

# チタン

## TITANIUM JAPAN

July 2019

Vol.67 No.3

## 目 次

## 〈紹介〉

- ボーイング787中央翼におけるチタンの適用に関して ..... 安藤 則雄 ... 1
- 流体研磨法によるβチタン合金およびオーステナイト系ステンレス合金製ノズルの  
内面研磨技術 ..... 大田 智之 ... 4
- チタン薄板を用いた商品の開発と製造現場への応用 ..... 阿部 光範 ... 8
- 高圧温間成形が Ti-6Al-4V 製部品の経済性を変える  
..... ストゥーレ オルセン、加藤 雅敏、奥田 亮 ... 12
- 耐熱チタン合金 DAT54 の航空宇宙材料規格 (AMS) 登録 ..... 小柳 禎彦 ... 18

## 〈報告〉

- バリ AFNOR で開催された2018年度 ISO/TC79/SC11 WG2, WG4, WG5 会議及び  
第20回 SC11 年次総会の報告 ..... 山田 眞、萩原 益夫、名取 敦 ... 20

## 〈研究報告〉〈随想〉

- 放射光 X 線 CT による Ti-6Al-4V における超高サイクル疲労過程の観察  
..... 吉中 奎貴、中村 孝 ... 28
- 三次元積層造形法を活用したチタン合金製小型回収カプセル用スラストノズルの開発  
..... 升岡 正、長田 泰一、香河 英史、池田 博英 ... 34
- 調和組織制御による純チタンの高強度・高延性化 ..... 川畑 美絵、飴山 恵 ... 38
- 極低周波数域の振動を援用したチタン合金のドライ切削加工 ..... 杉原 達哉 ... 45
- 不思議なチタン合金との出会い ..... 竹元 嘉利 ... 50

## 〈学会だより〉〈展示会情報〉

- 2019年春季講演大会報告 (日本金属学会・日本鉄鋼協会) ..... 逸見 義男 ... 52
- 平成31年冬季賛助会員総会・研修会・交流会報告 ..... 河合 輝 ... 55
- うみコン2019へのチタン展示 ..... 鈴木 直人 ... 58
- 2019年海上技術安全研究所一般公開への協力 ..... 瀬戸山 竜 ... 60

## 〈事務局からの案内〉

- 平成30 (2018) 年度事業報告及び2019年度事業計画 ..... 62
- 文献抄録 ..... 67
- 平成31年3月~令和元年5月中の主なニュース ..... 72
- 金属チタン統計 ..... 74
- スポンジチタンの生産量と出荷量の2018年月別推移 ..... 76
- 展伸材の出荷量の2018年月別推移 ..... 76
- 委員会報告 ..... 77
- チタンに関する催物紹介 ..... 78
- 〈編集後記〉 ..... 小野 有一 ... 79



## 流体研磨法によるβチタン合金およびオーステナイト系ステンレス合金製ノズルの内面研磨技術

大田 智之\*

OTA, Tomoyuki\* Slurry Flow Polishing of Inner Surfaces of Nozzle made of β Titanium Alloy and that made of Austenitic Stainless Steel



A nozzle is one of the important parts for constituting biochemical automatic analysis devices. For the nozzle, smooth surface condition is required, since the inner surface of the nozzle affects analysis efficiency and contamination. The Futaku Precision Machinery has an original slurry flow polishing technique to well polish the inner surface of the nozzle made of β titanium alloy and that made of austenitic stainless steel. The slurry flow polishing technique enable us to polish the inner surface of the taper part and the elbow part in nozzles which cannot be handled by conventional polishing methods.

### 1. はじめに

当社は1917年の創業から長らくステンレス鋼やチタン合金といった難切削材の切削加工を本業としてきた。そのなかで、βチタン合金のパイプが世に存在していなかったことに着目し、パイプ製造設備を自社に導入し、世界で初めてβチタン合金 (Ti-22V-4Al) の小径パイプを開発した。現在では大手血液分析メーカーを始めとした多くの取引先から当社のパイプ製造技術と従来から持ち合わせていた切削加工や接合技術を生かした製品の注文を多くいただくようになった。

当社のパイプ技術を生かした代表的な製品のひとつが分析機器に取り付けられるノズルである。ノズルは分析の精度に大きく寄与するといわれており、その加工精度はとても重要視される。特に生化学分析機器メーカーは、検査対象である検体に異物が混入すること (コンタミネーション) を強く嫌うため、ノズル内面の平滑さを重要視することが多い。こうした背景から当社に依頼されるノズル製品への品質要求は年々厳しくなっている。

そうした要求に応えるためにはノズルあるいはパイプの内面研磨技術が重要となる。当社ではノズルあるいはパイプの内面を研磨するための技術をいくつか持ち合わ

せているが、本報ではノズル製品に適用している流体研磨法について紹介する。

### 2. ノズル

血液等の分析装置において検体や試薬を吸引し、装置内の反応層・キューベットへ吐出する部品をノズルという。その用途に応じてピペットやプローブといった呼び名が付けられることもあるが、本報ではそれらを含めてノズルと呼称する。

Fig. 1 にノズル製品の代表的な形状を示す。分析装置に用いられるノズルは、多くが試薬ボトル等の容器の内部へ挿入して試薬等を吸引する必要があるため、細長いパイプが必須となる。その材質に金属を用いる場合には、SUS316等のオーステナイト系ステンレス合金がよく採用される。ただし、耐食性が重視される場合には、βチタン合金が採用される。また、まれではあるがノズルに非磁性を求められる場合があり、SUS304やSUS316といった材料は応力誘起マルテンサイト変態により磁性を帯びてしまうことから、ステンレス合金を採用できない。そうした場合にも、非磁性材料であるβチタン合金が用いられる。

Fig. 1 (a) は分析装置と接続するためのホルダーとパイプを溶接しただけのシンプルなノズルのモデルである。このようなノズルは、内径が小さくなると流体を吸引あるいは吐出する際の圧損が非常に大きくなるため、微量分注用途には向かない。また、ノズル内部の容量を多く確保することができない。Fig. 1 (b) はこれらの問題を解決するためにノズルの先端部を絞り形状としたモデルである。この形状では、先端部の内径を小さくする

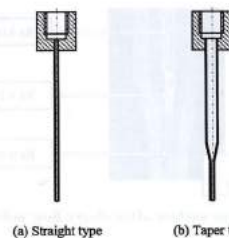


Fig. 1 Examples of typical Nozzle.

ことができるとともにノズル内部の体積は大きくすることができるため十分な容量を確保することができる。

近年では、病院での臨床検査が集中化され、項目数・検体数が急増しており、限られた検査技師数の中でどのように対処していくかが課題となっている<sup>1)</sup>。そのため、分析メーカー各社は分析装置の検査効率を少しでも高めようと凌ぎを削っている。中でも、検体を吸引・吐出した後の洗浄にしばしば目が向けられる。洗浄はノズル内の検体の残渣を排出し、コンタミネーションを防ぐ意味でも不可欠な工程であるが、この洗浄工程にかかる時間を短縮することで検査効率の向上が期待できる。コンタミネーションを防ぐためには洗浄に十分な時間をかけたいところであるが、検査効率は低下してしまうといった二律背反が存在し、この問題を解決するための方策としてはノズル内部の面性状を良くすることが挙げられる。ノズル内壁の微細な凹凸が少ないあるいは小さいほど、残渣は洗浄によってノズル外へ排出されやすいと考えられ、コンタミネーションの発生を防ぎつつ、洗浄時間の短縮が実現できると思われる。

### 3. 流体研磨法

パイプの内面を研磨する工法としては、ホーニング<sup>2)</sup>、電解研磨法<sup>3)</sup>、磁性砥粒研磨法<sup>4)</sup>が挙げられる。ホーニングでは工具が小径のパイプに対応することができず、今現在ではホーニングで対応できる最小内径は直径10 mm 程度といったところであろう。電解研磨法では電極と内壁面が接触しないようにクリアランスを適切に保持しなければならず、さらには電解反応中に生じる気泡を効率よく排出させなければならないところなどに難しさがある。磁性砥粒研磨法では、一部では実用化がなされているものの、パイプあるいは磁性砥粒を回転させることで研磨作用を得るが、小径パイプでは高い回転数が必要になり、得られる研磨効果は少ない。そして、これらの工法は工具あるいは装置の制約からストレート形状以外のパイプに適用することが難しい。当社も小径のパイプ (直管) に特化した独自研磨工法 (こちらについては重要なノウハウを含むため説明は割愛させていた

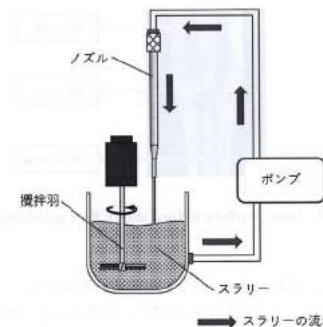


Fig. 2 Sketch of slurry flow polishing setup.

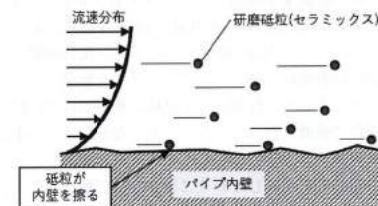


Fig. 3 Image of slurry flow polishing.

だく) を有しているが、以前は Fig. 1 (b) のような断面積変化を有するワーク内面の研磨は不得手であった。

そこで、セラミックの砥粒を水などの溶媒に混合させたスラリーをパイプ内面に高速で流動させる高速流動研磨法<sup>5)</sup>に類似した研磨工法を2016年に導入した。本報ではこの工法を流体研磨法と呼ぶこととする。

Fig. 2 に当社の流体研磨法のシステム構成を示す。タンク内のスラリーをポンプによりパイプ内に流入させる。このときパイプ内を流れる溶媒に従属して砥粒は高速に運動し、その砥粒がパイプ内壁を擦ることで内面を研磨することができる。パイプの先端から吐出されたスラリーはタンクへ回収され、スラリーが循環するようになっている。Fig. 3 にパイプ内のスラリーの流れのイメージを示す。スラリーは液体 (溶媒) と固体 (砥粒) の混相流であるが、その運動は溶媒に追従すると考えられ、砥粒の速度分布も円管内の流れであるハーゲン・ポワズイユ流に似たものになると思われる。この研磨手法では、特定の研磨工具を必要とせず工具形状による制約はないため、これまで不得意としていたワークに対しては研磨効果を得ることができる。

### 4. 流体研磨によって得られる良好な内面性状

#### 4.1 絞り部を有するノズルの内面研磨

Fig. 1 (b) のような絞り部を有するノズルの形状は多

\* 二九精密機械工業株式会社 京都工場・R & Dセンター 開発課 課長  
〒601-8392 京都府京都市南区吉祥院内河原町20-1  
Subsection chief, Development div., Kyoto Factory/R&D Center, FUTAKU Precision Machinery Industry Corporation.  
20-1, Kishoin-Uchigawara-cho, Minami-ku, Kyoto 601-8392

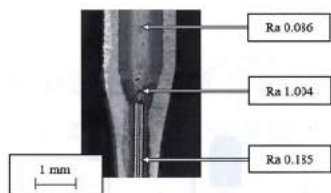


Fig. 4 Inner surface before slurry flow polishing.

くの場合、引抜き加工やスウェーjing加工<sup>9)</sup>によって成形される。これら加工時にはテーパ部内面は自由表面状態で変形が進行するため、面性状が悪化する。すなわちテーパ部内面には微小な凹凸が形成される。このテーパ部の凹凸に試薬が残留してコンタミネーションが発生しうするため、研磨により面性状を向上させる必要がある。このテーパ部内面の研磨については、流体研磨法導入以前は研磨砥粒を練りこんだペーストを製品のテーパ内面形状に合わせて作製した工具棒に塗りつけて、職人が手操作で研磨を行っていた。しかしながら、その工法は経験的スキルに大きく依存してしまうものであり、その技術を後継者に伝承していくことが非常に難しかった。流体研磨法では作業者に依存することなく、職人と同程度の品質レベルを達成することができる。

Fig. 4に流体研磨前のノズル内面の面粗度の測定結果を示す。このノズルの材質はTi-22V-4Alである。このノズルはストレートパイプの状態一度内面研磨を実施し、スウェーjing加工によりテーパ状の絞り形状を成形し、ドリル加工にて細い内径を加工したものである。図からテーパ部内面の面粗度はRa1程度であり、太いストレート部がRa0.086であることから、スウェーjing加工によってテーパ部内面が荒れていることが分かる。細いストレート部分はドリル加工を実施していることから、テーパ部に比べて面粗度は良いことが分かる。余談ではあるが、当社の切削加工は高い技術レベルにあり、研磨加工には及ばないものの切削加工のみを行った場合でも、良好な加工面を得ることができる。

Fig. 4と同じ製品に流体研磨を施した後の内面の面粗度をFig. 5に示す。流体研磨によってテーパ部内面はRa0.185まで良好化しており、研磨前に比べてその粗さは80%程度減少していることが分かる。また、細いストレート部分はRa0.09程度まで面粗さは向上していることが分かる。

このようなテーパ部の内面では、連続の式から、断面積が小さくなれば流速は大きくなる。流速の増加に伴って砥粒の運動エネルギーが大きくなり、内壁を削る能力も大きくなる。そのため、研磨条件によっては細いストレート部が必要以上に削れてしまうこともあり、パイプを製造する段階から寸法管理を厳密にしなければ、品質の

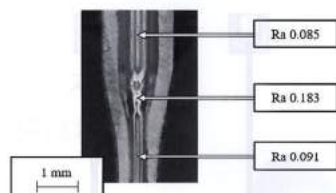


Fig. 5 Inner surface after slurry flow polishing.



Fig. 6 Nozzle with elbow shape.



Fig. 7 Inner surface of elbow part after slurry flow polishing.

良いノズルを製造することは不可能である。

#### 4.2 エルボ部を有するノズルの内面研磨

ノズルにはFig. 6のようにしばしばエルボ形状を有するものが求められる。エルボは曲げ加工により成形されるが、ノズル製品の多くは内径が小さいため、押し付け曲げ<sup>10)</sup>といった内径に工具を挿入しない工法が採用されることが多い。その場合、内面は自由表面状態で塑性変形が進行するため必然的に面性状は悪化する。このエルボ部も当然、検体や試薬の通り道であることから、その内面の凹凸に起因してコンタミネーションが発生する可能性がある。ホーニング等の一般的な研磨工法ではこの形状には対応することはできないが、流体研磨法では対応することが可能である。

エルボ部を有するノズルの流体研磨後の外観とその面粗度をFig. 7に示す。このノズルの材質はSUS316である。流体研磨を実施することで、内面面粗度がRa 0.08の良好な面性状を達成することができている。当然ではあるが、曲げ外側と比べて曲げ内側のスラリーの流速は小さいため、曲げ内側のほうが面粗度は向上しづらい。また、こうしたエルボ部にはスラリーの流速や曲が

そでできるものであり、その点が当社が一番の強みである。

#### 参考文献

- 1) 日本分析機器工業会：分析機器の手引き，博文社（2018），236-237.
- 2) 山口克彦，沖本邦郎：材料加工プロセス，共立出版（2000），80.
- 3) 川崎元雄：金属表面技術，3-5（1952），161-165.
- 4) 進村武男：精密工学会誌，55-10（1989），1880-1885.
- 5) 山本桂一郎：精密工学会誌，64-1（1998），126-130.
- 6) 日本塑性加工学会：チューブフォーミング，コロナ社（2002），39.
- 7) 小森悟：流れのすじがよくわかる流体力学，朝倉書店（2016），83.

りの曲率によっては剥離<sup>7)</sup>が生じ、研磨効果を十分に得られないこともある。そうした事象も考慮した上で最適な研磨条件を設定する必要がある。

#### 5. まとめ

本報では分析機器に使用されるノズル内面への流体研磨法に焦点を当てて紹介した。流体研磨法を用いることで従来の研磨手法では対応できなかったところにも研磨を施すことができる。ただし、流体研磨法はシンプルな工法ではあるが、砥粒の材質・粒径、スラリーの濃度、ポンプの制御といった要素が複雑に絡み合って研磨が進行する。特に絞り形状といった流路内の断面積変化がある場合には、部分的に研磨レートが変化するので、それを見越した前工程の設計およびワーク製作が不可欠となる。これは、研磨加工だけではなくパイプ製造からその二次加工に至るまでを社内で一貫して行っているからこ