

104 光造形法における硬化断面形状解析 (第2報)

— 層形成時の層厚さと照射条件の関係 —

北海道大学 工学部 ○ 檜原弘之 斎藤勝政

要 旨

本研究は、光造形法における層形成に関して、硬化厚さを制御するための造形モデルの構築を目的としている。硬化に対する理想モデルに対して、線状の硬化実験によりパラメータを同定した後、面形成に関する硬化実験結果よりモデルの妥当性により検討をおこなった。理想ガウシアンビームを仮定した場合、実験結果と外れることが確認された。

緒 論 :

光造形法における造形物の精度の問題は、光造形法の適用範囲を広げる上でも大きな課題となっている。精度に関わる要因の一つとして一層の硬化厚さを与える照射条件があげられる。硬化物の厚さについての実験結果についてはいくつかの報告があるが、この硬化厚さの制御を目的とした理論的な取扱いには触れられていない。

本研究は、感光性樹脂の硬化モデルを実験によりパラメータを同定し、スキャンして平面状に硬化させたときのシミュレーション結果と比較した内容について報告する。

解析方法 :

感光性樹脂の照射エネルギーと硬化深さの関係については、開始剤濃度が高い感光性樹脂の場合は吸収係数の変化が小さいため、Lambert-Beerの法則にしたがう。いま硬化に必要なエネルギーを E_g とすると硬化境界は E_g に達した点であることから、

$$E = E_g \exp(-\alpha d)$$

これより照射エネルギーに対する硬化深さの関係をプロットすると照射エネルギーの対数に対して硬化深さが直線関係になる(図1)。これより樹脂の吸収係数が求められる。レーザーの光束径(パワーが $1/e^2$ になるところの光束直径)に関しては、Photon社のBeamScan Model 2180により測定した。その測定出力を図2に示す。これよりレーザーのスポット半径が、 $39 \mu\text{m}$ と得られる。いま光束半径が w のガウシアンレーザービームを直線スキャンさせたときの照射エネルギー分布は進行方向に対する積分を行って以下のように得られる。

$$F(y) = \frac{S \sqrt{2}}{V w \sqrt{\pi}} \exp\left(-2 \frac{y^2}{w^2}\right)$$

w : beam radius S : power V : Scan Speed

このエネルギー分布を横方向に間隔をあげながら重ね合わせたものが、平面硬化の場合の断面形状を与えたエネルギー分布ということになる。

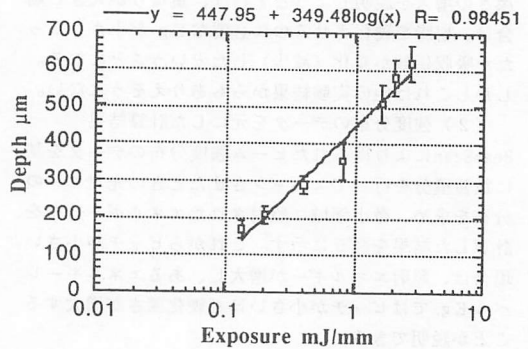


図1 照射エネルギーに対する硬化深さの関係

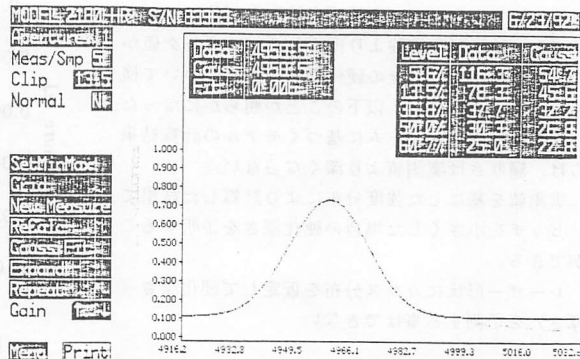


図2 ビームスキャンによるレーザー径計測結果

平面硬化の断面形状計測結果：

紫外線レーザーにより1層分硬化させた場合の計測を行った。平面状に硬化させるにはレーザーを直線状に走査し硬化させる作業を、ある距離を隔てて横方向に繰り返して硬化させればよい。その硬化のピッチを横軸にとり、最大硬化深さを縦軸にとった結果を図3に示す。ピッチが狭くなると硬化深さが増大していることがわかった。

シミュレーション結果：

(1) ガウスビームに基づく計算結果

ガウスビームに基づく計算結果を図4に示す。横軸を樹脂の深さ方向、縦軸を微小領域に照射された照射エネルギーをとり、最大硬化深さを示す半径での照射エネルギー分布の計算結果を示す。この結果からは、測定されたビーム半径を用いると、実験で設定したピッチにおける照射エネルギーの分布はピッチ間でほとんど差がない。硬化深さは微小領域に照射されたエネルギーEgにより決定されるから、このグラフから硬化深さの増大を説明しようとするれば、重なりが大きい場合は、樹脂を硬化させるのに必要なEgが小さくなったか吸収係数が変化(減少)したということになる。しかしこれは他の実験結果からもありえそうにない。

(2) 強度分布のデータを元にした計算結果

BeamScanにより得られたビーム強度分布のデータを基に数値積分を行ってスキャンさせたときの光パワーの分布を求め、微小領域に照射されたエネルギー分布を計算した結果を図5に示す。これからピッチが小さい場合は、照射エネルギーが増大し、あるエネルギーレベルEgではピッチが小さいほど硬化深さが増大することが説明できる。

結論：

理想ガウスビームによる感光性樹脂硬化のモデルに基づき、線状硬化実験より得られるパラメータ値から、面硬化を行ったときの硬化厚さの予測について検討を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

1. 理想ガウスビームに基づくモデルの計算結果からは、層厚さは実測値より深くならない。
2. 実測値を基にした強度分布により計算した結果では、ピッチを小さくした場合の硬化深さを説明することができる。
3. レーザー形状にガウス分布を仮定して硬化深さ(層厚さ)を予測する事はできない

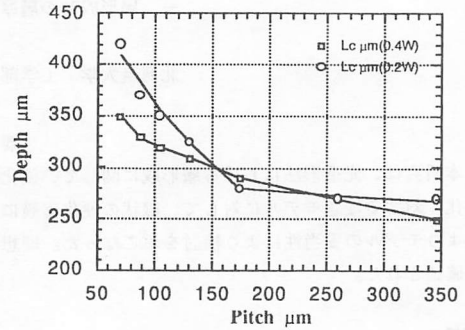


図3 平面硬化の断面形状計測結果

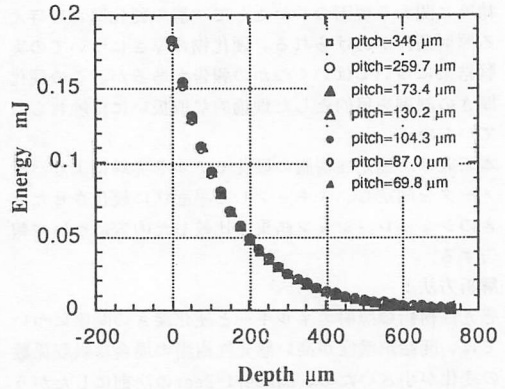


図4 ガウスビームを仮定した場合の最大硬化深さを示す位置での深さ方向のエネルギー分布

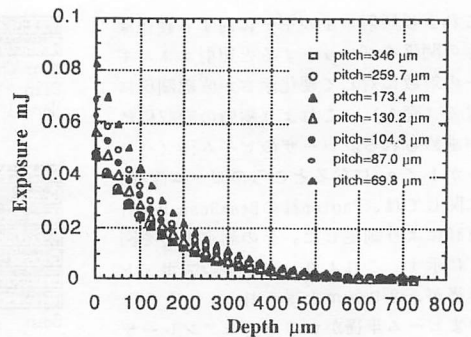


図5 強度分布のデータを基にした計算結果