

北海道大学工学部 ○小島真一, 檜原弘之, 五十嵐悟, 斎藤勝政

要 旨

光造形法における光硬化性樹脂の光重合反応(硬化現象)には樹脂の硬化収縮や熱膨張/収縮を伴う。この樹脂の収縮が造形物に反りをもち、形状精度に悪影響を与えている。本報では、光硬化性樹脂の1ライン硬化物の収縮応力を測定し、実験範囲ではレーザーパワーを小さく、レーザーの走査速度を大きくして造形を行えば、収縮応力は小さくなるという結果が得られた。

1. はじめに

光造形法によって作成された造形物は三次元形状であるが、その立体成形過程では層の塗りつぶし、積層といった工程を繰り返す。この際、ライン間及び層間の干渉といった問題点が生じてくる。本報ではその基本となる1ラインを考える。レーザーパワーとレーザーの走査速度を変化させることによって、樹脂の1ライン(一次元)硬化物の収縮応力を測定する。その際の目的は以下の通りである。

- ① レーザパワーと収縮応力との関係を調べること。
- ② レーザの走査速度と収縮応力との関係を調べること。
- ③ 硬化断面積と収縮応力との関係を調べること。

2. 収縮応力の測定方法及び測定原理

シャーレの中に光硬化性樹脂を満たす。その液面上に図1に示すような透明シートを、硬化物をサポートするために浮かべる。その上を紫外線レーザーを図1に示すようなパターンで(1ラインでの樹脂の収縮応力を測定するためライン同志の干渉が起らないよう)十分間隔をあけて走査し硬化させる。このとき紫外線レーザーは液面位置で焦点を結ぶようにする。このようにしてできた硬化物を取り出す。そして力Fを荷重計を用い、また断面形状の寸法(硬化深さx, 硬化幅b(図2))を光学顕微鏡を用いて測定する。ここで、硬化物断面は三角形として近似した。これらの測定値を(A)式(後述)に代入して、光硬化性樹脂の収縮応力 σ を求める。このとき樹脂は前回の重合反応の影響が残らないように毎回新しいものを使用する。実験条件を以下に示す。

- 装置: ソリッドクリエータ SCS2000,
パワーメータ LABMASTER LM-2 UV
- 光硬化性樹脂: デソライト SCR-200
- レーザーパワー: 33, 44, 57, 70, 85mW
- 走査速度: 32.3, 64.5, 96.8, 129, 161, 194, 226mm/S

図3のように反り返った薄板に復元力Fを加えたとき、薄板は目盛0に戻ったとする(図4)。光硬化性樹脂の収縮応

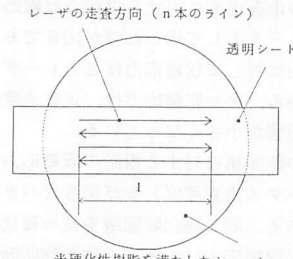


図1. レーザの走査パターン

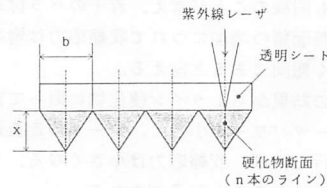


図2. 透明シート下面に生成した硬化物断面

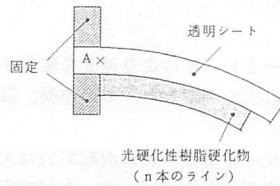


図3. 光硬化性樹脂の収縮応力のために反り返った透明シート

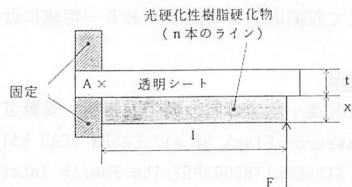


図4. 光硬化性樹脂の収縮応力の測定系

力を σ とすると、応力は点Aの周りのモーメントのつりあいから、次のように求められる。

$$F \cdot l = \sigma \cdot n \cdot b \cdot x \cdot (x/3 + t/2) / 2$$

$$\therefore \sigma = 12 \cdot F \cdot l / (n \cdot b \cdot x \cdot (2x + 3t)) \dots (A)$$

3. 測定結果

レーザーパワーに対する樹脂の収縮応力を、走査速度をパラメータとして示したグラフが図5である。レーザーパワーの増加に対して収縮応力はどの走査速度においても増加している。また収縮応力は、パワーが大きいほど走査速度による影響が小さくなっている。

レーザーの走査速度に対する樹脂の収縮応力を、レーザーパワーをパラメータとして示したのが図6である。レーザーの走査速度の増加に対して収縮応力はどのレーザーパワーにおいても減少している。また収縮応力は、走査速度が小さいほどパワーによる影響が小さくなっている。

硬化物の断面積に対する樹脂の収縮応力を示したのが図7（パラメータ：走査速度）及び図8（パラメータ：レーザーパワー）である。同じ硬化断面積を持つ硬化物でも走査速度が小さいほど収縮応力は大きく、硬化物断面積の増加につれて収縮応力はある一定値に近づく傾向にある。レーザーパワーに関しても同様のことが言え、若干のパラ付きはあるものの、硬化物断面積の増加につれて収縮応力は増大し、ある一定値に近づく傾向にあると言える。

以上の結果から1ライン硬化物に限って言えば、実験範囲ではレーザーパワーを小さく、レーザーの走査速度を大きくして造形を行えば、収縮応力は小さくなる。したがって、ひずみも小さくなることが予測される。

4. 結論

レーザーパワーとレーザーの走査速度を変化させることによって樹脂の収縮応力を測定した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- ① レーザーパワーの増加と共に収縮応力は大きくなる。
- ② レーザーの走査速度の減少に伴って収縮応力は大きくなる。
- ③ 同じ断面積を持つ硬化物でも走査速度が小さく、レーザーパワーが大きいほど収縮応力は大きく、硬化物断面積の増加につれて収縮応力は増加してある一定値に近づく傾向にある。

参考文献

- 1) 米谷茂：残留応力の発生と対策，養賢堂，1987
- 2) Lawrence Flach, et al., LASER SCAN RATES AND SHRINKAGE IN STEREOLITHOGRAPHY, The Fourth International Conference on Rapid Prototyping, p239, June 14-17, 1993 University of Dayton, RPDL

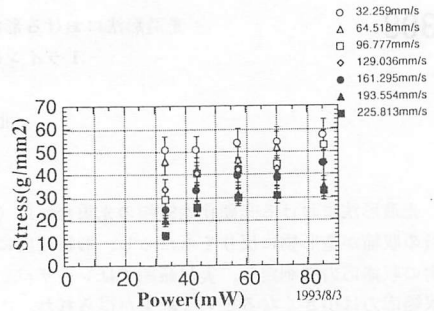


図5. レーザパワーに対する樹脂の収縮応力

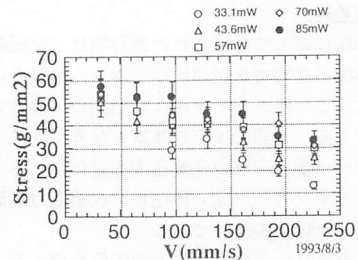


図6. レーザの走査速度に対する樹脂の収縮応力

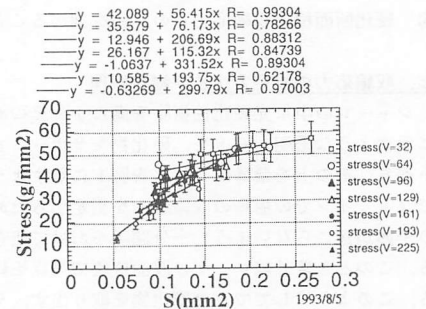


図7. 硬化物断面積に対する樹脂の収縮応力
(パラメータ：走査速度)

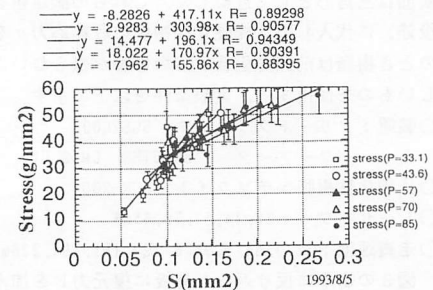


図8. 硬化物断面積に対する樹脂の収縮応力
(パラメータ：レーザーパワー)