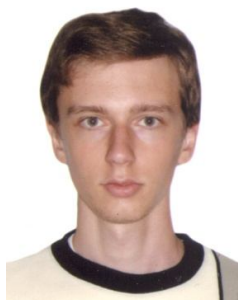


УДК 53.082

Рибчаков Д.Є.



Рибчаков Д.Є.

Інститут термоелектрики НАН і МОН України,
вул. Науки, 1, Чернівці, 58029, Україна,
e-mail: anatysh@gmail.com

**КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ
ЕКСТРУЗІЇ ТЕРМОЕЛЕКТРИЧНОГО
МАТЕРІАЛУ НА ОСНОВІ *Bi-Te*
ПРЯМОКУТНОЇ ФОРМИ**

Процес гарячої екструзії являє собою проходження розігрітого до температури нижче температури плавлення термоелектричного матеріалу через прес-форму (філь'єру) під дією тиску. В даній роботі проведено моделювання цього процесу з використанням пакету прикладних програм об'єктно-орієнтованого моделювання Comsol Multiphysics. В даній моделі екструдований матеріал представляється як рідина з дуже високою в'язкістю, яка залежить від швидкості та температури. В результаті моделювання було отримано розподіли температури й швидкості течії матеріалу в матриці, а також розподіл напруг у матриці за рахунок зовнішнього тиску і теплових навантажень в процесі стрічкової екструзії. Дані дослідження дають змогу оптимізувати установку для одержання екструдованого термоелектричного матеріалу. Бібл. 4. рис. 6, табл. 2.

Ключові слова: термоелектричний матеріал, гаряча екструзія, комп'ютерне моделювання, філь'єра.

Вступ

Існують різні методи отримання термоелектричних матеріалів, які являють собою тверді розчини на основі телуриду вісмуту. Дані матеріали мають ряд специфічних особливостей, які ускладнюють отримання матеріалів високої якості. Серед існуючих методів отримання термоелектричних матеріалів найбільш розповсюдженим є метод зонної плавки, переважно вертикальної [1].

Другим методом отримання термоелектричних матеріалів – є метод гарячої екструзії, який являє собою проходження розігрітого до температури нижче температури плавлення термоелектричного матеріалу через прес-форму (філь'єру) під дією тиску [2]. Даний метод має наступні переваги:

- Висока ступінь однорідності отриманих зразків.
- Можливість отримання зразків необхідної форми, що дозволяє зменшити втрати матеріалу при подальшому розрізанні.

- Більш висока механічна міцність зразків в порівнянні з зразками отриманими шляхом зонної плавки.

Проте метод гарячої екструзії також має і недоліки, основним з яких є те, що текстура в екструдованих матеріалах виражена гірше ніж в матеріалах отриманих методом зонної плавки, але добротність екструдованого матеріалу досягається не лише текстурою, а й за рахунок розсіювання фононів на границях зерен[3].

Сумуючи переваги та недоліки методу гарячої екструзії можна зробити висновки, що матеріали отримані даним шляхом мають високий споживчий потенціал. Таким чином основним завданням при дослідженні гарячої екструзії є поліпшення вихідних зразків. Це досягається при оптимізації геометрії філь'єр та експериментуючи з вхідними умовами виконання процесу до прикладу температури, тиску та багато іншого. Проте такі експерименти несуть в собі великі фінансові та трудові затрати, які в результаті можуть бути зовсім не виправданими. Для зниження цих витрат та формулювання теоретичної частини даної технології, досить актуальним методом є комп'ютерне моделювання. Цей метод дозволяє виявити критичні недоліки впливу умов на отримані зразки. Звісно він не здатен з 100 % достовірністю відтворити реальні умови гарячої екструзії, проте навіть існуюча не ідеальна достовірність дозволяє зменшити витрати в декілька раз.

Метою цієї роботи є створення комп'ютерної моделі процесу гарячої екструзії термоелектричного матеріалу на основі телуриду вісмуту, для дослідження розподілу температури та швидкості формування екструдованого матеріалу у вигляді стрічок, які можуть бути основою для оптимізації робочого обладнання для гарячої екструзії.

Фізична, математична та комп'ютерна моделі

Для виконання поставленої задачі використано пакет прикладних програм об'єктно-орієнтованого моделювання Comsol Multiphysics [4]. В даній моделі термоелектричний матеріал розглядається, як рідина з високою в'язкістю, яка залежить від швидкості та температури. Комп'ютерна модель дозволяє дослідити розподіл механічних напружень в матриці за рахунок зовнішнього тиску та навантажень.

Використана фізична модель процесу екструзії стрічкового матеріалу представлена на рис. 1. У моделі розглянуто випадок екструзії циліндричної заготовки матеріалу 1 через матрицю 2 на виході, якої формується стрічка термоелектричного матеріалу. Геометричні розміри: A та B – діаметр та довжина вхідної комірки матриці в якій розміщено заготовку термоелектричного матеріалу; C – довжина скошеної частини матриці; D та F – товщина та довжина вихідного отвору матриці, ширина якого рівна A . Розглядається випадок коли відношення довжини до товщини вихідного отвору лежить в межах 2 – 10.

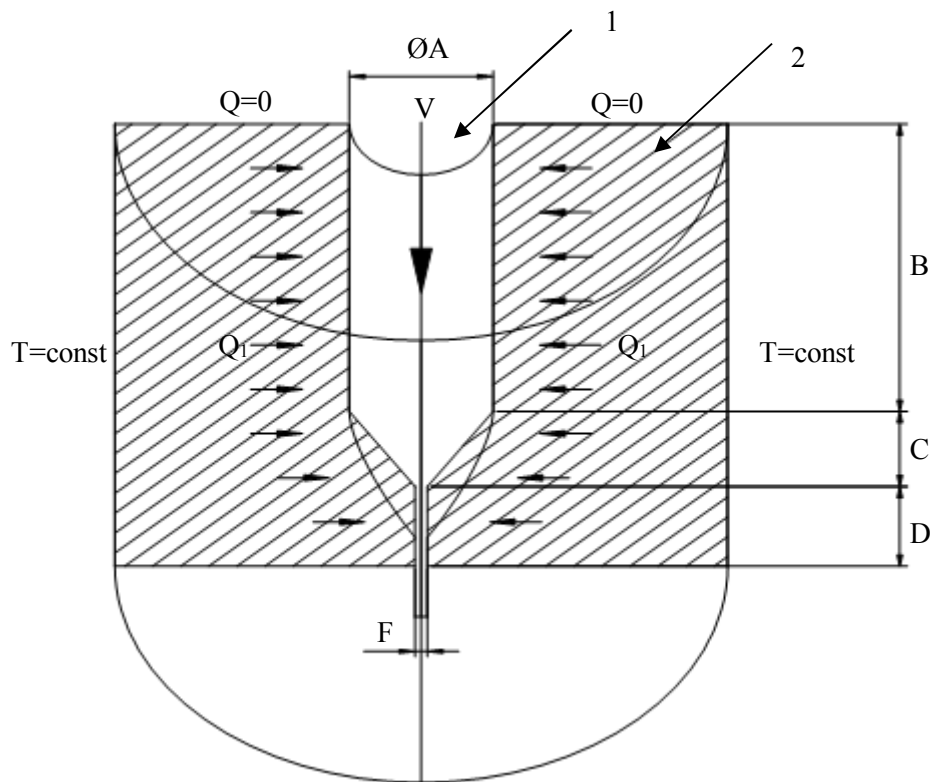


Рис. 1. Фізична модель процесу екструзії стрічкового термоелектричного матеріалу.

При моделюванні також потрібно врахувати велику кількість параметрів робочого середовища, деякі з яких наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Умови середовища моделі

1.	Температура оточуючого середовища	25°C
2.	Температура матриці(T=const)	450°C
3.	Коефіцієнт теплообміну між матеріалом та матрицею	11000 Вт/(м ² *К)
4.	Швидкість руху поршня, який пресує матеріал(V)	0.03 мм/с

Властивості термоелектричного матеріалу та матеріалу з якого виготовлена матриця наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Властивості матеріалів

1.	Термоелектричний матеріал	Теплопровідність, Вт/(м*К)	4
		Густина, кг/м ³	7600
		Теплоємність, Дж/(кг/К)	150
2.	Сталь(матриця)	Теплопровідність, Вт/(м*К)	24.3
		Густина, кг/м ³	7850
		Теплоємність, Дж/(кг/К)	500

На рис. 2. наведена сітка досліджуваної моделі в Comsol Multiphysics.

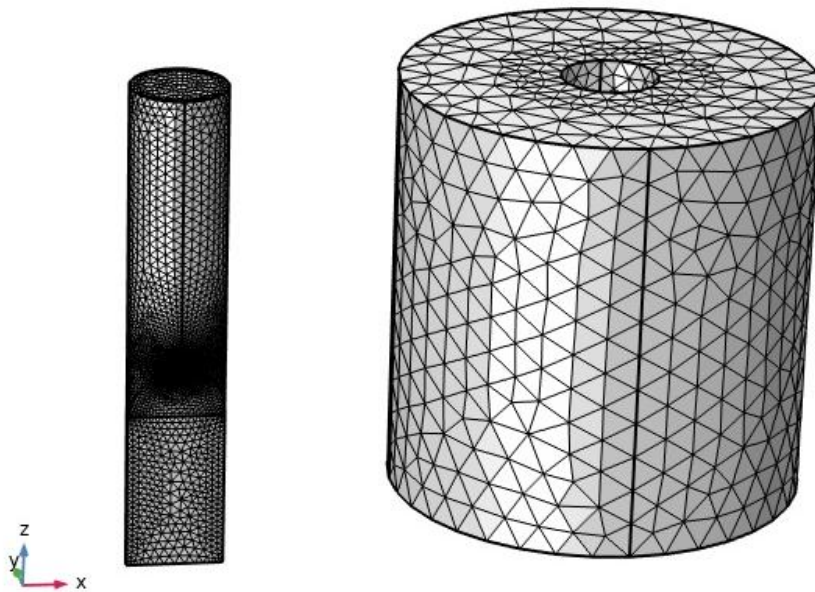


Рис. 2. Сітка побудована для конфігурацій матриці, наведених на рис.1.

Результати комп'ютерного моделювання

В результаті комп'ютерного моделювання були отримані наступні показники:

Поле швидкостей термоелектричного матеріалу всередині матриці наведено на рис. 3. та рис. 4.

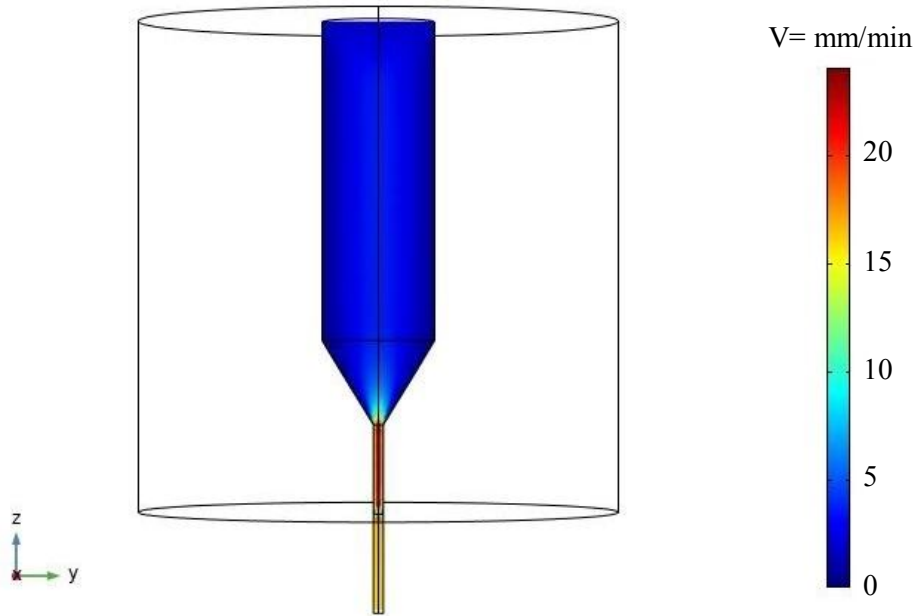


Рис. 3. Поле швидкостей термоелектричного матеріалу.

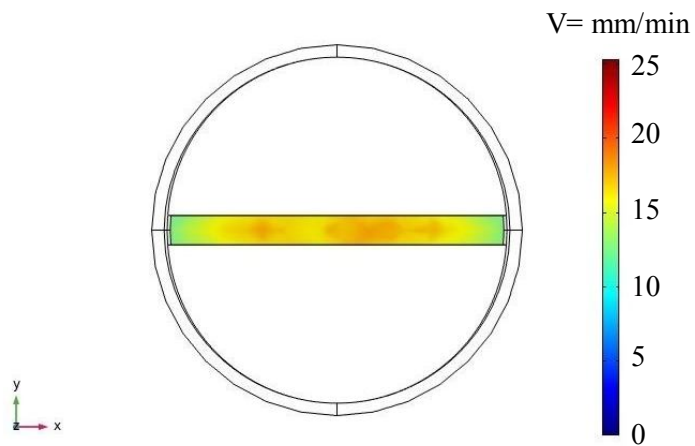


Рис. 4. Поле швидкостей термоелектричного матеріалу на виході.

Розподіли температур у термоелектричному матеріалі та матриці наведено на рис. 5. та рис. 6.

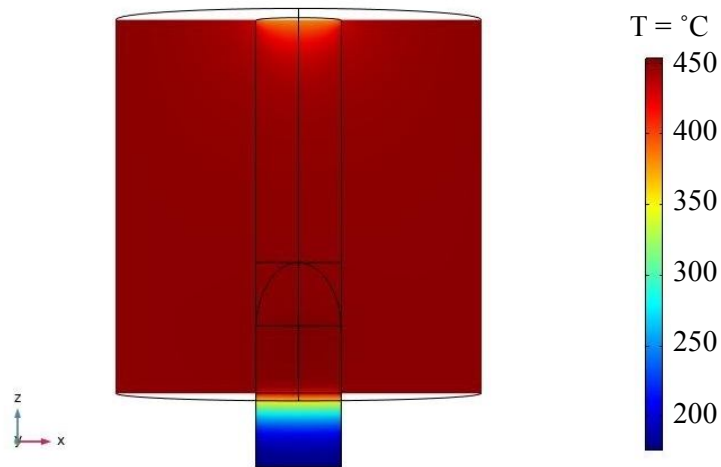


Рис. 5. Розподіли температур.

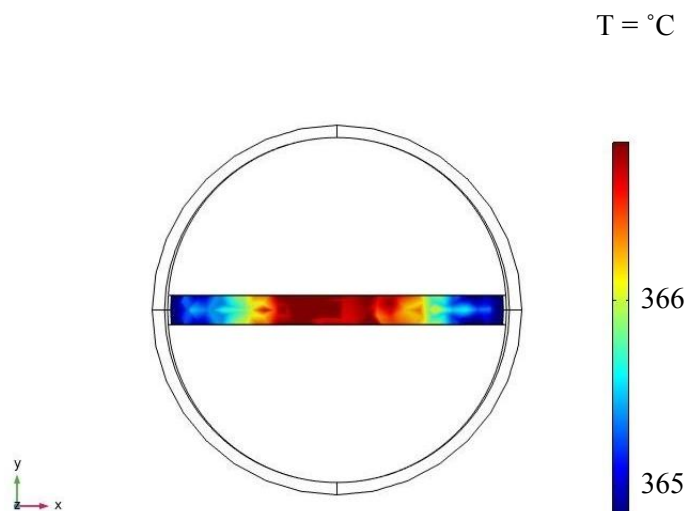


Рис. 6. Розподіли температур на виході.

Розроблена комп'ютерна модель може служити основою для оптимізації установки для екструзії термоелектричного матеріалу на основі телуриду вісмуту з метою підвищення ефективності її роботи, а також для покращення вихідного продукту.

Висновки

1. Створено комп'ютерну модель процесу гарячої стрічкової екструзії термоелектричного матеріалу на основі телуриду вісмуту, яка може бути використана для дослідження розподілів температури й швидкості руху матеріалу в матриці заданої форми, а також розподілу напруг у матриці за рахунок зовнішнього тиску й теплових навантажень.

2. Вивчено поведінка термоелектричного матеріалу при проходженні його через матрицю для випадку стрічкової екструзії термоелектричного матеріалу на основі телуриду вісмуту.
3. Отримані розподіли температури й поля швидкостей залежно від конфігурації матриці для випадку одноступінчастої стрічкової екструзії термоелектричного матеріалу на основі телуриду вісмуту.

Література

1. Гольцман Б. М. Полупроводниковые термоэлектрические материалы на основе теллурида висмута (Bi_2Te_3) / Б. М. Гольцман, В. А. Кудинов, И. А. Смирнов. – Москва: Наука, 1972. – 320 с.
2. Сабо Е. П. Технология халькогенидных термоэлементов. Физические основы / Е. П. Сабо // Термоэлектричество. – 2006. – № 1. – С. 45 — 66.
3. Горський П. В. Про принципову відмінність термоелектричних композитів від легованих термоелектричних матеріалів та наслідки з неї / П. В. Горський. // Термоелектрика. – 2020. – №1. – С. 27–37.
4. Fluid-Structure Interaction in Aluminum Extrusion // Structural Mechanics Module Model Library. – COMSOL AB, 2008. – p. 301-316.

Автор виражає подяку академіку НАНУ Анатичуку Л.І. за надану тему досліджень, а також ст.н.с. Лисько В.В. та ст.н.с. Разінькова В.В. за допомогу в проведенні досліджень.

Надійшла до редакції 10.09.2020

Рыбчаков Д.Э.

Институт термоэлектричества НАН и МОН Украины,
ул. Науки, 1, Черновцы, 58029, Украина,
e-mail: anatysh@gmail.com

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
ПРОЦЕССА ЭКСТРУЗИИ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
МАТЕРИАЛОВ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ФОРМЫ НА
ОСНОВЕ *Bi-Te***

Процесс горячей экструзии представляет собой прохождение разогретого до температуры ниже температуры плавления термоэлектрического материала через пресс-форму (фильеру) под действием давления. В данной работе проведено моделирование этого

процесса с использованием пакета прикладных программ объектно-ориентированного моделирования Comsol Multiphysics. В данной модели экструдированный материал представляется как жидкость с очень высокой вязкостью, которая зависит от скорости и температуры. В результате моделирования было получено распределения температуры и скорости течения материала в матрице, а также распределение напряжений в матрице за счет внешнего давления и тепловых нагрузок в процессе ленточной экструзии. Данные исследования позволяют оптимизировать установку для получения экструдированного термоэлектрического материала. Библиограф. 4, рис. 6, табл. 2.

Ключевые слова: термоэлектрический материал, горячая экструзия, компьютерное моделирование, фильеры.

D.E. Rybchakov

Institute of Thermoelectricity of the NAS and MES of Ukraine,
1, Nauky str., Chernivtsi, 58029, Ukraine,
e-mail: anatykh@gmail.com

COMPUTER SIMULATION OF THE EXTRUSION PROCESS OF RECTANGULAR FORM THERMOELECTRIC MATERIAL ON THE BASIS OF *Bi-Te*

The process of hot extrusion is the passage of heated to a temperature below the melting point of the thermoelectric material through the mold (die) under the action of pressure. This work simulates this process using the Comsol Multiphysics object-oriented modeling application suite. In this model, the extruded material is presented as a liquid with a very high viscosity, which depends on the speed and temperature. As a result of modeling, the temperature and flow velocity distributions in the matrix were obtained, as well as the stress distribution in the matrix due to external pressure and thermal loads during the strip extrusion process. These studies make it possible to optimize the installation for the production of extruded thermoelectric material. Bibl. 4. Fig. 6, Table. 2.

Key words: thermoelectric material, hot extrusion, computer simulation, dies.

References

1. Goltsman B.M. Semiconductor thermoelectric materials based on bismuth telluride (Bi_2Te_3) / B.M. Goltsman, V.A. Kudinov, I.A Smirnov. - Moscow: Science. - 1972. - 320 p. (In Russian)

2. Sabo E.P. Tekhnology of chalcogenide thermoelements. Physical fundamentals / E.P. Sabo // J. Thermoelectricity. – 2006. – No. 1. – P. 45 - 66.
3. Gorskiy P.V About the principles of the development of thermoelectric composites in lightweight thermoelectric materials and inheritance from it / P.V. Gorskiy. // J. Thermoelectricity. – 2020. – No. 1. – P. 27-37.
4. Fluid-Structure Interaction in Aluminum Extrusion // Structural Mechanics Module Model Library. - COMSOL AB. - 2008. - p. 301-316.

Submitted 10.09.2020