好で継続して加工が可能である。

3.5m 加工後の加工面性状と損傷状態	
<b>GSX MILL VL 多刃 Ti・SUS</b>	 <p style="text-align: center; color: red;">継続して 切削可能</p>
他社品	 <p style="text-align: center; color: red;">摩耗大・欠損発生</p> <p style="text-align: center; color: red;">びびり発生</p>

工具 : GSX MILL VL  
 多刃Ti・SUS  
 寸法 : φ6  
 被削材 : Inconel718  
 切削条件 : Vc=41m/min、Vf=360mm/min  
 切り込み量 : ap9mm、ae0.5mm  
 切削油剤 : 水溶性切削油剤

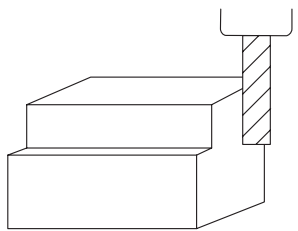


図9 GSX MILL VL 多刃Ti・SUS加工事例  
～ Inconel718側面加工～



#### 4) S50Cの立ち壁加工事例

図10にGSX MILL VL ロングシャンクφ10によるS50Cの立ち壁加工事例を示す。切削速度120m/min、送り速度1,050mm/min、切り込み量ap9mm×5pass(軸方向に45mm切り込む)、ae0.5mmでの比較事例である。

他社品はびびり振動が発生し、加工面が悪化しており、工具のオーバーラップ部の横すじが目立つ。VLロングシャンクは加工面が良好で、オーバーラップ部の段差も他社1/3以下と微小である。

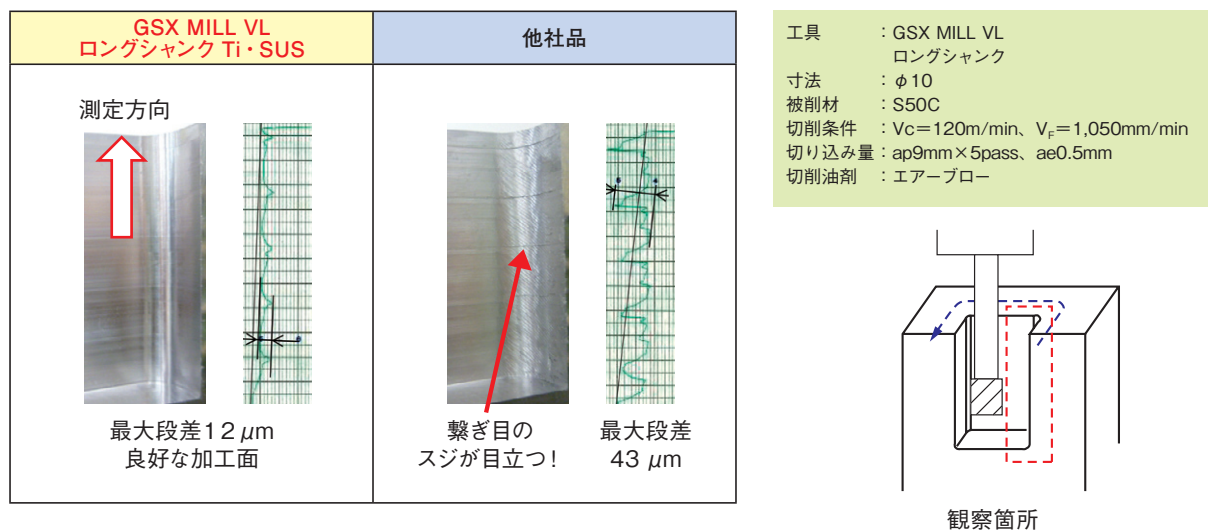


図10 GSX MILL VLロングシャンク加工事例  
～ S50C立ち壁加工～

## 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L / T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、高精度加工に対応した高性能かつ高信頼性を確保し、多様化する加工方法やワーク材質に対応するため、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、あらゆるミール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。

# GSX MILL VL シリーズ

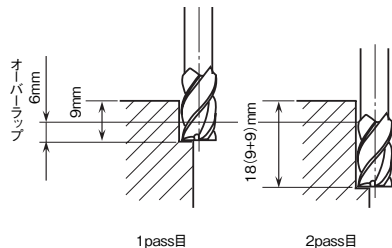
びびり振動を抑制する  
不等分割・不等リードエンドミル

Endmill with unequal tooth spacing  
and variable leads  
to suppress chattering



## 用語解説

- ※1 不等リード：隣りあう切れ刃のねじれ角が異なる形状。  
(図3に示す形状)
- ※2 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。
- ※3 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。
- ※4 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。
- ※5 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。
- ※6 オーバーラップ：1pass目で加工した箇所を2pass目で加工する際にも切削すること。(参考図参照)



参考：オーバーラップ

## 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