

МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЕНЕРГІЇ УЛЬТРАЗВУКОВИХ КОЛИВАНЬ ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ЯКОСТІ ШАРІВ ОТРИМАНИХ ЛАЗЕРНИМ НАПЛАВЛЕННЯМ

Приведен анализ дефектов свойственных слоям, полученным лазерной наплавкой, и традиционных методов их предотвращения. Рассматриваются возможности применения энергии ультразвуковых колебаний для повышения качества наплавленных слоев. Обсуждаются процессы, которые протекают в ванне расплава при наложении ультразвуковых колебаний, оценивается их влияние на качественные характеристики наплавленных слоев. Анализируются известные способы введения ультразвуковых колебаний в ванну расплава, отмечаются их недостатки и достоинства. Предложены новые эффективные схемы введения ультразвуковых колебаний в зону обработки.

The analysis of defects and traditional methods of their prevention or removal was made, and these defects are proper for the layers, produced with laser building-up. The issues of application possibility of ultrasonic vibrations energy are examined to upgrade the building-up layers. The processes that run in the puddle by ultrasonic vibrations influence are considered thereupon, and its influence on qualitative layer characteristics after its crystallization was determined. The classic charts of ultrasonic vibrations introduction in the puddle were given and their drawback were also analyzed in paper. The charts of the ultrasonic vibrations non-contact introduction in the work area were offered.

Відновлення деталей машин і механізмів після їх спрацювання, а також надання поверхневим шарам особливих фізико-механічних характеристик, що зменшують швидкість їх зношування, є одним із важливих завдань машинобудування. Ці технології забезпечують значне збільшення ресурсу роботи та надійності машин, а також зменшення витрат на їх виготовлення. Технологія лазерного наплавлення дозволяє вирішувати вищезазначені завдання з рядом переваг перед іншими способами, де також використовуються потужні висококонцентровані джерела енергії (плазмовий струмінь, електронний промінь, іонний пучок та ін.). В першу чергу до них відносяться висока міцність і надійність зчеплення матеріалу, що наплавляється, з основою, можливість формування наплавленого шару з малим коефіцієнтом перемішування, мінімальний термічний вплив на основний матеріал, незначні залишкові деформації деталей. Все вище сказане доводить перспективність технології лазерного наплавлення. Однак вона має і певні недоліки: важко контролювані залишкові напруження, наявність тріщин і пор, обмеження по утворенню розчинів основного і присадного матеріалів і таке інше [1, 2].

Аналізу згаданих недоліків, їх впливу на експлуатаційні характеристики готових виробів, методів усунення та розробці основ технології застосування ультразвукових коливань для покращення якості наплавлених шарів присвячена дана робота.

Виникнення залишкових напружень в наплавлених шарах пов'язане з надшвидкістним нагріванням і охолодженням матеріалу, що наплавляється, за рахунок тепловідводу в основний матеріал. При цьому термічні напруження не встигають релаксувати і можуть досягати значень більших за границю міцності на розрив, що призводить до виникнення тріщин.

Коефіцієнт тріщиноутворення значною мірою залежить від керуючих параметрів технологічного процесу лазерного наплавлення (див. рис. 1-3) [1].

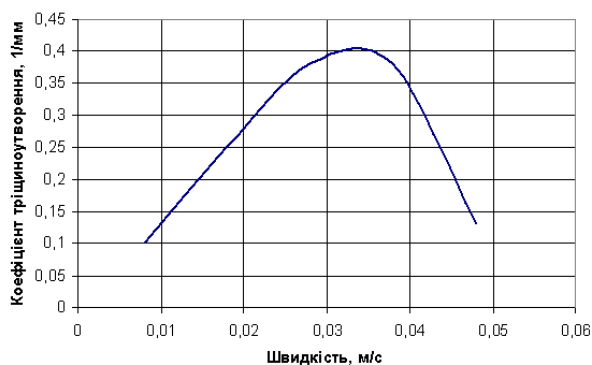


Рис. 1. Залежність коефіцієнта тріщиноутворення від швидкості наплавлення

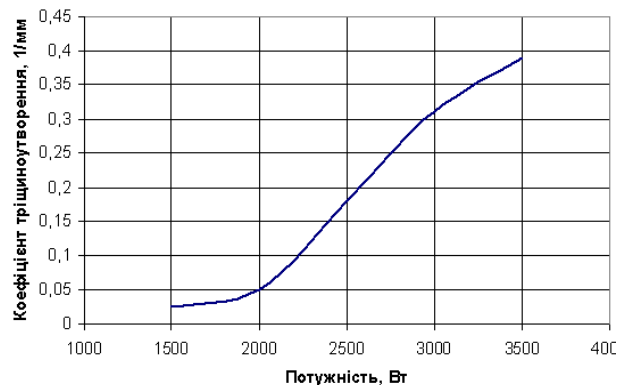


Рис. 2. Залежність коефіцієнта тріщиноутворення від потужності лазерного випромінювання

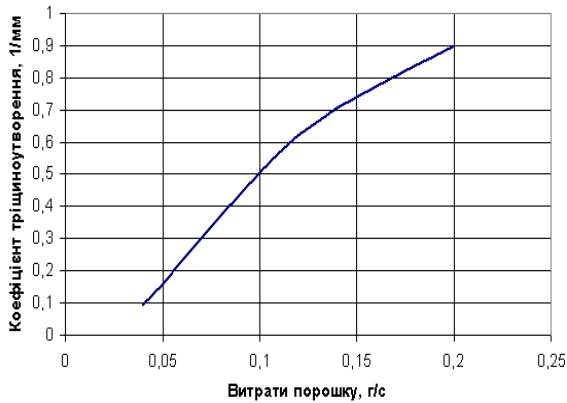


Рис. 3. Залежність коефіцієнта тріщиноутворення від витрат порошку

- Введення в розплав хімічних елементів, що запобігають тріщиноутворенню.

Всі наведені заходи мають ряд недоліків: необхідність нагрівання всієї деталі, що в деяких випадках важко реалізувати, неможливість або економічна не вигідність застосування додаткової обробки; введення пластичного підшару та модифікування додатковими хімічними елементами є теж не бажаним при виготовленні чи ремонті деталей.

Процес утворення пор відноситься до складних фізико-хімічних явищ і його розвиток обумовлений не тільки властивостями вихідного металу, але й особливостями процесу наплавлення. Він відбувається в декілька етапів: формування зародків газових бульбашок, їх розвиток в процесі дифузії та коалесценції, дегазація ванни переважно за рахунок спливання бульбашок. А оскільки процес кристалізації при лазерному напавленні має надшвидкісний характер, то газові бульбашки не встигають виділитися в повному об'ємі і залишаються в напавленому шарі у вигляді пор.

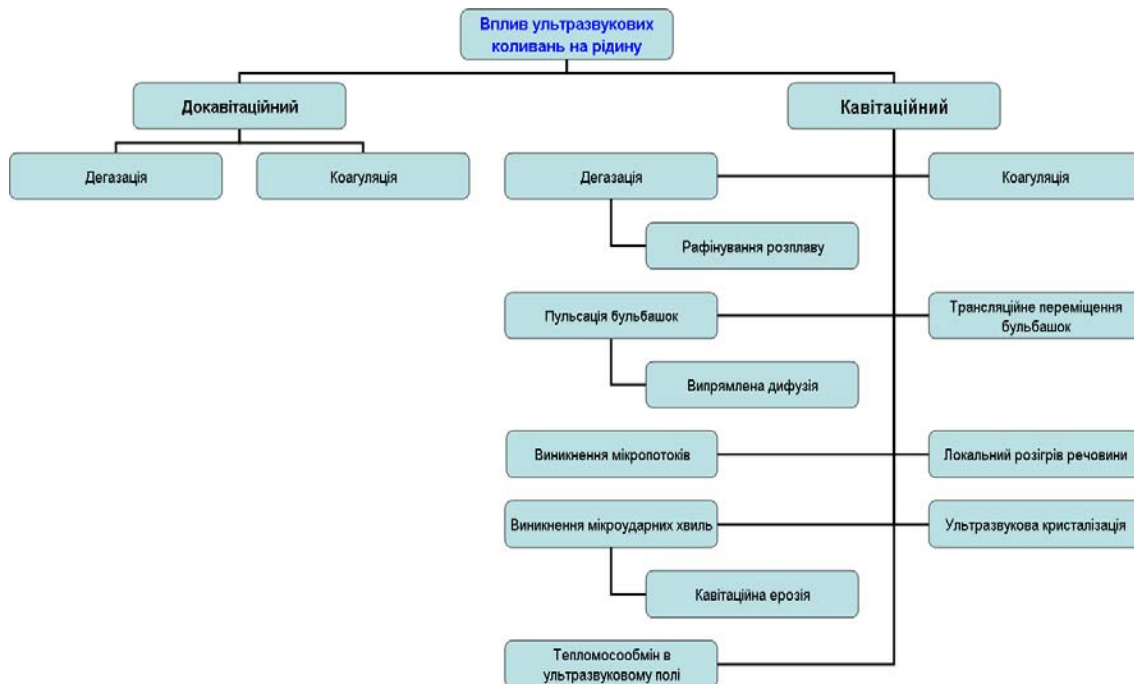


Рис. 4. Вплив енергії ультразвукових коливань на процеси, що протікають в ванні розплаву

Вважається, що зародками бульбашок є або поверхневі мікропорожнини, які вміщують адсорбовану вологу, жири і пилові забруднення, оксиди, або мікродфекти твердого металу – мікротріщини, вакансії, скупчення дислокацій і т. ін., що являють собою своєрідні пастки для молекул газів [4]. Також в ванну розплаву при використанні порошкових матеріалів, що наплавляються, вноситься газ, оскільки утримується на розвинутих поверхнях порошинок.

Методами усунення цього є очищення поверхонь, на які проводиться наплавлення, прожарювання порошку перед використанням, а також інтенсифікація процесу дегазації за рахунок зміни технологічних параметрів наплавлення. В деяких роботах для цього запропоновано збільшити швидкість коалесценції бульбашок, що різко підвищує швидкість їх спливання, за рахунок впливу на рідину зовнішнього тиску, що змінюється по частоті і варіюється в області частоти власних коливань бульбашок [4]. Але недоліком даного способу є те, що бульбашки в залежності від своїх розмірів мають різну частоту власних коливань, що ускладнює вибір параметрів впливу.

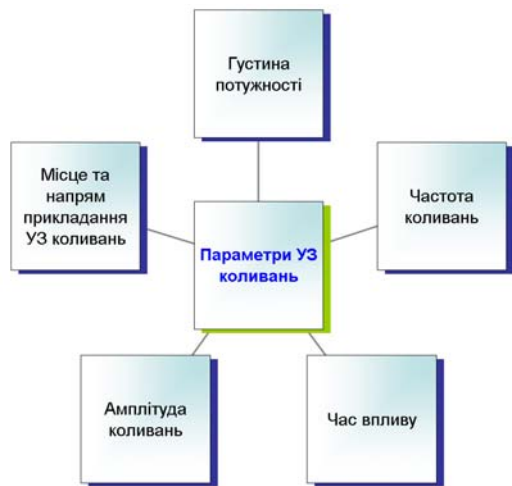


Рис. 5. Параметри ультразвукових коливань, що впливають на процеси, які протікають в ванні розплаву

перемішування ванни розплаву зменшити залишкові напруження, а значить і зменшити тріщиноутворення, покращити рівномірність розподілу хімічних елементів по об'єму та однорідність структури, збільшити зчеплення наплавленого матеріалу з матеріалом основи. Дегазація дозволяє зменшити вміст газів у розплаві, а значить і пористість отриманих шарів. Локальний розігрів речовини, а також інтенсивне перемішування ванни розплаву, що збільшує швидкість теплопередачі від ванни розплавленого металу до порошку, який наплавляється, інтенсифікуючі процес наплавлення. Кристалізація в умовах ультразвукових коливань забезпечує отримання подрібненої структури наплавлених шарів з покращеними фізико-механічними властивостями [5, 6]. Застосування ультразвукового впливу з частотою 20 кГц дозволяє зняти дифузійні обмеження за рахунок сильних мікро- та макропотоків [7]. Все вище наведене дозволяє говорити про перспективність використання енергії ультразвукових коливань при напавленні, адже це дозволяє боротися з дефектами, які притаманні наплавленим шарам, інтенсифікувати цей процес та дає можливість розширити ряд комбінацій матеріалів, що наплавляються, зняти обмеження по сполученню складів основного і присадного матеріалу.

Для ефективного використання енергії ультразвукових коливань необхідно визначитись з діапазоном варіювання їх технологічних параметрів (див. рис. 5).

Частота коливань може змінюватись від 8 до 40 кГц, але сучасні ультразвукові п'єзоелектричні коливальні системи для обробки розплавів мають частоту $22 \pm 1,65$ кГц [7], то їй необхідно надавати перевагу. Густина потужності що забезпечує виникнення кавітації в зоні обробки, обмежена рамками від 1 до 50 Вт/см². Амплітуда коливань при цьому складає декілька десятків мікрометрів. Час впливу обмежений «часом життя» ванни розплаву.

Щодо місця та напрямку введення ультразвукових коливань, то класичні схеми (див. рис. 6, де 1 – джерело ультразвуку, 2 – рідка частина зливку, 3 – зливоч (відливоч), 4 – кристалізатор (форма); 5 – електрод, що витрачається; 6 – нагрівач) мають ряд недоліків.

До них відносяться слабка ефективність обробки як нижньої, так і верхньої частини розплаву [8], а також розсіювання та затухання енергії ультразвукових коливань (УЗК) у об'ємі деталі та ускладнення накладання ультразвукових коливань на великі заготовки.

Для лазерного напавлення, яке характеризується локальністю протікання процесу, виникає необхідність безконтактного введення і фокусування енергії УЗК в зону обробки, що значно збільшило б ККД процесу напавлення [9]. При патентному пошуку був знайдений патент щодо застосування модульованого з ультразвуковою частотою лазерного випромінювання для введення УЗК при зварюванні [10]. Автори патенту стверджують, що при цьому виникають явища характерні для виникнення кавітації. Однак при цьому вони зазначають необхідність використання потужного лазерного випромінювання, до 20 кВт, які використовуються при зварюванні з глибоким

Водночас відоме використання ультразвукових коливань для інтенсифікації металургійних процесів [5, 6, 7], в основному при литті. Для розуміння які саме ефекти можна отримати при накладанні ультразвукових коливань треба розглянути процеси, що протікають у ванні розплаву при цьому (див. рис. 4).

Процеси які протікають у ванні розплаву при її кристалізації в ультразвуковому полі можна поділити на докавітаційні та кавітаційні. Перші відрізняються від других значно меншою швидкістю протікання, тому вони рідше використовуються на практиці.

Використання енергії ультразвукових коливань викликає у ванні розплаву ряд процесів: дегазація, коагуляція, тепломасообін, трансляційне переміщення бульбашок, та їх пульсація, виникнення мікропотоків, локальний розігрів речовини, виникнення мікроударних хвиль, кристалізація в умовах ультразвукових коливань. Тепломасообін і мікропотоки рідкого металу дозволяють за рахунок

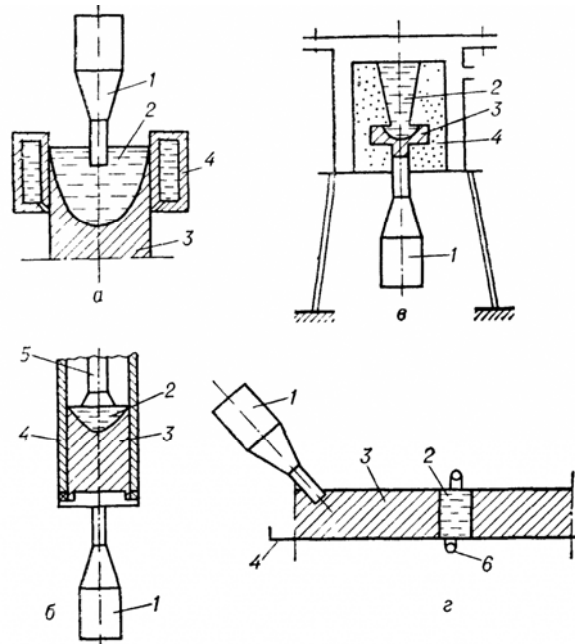


Рис. 6. Принципова схема введення ультразвуку в розплав: а – при кристалізації злитків легких сплавів методом неперервного лиття; б – при вакуумно-дуговому переоплаві тупоплавких металів; в – при фасонному литті в умовах всебічного тиску та г – при зонному плавленні [6]

проплавленням, а отже при обробці має місце випаровування матеріалу і виникнення реактивної сили. Звісно якщо ця сила змінюється з ультразвуковою частотою, то вони призводять до виникнення хвиль тиску з тією ж частотою, а значить при достатній інтенсивності можуть викликати кавітацію.

Маючи за мету, введення УЗК до ванни розплаву при наплавленні, не є допустимим випаровування матеріалу, а значить виникнення реактивних сил при цьому не відбудеться. Однак при лазерному нагріванні і розплавленні металу мають місце теплові потоки. При цьому вплив лазерного випромінювання з УЗ модуляцією на ванну розплаву недостатньо вивчений і потребує дослідження.

Для безконтактного введення УЗК при лазерному наплавленні пропонується використати системи, в яких елемент, що фокусує (лінза, дзеркало), коливається з ультразвуковою частотою вздовж або поперек оптичної осі (див. рис. 7). Завданням наступної роботи є дослідження та моделювання явищ, які при цьому виникають.

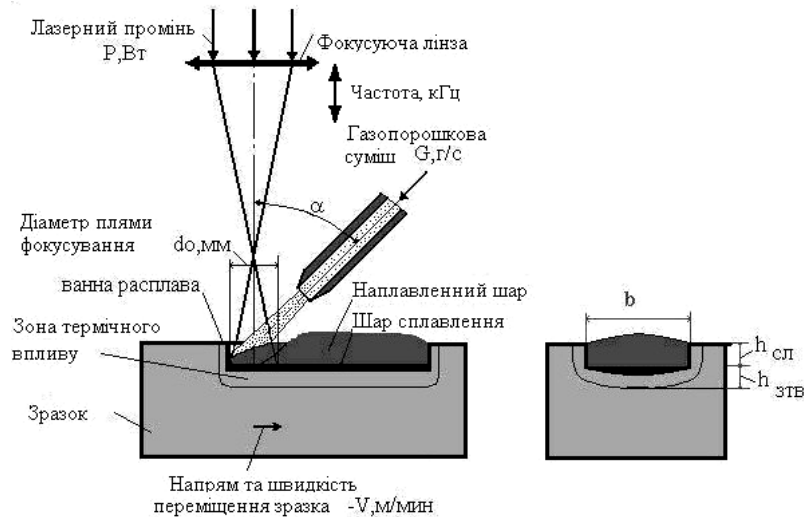


Рис. 7. Схема дистанційного введення ультразвукових коливань до ванни розплаву

Висновки.

Виконаний аналіз дефектів, що притаманні шарам, які отримані лазерним наплавленням, і традиційних методів їх запобігання або усунення виявив недоліки їх застосування. Як альтернатива, для підвищення якості наплавлених шарів було запропоновано застосування енергії ультразвукових коливань. В цьому аспекті були розглянуті процеси, що відбуваються у ванні розплаву при впливі на нього ультразвукових коливань, і було визначено їх вплив на якісні характеристики шару після кристалізації. Це показало доцільність використання такого способу. Також у роботі наведені способи введення ультразвукових коливань до ванни розплаву, проаналізовані їх недоліки, запропоновані схеми дистанційного введення ультразвукових коливань в зону обробки.

Список літератури.

1. Технология лазерной наплавки: Учеб. пособие / А.И. Мисюров, Б.М. Федоров, И.Н. Шиганов и др. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 40с., ил.
2. Лазерні технології та комп'ютерне моделювання/Під ред. Л.Ф. Головка, С.О. Лук'яненко. – К.: Вістка, 2009. – 296 с. – Бібліогр.: с. 239-248.
3. Хасуи А., Моригаки О. Наплавка и напыление/Пер с яп. X12 В.Н. Попова; Под ред. В. С. Степина, Н. Г. Шестеркина. – М.: Машиностроение, 1985. – 240 с., ил.
4. Зусин В.Я., Серенко В.А. Сварка и наплавка алюминия и его сплавов. – Мариуполь: Изд-во «Рената», 2004 – 468 с.
5. Справочник по электрохимическим и электрофизическим методам обработки// Г.Л. Амитан, И.А. Байсупов, Ю.М. Барон и др.; Под общ. ред. В. А. Волосатова. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988. – 719 с.: ил.
6. Ультразвук. Маленькая энциклопедия. Глав.ред. И.П. Голямина. – М.: «Советская энциклопедия», 1979. – 400 с., ил.
7. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности / В.Н. Хмелев, А.Н. Сливин, Р.В. Барсуков, С.Н. Цыганок, А.В. Шалунов; Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. – Бийск: Изд-во Алт. техн. ун-та, 2010. – 203 с.
8. В. Н. Хмелев, С. Н. Цыганок, "Аппарат для ультразвуковой обработки жидких сред при высокой температуре", «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности», вып. 11, СПб, Изд-во Политехн. ун-та, 2007.
9. Пат. 41533 Україна. МПК В06В 3/00 В23К 26/00 Спосіб вводу ультразвукових коливань до розплаву зварювальної ванни. Оpubл. 25.05.2009; Бюл. № 10.
10. Пат. 4330699 США, МКИ В23 К26. Laser/ultrasonic welding technique: Пат. 4330699 США, МКИ В23 К26 Michael M. Farrow (США); Boulder, CO. – № 61350; Заявл. 27.07.1979; Оpubл. 18.05.1982. – 5 с.