



電子線架橋技術を応用した高耐久性樹脂ギア

Electron-Beam-Irradiated Cross-Linked Gears with High Durability

岡部 昭平*
Shohei Okabe

井上 幹久
Mikihisa Inoue

山根 洋輝
Hiroki Yamane

片山 浩二
Koji Katayama

電子線を照射することでプラスチックを架橋させ、特性を向上させる技術を活かし、疲労強度を向上させたエンジニアリングプラスチック部品「テラリンク」について、ポリアミド66での性能向上例を報告する。引張強度などの基礎物性も向上するが、ギアでの疲労強度で比較すると、架橋により3倍以上の荷重に耐えられるところまで改質される。汎用的なギア材料のコンパクト化や、軽量化の観点で進んでいる金属部品からプラスチック部品への代替に対する貢献が期待される。

We have applied cross-linking technology to plastic materials through high-energy electron-beam irradiation to obtain gears with high durability. Sumitomo Electric Fine Polymer's Teralink cross-linked gears, which use Polyamide 66 as their base polymer, exhibit a three-fold improvement in durability in terms of the amount of tooth load that they can withstand compared to gears made of the same base polymer.

キーワード：電子線照射、射出成形、プラスチック、疲労強度、ギア

1. 緒言

近年では、軽量化の観点から、特に高い機械的強度が要求される摺動部材、例えばギア、ワッシャー、カム、軸受け等についても、金属からプラスチックへの代替が求められつつあり、より高い機械的強度が求められている。

ギアに使用されるエンジニアリングプラスチックはポリアセタールとポリアミドが大半を占める。ポリアミドの中でもポリアミド66は強度、耐摩擦摩耗性、耐薬品性等に優れ、かつ安価であることから、産業機械分野の各種部品向けに幅広く用いられ、電子線で工業的に実用的な架橋ができる⁽¹⁾ことがわかっている。

当社は電子線を照射することでプラスチックを架橋させ、特性を向上させる技術を活かし、疲労強度を向上させたエンジニアリングプラスチック部品「テラリンク」を製造販売しており、今回はギアでの性能向上例を中心に報告する。

2. 製造方法

図1に電子線架橋プラスチック部品「テラリンク」の製造方法を示す。

熱可塑性ポリマーに電子線架橋性を付与するために特殊なモノマーを二軸混合機等で均一に分散させ円筒状のペレットを形成し、次に同ペレットを射出成形機で製品形状に成形、最後に高エネルギーの加速電子線を照射しポリマー中に3次元編み目構造を形成させることにより得られる。

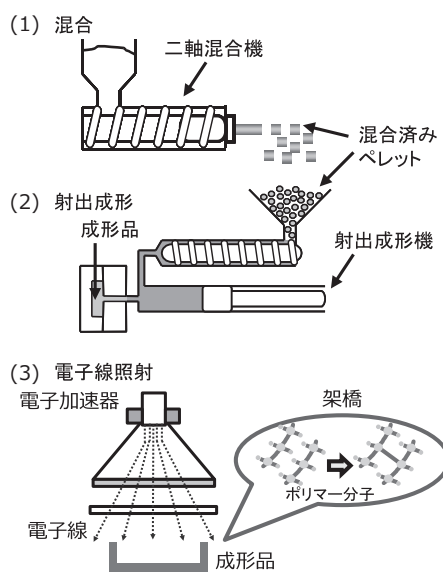


図1 電子線照射架橋成形品の製造プロセス

3. 基礎物性

前述の方法で得られた架橋ポリアミド66のダンベル試験片について、引張強度、引張伸び、曲げ強度、曲げ弾性率、シャルピー衝撃強度、比重などの基礎物性を測定した。また、架橋ポリアミド66と同じグレードのベース樹脂のみを成形し、ポリアミド66のダンベル試験片を得て、同じく基礎物性を測定した。ポリアミドは乾燥状態と吸湿状態で物性が変わるため、乾燥サンプルによる結果を表1に、25℃

60%湿度で飽和吸湿したサンプルによる結果を表2にそれぞれ示す。

表1 乾燥サンプルの基礎物性

| | 単位 | ポリアミド66 | 架橋ポリアミド66 |
|-----------|-------------------|---------|-----------|
| 引張強度 | MPa | 85 | 98 |
| 引張伸び | % | 7 | 31 |
| 曲げ強度 | MPa | 113 | 134 |
| 曲げ弾性率 | GPa | 2.8 | 3.2 |
| シャルピー衝撃強度 | kJ/m ² | 3 | 4 |
| 比重 | - | 1.1 | 1.1 |

表2 25℃60%湿度飽和吸湿サンプルの基礎物性

| | 単位 | ポリアミド66 | 架橋ポリアミド66 |
|-----------|-------------------|---------|-----------|
| 引張強度 | MPa | 61 | 77 |
| 引張伸び | % | 232 | 54 |
| 曲げ強度 | MPa | 54 | 73 |
| 曲げ弾性率 | GPa | 1.3 | 1.8 |
| シャルピー衝撃強度 | kJ/m ² | 11 | 16 |
| 比重 | - | 1.1 | 1.1 |

乾燥サンプルにおいて、架橋ポリアミドはポリアミド66に対して、引張強度が1.15倍、曲げ強度が1.19倍、曲げ弾性率が1.14倍に向上した。25℃60%湿度飽和吸湿サンプルでも同様の傾向がみられる。架橋することにより、3次元編み目構造による分子の拘束が強くなったためと考えられる。

4. 疲労強度

4-1 ダンベル疲労強度

ギアは引張強度や曲げ強度以下の応力で、一定の周期で繰り返しの応力がかかることで破壊する。そこで、乾燥した引張ダンベル試験片で応力毎の破壊回数を測定し、無限

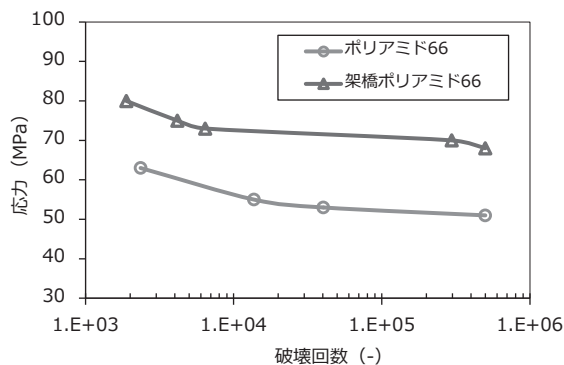


図2 ダンベル疲労強度測定結果

回数後で破壊する応力（疲労強度）を推定した結果を図2に示す。

疲労強度はポリアミド66で51MPa、架橋ポリアミド66で68MPaと推定され、架橋により1.29倍に向上した。基礎物性の引張強度は前述のように1.15倍の向上に留まっていることから、疲労強度の方が大きく変化していることが伺える。

4-2 ギア疲労試験

架橋ポリアミド66について、歯幅5mm、モジュール1、歯数30のギアと歯幅5mm、モジュール1、歯数31のギアを図1の要領でそれぞれ製作した。また、ポリアミド66とポリアセタールについても同様のギアを射出成形で製作した。同じ材料の組み合わせでギアをかみ合わせ、トルク35N・cm（歯面荷重4.5N/mm）、616rpm（ピッチ円周速度60m/分）、無潤滑で100時間回転させることで疲労試験を行った。評価指標として重量減少率とまたぎ歯厚^{*1}を用い、それぞれの減少率を調べた結果を図3に示す。

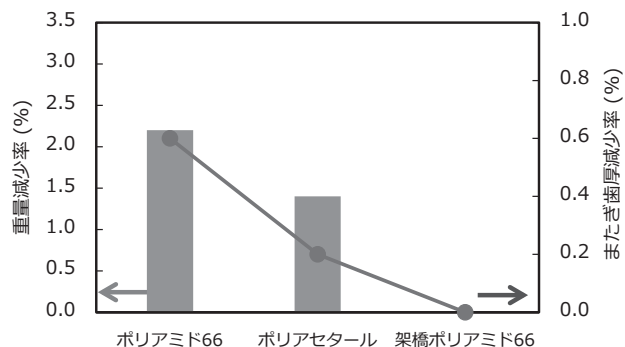
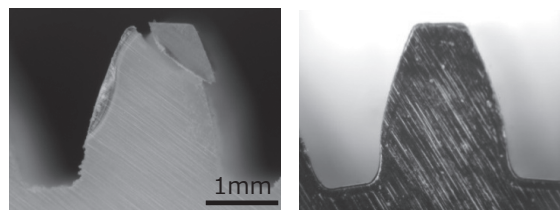


図3 ギア疲労試験結果

ポリアミド66では2.2%の重量減少がみられたのに対し、架橋ポリアミド66は全く重量減少がない結果となった。写真1に疲労試験後のギア歯先を撮影した写真を示すが、写真からも架橋ポリアミド66は全く摩耗している様子がなく、高い耐摩耗性を有していることがわかる。



ポリアミド66

架橋ポリアミド66

写真1 疲労試験後のギア歯先写真

4-3 ギア疲労強度

次に疲労試験を4-2項と同じ条件で、複数の歯面荷重で行い、重量減少率が0.5%以上になるか、ギアが破断する荷重を調べ、この荷重を限界歯面荷重と定義した。架橋ポリアミド66、ポリアミド66、ポリアセタール、さらにスーパーエンジニアリングプラスチックのPEEK^{※2}について、限界歯面荷重を求めた結果を図4に示す。

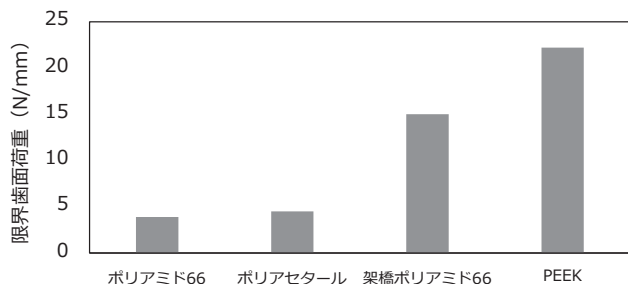


図4 限界歯面荷重

架橋ポリアミド66はポリアミド66の3.8倍、ポリアセタールの3.3倍の値を示し、汎用的なギア材料に対しては3倍以上の限界歯面荷重を有する結果となった。また、PEEKに対しても0.68倍まで迫り、スーパーエンジニアリングプラスチックの代替材料としての期待も高まる。

5. 採用例

架橋ポリアミド66は産業機械向けの部品や、電動アシスト自転車のギアなどに採用されている。

今後はポリアセタールやポリアミド66のギアをコンパクトな設計にしたいニーズ、スーパーエンジニアリングプラスチックのギアをコストダウンしたいニーズ、金属を軽量化したいニーズに対する採用が期待される。

当社ではポリアミド66より耐熱性が高いポリアミド46も同じく架橋できることから、耐熱ブレードとして開発中である。

6. 結 言

電子線照射技術を活用してポリアミド66を架橋させた架橋ポリアミド66の特性を紹介した。ギアに適用した場合に疲労強度が大きく向上することから、汎用的なギア材料のコンパクト化や、軽量化の観点で進んでいる金属部品からプラスチック部品への代替に対する貢献が期待される。

用語集

※1 またぎ歯厚

平行測定片で複数枚の歯をまたいで測定するギアの歯厚。

※2 PEEK

ポリエーテルエーテルケトン樹脂の略称。

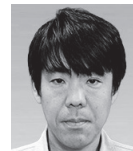
・テラリンクは住友電気工業㈱の登録商標です。

参考文献

(1) 西川信也、放射線と産業 (147)、11-16 (2019)

執筆者

岡部 昭平* : 住友電工ファインポリマー(株) 課長



井上 幹久 : 住友電工ファインポリマー(株)



山根 洋輝 : 住友電工ファインポリマー(株) 主席



片山 浩二 : 住友電工ファインポリマー(株) 部長
博士 (工学)



*主執筆者