

現場重合型熱可塑性ウレタン樹脂を用いた一方向プリプレグの連続成形に関する研究

日大生産工(院) ○太田 智大 日大生産工 平山 紀夫 金沢工業大学 西田 裕文
第一工業製薬株式会社 山田 欣範, 第一工業製薬株式会社 竹川 淳

1) 緒言

近年の燃費規制の強化の動き¹⁾に対応すべく、日本を含めた世界各国の自動車メーカーが車体の軽量化に取り組んでいる。そのなかでも、比強度・比剛性に優れる炭素繊維強化熱硬化性樹脂(CFRP)や炭素繊維強化熱可塑性樹脂(CFRTTP)が注目され、活発な研究・開発が行われている²⁾。

長繊維で強化されたCFRPやCFRTTPの代表的な成形方法の一つに、事前に樹脂を炭素繊維に含浸させた中間材料(以下、プリプレグ)を用いてプレス成形をする方法である。しかしながら、CFRTTPのプリプレグを作製する場合には、熱可塑性樹脂の熔融粘度が非常に高いため、大規模な設備による、高温・高圧下での含浸プロセスが必要であった。このため最近では、硬化前は粘度が低く、連続繊維へ含浸後、直鎖状のポリマーへと重合する現場重合型熱可塑性樹脂の開発が行われている。

そこで、本研究では、新しく開発した現場重合型熱可塑性ウレタン樹脂(以下、PU樹脂)を用い、従来の熱可塑性樹脂では困難であった、連続繊維を強化材とするPU樹脂プリプレグの連続成形法の開発を行い、PU樹脂プリプレグの成形性の評価とPU樹脂プリプレグにより成形したCFRTTPの機械的特性を評価した結果を報告する。

2) 実験方法

2.1 母材樹脂と強化材

母材樹脂である現場重合型熱可塑性樹脂として、熱可塑性ウレタン樹脂(第一工業製薬(株), H-6FP17)を用いた。一方、強化繊維としては、炭素繊維糸(東レ(株), T700SC-24k-60E)を用いた。

2.2 成形方法

PU樹脂プリプレグ(以下、PU-Prepregという)の成形は、Fig.1に示す連続成形機により行った。この連続成形機は、自由に繊維体積含有

率(Vf)を変更できる機構を組み込んであるため、今回は、プリプレグのVfが30%になるように繊維供給を行った。PU樹脂は、A材とB材の2液を混合させる必要があるため、滴下前にスタティックミキサーに通して混合させた。その後、含浸テーブル上に樹脂を滴下し含浸ローラにて、繊維に含浸させた。次に、120℃の型内で幅14~15mm、厚さ0.5~0.7mmのプリプレグとして成形する、また連続成形機内だけでは、樹脂養生の時間が不足するため、加熱炉にて十分な後加熱を行い、PU-Prepregを得た。

その後、PU-Prepregを用いて、引張試験を実施するため、Vfが60%となるように試験体を成形した。ホットプレス機にて230℃で10分溶融、5分加圧を行い、PU樹脂を母材とする一方向強化CFRTTP(以下、PU-CFRTTPという)を製作した。

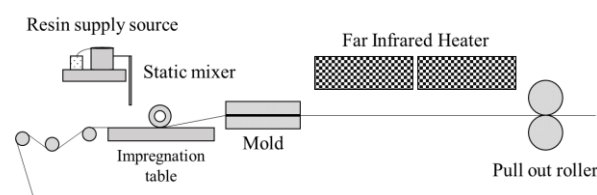


Fig.1 Schematic of continuous forming machine

3) 試験方法

3.1 引張試験

成形品の機械的特性を評価するため、JIS K7165を参考に引張試験を実施した。全長230mm、幅15mm、板厚0.5mmを試験体寸法とした。また、試験時のチャック部の応力集中による破壊を防ぐため、全長40mmのアルミ製のタブを試験体に接着剤で接着し、試験片本数n=5本で試験を行った。

3.2 繊維体積含有率の測定

Vfの測定は、JIS K7075に準じて燃焼法により行った。今回、PU-PrepregはVfが30%に、

Study on continuous forming of unidirectional prepreg using in Situ-
Polymerizing Thermoplastic Urethane Resin

Tomohiro Ota, Norio Hirayama and Hirofumi Nishida ,
Yoshinori Yamada , Tadashi Takekawa

PU-CFRTPはVfが60%を目標に成形を行ったが、燃焼法による計測の結果、PU-Prepregは、約33%であり、PU-CFRTPは、約57%であった。

4) 結果および考察

4.1 光学顕微鏡による観察

Fig.2に、プリプレグで成形したPU-CFRTPの断面写真を示す。Fig.2から明らかなように、断面には含浸不良であるボイドは、ほとんど確認されず、一般的に含浸が困難だと言われている一方向連続繊維に対して、十分に含浸していることが確認でき、PU樹脂は優れた含浸性を有していることがわかった。

4.2 引張特性

成形したPU-CFRTPの引張試験の結果を、評価するため、理論引張強度との比較を行った。理論値の算出には、繊維相と樹脂相が完全に接着していると仮定して複合則を用いた。繊維強化形複合材料における複合則は次式で表される。

$$\sigma_c = \alpha \sigma_{fu} V_f + (\sigma_m)_{fu} (1 - V_f) \cdots (1)$$

ここで、

σ_{fu} は繊維の引張破壊応力、 $(\sigma_m)_{fu}$ は繊維破断伸びに対する樹脂破壊応力、 V_f は繊維体積含有率を示す。また、 α は繊維形態によって決まる係数³⁾であり、一方向強化では $\alpha = 1.0$ である。式(1)より求めた理論引張強度と実験値との比較をFig.3に示す。

引張試験の結果、PU-CFRTPの引張強度は、平均値で2092MPaとなり、複合則より算出した引張理論強度に近い高い引張強度を示すことが確認できた。これは、PU樹脂の持つ高い含浸性により成形品内部にボイドが、ほとんど内在していなかったためと考えられる。また、Fig.4に走査型電子顕微鏡にてPU-CFRTPの破断面を観察した写真を示す、Fig4から明らかなように破断面の繊維には、表面に樹脂が付着しており接着性も良好であることがわかる。

5) 結言

今回、新規に開発された現場重合型熱可塑性ウレタン樹脂を母材として、プリプレグおよび一方向強化CFRTPを成形し、その成形性とその機械的特性を評価した結果、以下の知見を得た。

1. PU樹脂は、熱可塑性樹脂でありながら、その成形品内部にはボイドがほとんど確

認されず優れた含浸性を示すことから、PU樹脂の良好な含浸性が確認できた。

2. 引張試験でPU樹脂を母材としたプリプレグにより成形したPU-CFRTPは、PU樹脂の優れた含浸性と良好な接着性により、理論強度に近い高い引張強度を示すことが確認できた。

「参考文献」

1. 西野浩介 世界の自動車燃費規制の進展と電動化の展望
2. 中村幸一, 平山紀夫, 西田裕文, 現場重合型ポリアミド 6 をマトリックスとするFRTPの機械的特性, 日本複合材料学会誌 35,5 (2009) 195-202
3. 藤井太一, 複合材料(Ⅲ)複合材料の力学(弾性的応力と変形挙動), 材料, 第 25 巻, 71

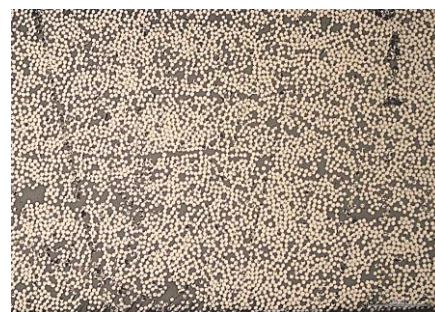


Fig.2 Observation of cross section for PU-CFRTP

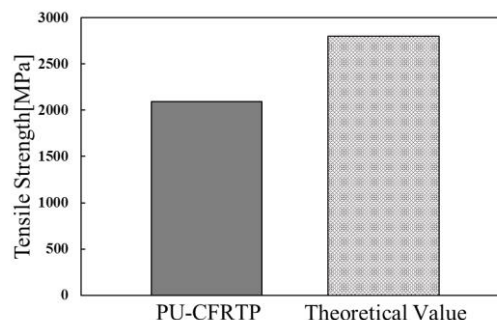


Fig.3 Comparison of Tensile strength

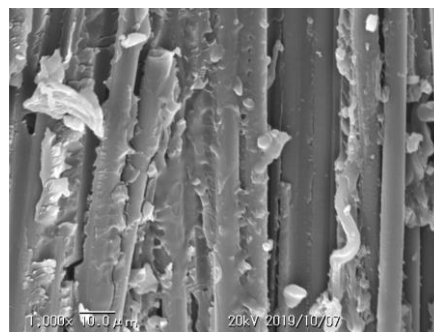


Fig.4 SEM observation of fractured cross section for PU-CFRTP