



奥村 英之 荒川 泰行

2 開発のねらい

2.1 船外機用シャフト

船外機において、原動機であるエンジンから推進器であるプロペラまでの動力伝達には、2本のシャフトを使用している(図1)。垂直に配置したエンジンのクランク・シャフト後端から下方向へ向かうドライブ・シャフト(図2)と、このシャフトとギアセットを介して直角に交わるプロペラ・シャフト(図3)である。いずれのシャフトも両端部にスプラインを有し、また、材質は耐食性と強度の要求を両立するため、ステンレス鋼と合金鋼を中間部で摩擦接合している。

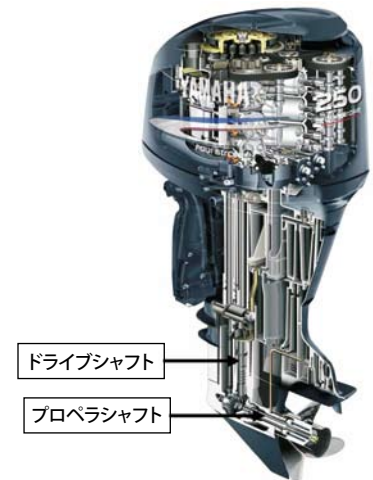


図1 船外機用シャフト

2.2 現状の製作工程

合金鋼部位のみ、一部のサイズの製品において、鍛造によるニア・ネットシェイプ化を図り、除去加工をできるだけ少なくしているが、その他の製品は丸棒から最終製品形状まで切り粉を発生させながら除去加工を行っている。

スプライン部においては、ネジ状刃具(ホブ)の回転による除去加工によって、大径寸法まで除去加工した素形材から歯形状を創成している(図4)。表1に代表的なスプラインのサイズと除去加工の正味時間を表す。



図2 ドライブ・シャフト

2.3 ねらい

究極のモノづくりの姿、素形材＝製品を最終目標として、スプライン塑性加工開発では、以下の3つをねらいとした。

- (1)高効率:現状と比較し圧倒的な短時間を達成する。目標は十分の一。
- (2)環境対応:有害物質を含まない加工油とする。
- (3)難塑性材対応:高硬度のステンレス鋼も製作可能とする。



図3 プロペラ・シャフト

表1 スプラインのサイズと除去加工時間

大径 (mm)	スプラインのサイズ			ホブ 加工 (秒)	材質
	歯数	モジュール	備考		
22	13	1.5875	ダイアメトラルピッチ	51	合金鋼
22	20	1.0000		85	ステンレス鋼
25	15	1.5875	ダイアメトラルピッチ	119	ステンレス鋼



図4 ホブ加工

3 FM フォーミング

今回のスプライン塑性加工法として、ドイツFELSS社の保有特許である「FMフォーミング」を採用した。従来の塑性加工は、型を素形材へ連続的に押し込んで所定の寸法、形状へ成形するため、非常に大きな送り力が必要で、型と素形材との焼付きが懸念される。また、型の寿命が短いという欠点があった。

このFMフォーミングは、ある周波数(材質や仕様などにより最適化調整)で型を前後に振動させながら、すなわち周波数変調(Frequency Modulated)運動させながら、素形材へ押し込んで成形する。このことにより、送り力は連続塑性加工と比較し約50%に半減、作動エネルギーを節約し、小さな装置で成形が可能になった。また、前後振動により加工油が常に後進時に成形点へ供給され、型と素形材との焼付きを防ぎ、小さな送り力は素形材の曲がりや変形なども防ぐことができる。

図5に代表的な連続塑性加工とFMフォーミングの送り力を示す。FMフォーミングは、はるかに小さな送り力であることが分かる。表2に代表的なスプラインのサイズとFMフォーミング、および除去加工の正味時間を示す。圧倒的な短時間(除去加工比十分の一以下)を達成していることが分かる。ホブによる除去加工と比較し、ピッチ誤差と歯形誤差は、JISの精度規格で1から3等級向上している。

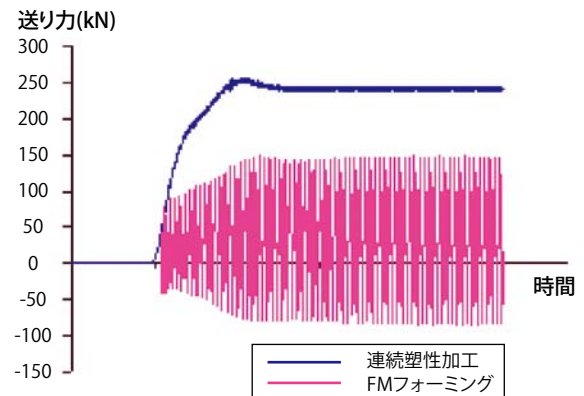


図5 連続塑性加工とFMフォーミングの送り力

表2 FMフォーミングと除去加工の時間

スプラインのサイズ				FMフォーミング加工 (秒)	ホブ加工 (秒)	材質
大径 (mm)	歯数	モジュール	備考			
22	13	1.5875	ダイアメトラルピッチ	3	51	合金鋼
22	20	1.0000		5	85	ステンレス鋼
25	15	1.5875	ダイアメトラルピッチ	10	119	ステンレス鋼

また、この成形方法では、素形材を強くクランプし、スプライン形状を反転写した型を素形材へ強く押し込んでスプラインを成形する。よって、スプラインの寸法、形状は型形状に左右される。型は、型ホルダーへ圧入した状態で保持するため、圧入状態で要求形状を満足する必要がある。通常、一度で良品が成形できる型を製作することは困難なため、要求寸法、形状を満足するまで何度か型を製作する場合が多く、時間やコストがかかる。また、型は超硬製で、一度製作したスプライン歯形は事実上変更できない。

これらの問題点改善のため、内部に金属バネ(薄鋼帯)を介したホルダーにテーパ状のスリーブで型を保持し、型の前後方向保持位置を0.5mm単位で調整可能とする構造を採用した(図6)。この構造により、製品のオーバーピン径を最大0.1mmの範囲で微調整可能としている。

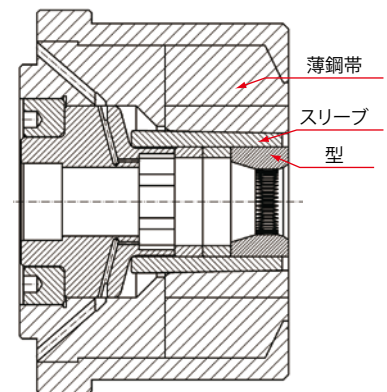


図6 型ホルダー

4 塩素フリー塑性加工油開発

従来の塑性加工油は、特にステンレスなどの難塑性材用途において、塩素系極圧剤を使用している。塩素系加工油は廃油として焼却する際、環境や人体に影響をおよぼすダイオキシンを発生する可能性があると言われており、取り扱いには注意が必要になる。

今回、FMフォーミングによるスプライン塑性加工の開発に合せ、塩素フリー塑性加工油を開発した。10種類の塑性加工油候補を、ドロビーダ試験、スパイクテスト、ボール通し試験法で数種に絞り込み、絞り込んだ塑性加工油でFMフォーミングを実施した。

押し力がFMフォーミング終了まで一定を保ち、かつ、最小の戻り力を示す塑性加工油を最終的に選定した(図7)。さらに、最終選定した塑性加工油を用い、ステンレス鋼のFMフォーミングを連続1,000本実施し、送り力、製品の精度や温度、塑性加工油温などの変化がないことを確認した。

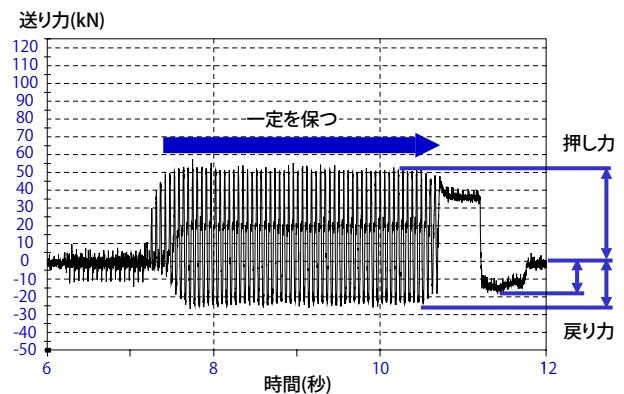


図7 最終選定した塑性加工油の例

5 合金鋼のスプラインFMフォーミング

低炭素合金鋼を冷間鍛造した後、除去加工を加え素形材としている。素形材の形状は、成形するスプラインの体積とFMフォーミングする部分の体積を等しくし、かつ、スプラインを最初に成形する部分を最大径として、そこから円錐状にFMフォーミングしない部分へつなげている。このFMフォーミングする範囲の形状において、ある一定率以上の屈曲点があると、FMフォーミング後、屈曲点近傍の歯稜部に小さなバリ残りが発生する。異なったスプライン仕様毎に素形材形状の最適化開発を行い、バリの発生を無くした。図8に代表的な素形材の断面形状を示す。型寿命は100,000本以上の製品製作が可能であることを予定している。

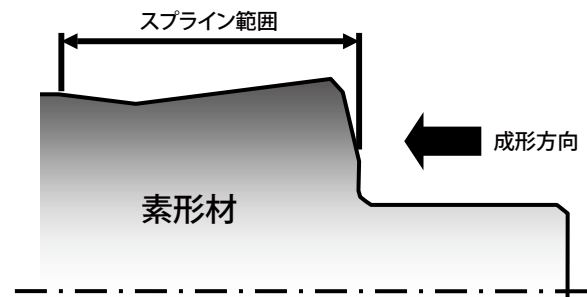


図8 素形材形状の断面

6 ステンレス鋼のスプラインFMフォーミング

析出硬化系ステンレス鋼を溶体化処理した後、除去加工を加え素形材としている。ロックウェル硬さがHRC35前後と硬く、このままではFMフォーミングによる量産は困難である。現在の化学成分の範囲内で合金元素を最適に調整し、必要とする強度特性を現在とほぼ同等に維持しながら、FMフォーミングによる量産が可能な材料を選定した。

しかしながら、合金鋼と比較し依然として硬さは硬く、型寿命の短命化が懸念される。今後、型ホルダー(図6)の全体剛性強化、塑性加工油の更なる最適化(戻り力の極小化)などの開発を進め、経済性を満たして量産を行う。

7

おわりに

開発、実用化したスプラインFMフォーミングのみでは、目的の一つである切り粉の全廃は未達成である。これは、スプラインFMフォーミング前のシャフト素形材を、精密鍛造やスエーピングなどの塑性加工にてネットシェイプ化することで実現できる。次の開発テーマとして引き続き取り組む。

合金鋼のスプラインFMフォーミングは2006年6月に量産を開始した。ステンレス鋼のスプラインFMフォーミングは2007年1月より量産を開始する予定である。

■参考文献

- 1) FELSS社特許「特許第3572544号」
- 2) FELSS社技術資料「Rotary Swaging Technology」

■著者



奥村 英之
Hideyuki Okumura
ヤマハマリン株式会社
生産技術部



荒川 泰行
Yasuyuki Arakawa
ヤマハマリン株式会社
生産技術部