

УДК 621.924.93:621.9.048.7

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ МЕТАЛЕВИХ ВИРОБІВ КОМБІНОВАНОЮ ТЕРМОДЕФОРМАЦІЙНОЮ ОБРОБКОЮ

Данилейко О.О., Джемелінський В.В., Лесик Д.А.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

Для підвищення зносостійкості металевих виробів пропонується новий спосіб термодформаційного поверхневого зміцнення з використанням дробоструминної обробки (ДСО) та лазерної термообробки (ЛТО). Попереднє поверхнево-пластичне деформування статичними та динамічними методами проводили на базі верстата з числовим програмним керуванням «DYNAMITE 2800» та промислового обладнання ТОВ «УКРМІНГЛАСС». Лазерне поверхнєве зміцнення зразків на технологічній установці «ROFIN-SINAR DY 044». Тиск подачі газокуюльового потоку складав 0,5 МПа при тривалості обробки 1 хв, а потужність лазерного променя діаметром 7,3 мм – 1 кВт при швидкості обробки 300 мм/хв. Результати досліджень показують, що комбінована термомеханічна обробка сталі 30ХГСА при оптимальних режимах формує у 1,5 раз більшу глибину зміцнення у порівнянні з окремою лазерною термообробкою, забезпечуючи твердість поверхневого шару ~5400 МПа. Водночас стійкість зразків до зношування зростає у ~14 разів у порівнянні з матеріалом основи.

Ключові слова: комбінована термодформаційна поверхнева обробка; комбінований термомеханічний метод; дробоструминна обробка; лазерна термообробка; сталь 30ХГСА; глибина зміцнення; мікротвердість; зносостійкість

Наукові розвідки останніх років показують [1], що металургійними та термодформаційними процесам з реалізацією гібридних або комбінованих технологій можливе ефективне формування поверхонь металевих виробів з урахуванням критеріїв міцності, а також отримання необхідної мікрогеометрії поверхні [2]. Незважаючи на високу теоретичну та практичну цінність означених робіт, у них ще недостатньо розкриті питання режимів гібридних та комбінованих методів поверхневого зміцнення різних металевих виробів з використанням зазначених джерел енергії та їх оптимізації.

Ресурс роботи багатьох високонавантажених металевих деталей значною мірою визначається здатністю пар тертя чинити опір зношуванню. В установках для дроблення головною їх складовою є ротори з інструментами – молотками. Одним із слабких місць таких установок є дуже малий термін експлуатації інструментів, які працюють у складних умовах, зокрема під дією тертя з проковзуванням та ударних навантажень, – 300 год. Це неминуче призводить до збільшення кількості технічних обслуговувань (ТО). Водночас ресурс інших елементів установки на 1-2 порядки вищий. Саме тому одним із резервів підвищення ефективності даного виробництва є модернізація технологічного обладнання/установок з упровадженням сучасних технологій при його виготовленні та відновленні [3]. З іншого боку, дослідження зношування робочих органів сільгоспмашин, особливо для здрібнення, необхідне для прогнозування і планування сервісних інтервалів між ТО.

Вагоме значення для економіки України мають коронки для буріння свердловин. Вони працюють в складних умовах ударних навантажень: на бурову коронку діють осьові динамічні навантаження, кручення, згинання, які призводять до утворення складного напруженого стану в корпусі, що в свою чергу призводить до руйнування стінок профілю корпусу бурової колонки. Зазвичай для його виготовлення використовували сталь 40 та сталь 30, тому для ліквідації цих дефектів запропоновано виготовляти корпус бурових коронок із сталі 30ХГСА, яка має підвищену стійкість до ударних навантажень.

Так, для досягнення високої міцності, збільшення показників витривалості і ударної в'язкості сталі 30 ХГСА, запропоновано робочі поверхні піддати поверхневому

термомеханічному зміцненню [4] для отримання поверхневого шару з більш якісними фізико-механічними властивостями. Одночасно розробляються комбіновані термодформаційні методи поверхневої обробки з використанням як динамічних, так і статичних методів поверхнево-пластичного деформування (ППД) з наступним термозміцненням висококонцентрованими джерелами енергії [5].

З метою підвищення експлуатаційних властивостей інструментів для дроблення органічних матеріалів та корпусів бурових коронок, які виготовляються із середньолегованої сталі 30ХГСА, пропонується новий спосіб термодформаційної поверхневої обробки виробів різної геометричної форми. Новизна та практична значимість запропонованого методу полягає в тому, що при термодформаційній поверхневій обробці процес високошвидкісного нагрівання лазерним променем здійснюється після попереднього імпульсного поверхнево-пластичного деформування (ППД) газокуюльковим надзвуковим потоком із сферичними дрібнорозмірними частками, – для утворення подрібненої активної структури і залишкових напружень стиску. Одночасно здійснюється термовплив у зоні зміцнення поверхні деталі до температури, яка відповідає області існування стабільного аустеніту з наступним високошвидкісним охолодженням, значення якого вище критичної швидкості гартування. Запропонований спосіб зміцнення застосовується для поліпшення мікроструктури, формування залишкових напружень стиску, підвищення механічних властивостей та формування спеціального хвилястого мікрорельєфу на поверхні.

Попереднє поверхнево-пластичне деформування зразків із сталі 30 ХГСА статичними та динамічними методами було проведено на модернізованому верстаті з числовим програмним керуванням «DYNAMITE 2800», а дробоструминну обробку – на промисловому обладнанні ТОВ «УКРМІНГЛАСС», лазерне поверхнєве зміцнення зразків – на технологічній установці «ROFIN-SINAR DY 044» потужністю 4,4 кВт. При дослідженнях на зносостійкість, використано модернізовану установку для порівняльної оцінки зносостійкості матеріалів і покриттів при терті в умовах жорстко закріплених абразивних частинок; для порівняльного аналізу маси зразків до і після експериментів, було використано електронні ваги для ювелірних виробів N1126 із точністю 0,01 г.

Область технологічних режимів нагрівання лазерним променем та холодного деформування газокуюльковим високошвидкісним потоком здійснено з використанням методу математичного планування експериментів, виходячи з максимальної глибини зміцнення і твердості.

В результаті проведених досліджень з використанням коаксіального сопла та методу планування експерименту, за основний параметр прийнято глибину зміцнення. На рис. 1 унаочнено результати зміни глибини зміцнення після ДСО, ЛТО та комбінованої ДСО+ЛТО. Отримані результати дослідження показують, що при ДСО значення глибини зміцнення залежить від кінетичної енергії металевих кульок (дробу), регулювання яких, через відповідні рівняння залежності, здійснювалося зміною тиску на вході коаксіального (надзвукового) сопла.

Результати проведених досліджень дозволили звузити область технологічних режимів як для ДСО, так і для ЛТО (рис. 1): було експериментально доведено, що у порівнянні з окремою ЛТО сталі 30ХГСА комбінована ДСО+ЛТО веде до збільшення глибини зміцнення у 1,5 рази за рахунок покращення поглинальної здатності лазерного випромінювання, яке досягнуто формуванням спеціального мікрорельєфу на поверхні; крім того, одночасно забезпечується твердість поверхневого шару ~ 5400 МПа (рис. 2), а оптимальна потужність лазерного променя складає 1 кВт при швидкості переміщення зразка 300 мм/хв.

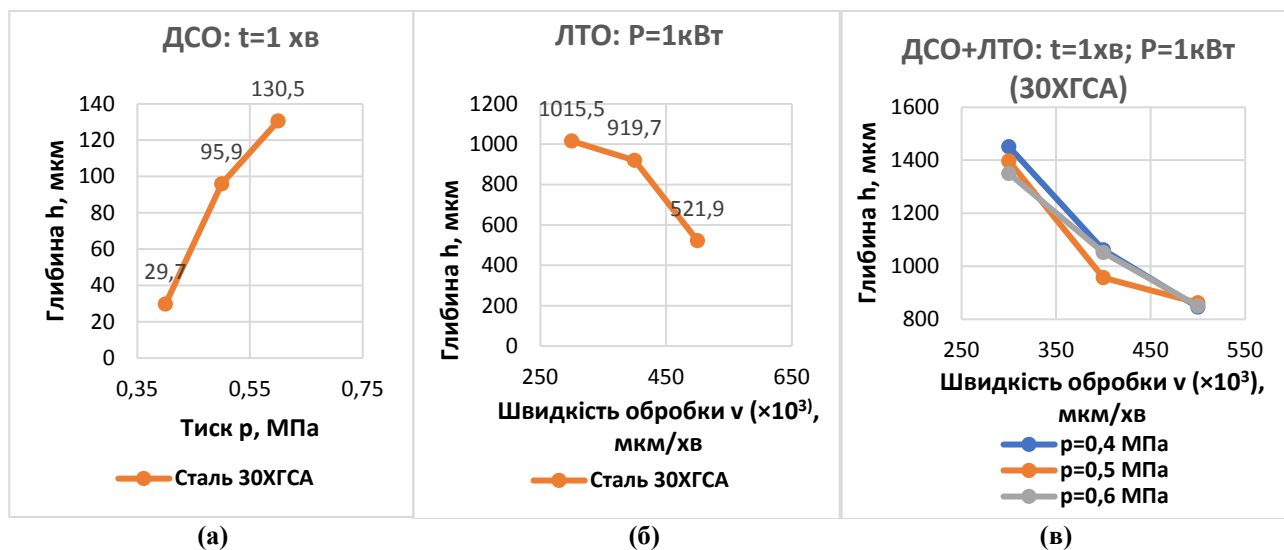


Рис. 1. Зміна глибини зміцнення від тиску при ДСО (а), швидкості переміщення оброблюваного зразка при ЛТО (б) та комбінованої ДСО+ЛТО (в)

Водночас формується рівномірна мікроструктура поверхневого шару [4] на глибині 1,3 мм з твердістю значно вищою, ніж при роздільних методах поверхневого зміцнення, а глибина гартованого шару зменшується із збільшенням швидкості ЛТО (рис. 2). Разом з тим область оптимальних режимів ДСО становить: тиск подачі газокуюлькового потоку $p = 0,5$ МПа, час ДСО $t = 60$ с (1 хв).

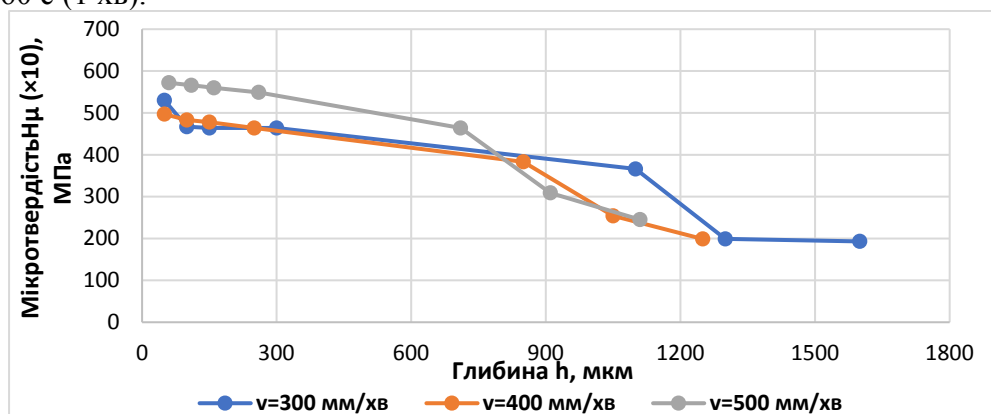


Рис. 2. Розподіл мікротвердості у приповерхневому шарі сталі 30ХГСА

Випробування на зносостійкість (рис. 3) було проведено у відповідності з ГОСТ 30480-97 на зразках розмірами 17x17x6 мм, поверхня яких була зміцнена на оптимальних режимах: 1) вихідний (матеріал основи); 2) ДСО (тиск подачі газокуюлькового потоку 0,5 МПа, тривалість обробки 1 хв); 3) ЛТО (швидкість обробки 300 мм/хв, потужність 1 кВт); 4) ДСО+ЛТО. За еталонний слугував зразок, виготовлений із матеріалу основи – сталі 30ХГСА.

На рис. 3 показано графік залежності мікротвердості зразків від тривалості зношування по глибині. Сила притискання зразків становила 17,2 Н при масі вантажу 0,875 кг. Величина знятого поверхневого шару відслідковувалася по лінійній шкалі. Оцінювання інтенсивності зношування було проведено шляхом фіксації часу (тривалість t , хв), а за параметр оптимізації прийняли глибину зношування – 2 мм. У процесі дослідження зразки-безперервно охолоджувалися повітрям під тиском 2 атм для запобігання перегріву. За такої умови температурний показник знаходився в межах 78-84 °С.

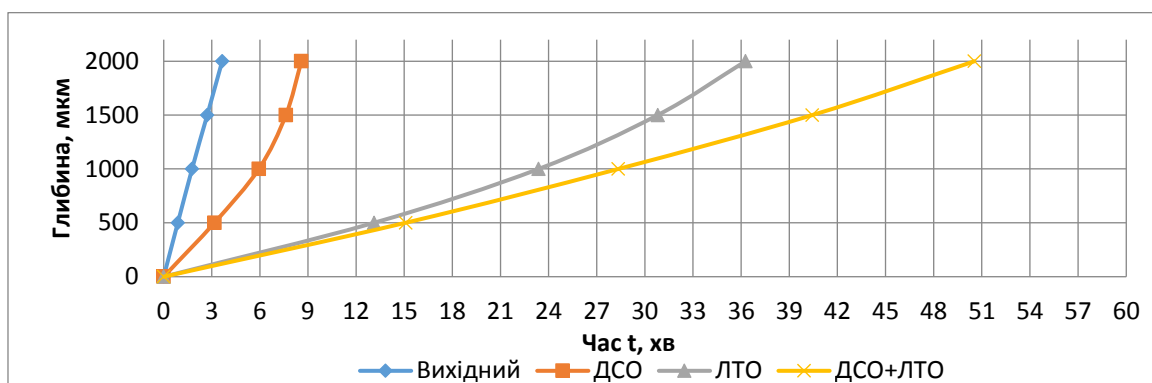


Рис. 3. Залежність глибини від часу зношування зразків із сталі 30 ХГСА

Використання запропонованого комбінованого методу поверхневої обробки імпульсною ударною дією газокількового високошвидкісного потоку з наступною термічною дією лазерним променем (гартування без оплавлення) сприятиме підвищенню ефективності поверхневого зміцнення інструментів із сталі 30ХГСА і їх зносостійкості за рахунок збереження дефектів, створених попереднім пластичним деформуванням.

Список літератури

1. Кривцун И. В. Гибридные лазерно-плазменные процессы сварки и обработки материалов. *Збірник наукових праць НУК*. 2009. № 3. С. 13-27.
2. Лазерні технології та комп'ютерне моделювання / за ред. Л.Ф. Головка, С.О. Лук'яненко. Київ : Вістка, 2009. 296 с.
3. Combined laser-ultrasonic surface hardening process for improving the properties of metallic products / V.V. Dzhemelinskiy et al. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing* : Proceedings of the International Conference on Design, Simulation, Manufacturing: The Innovation Exchange, DSMIE-2018, June 12-15, 2018, Sumy, Ukraine. Springer, Cham, 2019. P. 97-107.
4. Данилейко О. О., Джемелінський В. В., Лесик Д. А. Поліпшення якості поверхневого шару сталі 30ХГСА комбінованою лазерно-деформаційною обробкою. *Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта* : зб. матеріалів VII Міжнар. наук.-техн. конф., 5-9 лютого. 2018 р. Львів-Звенів, 2018. С. 41-44.
5. Surface hardening and finishing of metallic products by hybrid laser-ultrasonic treatment / V. V. Dzhemelinskiy, D. A. Lesyk, O. O. Goncharuk, O. O. Danyleiko. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. № 12 (91), Vol. 1. P. 35-42.

INCREASING THE EFFICIENCY OF SURFACE STRENGTHENING OF METAL PRODUCTS BY COMBINED THERMODEFORMATION PROCESSING

Oleksandr Danyleiko, Vitaliy Dzhemelinskiy, Dmytro Lesyk

To increase the wear resistance of metal products is a new method of thermodeformation surface hardening using shot blasting and laser heat treatment proposed. Preliminary surface-plastic deformation by static and dynamic methods was conducted using the DYNAMYTE 2800 table top CNC milling machine and industrial equipment of the LLC "UKRMINGLASS". During the laser surface hardening of samples was the technological CNC laser machine "ROFIN-SINAR DY 044" used. The supply pressure of the gas-ball flow was 0.5 MPa at the processing time of 1 min. The power of the laser beam with a diameter of 7.3 mm was 1 kW at a processing speed of 300 mm/min. The research results show that the combined thermomechanical treatment of 30HGSA steel under optimal conditions forms 1.5 times greater depth of hardening compared to a single laser heat treatment, providing a surface layer hardness of ~ 5400 MPa. At the same time, the wear resistance of the samples increased ~ 14 times compared to the base material.

Keywords: combined thermal deformation surface treatment, combined thermomechanical method, shot blasting, laser heat treatment, 30HGSA steel, hardening depth, microhardness; wear resistance