

高温雰囲気下における熱可塑性ポリイミドの変形挙動に及ぼす温度の影響

Effect of Temperature on Deformation Behavior of Thermoplastic Polyimide in High Temperature Atmosphere

木村駿斗¹⁾

指導教員 坂口雅人²⁾, 米盛弘信¹⁾

1) サレジオ工業高等専門学校 専攻科 生産システム工学専攻 産業応用研究室

2) 岐阜大学 工学部 機械工学科 (元 サレジオ工業高等専門学校 機械電子工学科)

キーワード: 熱可塑性ポリイミド, CFRP, 引張試験

1. 緒言

近年, 炭素繊維強化プラスチック (Carbon Fiber Reinforced Plastics: CFRP) は軽量で高強度であることから航空機の構造材料に導入されている. 航空機の速度が増加すると空気の断熱圧縮によって加熱され, 超音速流れ中のよどみ点温度は 220 °C 程となる. そこで, 優れた耐熱性を有する熱可塑性ポリイミドが超音速機に適応される CFRP の母材として注目されている. 現在, 熱可塑性 CFRP はプレス成形[1]やハイブリット成形[2]などによって加工されている. これらの加工方法は材料を金型ごとに加熱するため加工コストが高くなる. そこで, CFRP を誘導加熱することによって, 内部の炭素繊維のみを自己発熱させ, 加工コストの低減を図る. しかし CFRP は繊維形状であることから誘導電流が流れにくく, 加工に必要なジュール熱が得られない可能性がある. 先行研究における CFRP の誘導加熱解析からも CFRP の自己発熱温度が低いと報告されている[3]. そのため, 融点温度よりも低い温度であるガラス転移温度における塑性加工に着目した. したがって本研究では, 誘導加熱を利用して熱可塑性ポリイミドを母材とした CFRP を塑性加工することを最終目的とした.

本稿では, 熱可塑性ポリイミドのガラス転移温度付近における力学的特性の調査結果, および成形した CFRP の含浸率結果を報告する.

2. 実験方法

2.1 ポリイミドの成形

乾燥機 (ASONE, OFX-50) を用いてポリイミドペレット (三井化学, Aurum) を 70 °C で 7 時間以上絶乾した. 次に金型を洗浄した後に離型剤 (ShinEtsu, KF96SP) を塗布し, ポリイミドのペレット 30 g を金型に投入した. ポリイミドをセットした金型はホットプレスを用いて 380 °C に加熱し, 約 0.5 MPa の圧力を加えることで圧縮成形を行った. 成形した板の寸法は 110 mm × 110 mm で, 厚みは約 2 mm であった.

2.2 加熱引張試験による力学的特性の調査

試験片はラボカッター (マルトー, MC-112) で 10 mm × 110 mm の大きさに切断し, 両端へ評価部長さ 70 mm となるようにタブを接着した. その後, 万能試験機 (Shimazu, AGS-1000A) を用いて引張試験を行った. この際, 試験片の周囲に設置したヒータを用いて試験片を加熱した. 測定条件として引張速度は 10 mm/min, ヒータの温度は室温, 150 °C, 200 °C, 220 °C, 240 °C, 250 °C, 300 °C とした.

2.3 CFRP の成形

マイクロブレイディング法によって炭素繊維 (CF) /ポリイミド (PI) 複合材料を成形した. マイクロブレイディング法に基づき, 炭素繊維の周りに繊維状のポリイミドを組機によって編み上げ

た組紐を作製した。この組紐は織機によって平織にし、繊維体積含有率 V_f は 29 Vol% とした。その後、2.1 と同様に成形温度 380 °C、成形圧力 0.5 MPa で圧縮成形し、積層構成は $[0]_4$ とした。

2. 4 CFRP の含浸率測定法

CFRP に樹脂埋めを行い、ラボカッターを用いて切り出し、断面の研磨を行った。研磨後にデジタルマイクロスコップ (KEYENC 製, VHX5000) を用いて断面を観察し、以下の式 (1) より CFRP の含浸率を求めた。ここで I は含浸率、 V は炭素繊維の断面積 [mm^2]、 V_{air} は未含浸領域の面積 [mm^2] とした。

$$I = \frac{V - V_{air}}{V} \quad \dots (1)$$

3. 実験結果

3. 1 加熱引張試験による力学的特性の調査結果

図 1 に加熱引張試験から得られた各雰囲気温度の応力時間線図を示す。図 1 より、雰囲気温度の上昇とともに引張強度が減少していることが確認できる。雰囲気温度が 250 °C 時の試験片は、他の試験片と比較して最も伸びてから破断していることがわかる。また、240 °C ~ 250 °C 間の破断時間に 210 秒ほどの差があることから急速に試験片が軟化していることがわかる。図 2 に加熱引張試験後における試験片の外観写真を示す。図 2 より、250 °C 時における試験片は、ゴム状となって延性状態となっていることがわかる。以上のことから熱可塑性ポリイミドは 250 °C で急速に軟化することが明らかとなったため、誘導加熱を利用した塑性加工において 250 °C まで CFRP を自己発熱させる必要があるといえる。

3. 2 CFRP の含浸率結果

図 3 に CF/PI 複合材料の断面写真を示す。黒い部分が未含浸領域、白い部分が含浸領域を表している。含浸率の平均は 56.65% となり、炭素繊維にポリイミドがあまり含浸していないことが確認できる。そのため、誘導加熱を行う際に電流が流れにくくなってしまう可能性がある。

4. 結言

本研究における熱可塑性ポリイミドは 250 °C で急速に軟化した。このため、誘導加熱を利用した塑

性加工において 250 °C まで CFRP を加熱する必要があることが明らかとなった。また CFRP を成形したところ、含浸率が 56.65% であることから誘導加熱しにくいことが予想された。

今後は、CFRP の電気的特性の調査を行い、回路シミュレータを用いて必要な電流の解析を行う予定である。

参考文献

- [1] 米山猛, “連続繊維熱可塑性 CFRP のプレス成形”, 日本塑性加工学会会報誌, Vol.1, No.7, pp.473-477, (2018)
- [2] 三浦浩, “CFRTP のハイブリッド成形法”, 日本塑性加工学会会報誌, Vol.1, No.7, pp.489-499, (2018)
- [3] 中村俊太, 堀江知義, 仁保知也, 石原大輔, “炭素繊維複合材およびドライクロスの誘導加熱解析”, 日本 AEM 学会誌, Vol.29, No.3, pp.576-582, (2021)

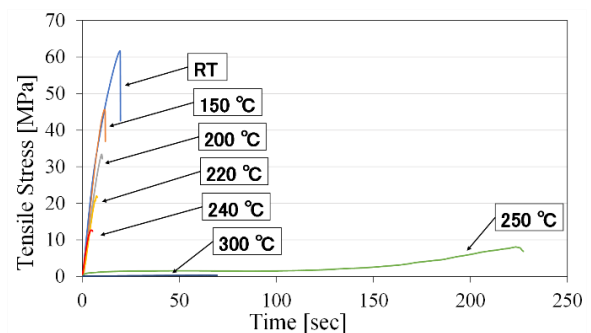


図 1 各雰囲気温度におけるポリイミドの応力時間線図

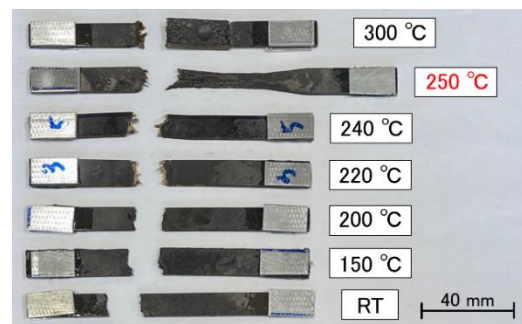


図 2 各雰囲気温度における加熱引張試験後のポリイミド外観写真

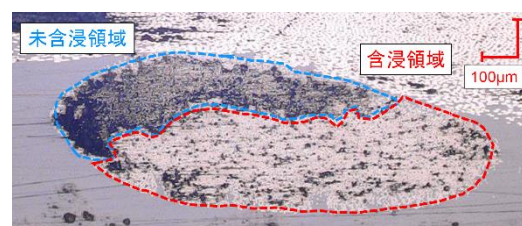


図 3 CF/PI 複合材料の断面写真