

スティック・スリップ現象を活かした新規ナノ周期加工法の開発

(岐阜大・工) ○学 堤貴文, 正 内藤圭史, 正 屋代如月

1. 緒論 近年, 光学分野を中心に微細 (ナノマイクロ) 周期構造の必要性が高まっている. この微細周期構造の形成には, 精密レーザー加工等が一般的であるが, 工程が簡易でなく高コストなことが難点である. 機械加工による微細周期構造形成の例もあるが, サイズ面で難しい. また, 機械加工ではスティック・スリップ^{*1} (SS) と呼ばれる摩擦振動が起り, プロセス制御の邪魔をすることが多々ある. そのため通常, 摩擦とは抑制されるべき現象である. これに対し, 我々は SS の振動周期がナノマイクロ周期にもなりえる点に注目した. 本研究では SS を活用した微細周期構造形成法の開発に挑戦し, 最終的には, 可視光波長程度の周期 (約 380~750 nm) を持つナノ周期構造の形成を目指す.

2. 実験方法 ポリエチレンテレフタレート (PET) フィルム (フタムラ化学製: FE-2000) に剃刀 (フェザー製, FAS-10) を押し当てながら, フィルムを移動させ, 接触部で SS を発生させることによりフィルム表面への波状周期構造の形成を試みた. Fig.1 に本加工法の模式図を示す. 本加工では, 加工荷重 T (フィルムへの負荷荷重), 加工角度 θ (フィルム曲げ角度), 加工速度 V (フィルム巻き取り速度), 刃の自由端長さ L を変更することができる. 加工後のフィルム表面を, 走査型電子顕微鏡 (SEM) および走査型プローブ顕微鏡 (SPM) を用いて観察し, 周期構造が確認できた場合には, その周期 (間隔) と深さから, 周期構造を評価した.

3. 実験結果 Fig.2 中の SPM 像は, 加工後の PET フィルム表面であり, 図の左右方向が加工方向である. これより, SS によるナノ周期構造の形成に成功していることが分かる (図の上下方向の白色縞線部が波状周期構造の山部). そこで次に, 加工条件が周期構造に及ぼす影響を調べた. Fig.2 は SS 構造周期に対する加工角度 θ の影響について調べたものである. これより, θ を鋭角にするに従い, 周期が大きくなることが分かる. また, 本予稿には未記載だが, θ を鋭角にするに従い, 周期構造の谷部の深さが深くなることも分かっている. 同様に加工荷重 T の関係でも, T が大きくなるに従い, SS 構造周期が大きくなり, 周期構造の谷部の深さが深くなった. なお, 本実験で形成された構造の周期は, 数百 nm から数百 μm の広範に渡った.

4. 考察 中野ら¹⁾によると, SS 現象は以下の式により表される.

$$\lambda = \frac{(\mu_s - \mu_k)W}{V\sqrt{mk}} \quad \dots (1)$$

$$A_{SS} = V \cdot \sqrt{\frac{m(1 + \lambda^2)}{k}} \quad \dots (2)$$

上式は剛性体およびクーロン摩擦則を前提としており, λ はスティックスリップパラメータと呼ばれ, 質量 m , 剛性 k , 垂直荷重 W , 駆動速度 V , 静摩擦係数 μ_s , 動摩擦係数 μ_k を集約した無次元量であり, A_{SS} は振幅である. ここで, 本研究における SS 構造周期は $2A_{SS}$ と同質である. また, 垂直荷重 W は剃刀とフィルムの接触力であり, $W = 2Tg\cos(\theta/2)$ である. つまり, θ が小さくなるに従い W が大きくなり, このとき(1)式より λ が大きくなる. そし

て λ の上昇に従い, (2)式より A_{SS} が大きくなることが分かる. Fig.2 の結果は, 上述のことから予測される通り, θ が小さくなるに従い構造周期が大きくなる傾向を示した. また, T (W は T の関数) に関しても同様であり, T の増加に従い A_{SS} が大きくなる傾向が得られた. このことより, フィルムの接触力 W は A_{SS} と強い相関関係があると分かる. 但し, 実際の系は弾性体であり, SS 加工時には表面を削る摩耗現象が起っている. 式(1)および(2)には, これらの寄与が含まれていないため, 現状では入力 (加工条件) から出力 (SS 構造周期) を直接的に求められていない. 今後 SS 構造周期を予測するためには, W の関数である刺込量や摩耗量の寄与を考慮し, 式(2)を修正する必要がある.

5. 結言 本研究の成果を以下に記す.

(1) SS 現象を活用することにより, 簡易にナノ周期構造を形成する加工法の開発に成功した.

(2) 接触力の調整により, 形成されるナノ周期構造の形態制御が可能であることが明らかとなった.

謝辞 本研究は越山科学技術研究助成金を受けて実施した. また, PET フィルムはフタムラ化学様より提供頂いた. ここに感謝の意を表す.

参考文献

- (1) 中野健・田所千治・前川覚, 日本ゴム協会誌, 85 - 10 (2012), 313.

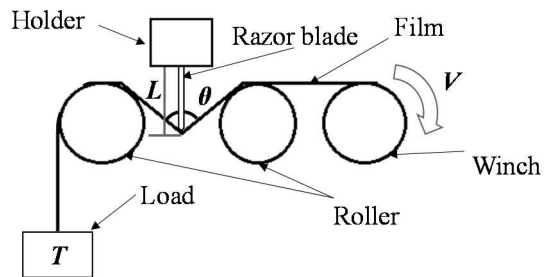


Fig.1 Schematic diagram of SS processing.

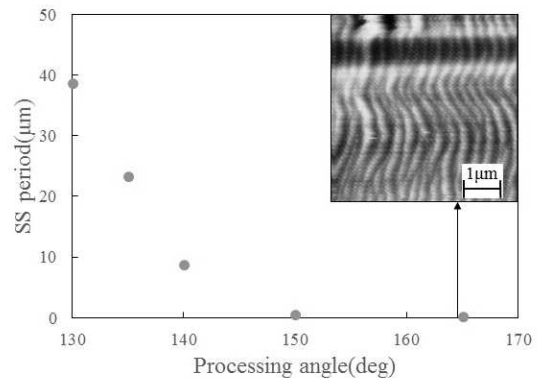


Fig.2 Processing angle dependency of SS period for SS processed film. Processing conditions: $T=400\text{g}$, $V=10\text{ mm/min}$, $L=1\text{ mm}$. (The SPM image is the surface of the SS processed film)

*1・・・SS 現象: 摩擦面間に生ずる微視的な摩擦面の付着, 滑りの繰り返しによって引き起こされる自励振動.