圧延した形状記憶ポリマーの回復特性

Shape Recovery Property of Rolled Shape Memory Polymer

○学 堀内元貴 (秋田県立大) 学 梶川裕美 (秋田県立大)
正 邱 建輝 (秋田県立大) 正 中山 昇 (秋田県立大)
正 熊沢鉄雄 (秋田県立大)

Genki HORIUCHI, Akita Prefectural University, 84-4 Ebinoguchi, Tsuchiya, Honjyo, Akita

Hiroshi KAJIKAWA, Akita Prefectural University

Jianhui QIU, Akita Prefectural University

Tetsuo KUMAZAWA, Akita Prefectural University

Noboru NAKAYAMA, Akita Prefectural University

Key Words: Shape Memory Polymer, Rolling

1. 緒 言

近年、家電リサイクル法が施行されるに伴い、家電製品やOA機器のリサイクルの重要性が強調されつつある。しかしながら、金属ネジが組み込まれた製品の解体作業は、金属ネジの取り外しが手作業で行うには多くの時間とコストがかかる。このため、解体作業の低コスト、高効率化のために形状記憶ポリマーの形状記憶効果を利用したネジの開発が進められている⁽¹⁾。

本研究では、ポリマーをネジ用材料への応用できるか検討するため、形状記憶ポリマーを圧延加工により塑性変形させて、その材料の力学特性およびガラス転移温度 T_g 以上における形状回復特性等の基礎検討を行った。

2. 試験片の作製および実験方法

2.1 試験片の作製

材料として T_g が約55℃であるポリエステルポリオール系ポリウレタン(以下TPU)〔三菱重工業(株)製ダイアリイMM-5510〕および T_g が約150℃であるポリカーボネイト(以下PC)〔テイジン(株)製、パンライトL1225-L〕のペレットを用い、射出成形によって試験片を作製した。TPUの成形条件は、射出温度210℃、金型温度45℃、射出速度20mm/secである。また、PCの成形条件は、射出温度300℃、金型温度80℃、射出速度200mm/secである。いずれも形状はJIS1号形ダンベル型試験片とした。

圧延は、縦型加熱圧延機を用い、試験片の長手方向を圧延方向とし、室温(23±1℃)において、周速度3m/minで圧延率20、40、60%まで行った。さらにPCは圧延温度が高温(130±10℃)においても同様に加工した。また、圧延率は次式のように板厚減少率(圧延率)で示した。

$$\text{圧延率} = \xi = (H_0 - H_1)/H_0 \times 100 \quad (\%) \quad (1)$$

ただし、 H_0 ：初期の板厚、 H_1 ：圧延後の板厚である。

2.2 引張試験

試料の塑性変形による引張特性の変化を調べるために非圧延材、圧延材ともに万能引張試験機(INSTRON(株)製、Series3360)を用いて引張試験を行った。引張速度は10mm/min、試験温度は23℃である。

2.3 T_g 以上での形状回復特性試験

あらかじめ熱しておいた定温乾燥機に圧延した試験片を入れ、時間ごとに試験片の長さ、幅、厚さを測定した。TPU、PCともに $T_g + 20^\circ\text{C}$ の雰囲気中で行い、それぞれ加熱温度は75℃、170℃である。

得られた測定値から、式(2)を用いて形状回復率を計算し、時間との関係求めた。

$$\text{回復率} = R = (X_1 - X_2)/(X_1 - X_0) \times 100 \quad (\%) \quad (2)$$

ただし、 X_0 ：圧延前の寸法、 X_1 ：圧延直後の寸法、 X_2 ：回復後の寸法である。

2.3 塑性変形後の寸法安定性試験

各温度(0, 23, 50, 80℃)の雰囲気中に23℃および130℃で圧延した試験片を放置して、時間ごとに長さ、幅、厚さを測定した。得られた測定値から式(3)を用いて寸法変化率を計算し、時間および放置温度との関係求めた。

$$\text{寸法変化率} = \phi = (X_2 - X_1)/X_1 \times 100 \quad (\%) \quad (3)$$

ただし、 X_1 ：圧延直後の寸法、 X_2 ：放置後の寸法である。

3. 実験結果および考察

3.1 力学特性

各圧延率におけるTPUの応力-ひずみ曲線をFig.1(a)に示す。降伏応力に及ぼす圧延率の影響は、圧延率の増加につれて上降伏応力がやや上昇し、下降伏応力が大きく上昇したが、上降伏点でのひずみはやや減少した。一方、圧延率の増加につれて加工硬化の開始ひずみが小さくなり、そのため破断ひずみも減少した。

Fig.1 Nominal tensile stress-strain curves

Fig.1(b) に各圧延率における PC の引張試験で求めた公称応力・ひずみ曲線を示す。非圧延材は降伏に伴ってくびれが発生しているが、各圧延材では降伏によるくびれがほとんど見られず、弾性域を越えた後もひずみの増加につれて引張応力が次第に上昇している。

また、Fig.1(a), Fig.1(b)ともに圧延率の増加に伴い、引張強さが上昇しているが、破断ひずみでは減少した。

3. 2 形状回復特性

Fig.2(a) に各圧延率における TPU の形状回復率（厚さ）と時間との関係の一例を示す。いずれの試験片も、約 1.5 分後に回復を開始し、7 分後に回復飽和値に達し、回復率がほぼ 100%に到達した。また、時間の経過とともに回復率は大きくなる。1.5 分過ぎから回復が始まるのは、熱が中心部まで伝わるのにかかるためである。また、最終回復率はどの試験片でも長さ、幅、厚さの順で回復率が大きくなった。

Fig.2(b) には PC の各圧延率における形状回復率（厚さ）と時間の関係の一例を示す。圧延温度は室温である。いずれの試験片も、長さ、幅、厚さともに 15 分後に回復率がほぼ 100%に達している。その後、保温を継続すると、圧延加工前の形状は保たれず、長さ、厚さは回復率 120%以上に達し、幅は回復率が減少していった。

Fig. 2 Relation between shape restoration rate and time (Thickness direction)

3. 3 塑性変形後の寸法安定性

Fig.3(a) に PC の圧延後の最終変化率（厚さ）と放置温度の関係の一例（室温圧延）を示す。ただし、放置温度を変化させても 12 時間後には安定していたため、圧延直後から 24 時間以降の変化率を最終変化率（ ϕ' ）としている。

室温放置では、最終変化率に対する圧延率の影響は少ない。しかし、温度増加に伴い圧延率の影響が生じやすく、

圧延率 60%、放置温度 80℃においては最終変化率が最大となり、約 6.7%に達した。これは、圧延率の増加に伴う残留ひずみが温度に大きく依存しているため、温度増加により、全体的に寸法変化率も増加し、さらに圧延率の増加による残留ひずみの増加が寸法変化率を増加させていると考えられる。

Fig.3(b)には高温圧延後の PC の最終変化率（厚さ）と放置温度の関係の一例を示す。ただし、放置温度を変化させても少なくとも 4 時間後には安定していたため、圧延直後から 24 時間以降の変化率を最終変化率（ ϕ' ）とした。放置時間における試料の変化率は、いずれも圧延直後から寸法変化がほとんどない。また、放置温度を変化しても、ほぼ同様な結果であった。このことから、高温で圧延した試料では、優れた寸法安定性を有しているといえる。

(a) Rolling Temperature 23 °C

(b) Rolling Temperature 130 °C

Fig.3 Relation between increase in thickness and temperature (Thickness direction)

4. 結 言

圧延した TPU や PC の力学特性、形状回復特性、寸法安定性を調べ、以下の結果が得られた。

- (1) 圧延率が高いほど、引張強さが向上するが、その効果は TPU より PC がより顕著に現れる。
- (2) T_g 以上加熱すると、ほぼ完全に回復されるが、回復速度は PC より TPU が速い。
- (3) 室温で圧延した試験片は、放置温度及び圧延率が高いほど寸法変動が大きい。高温で圧延した場合、寸法変動はほとんどない。

参考文献

- (1) 特開 2003-145564, 形状記憶ポリマーの塑性加工方法および締結体