

(東工大・物質理工) ○藤居 俊之、(農工大院・工) 斎藤 拓

材料の座屈変形の一つであるキンク変形は、19世紀末、Müggeによって学術誌上で始めて議論された[1]。金属材料においては1940年代に、カドミウム[2]と亜鉛[3]の変形によってキンクが生じるとの報告がなされている。1960年代になると、高分子材料においても、ナイロン66[4]やポリエチレン[5]でもキンクの形成が見いだされ、その後も多くの高分子材料で変形によるキンク形成が知られるようになった。Argonは非晶質高分子材料のキンク形成を伴った降伏現象に着目し、キンクの発生はくさび型回位ループ対の導入による熱活性化で生じると捉えて、降伏応力の温度依存性とひずみ速度依存性の関係式を導いている[6,7]。この理論では、LiとGilmanが導出したくさび形回位ループ対の弾性ひずみエネルギー[8]を用いて活性化エネルギーを見積もっている。剛性率 μ で規格化したせん断降伏応力 τ と温度 T のあいだには、

$$\left(\frac{\tau}{\mu}\right)^{5/6} = A - B\left(\frac{T}{\mu}\right) \quad (1)$$

なる関係が成り立つとして、降伏応力の温度依存性が示されている。ここで、 A はポアソン比を含む定数、 B は回位のフランクベクトルの大きさ、回位ループの径、ひずみ速度、ボルツマン定数から定まる値である。非晶質高分子材料の力学試験から得られた降伏応力の温度依存性は、式(1)の関係が成り立つとされているものの[7]、各種の高分子材料では、上のArgon理論の適用限界も示されている。たとえば、エポキシ樹脂の圧縮試験得られた降伏応力の温度依存性は、ある温度以上になるとArgon理論からのズレが生じることを示している[9,10]。その理由として、ガラス転移温度の存在を挙げている。すなわち、Argon理論の適用範囲は、低温側に限定されるとしている。また、結晶化度が異なるポリエチレンを用いて、降伏応力の温度依存性を調べた研究では、結晶化度が70%を超えるポリエチレンでArgon理論からの乖離が大きいとしている[11]。この結果の意味するところは、Argon理論の対象とする材料が非晶質高分子に限定されることである。非晶質高分子の降伏応力をその剛性率で規格化すると、1/10程度となるものの、結晶化度が増すと、1/100程度まで小さくなる。このことがArgon理論の適用範囲に限界があることを示している。換言すれば、Argon理論が導く降伏応力は、剛性率で規格化すると、結晶性材料の場合には過大評価となる。上述の通り、キンク形成を伴った降伏現象が、高分子材料、無機材料、そして金属を問わず、あらゆる材料で生じうる現象であることから、キンク形成を伴った降伏現象の統一的な理解のためには、熱活性化過程として、回位ループ対を導入するモデル以外に、たとえば既存の欠陥を発生源とした回位の運動等、より容易な降伏素過程を考慮する必要がある。そのためにも、本発表において、高分子材料の変形で生じるキンクの特徴を総括したい。

参考文献

- [1] O. Mügge: Neues Jahrb. Mineral. Monatsh, **1** (1898), 71-158.
- [2] E. Orowan: Nature, **149** (1942), 643-642.
- [3] J. B. Hess and C. S. Barrett: Met. Trans., **185** (1949), 599-606.
- [4] D. A. Zaukelies: J. Appl. Phys., **33** (1962), 2797-2803.
- [5] T. Seto and Y. Tajima: Jap. J. Appl. Phys., **5** (1966), 534-546.
- [6] A. S. Argon: Phil. Mag., **28** (1973), 839-865.
- [7] A. S. Argon and M. I. Bessonov: Phil. Mag., **35** (1977), 917-933.
- [8] J. C. M. Li and J. J. Gilman: J. Appl. Phys., **41** (1970), 4248-4256.
- [9] S. Yamini and R. J. Young: J. Mater. Sci., **15** (1980), 1814-1822.
- [10] W. D. Cook, A. E. Mayr and G. H. Edward: Polymer, **39** (1998), 3725-3733.
- [11] N. W. J. Brooks, R. A. Duckett and I. M. Ward: J. Poly. Sci. B, **36** (1998), 2177-2189.

Yielding by formation of a kink in Polymer Materials, Toshiyuki FUJII¹, and Hiromu SAITO²: ¹School of Materials and Chemical Technology, Tokyo Institute of Technology, 2-12-1 Ookayama, Muguro-ku, Tokyo 152-8552, Japan, Tel & Fax: 03-5734-3143, E-mail: fujii.t.af@m.titech.ac.jp, ²Department of Organic and Polymer Materials Chemistry, Tokyo University of Agriculture and Technology, 2-24-16 Naka-cho, Koganei, Tokyo 184-8588, Japan, Tel & Fax: 042-388-7294, E-mail: hsaitou@cc.tuat.ac.jp