

Джемелінський¹ В.В. к.т.н., проф., Конашевич² Г.Ю. д.т.н., Лесик¹ Д.А. асп.

1-НТУУ «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна;

2-Черкаський державний технологічний університет», м. Черкаси, Україна

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ЛАЗЕРНО-УЛЬТРАЗВУКОВОГО ОЗДОБЛЮВАННЯ ТА ЗМІЦНЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ

Dzhemelinsky¹ V., Konashevych² G., Lesyk¹ D.

1-The National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

(vitaly.dzhemelsky@gmail.com); 2-The Cherkassy State Technological University ", Cherkasy, Ukraine

PERSPECTIVES USE OF LASER-ULTRASONIC FINISHING AND STRENGTHENING OF THE SURFACES DETAILS

Розглянуто перспективи використання комбінованого лазерно-ультразвукового оздоблювально-зміцнювальної обробки деталей, де реалізується дія на металеву поверхню лазерно-ультразвукових джерел енергії, що дозволяє не тільки поліпшити параметри поверхневого шару оброблюваних деталей, а й оптимізувати характеристики модифікованих поверхонь для створення конкурентоспроможної продукції. Приведені методика та результати експериментальних досліджень впливу імпульсного лазерного випромінювання без оплавлення і ультразвукових коливань на зміну мікро - і нанорельєфу, мікротвердості поверхневого шару деталей з бронзи марки БрАЖ9-4.

Ключові слова: лазерно-ультразвукова обробка, обробка без оплавлення, мікротвердість, мікрорельєф, нанорельєф

Вступ

Вимоги, які пред'являються на сучасному етапі до механічних властивостей (міцності, твердості, зносостійкості) деталей машин настільки високі, що використання традиційних методів обробки в ряді випадків не дозволяють отримати необхідні якісні параметри поверхневого шару традиційними методами обробки. Відомі [1, 2, 3, 4] способи поверхневого зміцнення з використанням різних видів енергії, зокрема, зміцнення - застосуванням як статичної дії інструментів, обкатування роликми або шарикиами, так і динамічної дії низько - та високочастотних коливань, а також фізичної дії концентрованими потоками енергії - дією лазерного, та плазмового випромінювання.

В сучасному виробництві використовуються електрофізичні методи обробки, які поєднують термодинамічні процеси низько - та високочастотних коливань та лазерно-плазмових випромінювань.

Одним із перспективних є комбінований метод поверхневого пластичного деформування (ультразвукова обробка) та лазерної термообробки поверхневих шарів виробів. Лазерна поверхнева термообробка може здійснюватися без оплавлення [5], з оплавленням [6, 7] та з випаровуванням [6].

В даних публікаціях виявлені закономірності структурних перетворень в зоні термічної дії лазерного випромінювання та динамічної дії ультразвуковим наконечником, побудовані фізико-математичні моделі.

Проте в літературі практично відсутні дані про принципи вибору оптимальних температурно-швидкісних режимів поверхневої оздоблювально-зміцнювальної обробки з використанням комбінованої термомеханічної дії лазерного променя та високочастотних коливань.

Мета

Дослідити вплив комбінованої лазерно-ультразвукової обробки на змінну рельєфу та мікротвердості металевих виробів та визначити можливості реалізації даного методу.

Методика та результати експериментальних досліджень

Для вирішення даної проблеми для оздоблювання та зміцнення поверхонь деталей запропоновано комбінований спосіб з використанням комбінованої дії теплової і механічної енергії [10]. В даному способі фінішна обробка може здійснюватися за роздільною та суміщеною схемами обробки. Роздільна схема в свою чергу передбачає використання двох варіантів: перший – початкова термічна дія, а наступна деформаційна, а другий – навпаки. Порядок здійснення даного методу полягає в наступному: спочатку діють багатобійковим наконечником 5, а потім нагрівають поверхневий шар деталі 8 до визначеної температури лазерним випромінюванням 1 сфокусованим лінзою 2 у пляму круглої форми (рис. 1 а) або прямокутної, отриманої від високочастотного сканатора 3 (рис. 1 б).

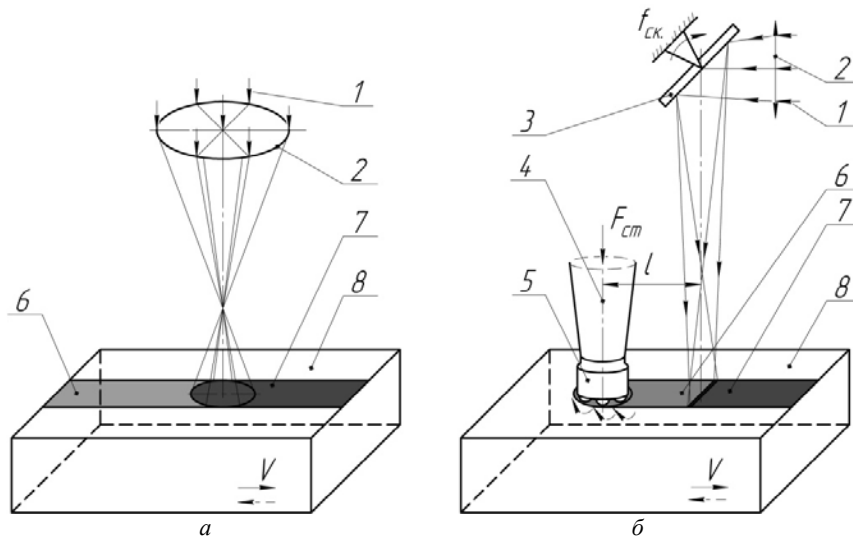


Рис. 1. Схеми лазерно-ультразвукової обробки (1-лазерний промінь, 2-лінза, 3-сканатор, 4-ультразвуковий інструмент, 5-багатобічковий наконечник, 6-зона ультразвукового впливу, 7-зона лазерного впливу, 8-деталь): а-роздільна та б-суміщена схеми

В даній роботі всі експериментальні дослідження проводилися за роздільною лазерно-ультразвуковою схемою без оплавлення.

Використання комбінованої дії лазерно-ультразвукових джерел, реалізуючи дію на металеву поверхню лазерного випромінювання (теплової енергії) та ультразвукових коливань (механічної дії), приводить до створення в поверхневому шарі металу критичної величини щільності енергії, яка сприяє процесу пластичного деформування та руйнування мікронерівностей з метою формування нано - та субмікроструктур та поліпшенню якості оброблюваної поверхні.

Залежно від умов навантаження той самий матеріал може руйнуватися внаслідок відриву або зсуву. При певній температурі та швидкості деформування руйнування має подвійний характер, врахувати який можна за допомогою одночасного обліку дотичних і нормальних напружень при виборі оцінчого показника α [8]:

$$\alpha = \frac{\tau_{\max}}{\sigma_{\max}^{\text{прив.}}}, \quad (1)$$

де, $\tau_{\max}$ - максимальні дотичні напруження;

$\sigma_{\max}^{\text{прив.}}$ - максимальне значення зведеного нормального напруження розтягу.

Використовуючи другу теорію міцності рівняння (1) можна записати у вигляді:

$$\alpha = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2\sigma_1 - 2\mu(\sigma_2 + \sigma_3)}, \quad (2)$$

де, μ - коефіцієнт Пуассона;

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ - головні напруження.

Для аналізу стану технологічної системи при комбінованій обробці використано рівняння балансу локальної щільності енергії [9].

В якості досліджуваного матеріалу були використані циліндричні зразки діаметром 18 мм і висотою 10 мм із бронзи марки БрАЖ9-4. Хімічний склад матеріалу у ваг. %: 2...4 Fe, до 0.1 Si, до 0.5 Mn, до 0.01 P, 8...10 Al, 84...90 Cu, до 0.01 Pb, до 1 Zn, до 0.1 Sn. Границя міцності: 500...700 МПа, температура плавлення: 1040 °C.

Для ультразвукової обробки був змонтований спеціальний стенд (рис. 2 а), який включає фрезерний верстат з числовим програмним керуванням (ЧПК) «DYNAMITE 2800» 1 та ультразвуковий технологічний комплекс (генератор УЗГ250, ультразвуковий п'єзокерамічний перетворювач, конічний концентратор, багатобічковий наконечник та індикатор для тарування). Переміщення оброблюваної заготовки 6, яка закріплювалася в лещатах (патроні) відносно багатобічкового наконечника 4, здійснюється кроковими електродвигунами в напрямку трьох координатних осей X (A), Y, Z, у відповідності із заданою керуючою програмою. Ультразвуковий інструмент 3 монтувався за допомогою спеціального пристрою 2. Верстат контролювався системою Mach3.

Режими ультразвукової обробки (УЗО): статична сила навантаження $P = 20...40$ Н; амплітуда коливань $A = 20$ мкм; частота коливань $f = 21$ кГц; швидкість переміщення зразка $V = 10...30$ мм/хв..

Для термічної дії використовувався лазер «Квант 15» (рис.2 б) з довжиною хвилі випромінювання $\lambda = 1.06$ мкм. Режими обробки: енергія в імпульсі $E = 3 \dots 11$ Дж; тривалість імпульсу $\tau = 4$ мс; діаметр плями $d = 2$ мм; швидкість переміщення променя $V = 1$ мм/с.



Рис. 2. Технологічне обладнання: а-стенд для УЗО (1-верстат з ЧПК марки «DYNAMITE 2800», 2-спеціальний пристрій, 3-ультразвуковий інструмент, 4-багатобічковий наконечник, 5-індикатор, 6-заготовка); б-лазерна установка «Квант15»

Для вимірювання мікро - нанорельєфу поверхневого шару використовували атомно-силовий мікроскоп «NT206V» з комп'ютерною системою керування. Мікротвердість вимірювали на приладі ПМТ-3.

Розроблена керуюча програма для обробки поверхні деталі шириною 120 мм, довжиною 180 мм, висотою 40 мм (рис. 3 а) багатобічковим ультразвуковим наконечником, яка приведена в таблиці. Діаметр багатобічкового наконечника $D = 20$ мм. Діаметр контакту пята наконечника $d = 15$ мм із заготовкою (рис. 3б).

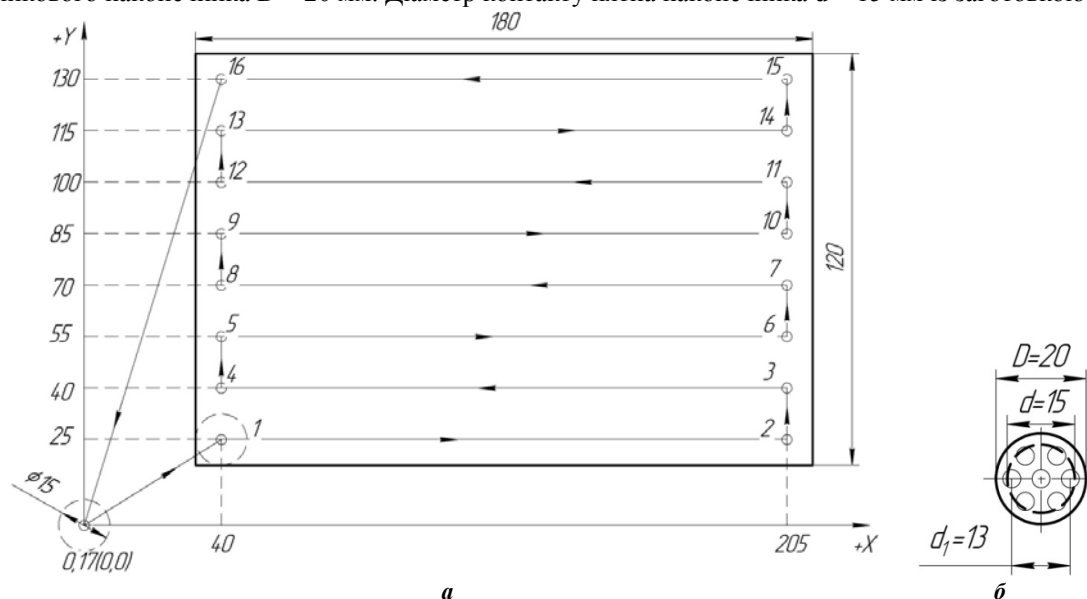


Рис. 3. Схема переміщення ультразвукового інструмента по поверхні деталі (а) та проєкція багатобічкового наконечника (б)

Таблиця

Керуюча програма

N1G17G21G94F30	N9G1X205Y70	N17G1X205Y130
N2G0X40Y25	N10G1X40Y70	N18G1X40Y130
N3G1Z-10F30	N11G1X405Y85	N19G1Z10F30
N4G1X205Y25	N12G1X205Y85	N20G0X0Y0
N5G1X205Y40	N13G1X205Y100	N21M30
N6G1X40Y40	N14G1X405Y100	
N7G1X40Y55	N15G1X405Y115	
N8G1X205Y55	N16G1X205Y115	

Мікро - нанорельєф досліджуваних ділянок до і після лазерно-ультразвукової обробки представлені на рис.4.

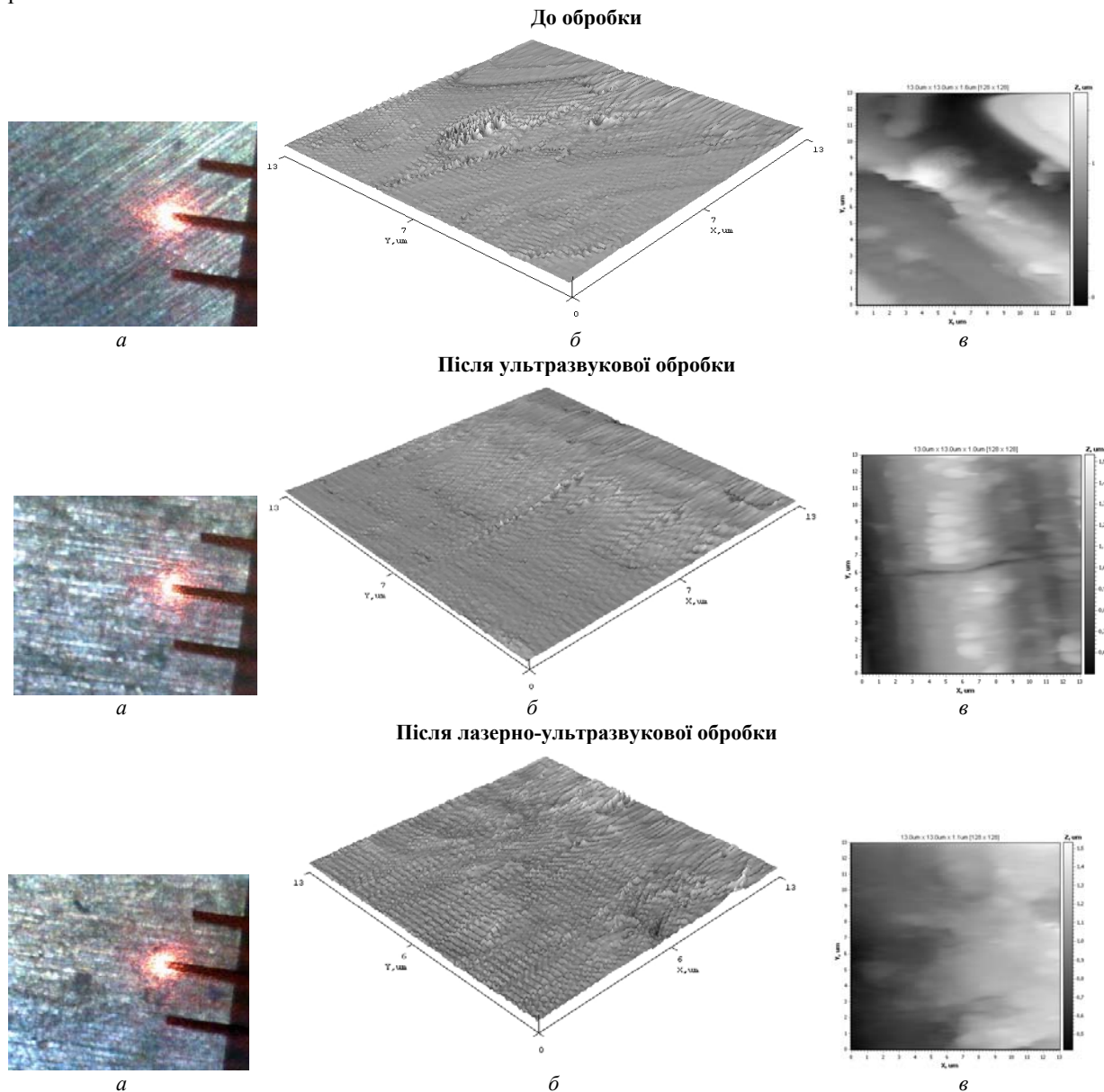


Рис. 4. Зовнішній вигляд досліджуваних ділянок до і після лазерно-ультразвукової обробки: а-зовнішній вигляд досліджуваної ділянки ($\times 150$); б-аксонометрія; в-топограма

У відповідності із зовнішнім виглядом аксонометрії (рис. 4 б), які відображають рельєф зразка досліджуваної ділянки (рис. 4 а) білим кольором позначені висоти, а чорним впадини мікрорельєфу. Аналіз проведених аксонометрії та топограм дозволяє стверджувати про зміни структури поверхневого шару.

Результати шорсткості досліджуваних ділянок поверхні приведені на профілограмах (рис. 5).

Із приведених профілограм видно, що шорсткість після ультразвукової обробки (рис. 5 а) значно покращилась, а після комбінованої лазерно-ультразвукової обробки (рис. 5 в) де що погіршилась відносно вихідної поверхні (рис. 5 а), а отримана поверхня має більшу ступінь розвитку поверхні.

Результати експериментальних досліджень зміни мікротвердості в залежності від глибини поверхневого шару (рис. 6) підтвердили теоретичні передбачення, що комбінована лазерно-ультразвукового дія сприяє формуванню більш твердіших та глибших поверхневих шарів в порівнянні з окремою ультразвуковою і лазерною дією.

Можливості практичного використання

Приведені пілотні випробування даного комбінованого методу лазерно-ультразвукової оздоблювально-зміцнювальної обробки дозволяють стверджувати його можливість використання для обробки відповідальних деталей різного функціонального призначення (рис. 7).

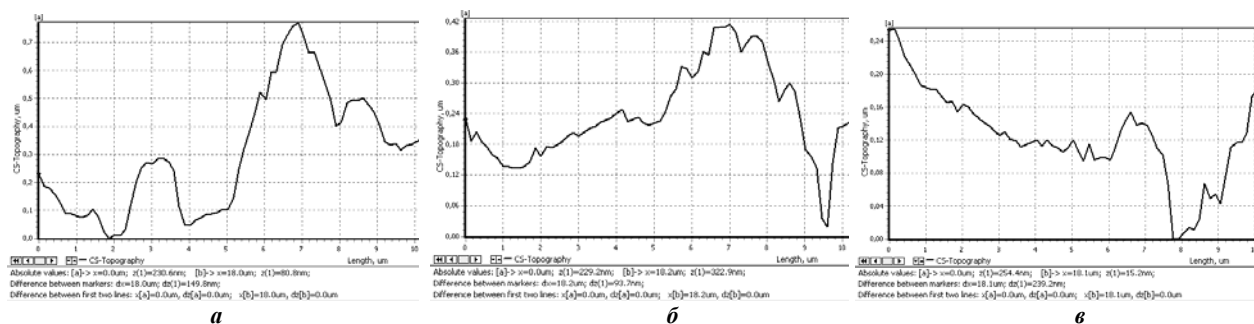


Рис. 5. Профілограма досліджуваних ділянок поверхні: а-до обробки (середнє значення мікронерівностей на ділянці: $Ra = 264.073$ нм, $Rq = 335.467$ нм; максимальний розкид висот $Z_{mean} = 745.091$ нм, умовна площа поверхності $S_{nom}=169$ мкм², повна площа поверхні $S_{пол} = 183.48$ мкм², степінь розвитку поверхні $S_{nom}/S_{пол}=0.921$); в-після ультразвукової обробки (середнє значення мікронерівностей на ділянці: $Ra = 151.397$ нм, $Rq=185.778$ нм; максимальний розкид висот $Z_{mean} = 1015.556$ нм, умовна площа поверхності $S_{nom} = 169$ мкм², повна площа поверхні $S_{пол} = 172.556$ мкм², степінь розвитку поверхні $S_{nom}/S_{пол} = 0.979$) та б-після лазерно-ультразвукової обробки (середнє значення мікронерівностей на ділянці: $Ra = 217.123$ нм, $Rq = 256.934$ нм, максимальний розкид висот $Z_{mean} = 989.785$ нм, умовна площа поверхності $S_{nom} = 169$ мкм², повна площа поверхні $S_{пол} = 169.793$ мкм², степінь розвитку поверхні $S_{nom}/S_{пол} = 0.995$)

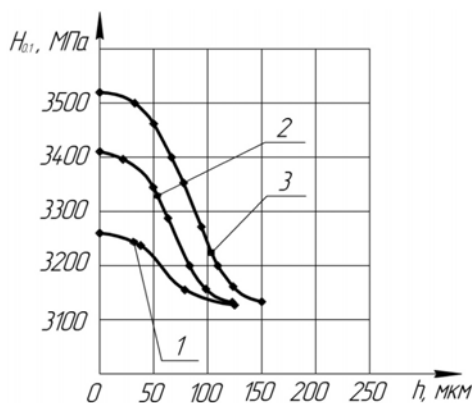


Рис. 6. Мікротвердість по глибині



Рис. 7. Приклади практичної реалізації

Висновки

1. Запропоновано комбінований метод фінішної обробки з використанням джерел енергії лазерного променя та ультразвукових коливань; 2. Розроблено метод та конструкцію спеціальної установки для ультразвукової обробки з використанням багатобігових наконечників; 3. Встановлено зміну структури, параметрів шорсткості та мікротвердості в залежності від дії лазерно-ультразвукових джерел енергії; 4. Запропонована керуюча програма для практичного використання технології фінішної обробки поверхонь деталей.

Аннотация. Рассмотрены перспективы использования комбинированного лазерно-ультразвукового отделки упрочнения поверхностей деталей, где реализуется действие на металлическую поверхность лазерно-ультразвуковых источников энергии, что позволяет не только улучшить параметры поверхностного слоя обрабатываемых деталей, но и оптимизировать характеристики модифицированных поверхностей для создания конкурентоспособной продукции. Приведенные методика и результаты экспериментальных исследований влияния импульсного лазерного излучения без оплавления и ультразвуковых колебаний на изменение микро - и нанорельефу, микротвердости поверхностного слоя деталей из бронзы марки БрАЖ9-4.

Ключевые слова: лазерно-ультразвуковая обработка, обработка без оплавления, микротвердость, микрорельеф, нанорельеф

Abstract. The requirements to mechanical properties of machine parts are high today. That's why the use of traditional techniques sometimes don't allow us to receive the necessary quality parameters of the surface layer. In this connection modern manufacture uses the hybrid and combined technologies. The combined techniques can provide high accuracy, productivity, durability of parts due to the improvement parameters of the surface layer.

Investigate the influence of the combined laser-ultrasonic processing on change relief and microhardness of metal products and determine the possibility of this method.

The prospects of a combined laser-ultrasonic finishing and strengthening of surface finishing of parts, where the action is implemented on a metal surface of the laser-ultrasonic sources of energy that can not only improve the parameters of the surface layer of workpieces, but also to optimize the performance of modified surfaces to create competitive products.

Use laser - ultrasonic action for finishing - strengthening processing will allow not only substantially improving the parameters of superficial layer of processing details but also optimization specifications of the modified surfaces to create competitive products.

Propounded pilot test of the combined method of laser-ultrasonic finishing-strengthening processing suggest it can use to handle critical details of different purpose.

Keywords: laser-ultrasonic processing, processing without melting, microhardness, micro - nanorelief

1. Майоров В. С. Лазерное упрочнение металлов / В сборнике лазерные технологии обработке материалов: современные проблемы фундаментальных исследований и прикладных разработок. Под. ред. Панченко В. Я. – М.: Физматлит, 2009. – 1-31 с.
2. Головка Л. Ф., Лук'яненко С. О. Лазерні технології та комп'ютерне моделювання / Під ред. Л. Ф. Головка, С. О. Лук'яненка. – К.: Вістка, 2009. – 296 с. – Бібліогр.: с. 239 – 248.
3. Ковшов А. Н., Назаров Ю. Ф., Ибрагимов И. М. Основы нанотехнологии в технике / Ковшов А. Н., Назаров Ю. Ф., Ибрагимов И. М. Учеб. пособие. – М.: Изд – во МГОУ, 2006. – 190-195 с.
4. Поляк М. С. Технология упрочнения / М. С. Поляк. Технол. Методы упрочнения В 2 т. Т. 2. – М.: «Л.В.М. – СКРИПТ», «МАШИНОСТРОЕНИЕ», 1995.-688 с.: ил.
5. Возможность прямого лазерного наноструктурирования поверхности без оплавления материала / Токарев В.Н., Хомич В. Ю., Шмаков В. А., Ямщиков В. А. – Журнал: Физика и химия обработки материалов, 2008, №4 – 15-25 с.
6. Improvement of technological parameters at surface finishing though laser beam machining / Marinescu, N. I.; Ghiculescu, D., Jitianu, G. & Seritan, G. – 6th International DAAAM Baltic Conference Industrial Engineering 24-26 April 2008, Tallinn, Estonia.
7. Завестовская И. Н. Лазерное наноструктурирование поверхности материалов / И. Н. Завестовская. Квантовая электроника, 2010, т.40, № 11 – 487-489 с.
8. Дудніков І. А. Оцінка пластичності металу під час деформування / І. А. Дудніков. Український міжв. наук.-техн. збірник «Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні» Вип. №5, Львів. Видавн. Львівської політехніки. – 295-298 с.
9. Эбелинг В. О. Образование структур при необратимых процессах / В. О. Эбелинг Введение в теорию диссипативных структур. – М.: Мир, 1979. – 279 с.
10. Пат. 60662 У України, МКП В24В 39/00. Спосіб лазерно-ультразвукової фінішної обробки / Джемелінський В. В., Джемелінська Л. В., Лесик Д. А. / Заявл. 01.12.2010, Опубл. 25.06.2011. Бюл.№12. – 2 с.

REFERENCES

1. Majorov V. S. Lazernoe uprochnenie metallov (Laser strengthening of metals). V sbornike lazernye tehnologii obrabotke materialov: sovremennye problemy fundamental'nyh issledovanij i prikladnyh razrabotok. Pod. red. V.Ja. Panchenko. Moscow: Fizmatlit, 2009, 1-31 pp.
2. Golovko L. F. Lazerni tehnologii' ta komp'juterne modeljuvannja (Laser technology and computer modeling). Kyev: Vistka, 2009, 296 p, Bibliogr.: pp. 239 – 248.
3. Kovshov A. N. Nazarov Ju. F., Ibragimov I. M. Osnovy nanotekhnologii v tehnike (Fundamentals of Nanotechnology in Engineering). Ucheb. posobie. Moscow: Izd – vo MGOU, 2006, 190-195 pp.
4. Poljak M. S. Tehnologija uprochnenija (The technology of strengthening). Tehnol. Metody uprochnenija V 2 t. T. 2. Moscow: «L.V.M. – SKRIPT», «MASHINOSTROENIE», 1995, 688 p.
5. Tokarev V. N., Homich V. Ju., Shmakov V. A., Jamwikov V. A. Zhurnal: Fizika i ximija obrabotki materialov, 2008, no 4, 15-25 pp.
6. Marinescu, N. I.; Ghiculescu, D., Jitianu, G. & Seritan, G. Improvement of technological parameters at surface finishing though laser beam machining. (The 6th International DAAAM Baltic Conference Industrial Engineering). Tallinn, Estonia, 24-26 April 2008.
7. Zavestovskaja I. N. Kvantovaja jelektronika, 2010, t.40, no 11, 487-489 pp.
8. Dudnikov I. A. Ukrai'ns'kyj mizhv. nauk.-tehn. zbirnyk «Avtomatyzacija vyrobnychych procesiv u mashynobuduvanni ta pryladobuduvanni» Vyp. no5, Lviv. Vydavn. Lvivskoi politehniky, 295-298 pp.
9. Jebeling V. O. Obrazovanie struktur pri neobratimyh processah. Vvedenie v teoriju dissipativnyh struktur. (The formation of structures in irreversible processes. Introduction to the theory of dissipative structures) Moscow: Mir, 1979, 279 p.
10. Dzhemelins'kyj V. V., Dzhemelinska L. V., Lesyk D. A. Sposib lazerno-ultrazvukovoi finishnoi obrobky [Method of laser-ultrasonic finishing processing]. Patent Ukrainy no 60662 U. 25.06.2011.