

# ラジアルフォーミング加工によるEV駆動用 モーターシャフトの高速引張試験と破面解析

西川 祐貴、矢野 文彬、小野 卓男

## ユーザーベネフィット

- ◆ 金属材料における力学特性の速度依存性の評価や介在物の特定が可能です。
- ◆ HITS-TXにより、最高20 m/sでの高速引張試験が可能です。
- ◆ EPMAにより、凹凸のある破面に対しても、そのまま元素分析が可能です。

## ■はじめに

ラジアルフォーミング加工とは、中空シャフトの新しい鍛造加工方法であり、輸送機、医療、工具など様々な分野で用いられています。ラジアルフォーミング加工では、ハンマー（金型）によって軸の径方向から力をかけて塑性させる一方で、芯金を挿入し内部形状を転写させることができるため、内外径同時に成形することが可能です<sup>1)</sup>。加工された中空シャフトは強度と軽量化を両立可能であり、特に輸送機分野での次世代シャフトの製造方法として注目されています。このような輸送機での用途を考慮すると、衝撃特性や力学特性の速度依存性を評価する必要があります。

前報では、ラジアルフォーミング加工品と加工前のBLANK品から採取した試験片を用いて静的引張試験を行いました<sup>2)</sup>。今回は、同様に試験片を採取し、高速衝撃試験機 HITS-TXを使用して、力学特性の速度依存性を評価しました。また、電子線マイクロアナライザ EPMAを用いて、破断後の試験片の破面観察および元素分析も実施しました。

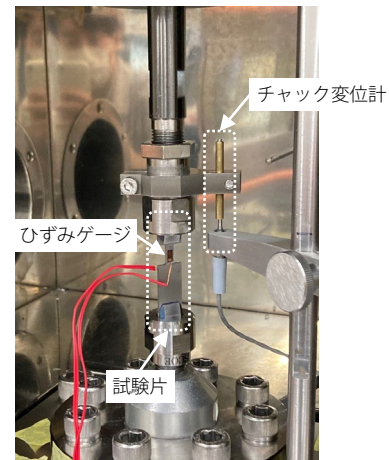


図2 試験の様子

## ■測定システム

高速引張試験には、高速衝撃試験機 HITS-TX (図1) を使用しました。今回使用した試験装置を表1に示します。また、試験の様子を図2に示します。

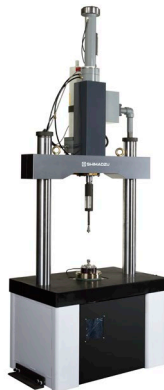


図1 高速衝撃試験機 HITS™-TX

表1 試験装置

高速衝撃試験機	: HITS-TX
ロードセル	: 10 kN
試験治具	: 高速用平板つかみ具 (ピン式つかみ歯)
変位計	: チャック変位計
動ひずみ計	: DC-97A
ソフトウェア	: 高速衝撃試験ソフトウェア TRAPEZIUM™ HITS

## ■試験片情報と測定条件

試験片はラジアルフォーミング加工品と加工無し (BLANK品) の2種類の製品から切り出しました。ラジアルフォーミング加工品はBLANK品に対して、断面積が50%になるように鍛造加工したのになります。試験片は製品表層を基準に16 mmの位置から切り出しました。図3に試験片切り出し位置のイメージ図を示します。試験片の平行部には両面にひずみゲージを貼り付けました。両面のひずみゲージによる測定値の平均値を用いることで、試験片の反りや試験装置の軸心による影響を低減した測定が可能となります。図4に試験片形状を示します。

また、ラジアルフォーミング加工品およびBLANK品の力学特性の速度依存性を評価するため、試験速度は0.01、0.1、1 m/sの3条件に設定しました。表2に試験片情報と試験条件を示します。

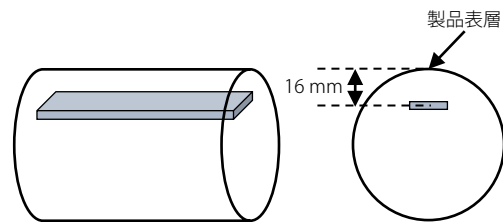


図3 試験片切り出し位置のイメージ図

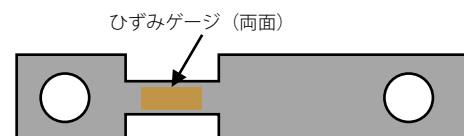


図4 試験片形状

表2 試験装置

試験片寸法	: t 1.5 mm、w 4 mm、平行部長さ 10 mm
試験片種類	: ラジアルフォーミング加工品、BLANK品
試験数	: N=3
試験速度	: 0.01、0.1、1 m/s (ひずみ速度 1、10、100 /s)

## 測定結果

図5(a)に各試験速度におけるラジアルフォーミング加工品、図5(b)にBLANK品の応力-ひずみ（チャック変位計）線図を示します。ラジアルフォーミング加工品、BLANK品の双方で試験速度の上昇に伴い、引張強さが上昇していることがわかります。また、ラジアルフォーミング加工により降伏点が表れることを確認しました。

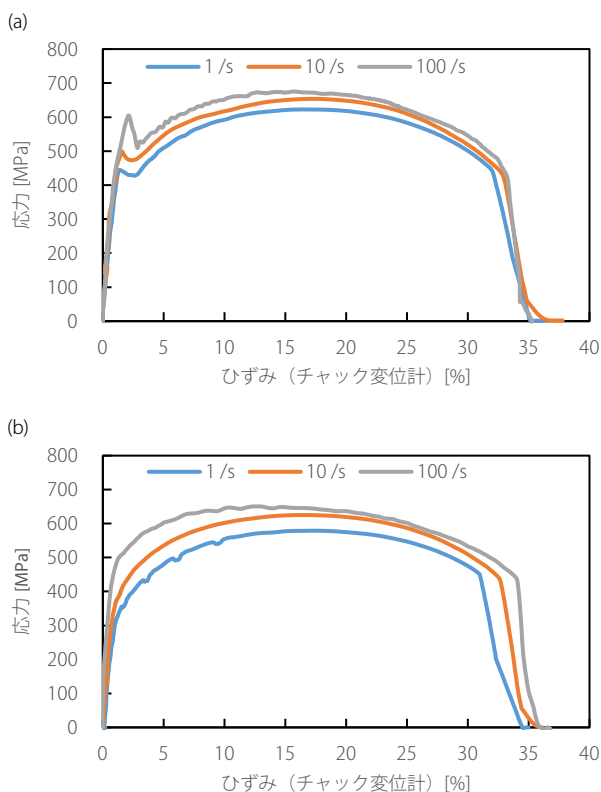


図5 応力-ひずみ（チャック変位計）線図  
(a) ラジアルフォーミング加工品 (b) BLANK品

次に、弾性率、降伏点（ラジアルフォーミング加工品）・0.2%耐力（BLANK品）、引張強さ、突き合わせ伸びの速度依存性を評価しました。弾性率は応力-ひずみ（ひずみゲージ）線図の直線域から算出しました。図6より弾性率は速度依存性が小さいことがわかりました。降伏点・0.2%耐力には速度依存性が見られ、試験速度の上昇とともに高くなる傾向が見られました（図7）。図8より引張強さについても試験速度の上昇に伴い、高くなることわかりました。突き合わせ伸びは速度上昇に伴い、若干の増加傾向が見られますが、ばらつきの範囲内である可能性もあり、速度依存性は小さいことがわかりました。

また、ラジアルフォーミング加工により、弾性率は10 GPa程度高くなりました。引張強さについても約20 MPaの上昇を確認しました。これは前報の静的試験の結果の傾向と一致しています<sup>2)</sup>。

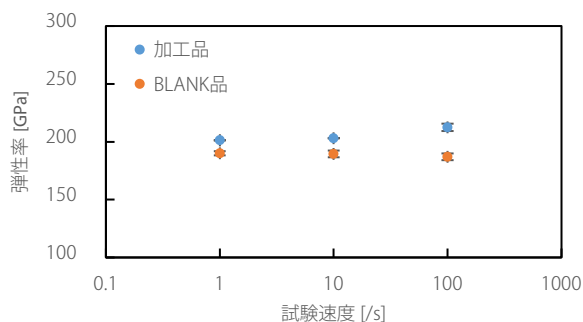


図6 弾性率と試験速度の関係

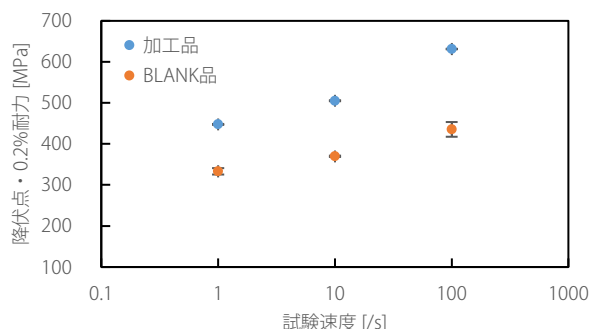


図7 降伏点・0.2%耐力と試験速度の関係

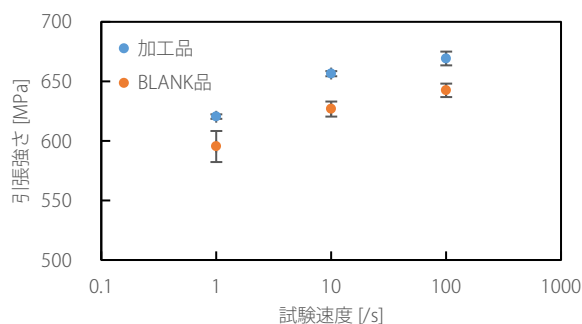


図8 引張強さと試験速度の関係

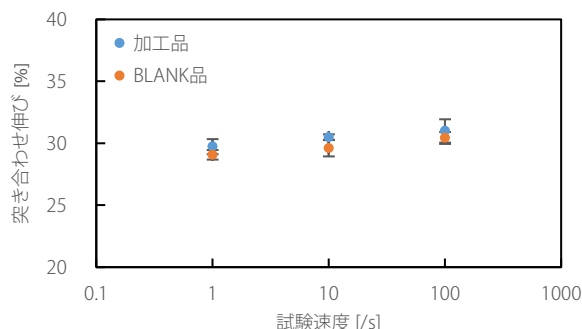


図9 突き合わせ伸びと試験速度の関係

## ■ EPMAによる破面の観察と元素分析

高速引張試験後の加工品およびBLANK品の破面をEPMA (図10) により観察しました。図11に加工品とBLANK品の各試験速度での破面の二次電子像を示します。各試験速度における観察画像に大きな差が確認されなかったため、破壊挙動には大きな違いが無かった可能性があります。図12に、図11の試験速度 100/sの画像内の枠で囲われた部分の拡大像を示します。破面には延性破壊による典型的なディンプル形状が観察されました。空隙や介在物を核として周囲との亀裂が発生、拡大成長して破壊に至り、植物繊維組織のようなくぼみの集合体となっていると推測されます。さらに、図12の一部の元素マッピングを行いました。図13に示す試験後の加工品破面のマッピング像から、介在物として存在していたものは主にMnSやAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>であることがわかりました。



図10 電子線マイクロアナライザ EPMA™-8050G

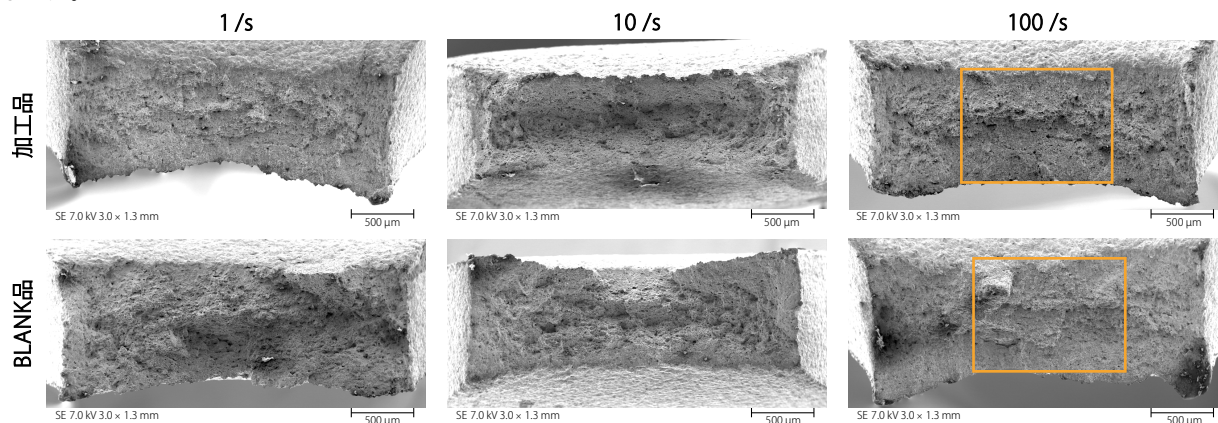


図11 高速引張試験後の破面の二次電子像

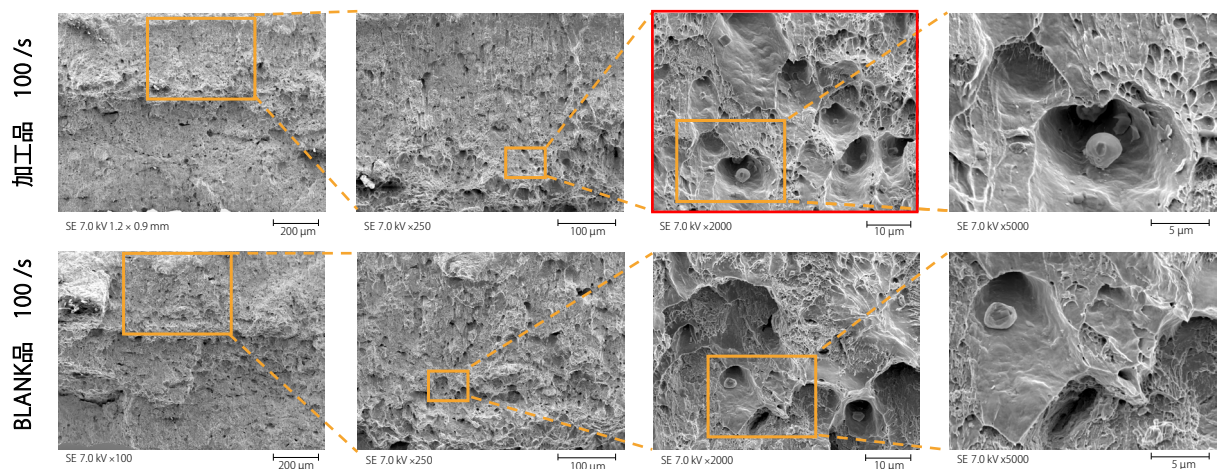


図12 高速引張試験後 (100/s) の破面の二次電子拡大像

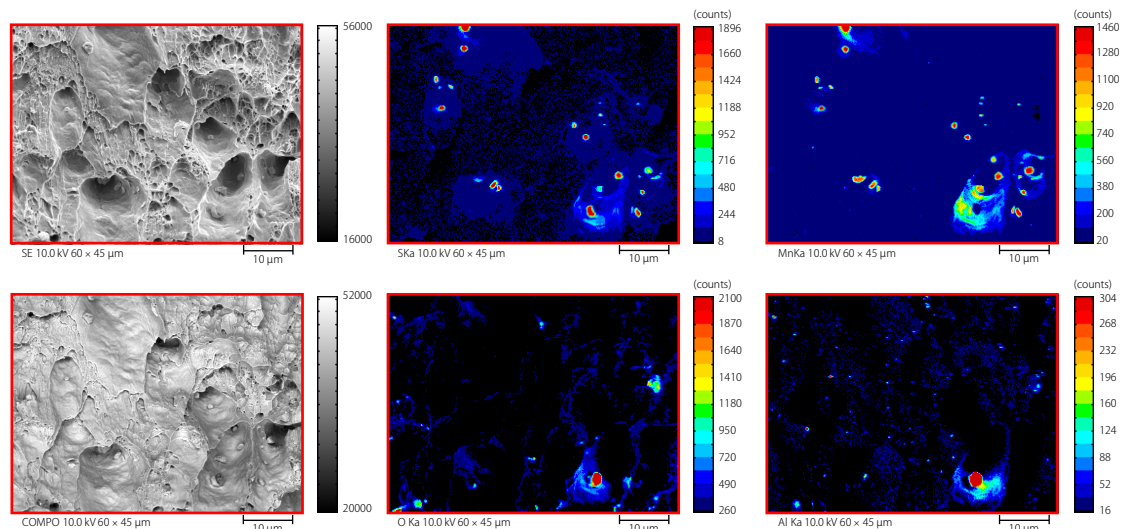


図13 高速引張試験後 (加工品 100/s) の破面の元素マッピング像

## ■まとめ

本稿では、高速衝撃試験機HITS-TXを用いて、ラジアルフォーミング加工品とBLANK品の力学特性の速度依存性を評価しました。また、電子線マイクロアナライザ EPMAによる破面観察および元素分析も行いました。

高速引張試験の結果から、弾性率と突き合わせ伸びは速度による影響が小さいことがわかりました。一方、降伏点（ラジアルフォーミング加工品）・耐力（BLANK品）と引張強さは、試験速度の上昇に伴い高くなることがわかりました。また、ラジアルフォーミング加工により、応力-ひずみ線図に降伏点が見られることを確認しました。さらに、弾性率と引張強さが上昇しており、静的試験の結果と同じ傾向が見られました。

EPMAによる破面観察の結果から、試験速度による破面の違いは見られず、延性破壊に典型的なディンプル形状が観察されました。また、元素マッピング分析の結果から、MnSやAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等の介在物がディンプル形状の起点となることがわかりました。

本稿でご紹介した測定システムを用いることで、ラジアルフォーミング加工品をはじめとする金属材料の力学特性の速度依存性を評価していただくことが可能です。

### <参考文献>

- 1) 株式会社都筑製作所、シャフトの紹介、  
<https://www.tsuzuki-mfg.co.jp/solution/2020/01/post-12.php>
- 2) ラジアルフォーミング加工によるEV用モーターシャフトの評価-ラジアルフォーミング加工が静的引張特性に及ぼす影響- [Application News No.01-00440-JP](#)

### <関連アプリケーション>

1. ラジアルフォーミング加工によるEV駆動用モーターシャフトの評価-硬度分布と元素分布の相関確認- [Application News No.01-00445-JP](#)
2. ラジアルフォーミング加工によるEV駆動用モーターシャフトの多角的評価 [Application News No.01-00506](#)
3. ラジアルフォーミング加工によるEV駆動用モーターシャフトの評価-EPMAによる元素マッピング分析- [Application News No.01-00513](#)

HITS、EPMA、およびTRAPEZIUMは、株式会社島津製作所またはその関係会社の日本およびその他の国における商標です。

＞ アンケート

**関連製品** 一部の製品は新しいモデルにアップデートされている場合があります。



＞ HITS-X シリーズ  
高速衝撃試験機



＞ EPMA-8050G  
電子線マイクロアナライザ(Electron Probe Microanalyzer)

## 関連分野

＞ 自動車

＞ 材料軽量化

＞ 工業材料・マテリアル

＞ 金属材料

＞ 価格お問い合わせ

＞ 製品お問い合わせ

＞ 技術お問い合わせ

＞ その他お問い合わせ