

ポリアミドコートによる高性能スプラインシャフトの開発

小八木 桂 北畑浩二 上村篤司

Development of Polyamide Coated High Performance Spline Shaft

K. KOYAGI K. KITAHATA A. UEMURA

Polyamide coating has been used for sliding type drive shaft on its sliding surface to reduce sliding resistance, friction coefficient, oscillation and abrasive wear. We have succeeded in developing a high performance spline by changing polyamide coating process to electrostatic powder coating.

Key Words: drive shaft, polyamide coating, sliding resistance, friction coefficient

1. はじめに

ドライブシャフトには、中間軸にスプライン部を設け軸方向にしゅう動するスライドタイプ(図1)がある。スプライン部にはインポリュートスプラインを用いる場合が多いが、トルク負荷時においてしゅう動抵抗による動力損失が大きく、また有害な振動の伝達経路となる場合がある。

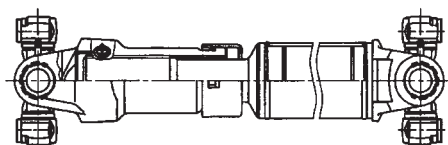


図1 スライドタイプ
Sliding type

そこで、トルク負荷時のしゅう動抵抗の低減・摩擦係数の低減・振動(音)の低減・耐摩耗性の向上を目的に、インポリュートスプライン部にポリアミドを原料とするコーティング(以下ポリアミドコートと称す)を行なう方法が多く用いられている。またポリアミドコート以外に、しゅう動抵抗の低減・摩擦係数の低減方法としてボールスプライン方式などを採用する例もあるが、コスト的な問題から一般にポリアミドコートを用いる場合が多い。スプライン部のポリアミドコートについては、流動浸漬による加工方法が広く用いられてきたが、しゅう動特性の向上・加工自由度の向上・廃棄物の削減を目的に、ポリアミドコートの新加工技術(静電粉体塗装)を開発し、ドライブシャフトのしゅう動性能を向上することができたので、ポリアミドコートの新加工技術の概要、しゅう動特性、および評価結果について紹介する。

2. ドライブシャフトの概要

スプライン部のしゅう動抵抗の低減が必要なドライブシャフトの応用例として、建設機械車両であるホイールロードのトランスミッションからアクスル間に使用するドライブシャフトがある(図2)。ホイールロードは車体回転時に車体前後の接続部を中心に屈折するアーティキュレート構造になっており、トランスミッションからアクスル間に使用するドライブシャフトのスプライン部で、トルク伝達を行ないながら頻繁にしゅう動が行われるため、性能の向上を目的にスプライン部へポリアミドコートを実施する場合が多い(図3、図4、図5)。

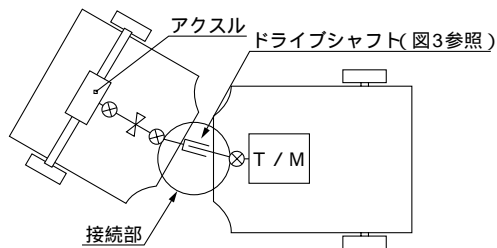


図2 ホイールロード構造
Structure of wheel loader

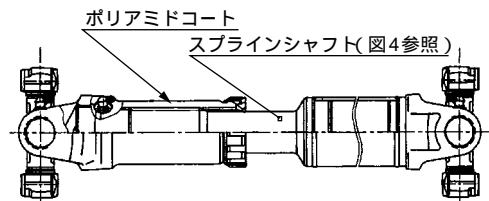


図3 ドライブシャフト構造
Structure of drive shaft



図4 ポリアミドコートスプラインシャフト
Polyamide-coated spline shaft

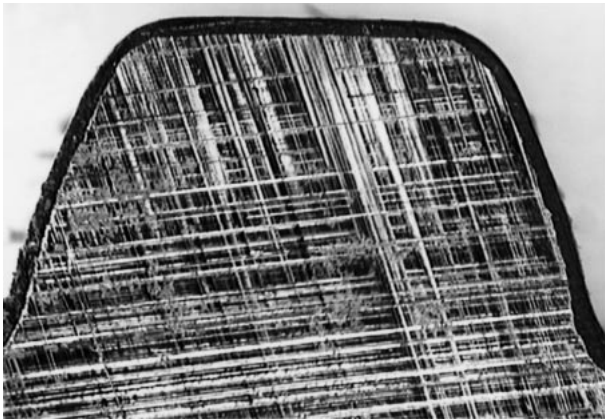


図5 ポリアミドコートのスプライン断面
Polyamide-coated spline section

3. ポリアミドコートの加工工程概要

ポリアミドコートの現行品と開発品について、工程、特徴、問題点を表1、装置概略を図6に示す。

4. 開発品のしゅう動特性と防振効果

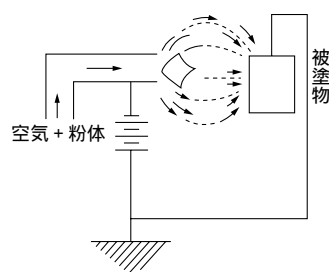
4.1 開発品のしゅう動特性

開発品のしゅう動特性を現行品と比較するため、摩擦摩耗試験機を使用して同一膜厚の試料で比較試験した。試験条件を表2、試験概略図を図7、試験結果を図8に示す。

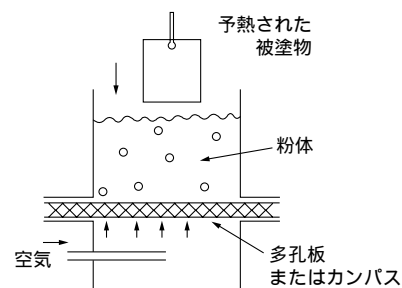
摩擦摩耗試験の結果、開発品のしゅう動特性（摩擦量と摩擦係数）は現行品と同等であることが確認できた。

表1 ポリアミドコート加工方法の比較
Comparison of polyamide coating process

方法	開 発 品(静電粉体塗装)	現 行 品(流動浸漬塗装)
工 程	ショットブラスト 脱脂 アンダーコート 静電粉体塗装(ポリアミド粉体) 誘導加熱	ショットブラスト 脱脂 アンダーコート オープン加熱 流動浸漬塗装(ポリアミド粉体) 仕上げブローチ加工
特 徴	・仕上げ加工を廃止(樹脂廃材がない) ・表面の温度のみを上げてポリアミド粉体を溶かすため、ワークの加熱温度が低い	・仕上げ加工を行なうため、寸法精度が良い
問 題 点	・塗装時の膜厚および寸法精度を制御必要	・加工工程が多い ・仕上げ加工用のブローチ型がサイズごとに必要 ・ワークの加熱温度が高い ・仕上げ加工用の樹脂廃材が発生



(1)開発品(静電粉体塗装)



(2)現行品(流動浸漬塗装)

図6 ポリアミドコート加工装置¹⁾

Schematic diagram of polyamide coating process

表2 摩擦摩耗試験の条件
Method of abrasion and wear test

No.	項目	条件
1	試験温度	常温
2	潤滑	グリース潤滑
3	試験サイクル	20MPa × 5.5min 1MPa × 0.5min を1サイクルとし80サイクル
4	しゅう動速度, m/s	0.2
5	試験時間, h	4

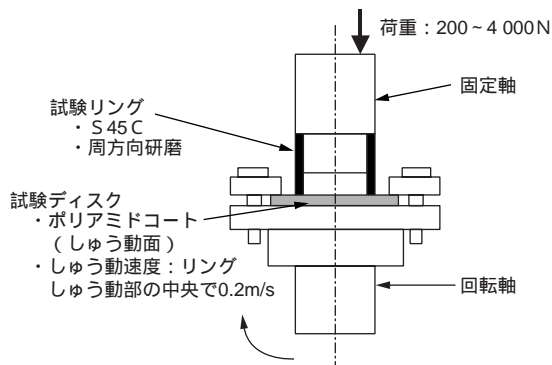


図7 摩擦摩耗試験の概略

Schematic diagram of abrasion and wear test

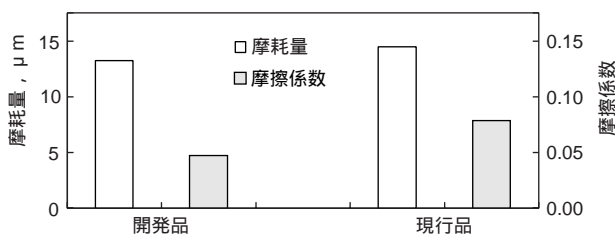


図8 ポリアミドコートのしゅう動特性

Sliding characteristic of polyamide coating

4.2 開発品の膜厚と摩耗量, 防振効果

1) 開発品の膜厚と摩耗量の関係を, 4.1 に準じ摩擦摩耗試験機にて調査した. 結果を図9に示す.

膜厚が100 ~ 300 μmの範囲では, 200 μm以下で, 摩耗量が少なかった.

2) 膜厚と防振効果の関係を, 衝突試験にて調査した. 衝突試験の試験条件を表3, 試験概略図を図10, 試験結果を図9に示す.

膜厚が0 ~ 400 μmの範囲では, 0 ~ 200 μmまでは急激に振幅が減少し, 200 μm以上では振幅の減少が低下した.

図9より膜厚が約200 μm程度のときに, 摩耗と防振効果のバランスが良いことが判る.

表3 衝突試験の方法
Method of impact test

試験片	ポリアミドコートを実施したSPCC鋼板 (100×50×3mm)
試験方法	1. 試料を100mmの導線で空中につるし, 衝突面に振動ピックアップを取り付けこれを振動解析装置(FFT)に接続する. 2. この状態の試料に鋼球(3/8インチ)を角度10°, 100mmのプラスチック製ガイドに沿って転がせ, 衝突させる. 3. 鋼球が衝突したときの振動を振動ピックアップで読み取る.

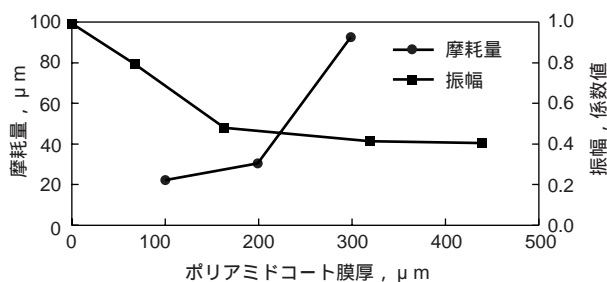


図9 膜厚と耐摩耗性・防振性

Abrasion resistance and vibration isolation effect of coating

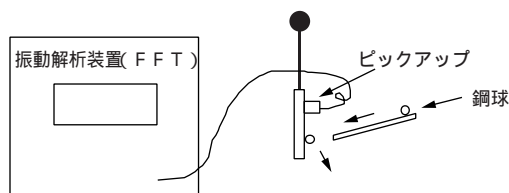


図10 衝突試験

Impact test

5. 開発品の台上試験結果

ドライブシャフトのスプライン部に開発品と現行品を加工した各試料を用いて, 台上でしゅう動比較試験を行い, 下記(a), (b)を調査した.

- (a) 穴スプライン外周面(図11)温度の経時変化
- (b) 試験終了後のポリアミドコート状況(スプラインの歯面膜厚)

試験試料を図11, 試験条件を表4, 試験結果のまとめを表5, 時間経緯と穴スプライン外周面温度の関係を図12に示す.

本結果より, 開発品は膜厚200 μmでしゅう動特性(摩耗量, 発熱)は, 現行品以上の性能を有していることを確認できた. これは, 4.2の膜厚200 μm以下で摩耗量が少ない傾向と一致し, 膜厚を200 μmとすることで, 樹脂によるしゅう動部の蓄熱が抑えられたことによると考えられる.

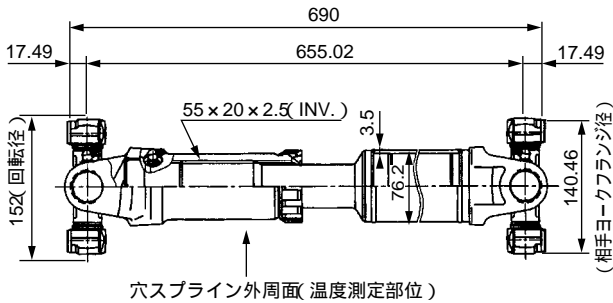


図11 ドライブシャフト台上試験試料
Bench test sample of drive shaft

表4 ドライブシャフト台上試験条件
Bench test conditions of drive shaft

No.	項目	条件
1	回転	回転せず
2	ジョイント角度, deg	0
3	潤滑	グリース潤滑: 初期のみ充満
4	スプライン歯面の面圧, MPa	20
5	トルク負荷時間, s	一方向負荷10, 無負荷15
6	しゅう動距離, mm	±20
7	しゅう動周波数	0.5Hz(30cycle/min.)
8	試験時間, h	100
9	試験停止基準	穴スプライン外周面温度100

表5 試験結果
Test results

項目	開発品	現行品	
穴スプライン外周面温度(図12)	100h異常なし	85hで100(中止)	
試験終了後のポリアミドコート状況	摩耗のみで異常なし(図13)	コーティング剥がれ発生	
歯面膜厚 μm	試験前	200	310
	試験後	70	0
	膜厚差	130	310

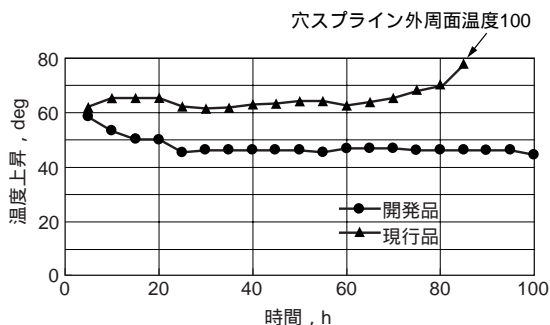


図12 穴スプライン外周面温度上昇の経時変化
Outer diameter temperature change of spline sleeve

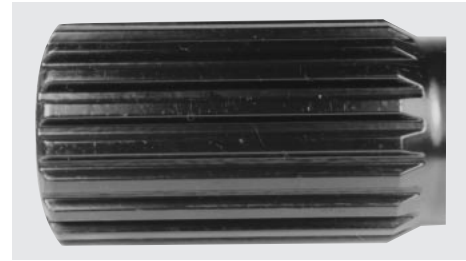


図13 歯面状態
Condition of teeth surface

6. おわりに

ドライブシャフトの加工方法を静電粉体塗装および塗装後に誘導加熱を行なうという新しい加工技術とすることで、防振効果を確保しつつしゅう動特性が向上する塗膜厚200 μmに制御することが可能であり、スプライン部の性能を向上することができた。また、静電粉体塗装によるポリアミドコートは仕上げ加工用のブローチ型が不要であり、どのようなワーク形状・サイズにも対応できる設計の自由度の向上も得られるうえ、ワークに付着しない粉体は回収・再利用でき、廃材も出ないことから、環境に対して優しい技術でもある。

参考文献

- 1) ダイセル・デグサ株式会社: ダイアミドナイロン12樹脂, 1006(改-8)(1995)

筆者



小八木 桂*
K. KOYAGI



北畑浩二**
K. KITAHATA



上村篤司***
A. UEMURA

* 軸受事業本部 軸受技術センター
自動車ユニット技術部

** 総合技術研究所 システム技術研究所
電子システム研究部

*** 軸受事業本部 軸受技術センター
自動車技術実験部