

自己修復機能を付与したプラスチックを対象とした破壊靱性試験片製作装置の開発

大角 義浩

鹿児島大学大学院理工学研究科技術部

1. はじめに

損傷を受けても自己修復を行うポリマーは、既存の材料に高付加価値を与えると考えられており、多様な材料分野で研究・開発が盛んに行われている。^[1]自己修復材料の研究では、破壊靱性試験片を大量に作り、多くデータを取りながら改良することが求められる。現状は、技術職員が大型の工作機械を用いて試験片の加工にあっているが、試験片の加工に時間が掛かることが課題となっていた。化学系には機械工作に不慣れな学生も多いことからより簡単な操作で加工できる工作法が求められる。そこで、小型の CNC フライス盤を利用し、安価で操作が簡単な破壊靱性試験片製作装置を製作したので報告する。

2. 自己修復のメカニズムと破壊靱性試験片の製作

今回の研究における自己修復のメカニズムは、材料にモノマーを入れたマイクロカプセルと触媒を混ぜておき、クラックが入ったらマイクロカプセルが割れてモノマーが漏れ出し、触媒と接触して重合、固化するというものである。(図1)

自己修復の研究では修復効果を表す修復率が重要であり、修復率の測定は、修復前と修復後の2回の破壊靱性試験を行いそれにより求められた破壊靱性値の比で表すが、破壊靱性値を求める計算は複雑である。

これに対し、テーパ型二重カンチレバービーム (TDCB) 試験片 (ASTM D 3433) は計算を簡素化するために形状が工夫しており、修復率 = 修復後破壊荷重/初期破壊荷重×100という破壊荷重比が破壊靱性値比となり、容易に修復率を求めることができる。^[2] (図2)

試験片の材質は、外側のアルミニウム合金で、中央部に修復材入りマイクロカプセルを分散させたエポキシ樹脂を挿入している。エポキシ樹脂の側面にV字型の溝を作り、亀裂がエポキシ樹脂の中央を進むようにしている。予備亀裂長さは、32mmmmとしてφ1mmのエンドミルで加工し、その先端部はカミソリで亀裂を入れた。これらにより、ほとんどの亀裂が試験片のエポキシ樹脂の中央を進み破断するようになった。

3. 破壊靱性試験片製作装置の必要性

プラスチックの自己修復の研究が進展するにつれ、破壊靱性試験片を大量に作り多くデータを取りながらさらなる改良することが求められるようになったが、試験片の加工に時間が掛かることが研究のスピードを落としていた。

現在の試験片の製作方法は、フライス盤 (工作機械) を使っており、実験装置の製作の合間に技術系職員が試験片を作っている。本来、プラスチック材料の数十mmの溝や切り込みを入れるだけなら大型の工作機械は必要ない。化学系に多い機械工作に不慣れな学生でも使える小型で操作が容易な試験片製作装置があれば、学生自身が自分のスケジュールで試験片が作れて実験できるため、研究のスピードも上がる。樹脂や軽金属の切削では、使用可能レベルの小型の CNC フライス盤の価格破壊が進み、安価な破壊靱性試験片製作装置の製作が行える環境が整ってきたので、それを使った破壊靱性試験片製作装置を製作した。

4. 破壊靱性試験片製作装置

(1) CNCフライス盤と架台 (図3)

CNCフライス盤は、オリジナルマインド社の卓上CNCフライス組み立てキット「KitMill RD300」を購入して組み立てた。KitMill RD300のテーブルサイズは220mm(W) × 300mm(D)、材料の取り付けた高さは52mmまで可能であり、切削対象の材料は、樹脂、FRP、木材、アルミ合金全般、真鍮を対象としている。

CNCフライス盤は、パソコンのUSBを介して制御できるようになっており、コントローラーは、オリジナルマインド社の「TRA150」、制御ソフトは「USBCNC ver. 3.52.8」を使用した。

架台の大きさは、CNCフライス盤の他にパソコン、集塵機となる掃除機、工具類を納められ、学生がどこでも試験片の製作できるよう移動しやすい

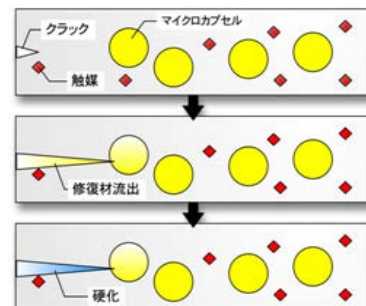


図 1.自己修復のメカニズム



図 2.TDCB 試験片の形状と外観

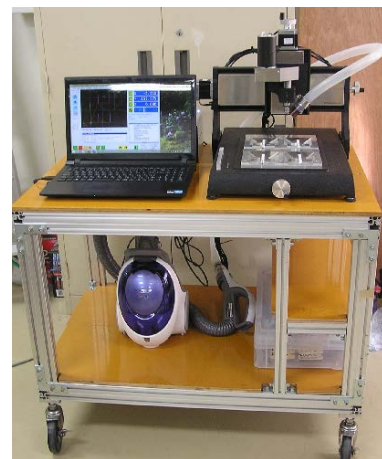


図 3.CNC フライス盤と架台

ようにキャスターをつけ、部屋やエレベータドアのサイズを考慮して、横 900*縦 600*高さ 750(mm)とした。

(2) 試験固定用治具

試験片作りを行う人が工作に不慣れな場合は、正確に同じ位置に材料を取り付けることが大きなハードルとなる。試験片を置きボルトを 1 本締めるだけで、毎回同じ位置に固定されるように固定治具を製作した。治具は試験片を 4 枚同時に取り付けられるものとし、作業効率向上を図った。

(3) NCプログラム

CADソフトで作成した設計図よりVectric社製 2 次元CAMソフト「Cut2D」で加工用のNCプログラムを出力し、加工しながら切り込み量などのパラメーターを手作業で修正した。

5. 読み取り顕微鏡

壊れ性試験片の予備亀裂長さが正確に判読しにくかったため、図.4 に示すように古いアナログ式読み取り顕微鏡のステージの材料を鉄から透明アクリルに変更し、下部から LED 光源を当てるようにした。アクリルのステージに段差をつけ、試験片の X 方向の位置決めが簡単にできるようなようにした。これらにより、壊れ性試験片の予備亀裂長さを読み取りが容易になった。



図 4.ステージに透光性を持たせた読み取り顕微鏡

6. CNC フライス盤を使用した試験片作りに関する学生アンケート

CNC フライス盤の操作方法を説明した際、実験を担当する女子学生 2 名に加え、研究室の女子学生 1 名、男子学生 1 名の計 4 名に、CNC フライス盤を使用した試験片作りについて表 1 のアンケートを行った。

「試験片作りに CNC フライス盤を活用することメリットがあるか?」という質問には、自分で試験片を作れるため実験のスケジュールが立てやすくなるという理由から全員がメリットであると回答をした。

「試験片を自分で作ることで、実験・研究上で新たにわかったことやりましたか?」は、自分で試験片を製作することで具体的な手順がよく理解できるとし、「NC フライスを利用すれば、化学系の女性でも試験片を作ることは可能ですか?」は、ソフトで稼働させるので力がいらず女性でも問題がないといった理由を挙げて全員が肯定的な回答をした。

「NC フライスによる試験片作りで難しい点や改善点はありましたか?」という質問には、4 名中 3 名が難しい点があったと答えた。具体的には、エンドミル(切削工具)の交換等があることから、普段、機械を扱わない学生に「慣れ」が必要であるという意見であった。

表 1 CNC フライス盤を使用した試験片作りに関する学生アンケート (女性 3 名、男性 1 名、計 4 名)

質問	yes	No	その他
試験片を自分で作れば、研究のスケジュール管理などにメリットがありましたか?	4	0	0
試験片を自分で作ることで、実験・研究上で新たにわかったことやりましたか?	4	0	0
NC フライスを利用すれば、化学系の女性でも試験片を作ることは可能ですか?	4	0	0
NC フライスによる試験片作りで難しい点や改善点はありましたか?	3	1	0

7. まとめ

大型のフライス盤を使った破壊性試験片の製作作業が、安価な小型 CNC フライス盤を導入することで試験片の加工効率が向上するとともに、機械工作の経験がない化学系の学生でも自由に試験片が作れるようになった。また、CNC フライス盤を利用し学生自ら試験片を作ることで、研究上の理解が進み、実験のスケジュール管理が容易になった。

8. 謝辞

本研究は、平成 26 年度科学研究費(奨励研究 26921003)により行われた。ここに記し、感謝の意を表す。

9. 参考文献

[1] S. R. White¹, N. R. Sottos, P. H. Geubelle, J. S. Moore³, M. R. Kessler, S. R. Sriram, E. N. Brown & S. Viswanathan "Autonomic healing of polymer composites", Nature. Volume 409, Issue 6822, pp. 794-797 (2001).

[2] Mostovoy, S., Croseley, P. B. & Ripling, E. J. "Use of crack-line-loaded specimens for measuring plane-strain fracture toughness", J. Mater. 2, 661-681 (1967)