

## 鋼材と接触する PA66 製しゅう動部品の耐摩耗性に関する研究 第2報：樹脂分子量および相手材鋼硬度の影響

Effect of molecular mass and hardness of steel counterpart on the wear resistance of PA66 composite sliding parts in contact with steel

ジェイテクト（正）長井 康晴 ジェイテクト（正）国島 武史

Yasuhiro Nagai, Takeshi Kunishima

JTEKT CORPORATION

### 1. はじめに

ポリアミド66(PA66)は、耐熱性・自己潤滑性などの特徴を有し、樹脂ギヤやローラ等の自動車部品に多く用いられている。例えば、電動パワーステアリングのウォーム減速機用のウォームホイールにはPA66が採用され、鋼製ウォームシャフトと組み合わせてグリース潤滑下で使用される。このPA66は、非強化材の他に繊維で強化した繊維強化材が知られ、繊維強化材は高強度および高剛性を有するため、近年の自動車部品の小型、高出力化に対応する樹脂部品への適用が進んでいる。

繊維強化材と鋼を組合せたしゅう動部の摩耗形態は、2元アブレシブ摩耗が支配的となり、繊維強化材の硬質な繊維が相手材鋼の摩耗を促進させ、一方で、繊維強化材は、しゅう動による繊維の脱落により、しゅう動面の物性の低下により摩耗が進行する<sup>1)</sup>。非強化材を用いたウォームホイールの場合、摩耗抑制対策として樹脂の分子量を増加させることにより、グリース潤滑下における寿命の向上が報告されているが<sup>2)</sup>、繊維強化材に関しては樹脂の分子量の効果は不明である。また、相手材の鋼材の摩耗対策は、熱処理を行うことにより表面を高硬度化することで対応される場合が多いが、熱処理ひずみによる寸法精度低下に対する対策が必要となり、加工コストも増加する。

そこで本研究では、グリース潤滑下における繊維強化材と鋼材のしゅう動において、繊維強化材の樹脂の分子量および鋼材の硬度が摩耗に及ぼす影響を明らかにし、実製品に活用可能な設計指針を明確にした。

### 2. 試験方法

#### 2.1 試料

試験には、分子量が異なるガラス繊維強化材(GF-Polymer)を用いた(Table 1)。樹脂の分子量の代替指標として、ISO307に準拠しが酸溶媒を用いて測定した粘度数(VN)を用いた。このVN値は、分子量の大きさと傾向が一致する。また、相手材には、熱処理条件を調整することで得られた異なる硬度の鋼材を用いた(Table 2)。硬度は、マイクロビックカース硬度計を行い、4.9Nの負荷で測定した。

Table 1 Composition and properties of polymer specimens

Polymer	Amount of GF	VN of Polymer
PA66	15 wt%	145 mL/g
		235 mL/g

#### 2.2 摩擦試験

固定された4本の鋼製円筒と樹脂製リングを接触させることにより摩擦摩耗試験を行った(Fig.1)<sup>1)</sup>。潤滑剤には、樹脂部品の潤滑剤として用いられることが多いウレアグリースを用いた。本試験では、過度の昇温を避けるため、しゅう動(10 s)と停止(20 s)を交互に繰り返す条件とした(Table 3)。また、試験中のμおよび変位の測定を行うとともに、鋼製ころを固定する治具に熱電対を設置してしゅう動面近傍の温度を測定した。樹脂の摩耗量は試験前後の樹脂リング試験片の重量変化より算出し、鋼試験片の摩耗は、4本の円筒試験片の摩耗断面の平均値とした(Fig.2)。

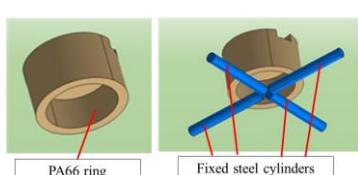


Fig. 1 Schematics of the test

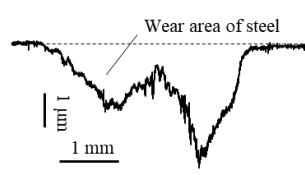


Fig. 2 Example of wear profile of steel

Table 2 Composition and properties of steel specimens

Material	Quench hardening	Tempering	Vickers hardness
S45C	-	-	311 HV
	890 °C × 30 min. Oil cooling	412 °C × 60 min. Air cooling	416 HV
		300 °C × 60 min. Air cooling	515 HV
		120 °C × 60 min. Air cooling	659 HV
SUJ2	835 °C × 10 min. Oil cooling	180 °C × 60 min. Air cooling	789 HV

Table 3 Test conditions for the sliding tests

Steel cylinder	Material	S45C, SUJ2
Composite ring	Cylinder R	1.75 mm
	Material	PA66
	Size	O.D.:25.6 mm, I.D.:20.0 mm H:12.0 mm
	Testing conditions	Sliding speed Normal load Contact pressure Cycle number Temperature Lubrication
		1 m/s 220 N 154 MPa 60200 cycle 23 °C Urea grease

### 3. 結果および考察

#### 3.1 摩耗に及ぼす樹脂の分子量の影響

Figure 3 に VN 値(分子量)と GF-PA66 および鋼の摩耗の関係を示す。VN 値が大きいほど GF-PA66 および鋼材の摩耗が低減した。GF-PA66 は、しゅう動によって GF が脱落し、脱落部を起点としたき裂が発生することにより摩耗が進行したと考える。樹脂材料のき裂の進展は、じん性の向上によって抑制されることが知られている<sup>3)</sup>。本研究においても異なる分子量の PA66 非強化材の引張破断伸びの比較を実施し、分子量の大きい PA66 は伸びが大きく、じん性が向上していることを確認した。これらのことより、繊維強化材である GF-PA66 においても分子量が大きいほどじん性が高くなり、き裂の進展が抑制されることにより GF の脱落が抑制され、摩耗が低減すると考える。一方、鋼の摩耗は、樹脂のじん性の向上の結果、攻撃性の高い GF のエッジの露出が抑制され、鋼に対する 2 元アブレシブ摩耗を抑制したと推測する。この結果は、繊維強化樹脂においても樹脂の分子量を増加させることにより、硬度が低い鋼材の摩耗を抑制できる可能性があることを示唆している。

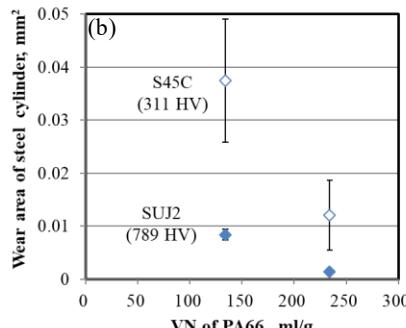
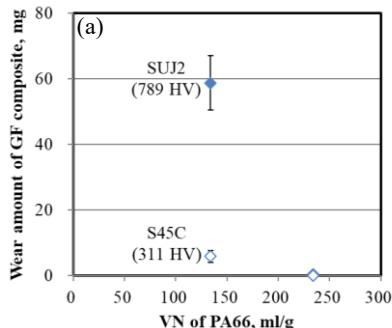


Fig.3 Relation between VN of PA66 and (a) wear amount of GF composite, (b) wear area of steel cylinder

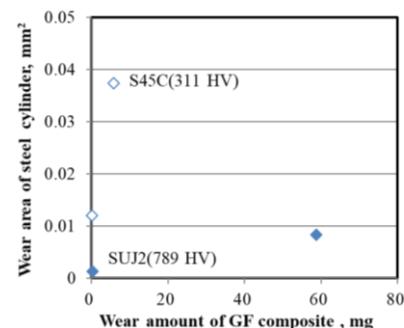


Fig.4 Relation between wear amount of GF composite and wear area of steel cylinder

#### 3.2 摩耗に及ぼす鋼の硬度の影響

Figure 5 に異なる硬度の鋼材および GF-PA66 (VN: 145 ml/g, 分子量: 小) の摩耗を示す。鋼材の摩耗は、硬度が高くなるに従い減少した。一方、GF-PA66 材の摩耗は、相手材である鋼材の硬度が 516 HV と 659 HV の間で大きく異なり、鋼材の硬度が 659 HV 以上では摩耗が増加した。この挙動は、鋼材の硬度と GF の硬度の関係が影響していると推定した。この硬度差を明確にするため、GF の表面硬度をナノインデンテーション法 (負荷: 4 mN) により測定し、鋼の硬度との比較のため、式(1)を用いてビックカース硬度に換算した。

$$H_{VC} = 94.547 * H_{IT} \quad (1)$$

$H_{VC}$  : 換算ビックカース硬度 HV  $H_{IT}$  : ナノインデンタ硬度 GPa

換算値は参考値となるが、GF の硬度は 540 HV 程度となり、GF の硬度よりも鋼材の硬度が高い場合に GF-PA66 の摩耗が増加することがわかった。これは、GF の折損および脱落により、GF の脱落部を起点とするき裂が進展、摩耗が増えたものと考える。一方、GF の硬度よりも鋼材の硬度が低い場合、硬度の高い GF の折損および脱落が抑制され、GF の相手材攻撃性により硬度の低い鋼材が摩耗し、面圧の低下により樹脂の摩耗が低減したものと推測する。

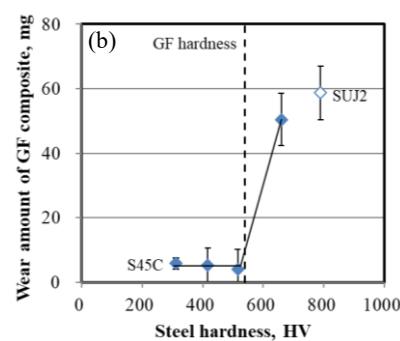
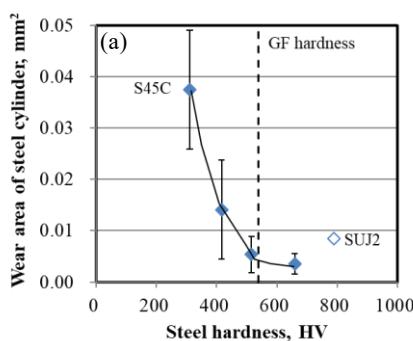


Fig.5 Relation between steel hardness and (a) wear area of steel cylinder, (b) wear amount of GF composite.

### 4. まとめ

- ガラス繊維強化ポリアミド (GF-PA66) の摩耗は、PA66 の分子量の影響が認められ、非強化材と同様に VN 値(分子量)が大きいほど GF-PA66 の摩耗が減少し、相手材である鋼材の摩耗量も減少させた。これは分子量の増加によりじん性が向上し、GF の脱落抑制および GF のエッジ露出抑制による攻撃性が低下したためと推定した。
- 鋼材の摩耗は、鋼材の硬度および GF-PA66 材に含まれる繊維の硬度に影響を受け、鋼材の硬度が GF の硬度よりも低い場合は摩耗が抑制された。
- これらの結果は、実製品において構成部品(鋼材)の熱処理を廃止できる可能性を示唆している。すなわち、本研究で得られた設計指針は、繊維強化材と熱処理なしの鋼材の組合せによるしゅう動部品の商品力の向上(コスト低減および熱処理による寸法変化の抑制)が可能である。

## 参考文献

- 1) T. Kunishima et al. : Tribological behavior of glass fiber reinforced-PA66 in contact with carbon steel under high contact pressure , sliding and grease lubricated conditions, Wear 456-457 (2020) 203383.
- 2) 国島：電動パワーステアリング用樹脂製ウォームホイール歯面におけるトライボロジー挙動の解明，JTEKT ENGINEERING JOURNAL No1013 29-35 (2015).
- 3) 石川：高分子材料の高じん性化，高分子論文集 Vol47 No2 83-97 (1990).