

Джемелінський В. В.

Головко Л. Ф.

Гончарук О. О.

Кагляк О. Д.

Національний  
технічний  
університет  
України "КПІ"

УДК 621.9.048

## ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ЛАЗЕРНОГО СПІКАННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ЕНЕРГІЄЮ УЛЬТРАЗВУКОВИХ КОЛИВАНЬ

*Проведен анализ процессов лазерного спекания композиционных материалов, предложены возможные методы их интенсификации с использованием ультразвуковых колебаний, определены наиболее эффективные схемы, а так же приведено оборудование для реализации комбинированного процесса спекания.*

*Таким способом можно существенно повысить характеристики качества композитов (однородность структуры, отсутствие микротрещин, пористость и др.), упростить технологию.*

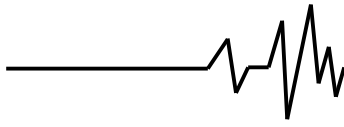
*A detailed investigation of laser sintering of composite materials was conducted in the framework of this research and possible means if its intensification with help of ultrasonic oscillations were investigated. The most efficient schemes of the combined laser sintering and the equipment for their realization are presented.*

*This leads to a significant increase in composite quality (structure uniformity, presence of microcracks, porosity etc.) and to the simplification of technological process.*

Лазерне спікання композиційних матеріалів є високоефективним способом виготовлення деталей складної просторової конфігурації або окремих їхніх елементів з заданим комплексом фізико-механічних властивостей. Метод стрімко розвивається, безупинно розширюючи область застосування в промисловості. В основі даного способу лежить рідкофазне спікання, фізичною основою якого є процес лазерного розплавлення одного з компонентів обраної композиції й наступна кристалізація й остигання розплаву. В процесі кристалізації тверді частки композиції, які не розплавився або розплавився частково на периферії, при достатньому змочуванні зв'язкою, підвищують щільність робочого шару за рахунок їх механічного закріплення. З огляду на високу швидкість термічних процесів, роль дифузії у формуванні граничних шарів компоненту не може бути домінуючою. Проте дослідженням виявлено факт масопереносу, причому в обох напрямках - з рідкої фази у тверду й навпаки. Інтенсифікувати ці процеси можна накладенням ультразвукових коливань.

Використанням ультразвукових коливань можна також істотно підвищити якісні характеристики композитів, зокрема однорідність структури, зменшити пористість та мікротріщини.

В останні роки інтенсивно досліджуються властивості дисперсних надтвердих матеріалів, що знайшли широке застосування в машинобудуванні. До числа таких матеріалів відноситься й кубічний нітрид бору (КНБ), з високою твердістю, теплостійкістю (до 800°C) та хімічною інертністю до заліза. При температурах, які перевищують ці значення протікають процеси окислювання, що приводять до втрати міцності. Такі кристали одержують шляхом синтезу гексагонального нітриду бору при наявності розчинника в спеціальних контейнерах на гідравлічних пресах (тиск 300- 980 МН/м<sup>2</sup> і температурі близько 2000 °С). Інструмент з КНБ – перспективний надтвердий матеріал для обробки різних залізовмісних сплавів (легованих сталей і ін.) забезпечує різке зниження адгезійного й дифузійного



зношування у порівнянні з алмазним інструментом.

Для виготовлення інструментів на основі КНБ застосовуються різні технології, що відрізняються методом формування несучого шару й способом закріплення зерен КНБ. Для їхнього закріплення й утримання застосовують різні зв'язки. Металеві зв'язки одержують спіканням порошкових матеріалів, гальванічним осадженням, високошвидкісним спіканням під тиском та ін. Кожний з перерахованих способів має свої переваги й недоліки, області доцільного застосування.

Головним напрямком у сучасній технології спікання порошкових матеріалів є використання високошвидкісного нагрівання, що дозволяє оптимізувати процес спікання й одержувати матеріали з високою щільністю й дрібнозернистою структурою [1]. У зв'язку із цим, з'явився ряд не ізотермічних методів спікання. Серед них варто виділити метод спікання металевих матеріалів прямим пропусканням електричного струму [2] і з застосуванням лазерного нагрівання [3,4,5].

Як джерело нагрівання, лазерне випромінювання має ряд значних переваг: воно дозволяє за рахунок високої швидкості безконтактного введення енергії в матеріал і її строгої дозованості здійснювати в широкому діапазоні температур надшвидкісне нагрівання локальних зон матеріалів, формувати високодисперсні структури. Це дозволяє використовувати лазерне нагрівання для спікання тонких шарів металевих і композиційних матеріалів. Лазерне нагрівання вільно насипаних металевих і керамічних порошоків є найбільш перспективним процесом рідкофазного спікання [4].

Як відомо [6], композиційні матеріали, основою яких є металева матриця (Fe, Al, Ni, Co), з введеними в матеріал матриці дуже дрібними частками карбідів, боридів, оксидів, нітридів або надтвердих матеріалів (алмазу, КНБ), які не розчиняються в матриці, маючи високу стійкість, широко застосовуються в сучасній техніці для виготовлення різних інструментів.

Чим дрібніші абразивні частки, тим менші відстані між ними й вони рівномірно розподілені в матриці, тим краще вони блокують рухи дислокацій, підвищуючи міцність і твердість композиційних матеріалів [7].

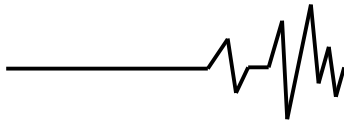
Основними причинами швидкого зношування композиційних матеріалів, є ступінь ушкодження й розтріскування зерен надтвердих матеріалів при формуванні структури.

Можливості використання комбінованих методів, зокрема, неперервного або

дискретного лазерного випромінювання в сполученні з використанням високочастотних коливань створює, на наш погляд, ефективні умови рівномірного розподілу часток, пружнопластичного деформування середовища, зменшення макро- і мікронеоднорідності структури.

Ефективність ультразвукового впливу на різні технологічні процеси підтверджена численними дослідженнями й практичним застосуванням високочастотних коливань на підприємствах різних галузей промисловості [8,9,10]. Зокрема, ультразвукові коливання дозволяють інтенсифікувати багато процесів, що відбуваються на границі контакту матеріалів (при зварюванні металів і полімерних матеріалів, а також при склеюванні): вплив ультразвукових коливань на крихкі тверді матеріали дозволяє здійснювати такі технологічні процеси, як розмірну обробку отворів, пазів; обробку кераміки, скла, напівпровідників, феритів, кристалів, у тому числі й дорогоцінних. Ультразвукові коливання високої інтенсивності забезпечують багаторазове прискорення процесів у рідких й рідкодисперсних середовищах (процеси кристалізації, очищення, дегазації, полімеризації, розчинення), а також одержання речовин з новими дрібнодисперсними структурами. Кавітація, акустичні течії, ультразвуковий капілярний ефект, що виникають у рідинах і розплавах, використовуються для одержання емульсій, очищення поверхні деталей, просочення, пайки, металізації, поліпшення якості литого металу, неруйнівного контролю.

Вплив ультразвуку приводить до наступних змін структури [8-11]: зменшенню середньої величини зерна; усуненню свопчастості структури й утворенню рівноважного зерна; підвищенню однорідності злитка, зменшенню ступеня розвитку лікваційних процесів; більш рівномірному розподілу неметалічних включень по всьому об'ємі виливка. Часто ультразвукова обробка усуває дендритний характер мікроструктури. Відповідно до зміни структури виливків під дією ультразвукових коливань відбувається зміна їхніх властивостей. У ряді випадків підвищуються їхні характеристики міцності й пластичності, зокрема тиск в один МПа у хвили тиску при зовнішньому ультразвуковому впливі на процес кристалізації металів призводить до його переохолодження (що становить  $(3...5)10^{-2}$  К). Основним же фактором впливу при ультразвуковій обробці рідких металів є наявність кавітації й акустичних потоків, які



сприяють при захопленні кавітаційних каверн дробленню кристалів, а також утворенню нових центрів на нерозчинених домішках. Дія ультразвукових коливань приводить до зміцнення (наклепу) поверхневого шару виробу та підвищення її твердості.

Ультразвукові поля високої інтенсивності, які вводяться в метал, що кристалізується,

створюють особливі умови для протікання процесу кристалізації рис. 1[12]. В результаті дії потужного ультразвукового поля виникають акустичні потоки, радіаційний тиск, кавітація й сили в'язкого тертя, які призводять до перемішування матеріалу зв'язки та надтвердого матеріалу.

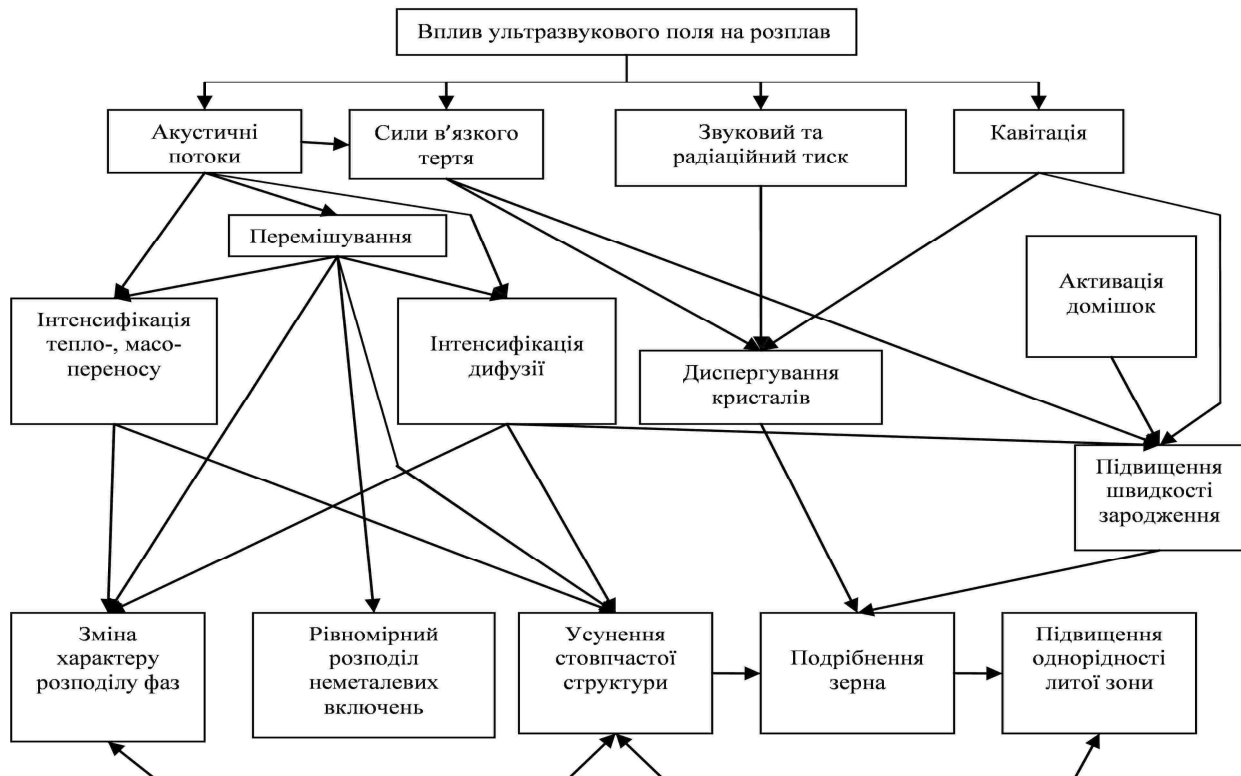


Рис. 1. Схема впливу потужного ультразвукового поля на розплав

На схемі зображено зв'язок факторів, які виникають у розплаві при дії потужного ультразвукового поля та наслідки до яких призводить ця дія.

У літературі відсутні щодо використання УЗК при лазерній обробці, а також дані експериментальних досліджень впливу енергії УЗК на структуру композитів та термічних процесів, що формуються в умовах високошвидкісного нагрівання.

У даній роботі викладені перспективи комбінованого застосування УЗК і лазерного випромінювання при виготовленні інструментів на основі надтвердих матеріалів (КНБ, алмазу та інших), розглянуті методики та технологічні схеми, можливі області застосування та впливу УЗК на формування шарів композиційного матеріалу.

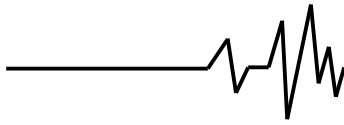
Метою дослідження є розробка можливих схем, інтегрування технологій виготовлення інструмента на основі надтвердого матеріалу, з

використанням енергії високочастотних коливань і тепловим впливом лазерного випромінювання.

Ефективність процесу лазерного спікання в умовах високочастотних коливань, його стабільність і якість у значній мірі залежать від:

- вибору матеріалу хвилеводу магнітострикційного перетворювача;
- місця прикладання ультразвукових коливань;
- способів введення матеріалу зв'язки та надтвердого матеріалу;
- схеми реалізації процесу.

Для розуміння процесу комбінованої лазерно-ультразвукової обробки, слід виокремити найбільш впливові параметри. На основі аналізу та дослідження процесу, пропонується згрупувати всі фактори в декілька груп:



- дія лазерного випромінювання;
- властивості композиту;
- умови обробки;
- параметри УЗК (рис.2).

Процеси, що відбуваються під час обробки однозначно визначаються температурним режимом лазерного нагрівання

й наступного охолодження. Характеристики температурного поля (рівень температур, їхній розподіл по об'єму, швидкості нагрівання й охолодження) визначаються факторами, пов'язаними з джерелом нагрівання, характеристиками оброблюваного матеріалу, умовами їхньої взаємодії.

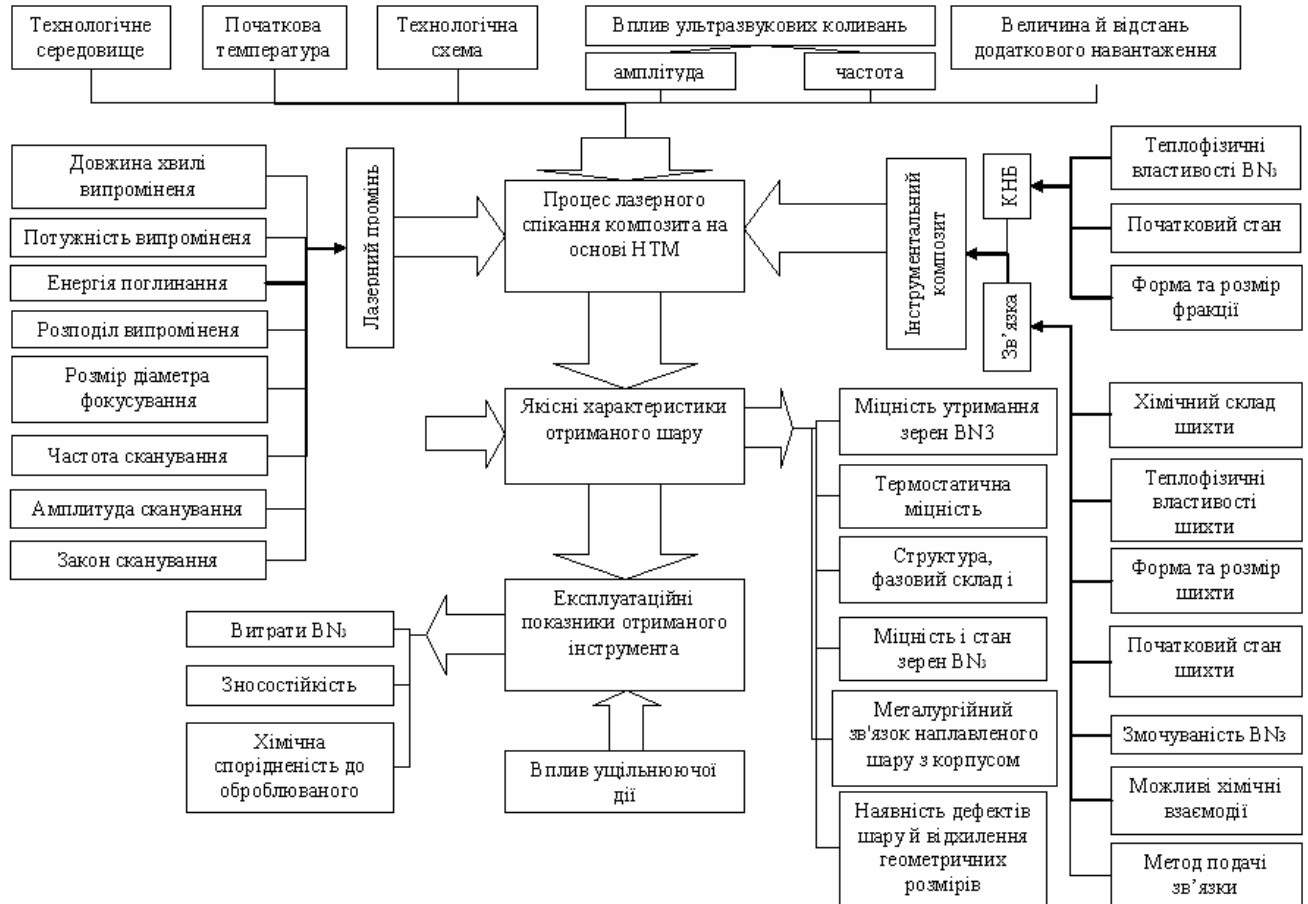


Рис. 2. Основні фактори та параметри процесу лазерного спікання композитів з НТМ та їхні причинно-наслідкові зв'язки

З метою підвищення коефіцієнта корисної дії й поліпшення якості процесу лазерного спікання композитів нами запропоновано спосіб, у якому на оброблювану поверхню (підложку) під кутом до нормалі направляється лазерний промінь, з поглибленням його фокуса на задану глибину, а в зону лазерного впливу подавали шихту за допомогою дозатора (рис.3). Подача порошку здійснюється у промінь, для його попереднього прогрівання, після чого він потрапляє на корпус інструменту, де й здійснюється процес наплавлення. Поліпшення якості отриманого композита відбувається за рахунок визначення оптимальних режимів лазерного спікання й додаткового прикладання УЗК до робочої зони.

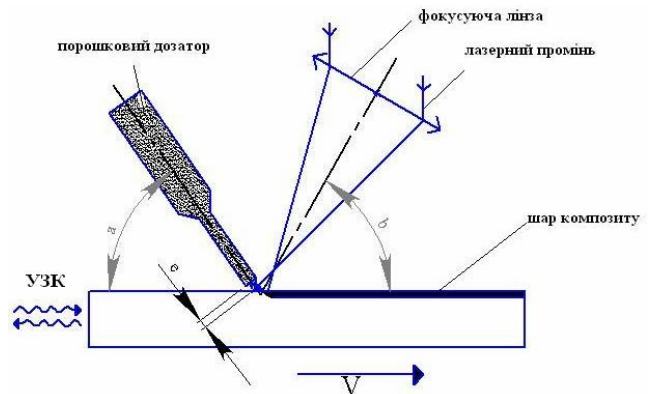
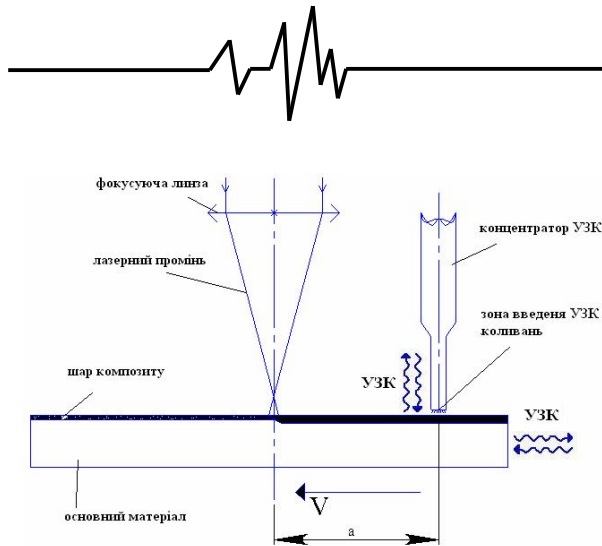
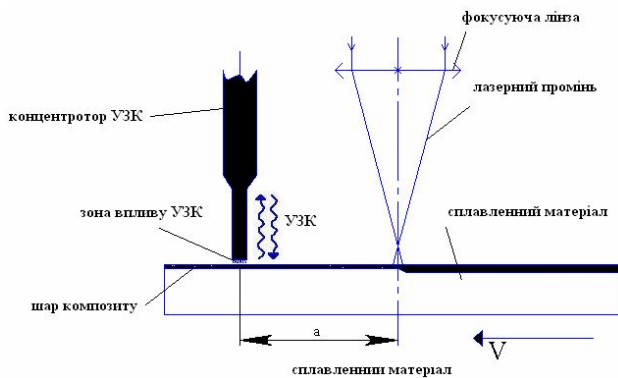


Рис. 3. Накладання УЗК до корпусу оброблюваного матеріалу



**Рис. 4. Накладання УЗК після дії лазерного випромінювання**

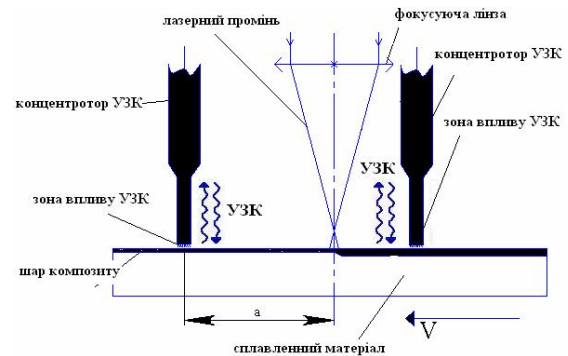
На рис.4 представлена схема накладення УЗК на ще не охолоджений метал, на деякій відстані від зони термічного впливу. Використання даної схеми дозволить здійснити подрібнювання структури наплавленого шару та дозволить одержати ефект наклепу на поверхні сформованого лазерним випромінюванням робочого шару. Крім того накладення УЗК дозволить одержувати шари з рівномірним розподілом хімічних елементів у сформованого об'ємі та не допустити утворення порожнин.



**Рис. 5. Прикладання УЗК на шар композиту до теплової дії**

Схема накладення УЗК безпосередньо перед зоною лазерного впливу (рис.5) дозволить знизити пористість підготовленого до спікання шару, а також рівномірно розподілити зерна надтвердого матеріалу по об'єму. Дана схема доцільна при наплавленні не суцільних зон, а деяких невеликих ділянок. Використання даної схеми також дозволить проводити очищення й підготовку робочої поверхні інструменту перед наплавленням.

Найбільш ефективною схемою лазерного спікання композитів є одночасна дія УЗК як до, так і після дії лазерного проміння рис.6.



**Рис. 6. Одночасна дія УЗК до та після лазерного проміння**

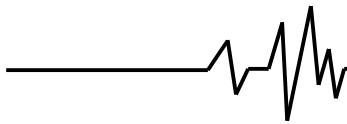
Найбільш ефективним для реалізації вище розглянутих схем може бути потужне СО<sub>2</sub> випромінювання, яке широко застосовується в промисловості. На рис.7 приведено загальний вигляд лазерного технологічного комплексу з ультразвуковим генератором, до складу якого входив потужний електророзрядний лазер "Латус 31" неперервної дії, пристрій для транспортування, фокусування й контролю параметрів випромінювання, 4-х координатний стіл із системою програмного керування.



**Рис. 7. Загальний вигляд лазерного технологічного комплексу з пристроями УЗК**

Лазерне випромінювання з довжиною хвилі  $\lambda=10,6$  мкм й потужністю випромінювання  $P=200...1300$  Вт, що фокусувалось сферичною лінзою виготовленою із КСІ із фокусною відстанню  $F=200$  мм, та УЗК з параметрами частота  $18...200$  кГц, амплітуда  $0,2...2$  мм.

Застосування комбінованої технології дозволить підвищити ефективність та покращити якість інструментів на основі



надтвердих матеріалів, уникнути процесів попереднього й наступного ущільнення шарів, що спікаються, понизити вартість і підвищити ефективність процесів лазерного спікання композиційних мікро- та наноматеріалів.

### **Література**

1. В.В. Скороход. Спекание порошковых материалов при электротермическом, плазменном и лазерном нагреве. – 1998. – С. 228-248.
2. Райченко А.И. Основы процесса спекания порошков пропусканием электрического тока. -М.: Металлургия, - 1984. – С.128.
3. А.М. Блощаневич, А.М. Бочко и др. Лазерная резка материалов на основе алмаза и плотных модификаций нитрида бора. – Порошковая металлургия. – 2004. – №3/4 – С.47-53.
4. Н.К. Толочко, Ю.В. Хлорков и др. Измерение поглощательной способности свободно насыпанных одно компонентных металлических порошков и ее изменение в процессе лазерной обработки. - Порошковая металлургия. -1997. - № 7/8. -С. 89-94.
5. Рагуля А.В. Селективное лазерное спекание. 1.Принципы. Континуальная модель. - Порошковая металлургия.. - 1998.
6. Источники сильного ультразвука. М., 1967. 378 с.
7. Прохоренко П.П., Дегунов Н.В., Коновалов Г.Е. Сверхзвуковой капиллярный эффект. Минск, 1981. 135 с.
8. Северденко В.П., Клубович В.В., Степанернко А.В. Обработка металлов давлением ультразвука. Минск, 1973. 286 с.
9. Силин Л.Л., Баландин Г. Ф., Коган М.Г. Ультразвуковая сварка.М.,1962. 262с.
10. Куленин А.В. Ультразвук и диффузия в металлах. М., 1978. 198 с.
11. Абрамов О.В. Кристаллизация металлов в сверхзвуковой области. М., 1972. 255 с.
12. Пархимович Е.М. Сварка и сварочное смещение в сверхзвуковой области. Минск. – Наука и техника, 1988. – С.207.