SHIMADZU
Excellence in Science

Application News

疲労・耐久試験機サーボパルサ™　軸力ねじり複合試験機EHF-EV/TV

ラジアルフォージング加工によるEV用モーターシャフトの評価

-中空シャフトのねじり疲労試験-

木村 元史、矢野 文彬

ユーザーベネフィット

- ◆ 軸力ねじり複合試験機を使用することで、試験体に軸方向とねじり方向の負荷を同時に加えることができます。
- ◆ 中空シャフトの静的ねじり試験を行うことができます。
- ◆ 中空シャフトのねじり疲労試験を行うことができます。

■はじめに

近年、温室効果ガスの排出量削減に向けて、脱炭素化への流れが加速しています。その中でも自動車産業の電気自動車（EV）シフトが、脱炭素社会の実現に向けて大きな役割を担っていると言えます。EV化の普及に向けて、航続可能距離の向上が求められており、そのための車体の軽量化が開発テーマとして挙げられています。その中でも特にシャフトの軽量化は、単に航続距離の改善だけでなく、慣性力を抑えることによるモーターの応答性の向上が期待されるため、重要な開発テーマとなっています。ラジアルフォージング加工とは、中空シャフトの新しい鍛造技術のことで、ハンマー（金型）によって中空シャフトや中空軸の径方向から力をかける一方で、芯金を挿入し内径形状を転写させることで、内外径同時に成形することが可能です[1)]。ラジアルフォージング工法で製造した中空シャフトは強度と軽量化を両立することが可能であることから、次世代シャフトの製造方法として注目されています。中空シャフトはモーターシャフトやクランク等に活用されるため、ねじり負荷がかかる用途が多く、単純な引張・圧縮だけでなく、ねじり疲労試験も重要な評価となります。

前報[2)-4)]ではラジアルフォージング加工における力学特性の変化を評価するために、実製品から試験片を切り出して、多角的な評価を実施しました。その結果、ラジアルフォージング加工域において優れた特性を示すことが明らかとなりました。今回は、ラジアルフォージング加工品、鍛造品、削り出し品の3種類の実製品(中空シャフト形状)のねじり疲労試験を行い、疲労特性を評価しました。

■供試体情報

供試体の写真を図1に示します。供試体にはスプライン加工が施してあります。また、スプライン部先端から中央部にかけて中空加工が施されています。供試体は、ラジアルフォージング加工品(RF)、鍛造品(F)、削り出し品(N)の3種類になります。表1に供試体情報を示します。

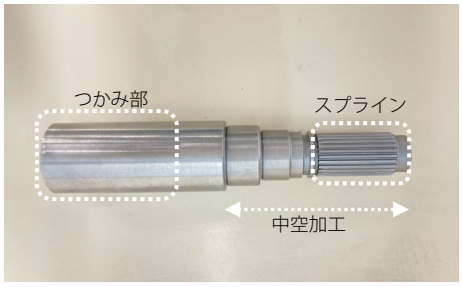

図１　供試体の写真

表１　供試体情報

供試体形状	：実製品(中空シャフト：図1参照)
供試体種類	：ラジアルフォージング加工品(RF) 鍛造品(F) 削り出し品(N)

■使用装置

ねじり試験は，軸力ねじり複合試験機EHF-EV/TVを使用しました。装置構成、試験の様子を表2、図2にそれぞれ示します。供試体の丸棒形状部(図1左側)は油圧コレット形丸棒つかみ具で直接把持しました。一方、スプライン側は、スプラインはめ合い治具により固定しました。スプラインはめ合い治具には、スプライン部の凹凸形状に合わせた溝が加工してあり、供試体のスプライン部を差し込むことで、ねじり方向に固定することが可能になります。図3にスプラインはめ合い治具を示します。本試験機は、ねじりだけでなく、同時に軸力も制御可能ですが、今回、軸力方向は位置保持制御をして試験を行いました。

表２　静的試験条件

試験装置	：島津軸力ねじり複合試験機EHF-EV100kN/TV1kNm
つかみ具	：油圧コレット形丸棒つかみ具 スプラインはめ合い治具（製作：都筑製作所様）
ソフトウェア	：Windows®ソフトウェア for 4830

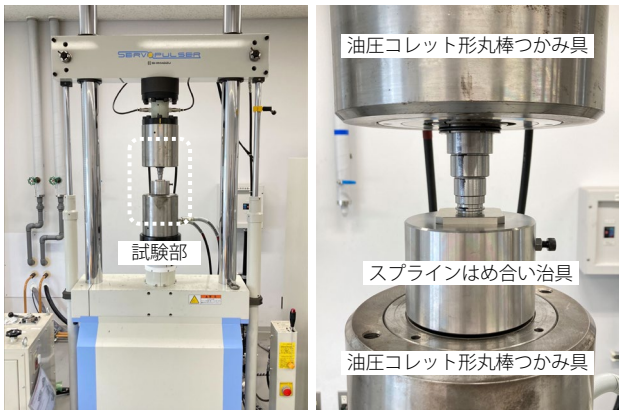

図２　試験の様子　(左：試験機全体、右：試験部)

図３　スプラインはめ合い治具

■静的ねじり試験

ねじり疲労試験のトルク水準を決めるために、最初に静的ねじり試験を行いました。静的ねじり試験の試験条件を表3に示します。トルク-角度線図の一例を図4に示します。ラジアルフォージング加工品(RF)と鍛造品(F)についてはトルク-角度線図の傾向が似ていますが、削り出し品(N)については、最大トルクや降伏点のトルクなどはラジアルフォージング加工品(RF)と鍛造品(F)より小さくなり、傾向が異なりました。表4に静的ねじり試験の結果を示します。これらの結果から、各々の降伏点トルクに対しておおよそ85%、75%、65%、55%となるようにねじり疲労試験のトルク条件を設定しました。

表 3　静的ねじり試験条件

制御TD	：角度
試験速度	：10°/min
試験数	：n = 2

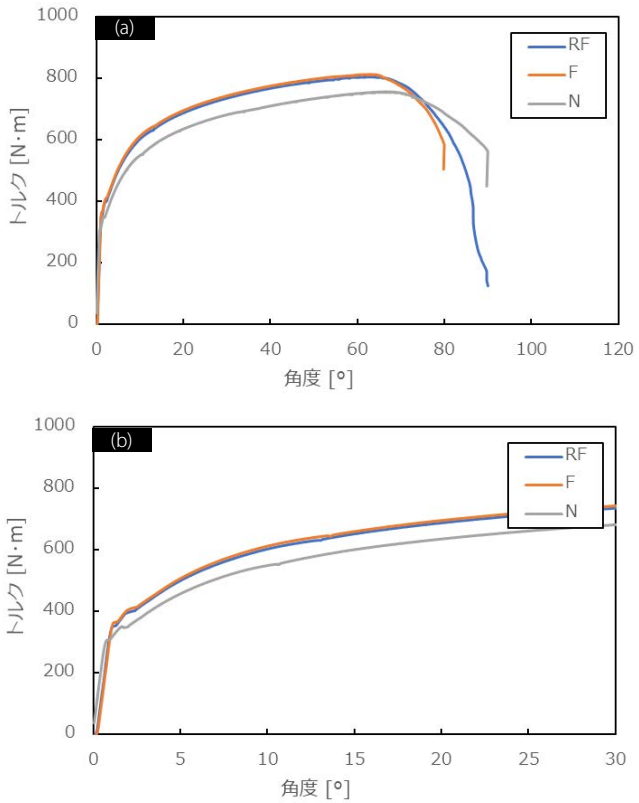

図 4　トルク-角度線図の一例
(a) 試験全体　(b) 試験初期

表 4　静的ねじり試験の結果

試験片種類	最大トルク [N·m]	降伏点トルク [N·m]
RF	802.5	352.5
F	801.5	362.5
N	751.5	310

■ねじり疲労試験

表5にねじり疲労試験の条件を示します。負荷サイクルは1,000,000回を上限とし、破断していなくとも1,000,000回到達で試験停止しました。図5にS-N線図を示します。ラジアルフォージング加工品(RF)および鍛造品(F)の200 N·mは1,000,000回にて未破断でした。図5からは鍛造品(F)と削り出し品(N)の疲労強度はほぼ同等であると考えられます。ラジアルフォージング加工品(RF)については、トルク270N·m以上の疲労強度は鍛造品(F)、削り出し品(N)より優れていますが、トルク230N·m以下の疲労強度は、S-N線図上ではほぼ同等であることがわかりました。

表 5　ねじり疲労試験条件

制御TD	：トルク
周波数 [Hz]	：8
最大負荷トルク [N·m]	：300、270、230、200 (RF、F) 290、265、230、200 (N)
試験数	：n = 2 (最大負荷トルク200 N·mはn = 1)
応力比	：-1
最大サイクル	：1,000,000回

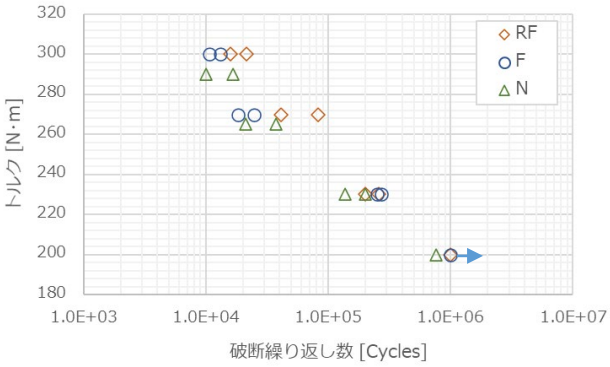

図 5　S-N線図

■まとめ

ラジアルフォージング加工、鍛造、削り出しによるシャフトの静的ねじり試験およびねじり疲労試験を、軸力ねじり複合試験機を用いて行いました。削り出し品と比較して、最大トルクや降伏トルクは、ラジアルフォージング加工品、鍛造品では向上することがわかりました、また、ねじり疲労試験結果から、ラジアルフォージング加工品は鍛造品と同等以上の耐久性があることが明らかとなりました。

＜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)　EPMAによる元素マッピング分析　AN 01-00513-JP
3)　硬度分布と元素分布の相関確認　AN 01-00445-JP
4)　ラジアルフォージング加工が静的引張特性に及ぼす影響
AN 01-00440-JP

サーボパルサーは、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。
Windowsは、米国Microsoft Corporationの米国およびその他の国における登録商標または商標です。

株式会社 島津製作所　分析計測事業部
https://www.an.shimadzu.co.jp/
01-00620-JP　初版発行：2023年 10月
島津コールセンター　0120-131691

本資料は発行時の情報に基づいて作成されており、予告なく改訂することがあります。
本文中に記載されている会社名、製品名、サービスマークおよびロゴは、各社の商標および登録商標です。
本文中では「TM」、「®」を明記していない場合があります。

© Shimadzu Corporation, 2023

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。

EHF-Eシリーズ
動的・疲労試験機　サーボパルサ

関連分野

- 自動車
- 材料軽量化
- 電動化(EV)

- 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