

Теоретические основы. – М.: Машиностроение, 1989. – 400 с. 9. Демкин Н.Б., Рыжов Э.В. *Качество поверхности и контакт деталей машин.* – М.: Машиностроение, 1981. – 244 с. 10. Широков В.В., Арендар Л.А., Ковальчик Ю.И та ін. *Оцінка зміни рельєфу фрикційних поверхонь.* 11. Адлер Ю.П., Маркова Е.Б., Грановский Ю.В. *Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий.* – М.: Наука, 1976. – 279 с. 12. Пляскин И.И. *Оптимизация технических решений в машиностроении.* – М.: Машиностроение, 1982 – 173 с. 13. Рыжов Э.В., Горленко О.А. *Математические методы в технологических исследованиях.* – К.: Наук. думка, 1990. – 184 с. 14. Кусый Я.М., Широков В.В., Васылив Х.Б. и др. *Влияние технологических параметров точения на шероховатость поверхности изделий из стали 36НХТЮ // Эффективность реализации научного, ресурсного и промышленного потенциала в современных условиях: Тр. 7-й Международ. промышлен конф. – К., Славск, 2007.*

УДК 621.9.048.6

І.С. Дерев'янка

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра технології машинобудування,

СТАН І АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПОВЕРХНЕВИМ ЗМІЦНЕННЯМ

© Дерев'янка І.С., 2007

Проаналізовано сучасні методи підвищення надійності деталей машин поверхневим зміцненням.

In the article the review of modern methods of machines details reliability increasing is conducted with the superficial strengthening.

Постановка проблеми. Підвищення довговічності і працездатності деталей машин та механізмів, різальних інструментів, технологічного обладнання, устаткування і спорядження є актуальною проблемою сучасного машинобудування. Це зумовлено тим, що на виготовлення, ремонт і обслуговування техніки, запасних частин машин та механізмів використовуються значні матеріальні, економічні і суспільні ресурси. Для сучасних машин характерно безперервне збільшення потужностей і робочих навантажень за одночасного підвищення швидкостей та прискорень їх виконавчих органів, передачі все більших зусиль і обертових моментів, що зумовлює істотне підвищення вимог до надійності машин. Зазвичай втрата працездатності та прискорений вихід з ладу під час експлуатації є наслідком процесів, які відбуваються у приповерхневих шарах деталей, а саме: тертя та зношування, перерозподіл залишкових напружень та їх надмірна концентрація, розвиток мікротріщин, знеміцнення. Приповерхневі шари, які є межею поділу фаз, піддаються активному впливу зовнішнього, часто агресивного середовища. Часткове усунення або повна нейтралізація цих негативних впливів підвищує точність контактних поверхонь, зносостійкість, втомну міцність, корозійну стійкість, контактну жорсткість. Покращання показників приповерхневих шарів деталей можливе шляхом вдосконалення конструкцій, раціонального вибору і застосуванням якісніших матеріалів, з покращеними фізико-механічними властивостями, розроблення нових технологічних процесів зміцнення поверхонь деталей.

Формулювання цілі статті. Ціллю статті було проведення аналізу сучасних методів підвищення надійності деталей машин поверхневим зміцненням.

Виклад основного матеріалу. Одним із найдієвіших напрямків підвищення надійності машин є отримання заданих властивостей поверхонь деталей методами поверхневого зміцнення, розвиток яких набув нового імпульсу на межі XX–XXI ст., коли було створено та впроваджено у практичну діяльність низку нових технологічних методів та способів поверхневого зміцнення деталей машин.

Сучасні технологічні процеси і методи зміцнення дають змогу керувати показниками якості формуванням та оптимізацією параметрів поверхонь і приповерхневих шарів, зокрема мікро- та макровідхиленнями; мікротвердістю, глибиною і знаком залишкових напружень. Класифікація цих методів зображена на рисунку.

З шести основних класів поверхневого зміцнення металевих поверхонь деталей найперспективнішим є третій клас: зміцнення зміною структури приповерхневого шару. До цього класу належить чотири методи: фізико-термічне оброблення, електрофізичне оброблення, механічне оброблення та наплавка легованим металом. До фізико-термічного оброблення належать такі процеси, як оброблення лазерним променем та струменем плазми. До електрофізичного оброблення належать такі процеси, як електроконтактне, електроерозійне та ультразвукове оброблення.

Механічне оброблення містить такі процеси, як зміцнення вібрацією, фрикційно-зміцнювальне оброблення, дробеструменеве оброблення, оброблення вибухом, карбування, вібраційно-відцентрове зміцнювальне оброблення. Наплавку легованим металом можна проводити газовим полум'ям та електричною дугою.

Стрімкого розвитку в останні роки набула технологія зміцнення поверхонь *лазерним променем*. Ця технологія заснована на локальному нагріванні ділянки поверхні під дією лазерного випромінювання і охолодження цієї ділянки із надкритичною швидкістю, за рахунок тепловідводу у внутрішні шари металу. Нагрівання при лазерному зміцненні не є об'ємним процесом, а здійснюється з поверхні.

Лазерне зміцнення матеріалів має низку переваг, які відрізняють його від інших методів поверхневого зміцнення, а саме: можливість за допомогою лазерного випромінювання проводити як зміцнення, так і розміцнення поверхні деталі керуванням процесами нагрівання і охолодження матеріалу; економія енергії за рахунок локальності зміцнення, яка дозволяє досягнути високої твердості приповерхневого шару на строго визначених ділянках, зберігаючи високі динамічні характеристики основного матеріалу; висока продуктивність процесу; можливість зміни властивостей поверхні матеріалу в труднодоступних місцях; безконтактність методу тощо.

Проте цьому прогресивному методу притаманні і певні недоліки. Основними з яких є: висока вартість потужного лазерного технологічного обладнання; недовговічність і велика вартість матеріалів лінз і дзеркал, які застосовуються для керування лазерним випромінюванням у просторі; необхідність застосування спеціальних покриттів для збільшення поглинаючої здатності опромінюваних поверхонь; необхідність захисту обслуговуючого персоналу від розсіяного лазерного випромінювання; мала продуктивність процесів під час обробки поверхонь, які мають велику протяжність; великі габарити лазерного технологічного обладнання.

Залежно від режимів лазерного оброблення глибина зміцненого шару може становити 0,05–3 мм, а мікротвердість підвищується в 1,5–5 разів.

Однією з найперспективніших є технологія зміцнення поверхонь деталей машин *струменем плазми*, яка інтенсивно розробляється як в нашій країні, так і за кордоном.

Плазмове поверхнєве зміцнення належить до методів зміцнення джерелами нагрівання з високою густиною потужності, що полягає в термічних, фазових і структурних перетвореннях, які відбуваються при швидкому концентрованому нагріванні робочої поверхні деталі струменем плазми і відведення тепла в матеріал деталі.

Найважливішою відмінністю структур, які формуються при плазмовому зміцненні, є високий рівень дисперсності мартенситу, який і визначає комплекс експлуатаційних характеристик поверхонь. Плазмове оброблення можна ефективно застосовувати для зміцнення не лише деталей із сталі, але й чавуну. Недоліки та переваги зміцнювального оброблення струменем плазми аналогічні до лазерного оброблення.

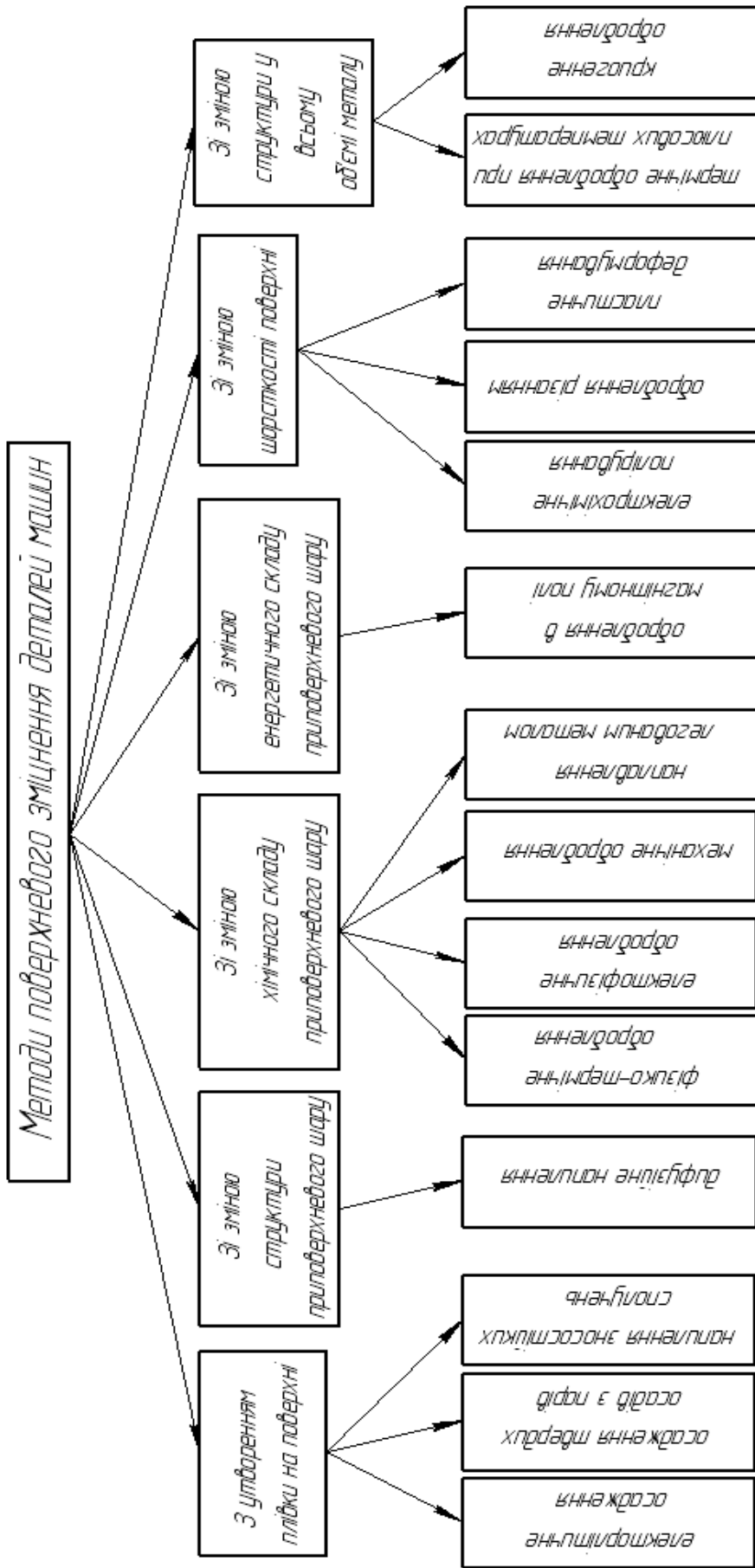


Рис. 1. Класифікація методів поверхневого зміцнення деталей машин

Серед зміцнювальних технологій особливе місце займає *ультразвукове оброблення*, яке полягає в тому, що ультразвуковий інструмент під дією статичної і динамічної сил, які створює коливна система (ультразвуковий генератор, магнітострикційний перетворювач і концентратор) пластично деформує приповерхневий шар деталей, попередньо оброблений різанням, здійснюючи одночасне зміцнення та згладжування нерівностей поверхні. Цей метод має особливості, а саме: швидкість, високу ефективність, можливість оброблення деталей, які не піддаються зміцненню іншими методами. Окрім того, суміщення ультразвукового з іншими методами зміцнення обробленням може підсилити ефективність їх використання. До переваг ультразвукового зміцнення необхідно також зарахувати можливість створення поверхневого, або об'ємного зміцнення, також їх комбінації. При цьому досягається вигідне розподілення внутрішніх напружень у метали і такий структурний стан, за якого вдається підвищити в два – три рази запас міцності деталей, які працюють в умовах дії змінних навантажень та істотно збільшити термін їх служби.

Ультразвуковим обробленням досягають підвищення мікротвердості до 180 %, глибини зміцненого шару до 1,5 мм та підвищення зносостійкості в 1,5–1,8 раза.

Суть *електроконтактного зміцнення* полягає в отриманні покриття із порошкових і компактних матеріалів на поверхнях деталей. Цього досягають наплавленням металічного порошку на ці поверхні внаслідок електроконтактного нагрівання порошку до температури плавлення.

Процеси електроконтактного зміцнення мають такі основні переваги: високу продуктивність і низьку енергоємність процесу нанесення покриття, мінімальну зону термічного впливу струму на деталь внаслідок малої довжини імпульсу нагрівання, відсутність необхідності у використанні захисної атмосфери з огляду короткотермінового термічного впливу на матеріал покриття і відсутність світлового випромінювання і газовиділення.

Проте широко застосовувати вказаний метод неможливо внаслідок відсутності систематичних досліджень і рекомендацій з розробки технологічних процесів. Це насамперед спостерігається дослідження процесів ущільнення і нагрівання порошкових шарів, а також методики вибору оптимальних технологічних параметрів процесу.

Встановлено, що нанесені електроконтактним методом порошкові покриття володіють високими фізико-механічними властивостями. Зносостійкість покриттів знаходиться на рівні сплавів, отриманих електродуговим наплавленням, істотно перевершуючи термічно оброблені вуглецеві і низьколеговані сталі.

Проте залишкові напруження розтягу, які утворюються при нанесенні покриттів, є одним із основних факторів, що знижують працездатність зміцнених деталей.

Товщина покриттів після електроконтактного зміцнення від десятків мікрометрів до декількох міліметрів. Зношування деталей зменшується у 2–5 разів.

Електроерозійне зміцнення використовують для покращання в заданому напрямку фізико-механічних властивостей металевих поверхонь: підвищення зносостійкості, корозійної стійкості, жаростійкості тощо. Основною перевагою електроерозійного зміцнення є можливість керування експлуатаційними властивостями покриття зміною фізико-хімічних і структурних характеристик електродних матеріалів.

До недоліків електроерозійного зміцнення необхідно зарахувати низьку продуктивність процесу. Обмежена продуктивність процесу електроерозійної обробки зумовлює специфіку його практичного використання – зміцнення невеликих по площі ділянок, тобто локальне нанесення покриттів.

Найбільше освоєними методами, що знаходять широке практичне застосування, є методи поверхневої пластичної деформації, термічні та хіміко-термічні.

Найпростішим та найдоступнішим в експлуатації є *термічний метод* зміцнення. Переваги методу – простота обладнання та легкість виконання операцій, мінімальне короблення і відсутність окислювання, можливість отримання однорідного шару з поступовою зміною твердості по глибині. До недоліків потрібно зарахувати труднощі з регулюванням товщини загартованого шару.

Нанесення покриттів методом хімічного осадження з газової фази забезпечує отримання тонких твердих шарів високої густини. Недоліком є вибухонебезпечність газової суміші, висока температура нагрівання поверхні деталі (1000–1200 °С), яка необхідна для розкладання газосумішей і утворення з'єднань.

У промисловості знаходить застосування зміцнення енергією вибуху бризантних вибухових речовин (ВР). Експериментальні і теоретичні дослідження показали, що зміцнення деталей без помітної зміни їх розмірів можна здійснювати детонацією заряду ВР в контакт з металом. Основна перевага вибухового методу полягає в тому, що приповерхневе зміцнення деталей складної форми здійснюється без застосування спеціального обладнання. До недоліків цього методу можна зарахувати: складність реалізації на практиці, підвищені вимоги до безпеки обслуговуючого персоналу.

Розповсюдженим і ефективним способом підвищення вантажної здатності металевих деталей машин, який переважно використовують як викінчувальну операцію, є *поверхнево-пластичне деформування* (ППД). Ці процеси відрізняються економічністю, доступністю і високою ефективністю.

Найбільший ефект зміцнення від застосування ППД досягають для циклічно навантажених деталей з конструктивними концентраторами напружень – галтели, виточки, різі, зубці, щіли – або експлуатаційними концентраторами – корозійні пошкодження, подряпини, надрізи тощо концентраторами напружень. ППД ефективне також для деталей, які під час експлуатації мають підвищене зношування, схоплювання і фретінг.

ППД шарів здійснюють за допомогою різних методів, що їх умовно можна розділити на дві групи. Перша група *статичні*, зумовлюють створення деформаційного зусилля від інструменту безперервним контактом з деталлю. До другої групи *динамічних* методів належать такі, при яких здійснюється ударна дія на деталь робочих тіл або інструменту.

Одним з різновидів ППД є метод впливу на поверхню тертям для відновлення і зміцнення деталей машин після механічної обробки. Сутність його полягає в тому, що деталь, закріплену у верстаті, зміцнюють диском, що швидко обертається із загартованої і низьковідпущеної сталі. Під час *фрикційно-зміцнювального оброблення* (ФЗО) відбувається імпульсне нагрівання приповерхневих шарів металу вище від температури фазових перетворень з одночасним пластичним деформуванням і швидким охолодженням мастильно-охолоджувальною рідиною (МОР), яка подається в зону тертя диска із зміцнювальним матеріалом.

Внаслідок ФЗО на поверхні деталей виникають структури білих шарів завтовшки 100–300 мкм з підвищеною мікротвердістю – 7–10 ГПа. Глибина зміцненого шару залежить від хімічного складу, структурного стану зміцнюваного матеріалу, режимів оброблення і інших факторів.

Вібраційні методи оброблення і відповідні машини і обладнання отримали за останній час в різних галузях народного господарства широке розповсюдження. Їх впровадження сприяє інтенсифікації різних процесів, підвищує рівень механізації і автоматизації багатьох працемістких робіт, сприяє вдосконаленню або розробці нових технологічних процесів, збільшує економічну ефективність і продуктивність праці.

Вібраційне оброблення в технології машинобудування є традиційним і прогресивним методом, можливості і сфера застосування якого ще не повністю виявлені.

Технологічні можливості цього методу у поєднанні з високою продуктивністю зміцнювальних операцій ставлять його в число найактуальніших і найперспективніших способів зміцнення деталей машин.

Вібраційне оброблення залежно від характеру застосовуваного робочого середовища являє собою механічний або хіміко-механічний процес знімання найдрібніших частинок металу і його окислів з оброблюваної поверхні, а також згладжування мікронерівностей шляхом їх пластичного деформування частинками робочого середовища, які здійснюють під час роботи коливальні рухи. Процес супроводжується послідовним нанесенням на поверхню оброблюваних деталей великої кількості мікроударів частинками робочого середовища при їх взаємному співударянні і ковзанні. Удари спричинені дією напрямлених вібрацій, які передаються робочій камері, в якій розміщені оброблювані деталі і робоче середовище.

Встановлено, що із збільшенням тривалості обробки та амплітуди коливань виникають залишкові напруження стиску та підвищується мікротвердість приповерхневого шару. Однак і амплітуда і тривалість обробки мають оптимальні значення, після яких показники якості погіршуються [2].

Основою вібраційного зміцнення є динамічний характер перебігу процесу, який забезпечує пластичне деформування приповерхневого шару, наслідком чого є підвищення мікротвердості, утворення стискаючих залишкових напружень першого роду і зменшення шорсткості поверхні. Вібраційне зміцнення дозволяє підвищити опір втомному руйнуванню і стійкість проти кавітаційної ерозії, а також забезпечує підвищення зносостійкості.

До прогресивних вібраційних технологій належить віброобкочування. Віброобкочування – новий спосіб зміцнювально-чистової обробки; характеризується великою деформаційною здатністю. Поверхневий шар оброблених деталей добре утримує змащувальний матеріал, має підвищену зносостійкість і опірність схоплюванню. Спосіб ефективний у разі обробки нежорстких деталей.

До переваг віброобкочування потрібно зарахувати велику кількість правильно орієнтованих лунок на поверхнях. На них утворюються кишеньки, які добре утримують змазку і слугують місцем зберігання відходів абразивного спрацювання, що забезпечує швидке припрацювання пар тертя і підвищує їх зносостійкість.

При вібраційному вигладжуванні інструменту крім подачі передається осцилюючий рух із заданою амплітудою [3]. На оброблюваній поверхні складається мікрорельєф у вигляді сітки каналів, рисунок якої може змінюватися при варіюванні режимів обробки: швидкості обертання деталі, подачі, частоти і амплітуди вібрацій. Змінюючи силу вигладжування, можна змінювати глибину каналів. Особливо доцільно віброобкочування застосовувати для деталей, поверхні тертя яких працюють в умовах недостатнього змащування.

Невід'ємними складовими більшості сучасних машин та механізмів є зубчасті колеса. Серед великого розмаїття існуючих типів передач найрозповсюдженішими є евольвентні зубчасті передачі. Істотним недоліком цих передач, попри їх найширше використання, є обмежена вантажна здатність. Наслідком цього є те, що евольвентні передачі використовують, переважно, як швидкісні, які передають обмежені за величиною обертові моменти та навантаження. В евольвентному зачепленні, крім того, існує тертя ковзання, що негативно впливає на працездатність, зменшуючи ресурс цих передач.

Окрім широкорозповсюджених методів зміцнення – оброблення деталей загальномашинобудівного призначення, для зміцнювально-викінчувального (“оздоблювального”) оброблення зубчастих коліс розроблено низку специфічних методів. Наприклад, в автомобільній промисловості для чистового викінчування та зміцнення робочих поверхонь коліс автотракторних трансмісій використовують силове обкочування твердосплавними колесами-обкатниками. Цей метод заміняє шевінгування, забезпечуючи вищу продуктивність, економію засобів та коштів, проте його недоліком є вимоги підвищеної жорсткості устаткування і спорядження, істотні втрати енергії. Окрім того, особливість течії металу на бокових поверхнях зубців внаслідок силової дії вимагає особливого модифікування профілів зубців на операції попереднього зубонарізання.

На кафедрі технології машинобудування Національного університету “Львівська політехніка” в теперішній час розробляється метод вібросилового зміцнювально-калібрувального обкочування (ВСКО), відмінність якого полягає в тому, що зубчасте колесо піддається силовому навантаженню в процесі обкочування з обкатником, якому додатково надають вібраційного осцилювання в радіальному напрямку. Обкатником слугує загартоване до твердості 59–61 HRC зубчасте колесо, виготовлене за 7 комплексним ступенем точності. Ширина обкатника повинна перевищувати ширину колеса, яке підлягає обробленню і зміцненню не менш, ніж на 0,25–0,5 значення модуля. Після 6–10 обертів шпинделя з обробним зубчастим колесом у прямому напрямку виконується така сама кількість обертів шпинделя у зворотному напрямку. Для оброблення та зміцнення коліс невисоких ступенів точності (9–10) замість обкатника можна використовувати парне зубчасте колесо.

Висновки. Проведений огляд і аналіз відомих методів зміцнювального оброблення деталей машин засвідчує, що одним із найекономічніших і найефективніших видів зміцнення є ППД, а особливо динамічні методи, які належать до методів механічної обробки. ППД дозволяє повніше реалізувати потенційні властивості конструкційних матеріалів у реальних деталях машин. Хоча більшість з цих методів володіють деякими недоліками, такими як незначна глибина зміцнення, приповерхнева мікротвердість, низька продуктивність тощо.

Перспективними для деталей класу зубчастих коліс є вібраційні технології зміцнювального оброблення, як такі, що володіють великою енергією деформування та дозволяють регулювати її в широких межах. Можливості вібраційного зміцнювального оброблення на сьогодні повністю не вивчені. Тому для усунення вищезгаданих недоліків, на нашу думку, перспективними є вібраційні, а особливо вібросилкові технології зміцнювального оброблення.

1. Полевой С.Н., Евдокимов В.Д. Упрочнение металлов: Справочник. – М.: Машиностроение, 1986. – 320 с. 2. Афтаназів І.С., Юрчишин І.І., Клименко О.Д. Вплив технологічних параметрів процесу ВВЗК на чистоту зміцненої бокової поверхні зубів // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: Зб. наук. пр. Донбаської держ. машинобудівної акад. – Краматорськ, 2003. – Вип. 14. – С. 106–118. 3. Афтаназів І.С., Струтинська Л.Р., Клименко О.Д. Ефективність зміцнення зубчастих коліс вібраційно-відцентровою зміцнювальною обробкою // Розвідка та розробка нафтових і газових копалин: Всеукр. щоквартальний наук.-техн. журн. – 2003. – № 2 (7). – С. 22–28.

УДК 621.9.048.6

М.М. Жук, А.Б. Білоус, Ю.Я. Ройко
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра транспортних технологій

ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ WMS В УПРАВЛІННІ СКЛАДСЬКИМИ ОПЕРАЦІЯМИ

© Жук М.М., Білоус А.Б., Ройко Ю.Я., 2007

Вибір і впровадження системи управління складом – тривалий навіть для невеликої компанії процес. У статті розглянуто принципи роботи і види WMS, а також особливості, на які необхідно звернути увагу під час її вибору.

Choice and introduction of the control composition system – long even for a small company process. Principles of work and types of WMS, and also features on which it is necessary to pay attention at its choice, are examined in this article.

Вступ. Робота системи управління складом ґрунтується на технології автоматичної ідентифікації, принципі адресного зберігання і дистанційному управлінні персоналом. Дистанційне управління персоналом відбувається за допомогою радіотерміналів і мобільних комп'ютерів. На екран радіотерміналу співробітник отримує поетапні індивідуальні завдання, автоматично сформовані системою або задані менеджером складу (див. рис. 1). Виконання завдання працівник підтверджує скануванням штрихкоду з етикеток, якими маркуються всі місця зберігання і товари, що надійшли на склад. При використанні RFID-технології (радіочастотної ідентифікації) виконання контролюється прочитуванням коду RF-мітки.

В цілях автоматизації процедур прийому, розміщення, зберігання, обробки і відвантаження продукції територію складу розбивають на зони по видах технологічних операцій. Це дозволяє упорядкувати роботу персоналу на різних ділянках і об'єктивно розподілити сфери відповідальності.