

PPS 樹脂のギヤへの展開

Development of plastic gears with PPS

DIC(株) (非) *黒川隆平, (非) 高橋良尚, (非) 松尾信吾, (非) 森耕太郎, (非) 倉田地人, (非) 岡田恭幸

Ryuhei Kurokawa*, Yoshihisa Takahashi*, Shingo Matsuo*, Kotaro Mori*, Kunito Kurata*, Takayuki Okada*

*DIC Corporation

1. はじめに

ポリフェニレンサルファイド (PPS) 樹脂は、ベンゼンと硫黄の繰り返し構造からなる結晶性の熱可塑性樹脂である。融点は約 280℃、連続使用温度 200～240℃の耐熱性と優れた機械強度、クリープ特性、寸法安定性や電気特性を示す。また、フッ素樹脂に匹敵する耐薬品性を持ち、様々な溶剤や水の存在下で使用できるほか、樹脂自体が自己消火性を持つため高い難燃性 (UL94 V-0)を示す等、多くの優れた特性を有する。これまで PPS 樹脂は自動車のエンジン周辺部品等で広く使用されてきたが、今後様々な分野で需要の拡大が見込まれるロボット市場において、より過酷な環境下で使用できる樹脂ギヤ用の素材として、用途の拡大が期待されている。当社では、ギヤ形状の射出成形金型やギヤ耐久試験機を導入し、より実際の使用環境に近い評価を実施しており、材料組成の設計からギヤの成形技術、ギヤの耐久性評価方法まで一貫した開発を行っている。これまでの当社での取り組みを紹介する。

2.1 PPS 樹脂 (コンパウンド) の材料設計

樹脂ギヤ用材料として、有機繊維と PTFE を含有した PPS 樹脂コンパウンド材料 (PPS-A) を開発した。その他の樹脂材料と比較した物性を Table1 に示す。また、PPS-A、PPS-B (炭素繊維と PTFE を含有した当社摺動グレード)、PEEK 材 (非強化) の 3 材料について、射出成形で作成した一組のギヤを用いたギヤ噛合い回転試験の結果を Table2 に示す。新たに開発した PPS-A は、PPS-B よりも強度や摩擦係数等の材料物性は劣るが、ギヤの寸法精度と耐久性は向上している。これは、有機繊維によるアブレイブ摩耗の低減りと寸法精度の向上による効果と考えられる。また、回転速度 3000rpm の耐久性では、PEEK よりも PPS-A の方が優れる結果となった。試験後の PEEK ギヤは歯先が変形しており、試験中のギヤの温度も高かった。これは摩擦係数が高いことで摩擦熱が大きくなり、歯先が熱変形したものと考えられる。PPS-A と PPS-B の vs 金属試験においては、樹脂同材同士の噛み合わせよりも耐久性が低下することが確認された。PPS ギヤは、金属ギヤ歯面の微小な凹凸や金属摩耗粉によるアブレイブ摩耗の影響が大きいと推察される。

Table 1 Material properties

Material properties			PPS-A	PPS-B	PEEK	Ref.	Ref.	Ref.
			PPS +PTFE, Organic fiber	PPS +PTFE, Carbon fiber	PEEK Unfilled	PPS Unfilled	PA66 Unfilled	POM Unfilled
Density	g/cm3		1.42	1.55	1.31	1.34	1.14	1.41
Water absorption (Water, 24hrs)	wt%		0.1	0.02	0.5	0.02	2.5	0.5
Mold Shrinkage	FD/TD	%	1.0 / 1.5	0.1 / 0.5	--	1.0 / 1.5	1.5 / 1.5	2.0 / 2.0
Flexural strength	FD	MPa	140	270	160	135	125	85
Flexural modulus	FD	GPa	4.5	24	4	3.5	3.0	2.5
Deflection temperature under load (1.8MPa)	°C		125	275	150	110	70	95
Coefficient of friction (self)	—		0.3	0.2	0.5	0.3	—	0.5
JGMA/JSA tolerance classification on cylindrical gear	—		Class 6	Unclassifiable	—	—	—	—

Table 2 Gear endurance test

Fig. 1. Gear endurance test

Gear test Condition			Material		Number of revolutions	Wear volume	
Module:1, Teeth:30x31, Backlash:0.1mm, no grease	Speed	Torque					
	rpm	Nm	combination		Cycle	vol%	
Destructive endurance test (1000rpm)	1000	1.7	Plastic vs plastic (same material)	PPS-A	450,000	—	
		1.5		PPS-B	100,000	—	
		2.0		PEEK	900,000	—	
Destructive endurance test (3000rpm)	3000	1.5		PPS-A	850,000	—	
				PEEK	10,000	—	
Wear volume test (1,200,000cycles@1000rpm)	1000	1.5		PPS-A	No break	0.1	
				PEEK	No break	0.5	
Plastic / Metal combination (1000rpm)	1000	1.5	Plastic vs S45C	PPS-A	150,000	—	
				PPS-B	10,000	—	
				PEEK	No break	0.5	



Fig.1 Gear endurance test

2.2 ウェルドレス射出成形金型

射出成形で作成する樹脂ギヤでは、樹脂の会合部（ウェルド）で材料強度や寸法精度が低下することが知られている。特に繊維強化材を含有した高い強度を持つ樹脂材料では、繊維の異方性の影響でギヤの寸法精度が大きく低下する課題があった。この課題に対して、既に様々な研究結果が報告されている²⁾が、既存の金型技術と当社 PPS 樹脂の組合せを想定した射出成形 CAE（コンピュータ・シミュレーション）では、十分なギヤの寸法精度を得られなかった。そこで当社では、ウェルドの形成を抑制する射出成形用ギヤ金型を新たに考案した（Fig.2 Weld-less design, 特許出願中）。今回考案したウェルドレス金型は、風車型の特殊な流路に樹脂を優先的に流動させ、渦を巻くように樹脂を充填していくことで、ウェルドの形成を抑制している。この金型で PPS-A を成形し、ギヤの繊維配向を確認したところ、ギヤ内部のウェルドラインが消失し（Fig.3）、ギヤの寸法精度も向上した（Fig.4）。また、ギヤ噛合試験においても耐久性の向上が確認された（Fig.5）。ウェルドレスギヤは、標準ギヤと比較して試験中のギヤ温度が低下しており、ギヤの寸法精度の向上で噛合い部の摩擦熱が低下し、耐久性が向上したと推測される。

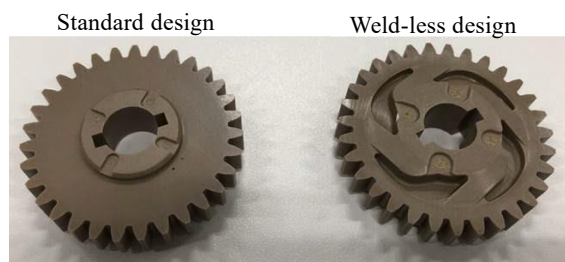


Fig. 2 Injection molded gears (4 gates mold)



Fig. 4 JGMA/JSA tolerance classification on cylindrical

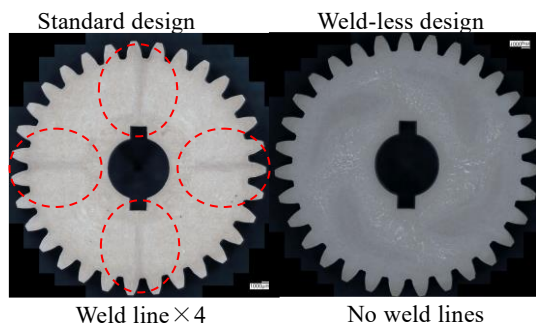


Fig. 3 Weld-lines on gears

Surface polished approx. 1 mm from the bottom (other side of injection gates)

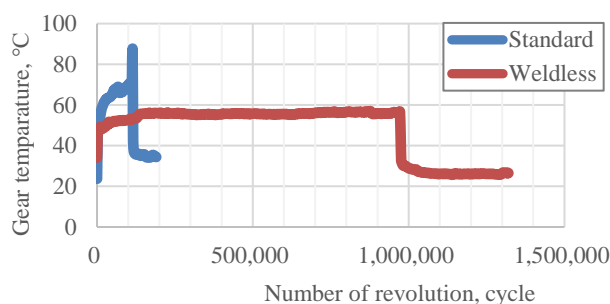


Fig. 5 Gear temperature during gear endurance test
(Torque:2Nm, Rotation speed:1000rpm, Same material
Module:1, Teeth:31x31, Back-lash:0.1mm, no grease)

2.3 充填密度を最大化する成形技術

PPS 樹脂はその他のスーパーエンブラ材料と比較して固化が速い特徴がある。そのため流動末端となるギヤの歯先では充填密度が低下し易い。成形品の充填密度を向上させる成形手法として射出圧縮成形が一般的に知られているが、専用の金型設計や成形機が必要になるため、より簡易に行える局部圧縮成形（プレエジェクト成形）による影響を確認した。今回検討したプレエジェクト成形は、ギヤの歯元に配置したエジェクタピンを型締中に突き出すことで、歯先付近を局部的に加圧し、充填密度を向上させている。繊維強化材を含有しない PPS 樹脂で効果を確認したところ、JGMA 等級 3 級から 1 級に寸法精度向上が向上した。現在、ギヤ噛合い回転の評価を行い、ギヤ性能への影響を確認中である。

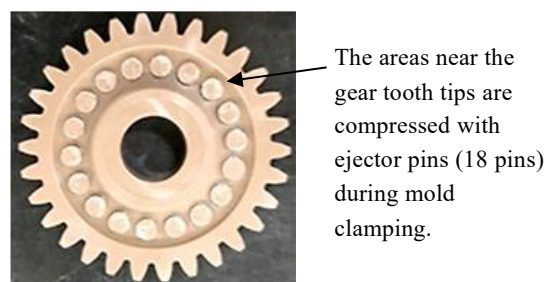


Fig. 6 An injection molded (4-gate) gear by “local compression molding (pre-ejection molding)”

3. 今後の展開

今回は射出成形用の PPS 樹脂材料にフォーカスしたが、射出成形よりも高い耐久性を期待できる切削加工用の特殊 PPS 樹脂材料も開発中である。また、平歯以外のウェルドレス金型や寸法精度向上の検討、PPS 樹脂のデメリットの一つである成形ガスを低減する真空引きとプレエジェクト成形の両立など、材料物性だけでなく樹脂ギヤとしての性能を向上させる取り組みを進めていく。

文献

- 1) 日本精工株式会社. 常増卓也, 内山貴彦, 村上豪, 原久美子. 電動パワーステアリング装置. 特開 2015-127162.
- 2) 株式会社エンプラス. 宮坂章司. 射出成形樹脂歯車及び射出成形樹脂回転体. 特開 2004-358665.