

5. Поляков, В.С. Справочник по муфтах [Текст] / В.С. Поляков, И.Д. Барабаш, О.А. Ряховский. – Л.: Машиностроение, 1979. – 344 с.
6. Решетов, Д.Н. Детали и механизмы металлорежущих станков [Текст] / Д.Н. Решетов. – М.: Машиностроение, 1972.
7. Рогатинський, Р.М. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів [Текст] / Р.М. Рогатинський, І.Б. Гевко, А.Є. Дячун. – Тернопіль: ТНТУ, 2014.
8. Ряховский, О.А. Справочник по муфтах [Текст] / О.А. Ряховский, С.С. Иванов. – Л.: Политехника, 1991. – 383 с.
9. Тепинкичев, В.К. Предохранительные устройства от перегрузки станков [Текст] / В.К. Тепинкичев. – М.: Машиностроение, 1968. – 109 с.
10. Эрмих, Л.Б. Справочник машиностроителя. Том 4. Предохранители от перегрузки [Текст] / Л.Б. Эрмих. – М.: Машгиз, 1955.

Volodymyr Klendii, PhD tech. sci., Vasyl Gupka, assist., Maria Radyk, assist., Nazar Marchuk, post-graduate, Roman Kotyk, post-graduate

Ternopil Ivan Puluji National Technical University, Ternopil, Ukraine

Justification Parameters Safety Elements of Technological Equipment to the Machining

The design of a safety coupling for protection of elements of drives of cars and technological equipment from an overload and protection of tools from a breakage is resulted.

The analytical dependences for determination of torque value from different factors are deduced. The axial moment of inertia of the spiral circle is expressed due to its design parameters. The relationship between the force of the knee and the force of the spring for the spring-ball precautions, which is the developed cartridge, is derived.

The calculation scheme for determining the power parameters of the pair of ball-hole contact is given. The dependence of the torque variation on the diameter of the hole is shown with variable values of the radius of the ball.

spring-ball safety device, power parameters, mechanical processing of parts, technological equipment, calculation scheme, loading capacity

Отримано 30.10.17

УДК 621.9.048.7:621.373.826:631.31

Ю.О. Ковальчук, доц., канд. техн. наук, І.О. Лісовий, канд. техн. наук

Уманський національний університет садівництва, м. Умань, Україна

E-mail: temp@eml.ua

Особенности застосування поверхневої лазерної обробки деталей сільськогосподарських машин з чавуну

Проаналізовано внутрішні процеси в результаті впливу лазерного випромінювання на поверхню деталей сільськогосподарської техніки з чавуну. Визначено залежність мікротвердості досліджуваних зразків від потужності лазерного випромінювання. Відмічено, що збільшення швидкості обробки призводить до помітного зниження середніх значень мікротвердості чавуну. Досліджено, що поєднання лазерної обробки із подальшим поверхневим пластичним деформуванням може забезпечити значне підвищення зносостійкості деталей із чавуну.

метод поверхневої лазерної обробки, лазерне зміцнення, гартування, чавун, зносостійкість, деталі сільськогосподарської техніки

© Ю.О. Ковальчук, І.О. Лісовий, 2017

Ю.А. Ковальчук, доц., канд. техн. наук, И.А. Лисовый, канд. техн. наук
Уманский национальный университет садоводства, г. Умань, Украина

Особенности применения поверхностной лазерной обработки деталей сельскохозяйственных машин из чугуна

Проанализированы внутренние процессы в результате влияния лазерного излучения на поверхность деталей сельскохозяйственной техники из чугуна. Определена зависимость микротвердости исследуемых образцов от мощности лазерного излучения. Отмечено, что увеличение скорости обработки приводит к заметному снижению средних значений микротвердости чугуна. Исследовано, что объединение лазерной обработки с дальнейшим поверхностным пластическим деформированием может обеспечить значительное повышение износоустойчивости деталей из чугуна.

метод поверхностной лазерной обработки, лазерное упрочнение, закаливание, чугун, износостойкость, детали сельскохозяйственной техники

Постановка проблеми. Нині питання покращення механічних властивостей та збільшення ресурсу виробітку деталей сільськогосподарської техніки не втрачає своєї актуальності перед виробниками сільськогосподарських машин.

Значна частина деталей даної техніки виготовляється з чавуну. Зокрема, з даного сплаву можуть виготовлятися такі елементи двигунів, як блоки циліндрів та їх головки і гільзи, втулки та днища кришок циліндрів, поршні та поршневі кільця, шатуни, випускні колектори та інші. Також з чавуну можуть виготовлятися колінчасті й розподільні вали, різноманітні махові та зубчасті колеса, шківни, корпуси редукторів, насосів та підшипників, опорні ролики, тормозні диски, корпуси електродвигунів, кронштейни, шестерні та інші деталі.

Поверхнева лазерна обробка є одним із методів покращення характеристик деталей сільськогосподарської техніки із чавуну, що характеризується високим вмістом вуглецю, не менше 2,14%, що може забезпечити значне підвищення міцності, а при правильному виборі марки чавуна, режимів застосування лазерного випромінювання та подальшій обробці зміцнених зразків – ще й підвищення пластичності, ударної в'язкості та зносостійкості матеріалу.

В результаті одних досліджень робляться висновки про незначне підвищення міцності та зносостійкості зміцнюваних лазерним випромінюванням сплавів, в інших дослідженнях наводяться результати про значне підвищення міцності матеріалу, але незадовільні показники його зносостійкості. Але мають місце численні, на жаль, також несистемні дослідження, що вказують як на значне підвищення міцності, так і на значне підвищення зносостійкості деталей сільськогосподарських машин.

Це пояснюється тим, що різні дослідження виконуються за різних умов лазерної обробки. Не відбувається їх узагальнення і систематизації.

Тому системне дослідження впливу лазерного випромінювання на зміцнювану поверхню матеріалу на даний момент є актуальним та важливим.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Існуючі дослідження лазерної обробки різноманітних деталей сільськогосподарської техніки [1-5] у нас в державі носять локальний характер, оскільки потребують теоретичних та експериментальних досліджень як на відповідних лазерних установках та комплексах, так і практичного визначення результатів і на спеціальних стендах та обладнанні, і в полі. Все це вимагає чималого фінансування, яке, фактично, відсутнє. Сучасні спроби теоретичних та практичних досліджень даного питання лазерної обробки проводились також вченими за кордоном [6-10], але в недостатній мірі.

Найбільш широкі дослідження впливу лазерного випромінювання на характеристики чавуну було здійснено, зокрема, А.Г. Григорьянцем в праці [6], де розкривались особливості внутрішніх перетворень в даному сплаві під дією лазерного

променю та вплив деяких параметрів процесу лазерної обробки на отримувані характеристики чавунів.

Останнім часом питання впливу лазерного зміцнюючого випромінювання на чавун розглядались, зокрема, П.А. Огінім, що досліджував структуру й властивості зон покриття під час лазерної обробки [7] та підвищення експлуатаційних характеристик деталей із чавуна шляхом застосування оптоволоконного лазера [10]. Дослідженням різних аспектів лазерного зміцнення колінчатих валів із чавуну активно займався О.С. Завойко [5].

Вказані вище та багато інших досліджень в абсолютній більшості носять несистемний характер. Питання узагальнення та систематизації різноманітних окремих досліджень залишається до кінця невирішеним. Також недостатньо досліджений вплив окремих параметрів процесу лазерного зміцнення на міцність та, що особливо важливо, зносостійкість чавунів. Невирішеним залишається питання дослідження можливих комбінованих методів зміцнення чавуну із застосуванням лазерної обробки.

Постановка завдання. Метою роботи є визначення впливу лазерної зміцнюючої обробки на структуру і властивості чавунів для покращення експлуатаційних характеристик відповідних деталей сільськогосподарської техніки.

Виклад основного матеріалу. Чавун характеризується всіма традиційними для нього якостями, зокрема має високі показники міцності, гарні ливарні властивості та піддається механічній обробці.

Для ефективного застосування лазерного зміцнення зразків із чавуну потрібно мати знання всіх тих механізмів, що забезпечують досягнення певного рівня властивостей при зміні структурних параметрів. Розуміння механізму зміцнення чавуну дозволяє отримати необхідний рівень міцності і зносостійкості та, у той же час, одержувати оптимальне поєднання механічних властивостей чавуну з погляду економічної ефективності процесу зміцнення.

Відомо, що якість лазерної обробки сильно залежить від режимів, в яких відбувається зміцнення відповідних поверхонь. Їх вплив, зокрема, на середні значення мікротвердості поверхневих шарів чавуну може бути різним.

Важливу роль відіграє правильний підбір марки чавуну. Більш технологічними є чавуни із дрібними вклученнями пластинчастого графіту, оскільки графіт у них при оплавленні розчиняється в більшій мірі, чим в чавунах з компактною формою графіту (високоміцних і ковких). Особливо це помітно при обробці з оплавленням імпульсним випромінюванням, а також безперервним випромінюванням невеликої потужності.

Чавун у порівнянні зі сталлю в результаті лазерної обробки має значно вищі показники міцності та, за умови подальшої спеціальної обробки, може мати гарні показники зносостійкості.

Як і при лазерному зміцненні сталей, в чавунах можна виділити зону оплавлення і зону гартування з твердої фази. Третій шар – перехідна зона, або зона відпуску, – в чавунах виявляється рідко; в цьому випадку зона термічного впливу (ЗТВ) складається лише із зони гартування з твердої фази.

При обробці з оплавленням графіт розчиняється в розплаві і після охолодження в зоні оплавлення формується структура білого чавуну, тобто затвердіння відбувається за метастабільною діаграмою залізо – вуглець без виділення вільного графіту. При високій швидкості охолодження загальна закономірність кристалізації білих чавунів може змінюватися.

У доевтектичному чавуні кристалізація починається із виділення первинних зерен аустеніту, потім при температурі 1147°C відбувається утворення евтектики – ледебуриту. Як видно на рис. 1, а [6], в структурі зони оплавлення важко виділити надлишкові кристали аустеніту; в ній міститься дрібнодисперсна суміш аустеніту і

цементиту, що має дендритну будову. Очевидно, через високу швидкість охолодження кристалізація надлишкового аустеніту пригнічується і весь розплав твердне квазіевтектично з утворенням квазіледебуриту. Квазіевтектичній кристалізації доевтектичних чавунів сприяє вирівнювання концентрації кремнію в зоні оплавлення, що призводить до зміщення евтектичної точки на діаграмі вліво.

Після обробки безперервним CO₂-лазером сірого чавуну кількість аустеніту в зоні оплавлення коливається в межах 25...65%, цементиту – 10...45%, а α -Fe – 5...50%. При цьому зі збільшенням швидкості обробки кількість α -Fe збільшується, а γ -Fe – зменшується. Наявність в ЗТВ α -Fe пов'язано з частковим перетворенням аустеніту в процесі гартування в мартенсит. Присутність графіту в зоні оплавлення обумовлено його неповним розчиненням, а також надходженням з нижніх шарів розплаву при спливанні графітових включень. Це призводить не тільки до деякого зниження мікротвердості, а й до утворення включень і пор біля самої поверхні. Найбільша кількість пор утворюється при високих швидкості обробки і щільності потужності випромінювання.

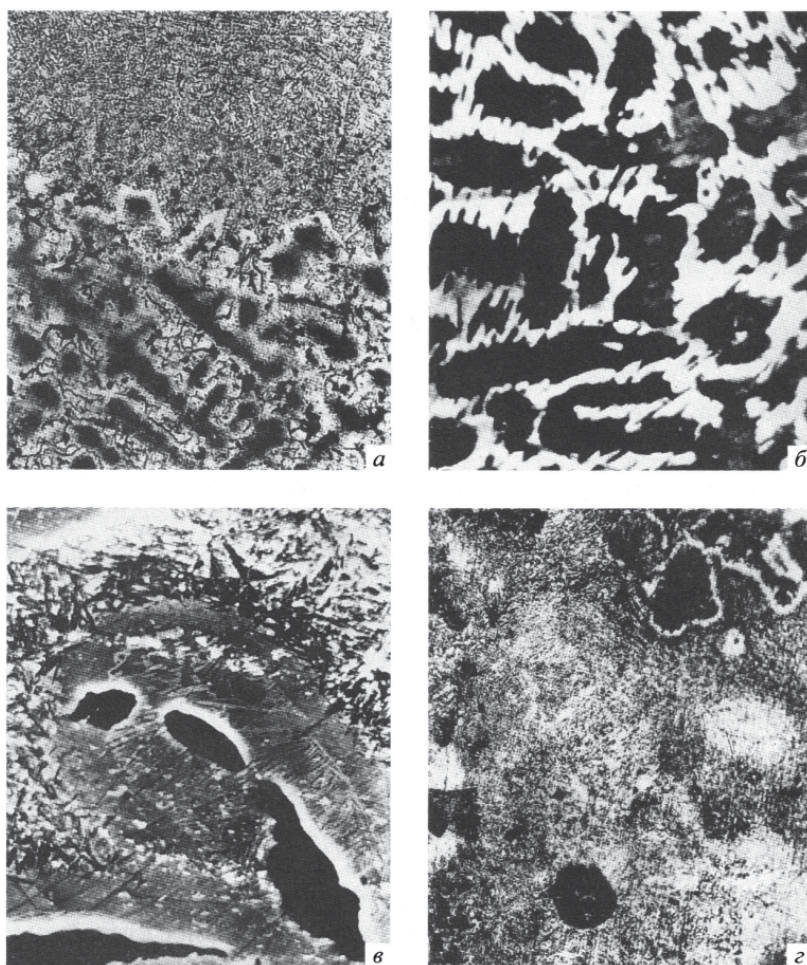
Для зменшення пороутворення в ряді випадків перед лазерною обробкою рекомендується попереднє вакуумування деталей, в результаті чого кількість газу, сорбованого графітом, зменшується. Однак це значно ускладнює процес. Більш простим прийомом для зменшення кількості пор в зоні оплавлення є зниження щільності потужності випромінювання і швидкості обробки. У цьому випадку небезпека утворення тріщин, які є поширеним видом дефектів при обробці з оплавленням, також зменшується. Однак при глибині оплавленого шару більше 0,5 мм навіть при малій швидкості обробки утворення тріщин в чавунах знову може посилитися.

Мікротвердість в зоні оплавлення чавуну марки ВЧ60-2 становить 8000...11000 МПа, СЧ24-44 – 7400...10000 МПа, сірого низьколегованого – 6500...8500 МПа, а КЧ35-10 – 6000...8000 МПа.

Зона гарту з твердої фази відрізняється дуже неоднорідною структурою. Нижче лінії оплавлення знаходиться світла смуга шириною 10...20 мкм, що свідчить про те, що тут мало місце значне насичення матриці вуглецем з графітних включень. Через ефект «контактного плавлення» межа між зоною оплавлення і ЗТВ в чавунах дуже нерівна. Ефект полягає в тому, що металева або феритна матриця близько графітних включень насичується вуглецем, в результаті чого температура її плавлення знижується. З цієї ж причини у верхній частині ЗТВ матриця навколо графіту оплавляється і насичується вуглецем. Ступінь насичення на різній відстані від графіту різна, тому в міру віддалення від графітних включень спостерігається гамма структур (рис. 1, в). Близько графіту утворюється світлий шар ледебуриту, далі – шар аустеніту, і, нарешті, – аустенітно-мартенситна голчата структура. При малих розмірах пластин графіт може повністю розчинитися і ледебуритна структура може бути відсутня.

У середній і нижній частинах ЗТВ насичення вуглецем до аустенітної і аустенітно-мартенситної структури може відбуватися і без оплавлення (рис. 1, г). Мікротвердість цих ділянок також різна: з аустенітною і аустенітно-мартенситною структурою – 6400...6770 МПа, а з цементитною і ледебуритною структурою – 10000...12000 МПа. Утворення цементитних прошарків може бути причиною окрихчування.

У нижній частині ЗТВ, де насичення матриці з графіту дуже незначне, в структуру входять мартенсит і залишковий аустеніт. Біля границі з вихідним металом процес аустенітизації перліту при нагріванні не встигає завершитися, тому там є нерозчинені частинки цементиту. Оскільки твердий розчин ненасичений вуглецем, мікротвердість знижується до 6700 МПа і навіть до 3500...4100 МПа.



a – зона оплавлення і ЗТВ сірого чавуну (x300); *б* – зона оплавлення (x3600);
в – верхня частина ЗТВ (x630); *г* – нижня частина ЗТВ чавуну ВЧ50-1,5 (x250)

Рисунок 1 – Мікроструктура ЗЛВ сірих чавунів

Вплив режимів обробки на середні значення мікротвердості в зоні оплавлення може бути різним. Як видно з рис. 2, при збільшенні потужності випромінювання від 0,5 до 1,5 кВт мікротвердість значно зростає [6]. Відбувається це внаслідок прискорення розчинення графіту, зменшення кількості мікропор і збільшення кількості ледеburиту. Подальше підвищення потужності призводить до певного зниження мікротвердості, так як в цьому випадку графіт майже повністю розчиняється, відбувається насичення аустеніту вуглецем, зменшення частки мартенситу і збільшення частки залишкового аустеніту внаслідок зменшення швидкості охолодження. Також зменшується вміст цементиту внаслідок зневуглицьовування.

Крім цього, необхідно враховувати, що збільшення швидкості обробки призводить до помітного зниження середніх значень мікротвердості чавуну [4].

Зміцнювати чавуни слід при невисокій щільності потужності і невеликій швидкості обробки.

В даній роботі відмічалось, що лазерна обробка може забезпечити високий рівень міцності деталей із чавуну, а за умови подальшої обробки можна досягти ще й, що є головним в даному процесі, гарних показників опору втомі та зносостійкості оброблювальних зразків.

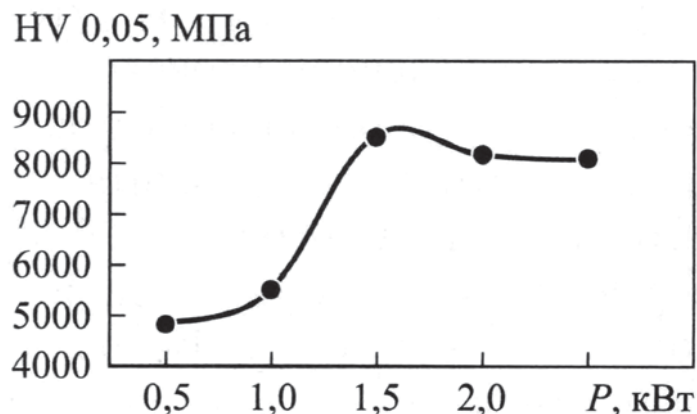


Рисунок 2 – Залежність мікротвердості на поверхні зони оплавлення сірого чавуну від потужності лазерного випромінювання

Одним із варіантів подальшої обробки виробів із чавуну, зміцнених лазерним випромінюванням, є поверхневе пластичне деформування (ППД). Наприклад, поєднання лазерної обробки з ППД обкочуванням роликками забезпечує суттєве (в рази) підвищення зносостійкості при достатньому рівні опору втомі чавунних колінчастих валів потужних дизельних двигунів [3].

Після лазерного зміцнення ППД створює високий рівень стискувальних залишкових напружень у зразках, приводить до більш рівномірного розподілу їх по довжині зміцненої поверхні та забезпечує внаслідок цього значне підвищення опору втомі відповідних зразків.

Досліди показують, що зміцнення валів шляхом поєднання ППД із попередньою лазерною обробкою, порівняно, наприклад, із попереднім гартуванням струмами високої частоти чи електроіскровим легуванням, є найбільш ефективним способом обробки, що забезпечує високу зносостійкість поверхні деталей при одночасному підвищенні опору втомі [3].

Висновки. Отже, чавун, що використовується вітчизняними виробниками деталей сільськогосподарської техніки, може ефективно оброблятися лазерним випромінюванням, що, в свою чергу, може забезпечити значне підвищення експлуатаційних характеристик відповідних виробів та надасть змогу у певних випадках зручно замінити чавуном значно дорожчі сталі.

У випадку визначення впливу лазерного випромінювання CO₂-лазера на зразки із чавуну для ефективного дослідження доцільно в експериментах застосовувати потужність лазерного випромінювання, зокрема, на рівні 1,5 кВт.

Поєднання лазерної обробки із подальшим поверхневим пластичним деформуванням може забезпечити значне підвищення зносостійкості та опору втомі зразків із чавуну.

Підтримка даних досліджень з боку держави дозволить забезпечити розробку та активне впровадження у виробництво широкої номенклатури технологій лазерного зміцнення деталей сільськогосподарських машин, виготовлених, зокрема, із чавуну.

Список літератури

1. Черненко, В.С. Променеві методи обробки [Текст] : Навч. посібник / В.С. Черненко, М.В. Кіндрачук, О.І. Дудка. – К.: Кондор, 2008. – 166 с.

2. Бобрицький, В.М. Підвищення зносостійкості різальних елементів робочих органів ґрунтообробних машин [Текст] : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.04 «Тертя та зношування в машинах» / В.М. Бобрицький. – К., 2007. – 20 с.
3. Пашкова, Г.І. Підвищення працездатності чавунних колінчастих валів потужних транспортних дизелів комбінованими методами зміцнення [Текст] : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.01 «Матеріалознавство» / Г.І. Пашкова. – Х., 2008. – 24 с.
4. Ковальчук, Ю.О. Лазерна обробка деталей сільськогосподарської техніки з чавуну [Текст] / Ю.О. Ковальчук, В.В. Кравченко, Р.В. Оляднічук // Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти. – 2017. – Вип. 5. – С. 92–99.
5. Завойко О.С. Дослідження лазерного зміцнення колінчастих валів та механіко-термічної обробки при руйнуванні на втому та знос [Текст] / О. С. Завойко // Фізика і хімія твердого тіла. – 2014. – Т. 15, № 4. – С. 846–855.
6. Григорьянц, А.Г. Технологические процессы лазерной обработки [Текст] : Учеб. пособие для вузов / Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. ; под ред. А.Г. Григорьянца. – 2-е изд., стереотип. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 664 с.
7. Огин, П.А. Структура и свойства зон перекрытия при лазерной закалке сталей и чугунов [Текст] / П.А. Огин // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2015. – № 2 (32-2). – С. 130–135.
8. Бирюков, В.П. Повышение износостойкости деталей сельскохозяйственной техники и почвообрабатывающих орудий лазерным упрочнением и наплавкой [Текст] / В.П. Бирюков // Лазерные технологии в сельском хозяйстве : Тематический сборник. – М.: Техносфера, 2008. – С. 256–264.
9. Буханова, И.Ф. Применение лазерного излучения для упрочнения и восстановления деталей сельскохозяйственного машиностроения [Текст] / И.Ф. Буханова, В.В. Дивинский, В.М. Журавель // Лазерные технологии в сельском хозяйстве : Тематический сборник. – М.: Техносфера, 2008. – С. 264–270.
10. Огин, П.А. Повышение эксплуатационных характеристик деталей из чугунов с применением закалки оптоволоконным лазером [Текст] / П.А. Огин // Вестник Нижегородского государственного инженерно-экономического института. Серия «Технические науки». – 2015. – № 12 (55). – С. 55–58.

Yuriy Kovalchuk, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Ivan Lisoviy, PhD tech. sci.

Uman National University of Horticulture, Uman, Ukraine

Features of the Using the Surface Laser Treatment of Agricultural Machinery Parts From Cast Iron

Determine the effect of laser treatment on the structure and properties of cast iron for improving the operational characteristics of the relevant agricultural machinery parts is the goal of the work.

Internal processes as a result of the effect of laser radiation on the surface of samples from cast iron are analyzed. The dependence of the microhardness of the investigated samples on the laser radiation power is determined. Increasing the processing speed leads to a noticeable decrease in the average values of the microhardness of the cast iron. Combining laser treatment with further surface plastic deformation can provide a significant increase in wear resistance of parts from cast iron.

Cast iron can be effectively processed by laser radiation, which will ensure high performance characteristics of the relevant agricultural machinery parts.

method of surface laser treatment, laser hardening, tempering, cast iron, wear resistance, agricultural machinery parts

Одержано 09.11.17