

УДК 621.762

# ВИКОРИСТАННЯ ДЕРЕВИНИ В ЯКОСТІ ОБОЛОНКИ ДЛЯ СУХОГО ІЗОСТАТИЧНОГО ПРЕСУВАННЯ

**А. В. Мініцький**

Кандидат технічних наук, доцент\*

E-mail: minitsky@i.ua

**Л. О. Сосновський**

Кандидат технічних наук,

старший науковий співробітник

Інститут проблем матеріалознавства

ім. І. М. Францевича НАН України

вул. Кржижановського 3, Київ - 142, Україна

**А. В. Божко**

Кафедра високотемпературних матеріалів та

порошкової металургії

інженерно-фізичного факультету

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут»

пр Премоги, 47, м. Київ, Україна, 03056

E-mail: Tosja2008@meta.ua

*В роботі вивчені закономірності процесу пресування твердої та м'якої порід деревини з метою визначення можливості використання деревини в якості оболонки для сухого ізостатичного пресування. Показано, що застосування м'якої породи деревини в якості матеріалу оболонки дозволяє отримати вироби із сумішшю залізного порошку з високою щільністю та міцністю. Результати проведених досліджень можуть бути використані при створенні порошкових виробів складної форми, що працюють в умовах середніх та важких навантажень*

*Ключові слова: залізний порошок, оболонка із деревини, сухе ізостатичне пресування, щільність, пористість*

*В работе изучены закономерности процесса прессования твердой и мягкой древесины с целью определения возможности использования древесины в качестве оболочки для сухого изостатического прессования. Показано, что применение мягкой породы древесины в качестве материала оболочки позволяет получать изделия из смесей железного порошка с высокой плотностью и прочностью. Результаты проведенных исследований могут быть использованы при создании порошковых изделий сложной формы, которые работают в условиях средних и тяжелых нагрузок*

*Ключевые слова: железный порошок, оболочка из древесины, сухое изостатическое прессование, плотность, пористость*

## 1. Вступ

У сучасних умовах при виробництві виробів слід прагнути до всебічної економії на всіх стадіях виготовлення і використання продукції, широкому впровадженню енерго- та ресурсозберігаючих технологій. На сьогодні, коли ціни на матеріали, обладнання та енергоносії постійно зростають, порошкова металургія (ПМ) може зберегти свої позиції за умови конкурентоспроможності на всіх або окремих етапах виробництва порошкових матеріалів. Прогрес в порошковій металургії в значній мірі визначається вдосконаленням процесів пресування. Він відноситься до основних етапів виробництва ПМ і визначає не тільки розміри, форму, щільність і продуктивність, а й надає спадковий вплив на ряд найважливіших властивостей готового продукту [1].

Традиційні способи пресування, володіючи багатством перевагами, не вирішують повністю проблему отримання виробів простої і складної форми з ПМ на основі металів, кераміки і графіту. З різноманіття існуючих процесів формоутворення слід виділити сухе ізостатичне пресування (СІП), при якому до пресовки прикладається постійний всебічний тиск, що забезпечує рівномірний розподіл щільності за об'ємом [2]. СІП

дозволяє забезпечити створення по контуру форми рівномірний тиск за рахунок використання еластичних середовищ з властивостями близьким до рідин. На відміну від гідростатичного пресування відпадає необхідність у забезпеченні герметичності форми з порошком, так як вона може бути ізольована від робочої рідини, що спрощує конструкцію обладнання і дозволяє автоматизувати процес [3]. Саме тому, дослідження спрямовані на вдосконалення процесу сухого ізостатичного пресування, є актуальними, оскільки дають змогу отримати порошкові вироби складної форми з високою щільністю та міцністю, що дозволить їм конкурувати із виробами, отриманими литвом та іншими високоенергетичними методами

## 2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

З відомих видів СІП – пресування порошку в товстостінних оболонках є найпростішим і універсальним [4]. Цей метод не потребує спеціального дорогого обладнання. Виготовлення різних виробів середніх розмірів можна ефективно здійснювати на звичайних гідравлічних пресах та іншому пресовому обладнанні. При цьому, СІП дозволяє отримати вироби з високим

ступенем рівномірності щільності (з малою анізотропією властивостей), можливістю формування крихких і малопластичних матеріалів, а також виготовлення виробів складної форми за один технологічний цикл.

При ізостатичному пресуванні велике значення має вибір матеріалу оболонки. Правильний вибір матеріалу оболонки може істотно вплинути на кінцеві результати пресування. Матеріал оболонки повинен мати наступні властивості: низький модуль пружності; коефіцієнт Пуассона, близький до 0,5; низьку адгезію до порошку; хорошу оброблюваність і зносостійкість; легко видалятися та мати низьку вартість [3].

В якості матеріалів для оболонок зазвичай застосовують гумові маси, каучуки, желатини (у вигляді водних розчинів), поліуретан, а також парафіни й віск [5]. Проте, на сьогодні, використання полімерних матеріалів є не зовсім виправданим як з економічної точки зору (вони постійно зростають в ціні), так і з екологічності. На жаль, при розробці нових технологій та матеріалів такі критерії як екологічність або витрата сировини та енергоресурсів дуже часто відходять на другий план. Але, в кінцевому рахунку, вони грають дуже помітну роль тому, що в значній мірі диктують ринкову ціну виробу. Саме тому інтерес до матеріалів на основі поновлюваних видів сировини стрімко зростає. Одним з таких прикладів може служити деревина. Завдяки новим технологіям вона може сьогодні в багатьох областях успішно конкурувати з металами, полімерами і навіть керамікою [6, 7].

Відомо, що з деревини малоцінних порід шляхом ущільнення і теплових впливів можна отримати композиційний матеріал, що володіє більшою, ніж натуральна деревина, міцністю та має високі антифрикційні і демпфуючі властивості. Деревина представляє собою анізотропне трифазне середовище зі складною капілярно-пороистою структурою, сформованою на основі комплексу природних полімерів [8].

Застосування модифікування деревини дозволяє значно підвищити механічну міцність не менш ніж у 3 рази, водостійкість в 2–3 рази, хімічну стійкість в 3–4 рази [9]. Завдяки цьому в переробку може бути залучена не тільки ділова деревина, але і деревина низької якості, особливо м'яких листяних порід (вільха, осина, береза, бук, клен). В результаті модифікації виходить недорогий матеріал з новими технологічними властивостями, що дозволяють використовувати його в машинобудуванні для створення ефективно працюючих деталей і вузлів [10, 11].

Одним з прогресивних методів зміни фізико-механічних властивостей деревини є пресування. Зазвичай деревину пресують для отримання виробів складних форм або для додаткового ущільнення [12]. Пресування широко використовують для отримання деталей декору в меблевій промисловості для отримання з деревини матеріалів, що замінюють кольорові метали для машинобудування та ізоляційні матеріали в електротехнічній промисловості [13].

### 3. Цілі і задачі дослідження

Метою даної роботи є визначення можливості використання деревини в якості оболонки для сухого ізостатичного пресування порошків металів та сплавів,

що дозволить отримати високощільні та міцні вироби складної форми.

Для вирішення поставленої мети в роботі були поставлені наступні задачі:

- визначити ущільнення різних порід деревини, що відрізняються за щільністю і твердістю;
- визначити основні фактори, що впливають на ущільнення деревини для оптимізації процесу пресування;
- дослідити вплив вологості деревини на процес пресування;
- відпрацювати технологічні прийоми проведення сухого ізостатичного пресування сумішей на основі залізного порошку в товстостінних оболонках з деревини.

### 4. Дослідження процесу ущільнення деревини

Першим етапом досліджень було визначення ущільнюваності деревини в залежності від породи, яка визначає вихідні щільність та твердість матеріалу. Для цього були виготовлені заготовки циліндричної форми із деревини твердої та м'якої породи (дуб та вільха відповідно) діаметром 16 мм та висотою 20 мм. Після обмірювання циліндричних заготовок із деревини їх піддавали пресуванню у нероз'ємній прес-формі під тиском 1,5, 2, 2,5 та 3 т/см<sup>2</sup>. Як показали дослідження, різні породи дерева мають принципово різні ступені ущільнюваності на однакових тисках (рис. 1).

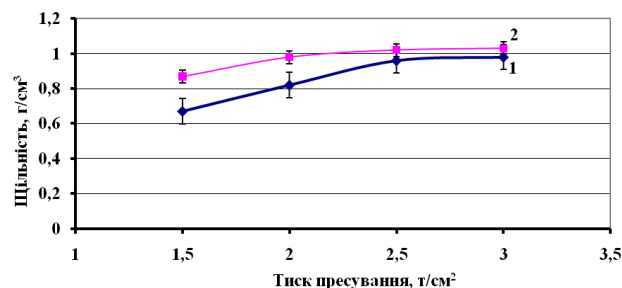


Рис. 1. Залежність щільності деревини від тиску пресування: 1 – тверда порода; 2 – м'яка порода

Тверда порода, яка має вихідну щільність близько 0,6 г/см<sup>3</sup>, починає суттєво деформуватися під тиском 2,5 т/см<sup>2</sup>, досягаючи значень по щільності близько 1,0 г/см<sup>3</sup>. Для м'якої породи дерева достатнім тиском, для того щоб отримати високу щільність, є 2 т/см<sup>2</sup>, при такому тиску щільність м'якої породи деревини зростає втричі з 0,3 г/см<sup>3</sup> до 1,0 г/см<sup>3</sup>. Дані результати є цілком логічними, оскільки м'яка порода є більш пластичною і піддається деформації вже на малих тисках.

Відомо, що деревина, в тому числі й пресована, має здатність поглинати вологу з навколишнього середовища, прагнучи досягти рівномірної вологості, що відповідає даному середовищу [14]. Враховуючи дану обставину, було досліджено вплив вологості деревини на її ущільнюваність. Для цього брикети із деревини піддавали сушці перед пресуванням у сушильній шафі при температурах 70–100 °С. Після сушки деревину піддавали пресуванню під тиском

2,5 т/см<sup>2</sup>, оскільки даний тиск, як показали попередні дослідження, є оптимальним як для м'якої так і твердої породи деревини.

Дослідження впливу вологості деревини на процес ущільнення підтвердив вагомість даного фактору на пресування деревини. Сушка деревини при температурі 70–80 °С практично не змінює ущільнюваність порівняно із не висушеною деревиною (рис. 2). Підвищення температури сушки до 90–100 °С підвищує ущільнюваність деревини до 1,01 і 1,03 г/см<sup>3</sup> для твердої та м'якої породи відповідно. Це показало, що найбільш ефективною температурою сушки для даних порід деревини є температура 90 °С, подальше підвищення температури є не доцільним, оскільки принципово не покращує ущільнюваність. При більш низьких температурах ущільнюваність також не збільшується, що говорить про те, що при таких температурах вільна вода повністю не видаляється з деревини і перешкоджає деформації волокон деревини в об'ємі прес-форми.

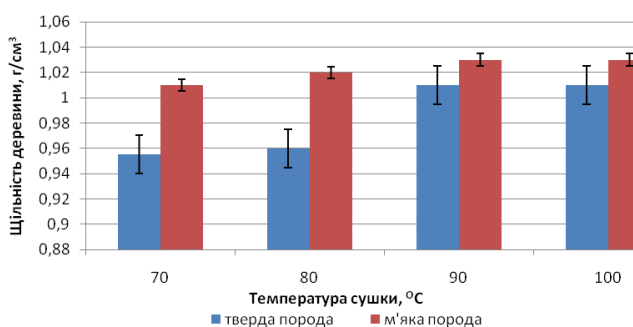


Рис. 2. Залежність щільності деревини спресованої під тиском 2,5 т/см<sup>2</sup> від температури сушки

Аналізуючи попередні результати пресування деревини треба зазначити, що найбільш перспективною з точки зору використання деревини в якості оболонки для сухого ізостатичного пресування є м'яка порода, яка має меншу твердість і краще деформується на малих тисках пресування. Використання додаткової термічної обробки деревини дозволяє покращити пресуємість деревини, що також використовувалось у подальших дослідженнях.

Наступним етапом досліджень було визначення можливості використання оболонки із м'якої породи деревини для сухого ізостатичного пресування. Із циліндричних заготовок на токарному верстаті було виточені стаканчики необхідного розміру з товщиною стінок 2 мм.

В стаканчик засипали суміш залізного порошку із 4 % графіту у вільно засипаному стані, а також попередньо спресовані брикети під тиском 700 МПа у прес-формі діаметром 10 мм. Після цього стаканчик із деревини вставлявся у порожнину прес-форми діаметром 17 мм на нижній пуансон, закривався кришкою із деревини, вставлявся верхній пуансон і проводили двостороннє пресування під тиском 700 МПа.

Видалення оболонки з поверхні зразка проводили шляхом нагріву в електричній камерній печі при температурі 700 °С, яка є достатньою для вигорання деревини.

### 5. Обговорення результатів ізостатичного пресування сумішей залізного порошку у оболонці із деревини

Таким чином, були отримані зразки на основі залізного порошку з добавкою графіту 4 %. Графіт вводився як тверде мастило для зменшення внутрішнього тертя між частинками порошку. В процесі ізостатичного пресування відсутня складова зовнішнього тертя, тому основний чинник, який впливає на процес ущільнення при ізостатичному пресуванні, є саме внутрішнє тертя між частинками порошку. Введення твердих мастил має забезпечити кращу пресуємість на першому етапі пресування, коли відбувається так звана структурна деформація матеріалу за рахунок покращення переукладання частинок залізного порошку.

Пресування вільно засипаного порошку у оболонці із деревини дозволило отримати щільність близько 11 % (табл. 1). Треба зазначити, що щільність суміші залізного порошку з графітом (4 %) у звичайній закритій прес-формі відповідає 13–14 % [15]. Отримані результати підтверджують той факт, що відсутність зовнішнього тертя пресовки об стінки матриці відіграє важливу роль при ущільненні залізного порошку.

Сухе ізостатичне пресування попередньо спресованих брикетів дозволило отримати щільність 7,27 г/см<sup>3</sup>, що відповідає пористості 7 %, це також можна вважати позитивним результатом, оскільки допресовка брикетів із даної суміші залізного порошку із добавками графіту дозволяє отримати пористість близько 8–10 %. Допресовка у закритій прес-формі практично не змінює пористість, оскільки при кількості графіту 4 % є можливість отримати достатньо високу щільність вже при першому пресуванні. При повторному пресуванні відбувається ущільнення непропресованих мікрозон, при цьому зовнішнє контактне тертя чинить суттєвий опір подальшому ущільненню матеріалу. При використанні оболонки зовнішнє тертя відсутнє і відбувається ущільнення до 7–8 % пористості.

Таблиця 1

Щільність та пористість брикетів після СІП

Попередній стан	Абсолютна щільність, г/см <sup>3</sup>	Відносна щільність	Пористість, %
Вільно засипаний порошок	6,92	0,89	11
Спресований брикет	7,27	0,93	7

Треба зазначити, що в процесі сухого ізостатичного пресування в деяких випадках, має місце розшарування брикетів. Це пов'язано з тим, що оболонка при деформуванні чинить пружний опір, що приводить до розклинювання спресованого брикету. Ця обставина може пояснюватися тим, що товщина оболонки значно велика при даному співвідношенні зовнішнього діаметру та діаметру брикету. Подальші дослідження, що спрямовані на підбір товщини та розмірів оболонки, мають усунути недолік, пов'язаний із розшаруванням брикетів із залізного порошку.

---

## 6. Висновки

---

На підставі проведених досліджень можна зробити наступні висновки:

– порівняння ущільнюваності деревини твердої та м'якої породи показало перспективність використання м'якої породи в якості оболонки для ізостатичного пресування, оскільки м'яка порода є більш пластичною і піддається кращій деформації вже на малих тисках.

– дослідження впливу вологості деревини на процес ущільнення підтвердив вагомість даного фактору на пресування деревини.

– дослідження процесу сухого ізостатичного пресування показало, що ущільнення вільно засипаного порошку у оболонці із деревини дозволило отримати щільність близько 10–11 %. Отримані результати підтверджують той факт, що відсутність зовнішнього тертя пресовки об стінки матриці відіграє важливу роль при ущільненні залізного порошку.

– використання деревини в якості оболонки при сухому ізостатичному пресуванні є достатньо перспективним напрямком досліджень, оскільки деревина відповідає основним вимогам, що пред'являються до оболонок, достатньо дешева, легко оброблюється, не має адгезії із залізним порошком і легко видаляється після пресування.

---

## Література

1. Нарва, В. К. Функциональные порошковые наноматериалы [Текст]: учебно-методический комплекс в 4 т.: Т. 2. / В. К. Нарва, В. С. Панов. – М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2010. – 148 с.
2. Клячко, Л. И. Оборудование и оснастка для формования порошковых материалов [Текст] / Л. И. Клячко, А. М. Уманский, В. Н. Бобров. – М.: Металлургия, 1986. – 336 с.
3. Реут, О. П. Сухое изостатическое прессование изделий из порошка [Текст] / О. П. Реут, Л. С. Богинский, Е. Е. Петюшик. – Минск: Дэбор, 1998. – 258 с.
4. Либесон, Г. А. Производство металлических порошков: Учебник для вузов [Текст] / Г. А. Либесон, В. Ю. Лопатин, Г. В. Комарницкий. – М.: МИСИС, 2001. – 368 с.
5. Dai, C. Compression behavior of randomly formed wood flake mate [Text] / C. Dai, P. R. Steiner // Wood and Fiber Science. – 1993. – № 25(4). – P. 349–358.
6. Фрадкин, В. И. Древесина: материал будущего [Текст] / В. И. Фрадкин. – М.: Знания и техника, 2003. – 167 с.
7. Скориданов, Р. В. Древесина с прочностью стали [Текст] / Р. В. Скориданов // Лесной журнал. – 2004. – Вып. 6(160). – С. 5–7.
8. Kretschmann, D. E. The influence of juvenile wood content on shear parallel, compression, and tension perpendicular to grain strength and mode I fracture toughness of loblolly pine at various ring orientation [Text] / D. E. Kretschmann // Forest Prod. Journals. – 2008. – №58. – P. 89–96.
9. Winandy, J. E. Fundamentals of composite processing [Text] / J. E. Winandy, F. A. Kamke. – Proceedings of a workshop. Madison, WI, November 2003. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. – General Technical Report, 2004. – 149 p.
10. Шамаев, В. А. Модификация древесины [Текст] / В. А. Шамаев. – М.: Экология, 1991. – 128 с.
11. Dai, C. Spatial structure of wood composites in relation to processing and performance characteristics. Part 2. Modeling and simulation of a randomly formed flake layer network [Text] / C. Dai, P. R. Sterner // Wood Science and Technology. – 1994. – № 28. – P. 135–146.
12. Thoemen, H. (2000). Modeling the physical processes in natural fiber composites dm batch and continuous pressing [Text] : PhD Thesis / H. Thoemen. – Oregon State University: Coivallis. Van der Put, T. A. C. M. – Deformation and Damage Processes in Wood, PhD thesis, Delft University: Deft, 1989. – 187 p.
13. Хухрянский, П. Н. Прессование древесины [Текст] / П. Н. Хухрянский. – М.: Лесная промышленность, 1964. – 348 с.
14. Pugel, E. W. Composites from southern pine juvenile wood. Part 3. Juvenile and mature wood furnish mixtures [Text] / E. W. Pugel, C. Y. Hse, T. F. Shupe // Forest Products Journal. – 2004. – № 54(1). – P. 47–52.
15. Федорченко, И. М. Порошковая металлургия. Материалы, технология, свойства, области применения [Текст]: справочник / И. М. Федорченко, И. Н. Францевич, И. Д. Радомысельский и др. – Киев.: Наук. Думка, 1985. – 624 с.