Афтаназів І. С.
д.т.н., професор

Топчій В. І.
к.т.н., доцент

Шевчук Л. І.
к.т.н., доцент

Строган О. І.
к.т.н., асистент

Національний університет «Львівська політехніка»

Aftanaziv I. S.

Topchiy V. I.

Shevchuk L. I.

Strogan O. I.

Lviv Polytecnic National University

УДК 621.19:41

ПРИСТРІЙ ДЛЯ ЗМІЦНЕННЯ ТОРСІОННИХ ВАЛІВ ТА ЦИЛІНДРИЧНИХ ДОВГОМІРНИХ ДЕТАЛЕЙ

Запропоновані оригінальні технологія та конструкція пристрою для зміцнення поверхневим пластичним деформуванням зовнішніх циліндричних поверхонь довгомірних деталей. Основою технології є ударна взаємодія оброблюваної поверхні довгомірної деталі із масивним ексцентрично встановленим на ній зміцнювачем, на робочій поверхні якого розташовані деформівні тіла. Для деталей із конструкційних сталей забезпечувана товщина залягання зміцненого прошарку матеріалу сягає 0,1 – 0,15 мм, у ньому формуються залишкові напруження стиску, що надійно протистоять знакозмінним циклічним експлуатаційним навантаженням. Технологія та конструкція зміцнювача придатні для обробки з метою підвищення надійності та довговічності півосей автомобільного та залізничного транспорту, торсіонних валів великотонажних транспортних засобів, у тому числі військових танків та самохідних артилерійських установок, бурових труб тощо.

Ключові слова: *сталь, зміцнення, напруження стиску, деформівні тіла.*

Вступ. Торсіонні вали у якості складової частини підвіски доволі широко використовують у великотонажних залізничних та автомобільних транспортних засобах, а також у військовій техніці, зокрема танках, самохідних артилерійських установках тощо. В умовах експлуатації, особливо військової техніки, ці деталі підвіски піддаються доволі інтенсивним ударним та динамічним циклічним знакозмінним навантаженням. Доволі складні умови експлуатації спричиняють зародження у поверхневих прошарках матеріалу торсіонних валів втомних мікротріщин, які по мірі збільшення їх кількості та розростання спричиняють руйнування валів. Як правило, руйнація торсіонних валів відбувається не в стані спокою, а при русі транспортного засобу, що може приводити до серйозних аварій із відчутними наслідками [1].

Без сумніву, в процесі виготовлення торсіонних валів конструктори та технологи враховують доволі складні умови експлуатації цих відповідальних деталей. Для їх виготовлення обирають вартісні високолеговані сталі типу конструкційної сталі 12ХН3А, у технологічний процес включають термічні зміцнювальні операції, покращення якості поверхні шліфуванням та поліруванням концентраторів напружень на відповідальних робочих поверхнях валів тощо. Однак усунути небезпеку втомного руйнування торсіонних валів технологічними методами не завжди вдається. Обумовлено це, як правило, тим, що всі вище вказані технологічні операції сприяють формуванню у верхніх поверхневих прошарках матеріалу валів технологічних напружень розтягу. Просумовуючись із теж розтягуючими експлуатаційними навантаженнями ці напруження сприяють руйнуванню поверхневого шару матеріалу у вигляді втомних мікротріщин, накопичення кількості котрих у кінцевому і обумовлює поперечний злам валів.

Зарадити даній ситуації могло б запровадження до технологічного процесу виготовлення валів зміцнювальних операцій, що забезпечували б формування у зовнішніх прошарках матеріалу валів стискаючих напружень. Наприклад, таких операцій як зміцнення поверхневим пластичним деформуванням, зокрема вібраційна зміцнювальна обробка, обдування поверхонь, де зосереджені концентратори експлуатаційних напружень, дробом, накатування радіусних переходів роликом тощо.

Така зміцнювальна обробка забезпечує утворення в поверхневому прошарку металу оброблюваних деталей залишкових напружень

стиску, формує в них поверхневий шар із підвищеною твердістю, покращує структуру металу в поверхневих його прошарках [2]. Якісне поверхневе пластичне деформування (ППД) циліндричних поверхонь торсіонних валів спроможне підвищити надійність та довговічність цих відповідальних деталей завдяки підвищенню опору металу знакозмінним циклічним навантаженням та зменшенню швидкості розростання втомних мікротріщин.

Проте особливості конструктивної будови таких специфічних деталей, як торсіонні вали, обумовлюють певні труднощі при використанні для їх зміцнення відомих методів. Це проявляється в тому, що зміцнювальні деформівні навантаження можуть призводити до надмірних прогинів та короблення оброблюваних деталей, що обумовлено їх незначною поперечною жорсткістю.

Аналіз літературних джерел і постановка проблеми. У минулому науковці-дослідники неодноразово намагались створити як технології, так і певні конструкції пристроїв для зміцнення довгомірних деталей, які за умови тих, чи інших незначних вдосконалень могли б бути застосованими і для зміцнення торсіонних валів. Так в Національному університеті «Львівська політехніка» було створено технологію вібраційного зміцнення ППД бурових обсадних труб електромагнітним зміцнювачем резонансного типу [5]. Даний зміцнювач оснащено ударною масою із закріпленими на ній деформівними елементами, коливною пружною системою та електроприводом. Після встановлення зміцнювача на зовнішній циліндричній оброблюваній поверхоні деталі та подачі напруги на обмотки котушок електромагнітів приводу ударна маса, завдяки пружній системі, набуває ударної взаємодії кульками деформівних елементів із оброблюваною поверхнею. Завдяки пружній системі, що з'єднує ударну масу із електроприводом, робота зміцнювача здійснюється у резонансному режимі при зведених до мінімуму енергозатратах. Рівномірність обробки по довжині деталі тут забезпечують переміщенням зміцнювача вздовж твірної оброблюваної поверхні. Певним обмеженням у використанні пристроїв даного типу для зміцнювальної обробки торсіонних валів є те, що змінні магнітні поля електромагнітів приводу доволі швидко нагрівають до високих температур обмотки котушок, провокуючи небезпеку короткого їх замикання. Тому тут неодмінна потреба у пристроях примусового охолодження електромагнітів приводу, що суттєво ускладнює та здорожує конструкцію в цілому.

У цьому ж НУ«Львівська політехніка» було розроблено технологію вібраційного зміцнення бурових штанг, виготовлених із конструкційної сталі 35, із метою підвищення їх опору скручуванню [4]. Довжина бурових штанг сягала 2 та 2,5м, їх робоча поверхня була шестигранного поперечного перерізу із діаметром описаного кола 50мм. При зміцнювальній обробці набір із шести рівномірно розміщених по колу бурових штанг розташовували у протяжному циліндричному контейнері вібраційної машини, контейнер якої було заповнено сталевими загартованими кульками діаметром 10 – 12,5 мм. У результаті зміцнювальної обробки забезпечували товщину залягання зміцненого шару на оброблюваних поверхнях в межах 0,05 -- 0,072мм та підвищення їх довговічності в середньому на 25 – 30 %. Проте, через великі енерговитрати на забезпечення коливних рухів великогабаритного масивного контейнера зміцнювальний процес тут надто вартісний, а через незначну забезпечувану товщину зміцненого прошарку матеріалу – малопридатний для торсіонних валів.

Отже залишається актуальною і у сьогоденні проблема створення ефективних технологічних методів та реалізуючих їх пристроїв для зміцнення поверхневим пластичним деформуванням зовнішніх циліндричних поверхонь довгомірних деталей, у тому числі і торсіонних валів.

Мета і задачі дослідження. Метою даного дослідження є розробка конструкції високопродуктивного зміцнювача для поверхневого пластичного деформування торсіонних валів, який завдяки значній енергії деформування забезпечуватиме формуванням у поверхневих прошарках зміцненого матеріалу залишкових напружень стиску високого градієнту, що у кінцевому сприятиме підвищенню надійності та довговічності цих та інших відповідальних довгомірних деталей.

До групи основних задач дослідження входили:

- розробка конструктивної схеми зміцнювача для зміцнення поверхневим пластичним деформуванням торсіонних валів та зовнішніх поверхонь циліндричних довгомірних деталей;
- створення математичних залежностей для визначення основних технологічних та конструктивних параметрів зміцнювача довгомірних деталей;
- встановлення основних конструктивних та технологічних параметрів зміцнювача

торсіонних валів, дослідження їх впливу на основні показники якості зміцнювальної обробки.

Виклад основного матеріалу дослідження. Ще у середині минулого століття у Ленінградському науково-дослідному інституті «Механобр» за участі провідного фахівця у галузі динаміки вібраційних систем проф. І.І. Блехмана було успішно втілено у практичне застосування ідею використання для корисних технологічних просторових переміщень виконавчого інструменту його інерційних сил, збурених вібрацією привідних елементів. Йдеться про створення у «Механобрі» вібраційних конічних дробарок. У цих оригінальних вібромеханізмах подрібнення породи здійснювалось масивним конусом, що приводився в планетарний обкочувальний рух по нерухомому конічному корпусу розташованим всередині нього дебалансним вібратором [6, 7]. Ці ж конструктивні підходи у подальшому не менш успішно було використано науковцями НДЛ-40 Національного університету «Львівська політехніка» при створенні ними оригінальної і високо ефективної вібраційно-відцентрової зміцнювальної обробки. Зміцнені на створених в НДЛ-40 вібромашинах із використанням цієї технології барабани та реборди коліс літаків із магнієвих та алюмінієвих сплавів за довговічністю вдвічі перевищували довговічність зміцнених накатуванням роликом за діючими на той час заводськими технологіями.

Цю ж ідею використання в якості джерела енергії деформування інерційних сил планетарного обкочувального руху масивного ударного тіла при контактуванні його із поверхнею оброблюваної деталі через незначну кількість деформівних елементів було закладено нами і у основу запропонованої конструкції зміцнювача довгомірних деталей, до кагорти яких належать і торсіонні вали.

На рис.1 відображена модель зміцнювача для поверхневого пластичного деформування торсіонних валів та зовнішніх поверхонь циліндричних довгомірних деталей. Принагідно можна відзначити, що дана оригінальна конструкція зміцнювача придатна і для зміцнювальної обробки будь-яких інших довгомірних деталей, наприклад бурових та обсадних труб, осей та циліндричних валів, труб високого тиску тощо.

Основними конструктивними елементами цього зміцнювача є встановлені на трубчастій основі два корпуси із приєднаними до них конічними зубчастими колесами приводу обертового руху, безпосередньо сам привід у вигляді електродвигуна, муфти та привідного конічного зубчастого колеса, а також з'єднані еластичними гофрами із обертовими корпусами циліндричні зміцнювачі із деформівними елементами у вигляді сталевих загартованих кульок високої твердості.

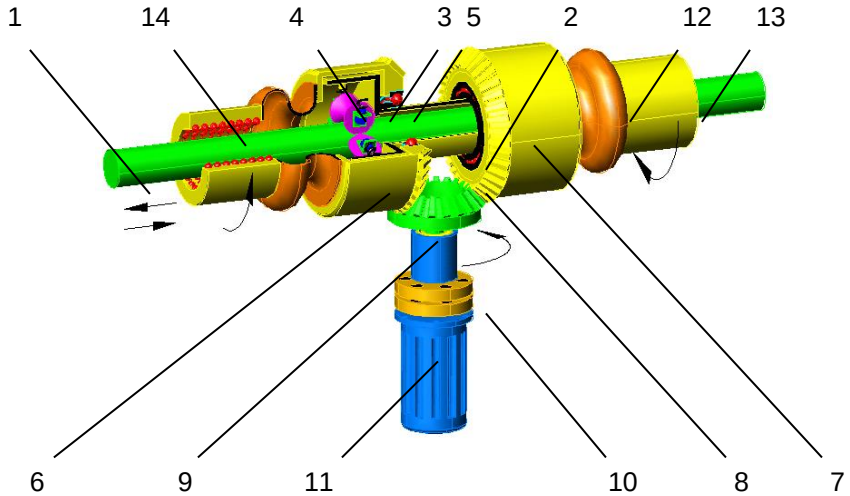

Рис. 1. Твердотільна модель зміцнювача для поверхневого зміцнення пластичневим деформуванням торсіонних валів та зовнішніх поверхонь циліндричних довгомірних деталей

Трубчаста циліндрична основа 2 базується на зміцнюваній поверхні оброблювальної деталі 1 за допомогою підпружинених пружинами 3 центрувальних роликів 4. На трубчастій основі 2 на підшипниках 5 розміщені співвісно геометричній осі оброблюваної деталі 1 два корпуси 6. На кожному із корпусів 6 жорстко закріплено по одному зубчастому вінцю конічного зубчастого колеса 7. Зубчасті вінці конічних зубчастих коліс 7 розташовані один навпроти другого. Вони мають спільну точку перетину осей їх зубчастих вінців і разом із введеною в зачеплення з ними привідною конічною

зубчастою шестернею 8 формують дві конічні передачі приводу. Таке розташування вінців конічних зубчастих коліс забезпечує обертання корпусів 6 у протилежних напрямках навколо оброблюваної деталі 1. Введена у зачеплення із зубчастими колесами 7 привідна конічна шестерня 8 закріплена в підшипниках на нерухомій основі 9, а її хвостовик валу через муфту 10 з'єднано із електродвигуном приводу 11, встановленим на нерухомій основі (на рис. 1 не відображена).

Зміцнювальний пристрій базується на оброблюваній деталі 1 за допомогою підпружинених пружинами 3 центрувальних роликів 4, які одночасно забезпечують і базування зміцнювача на поверхні деталі 1 (рис. 2).

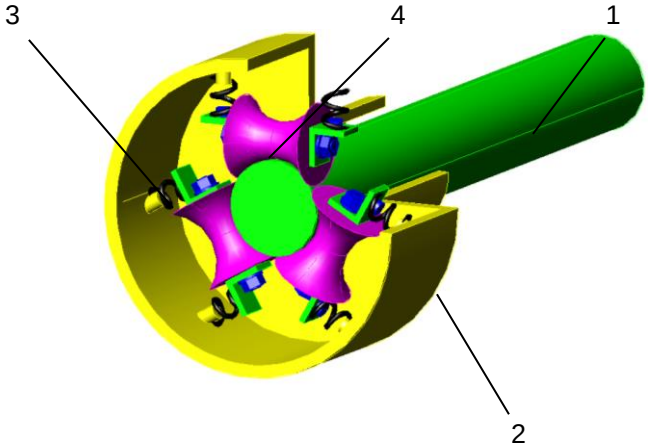

Рис. 2. Модель вузла центрувальних роликів

Виконавчим робочим інструментом даного пристрою є масивні циліндричні зміцнювачі 13, на внутрішній поверхні яких у сепараторних проточках закріплені з можливістю обертання навколо власної осі деформівні тіла 14 у вигляді сталевих загартованих кульок високої твердості (рис. 3). Циліндричні зміцнювачі 13 приєднано до кожного із двох корпусів 6 через еластичний пружний елемент 12, наприклад, гофрований гумовий сильфон. Таке виконання надає можливість зміцнювачам, окрім обертового руху із частотою, рівною частоті обертання корпусів 6, володіти ще і здатністю до радіальних просторових переміщень у напрямку до осі оброблюваної деталі 1.

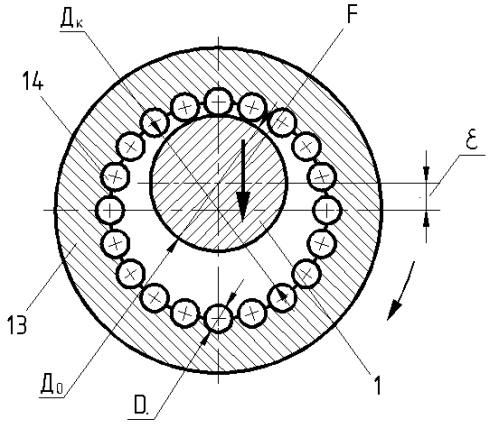

Рис. 3. Схематичний поперечний переріз зміцнювача 13 з деформівними сталевими кульками 14

Деформівні елементи у вигляді сталевих загартованих кульок 14 високої твердості встановлено із можливістю обертання навколо їх власних осей у сепараторних проточках на внутрішній поверхні циліндричних зміцнювачів 13 на діаметрі, рівному

$$Д_к = Д_о + \varepsilon + D, \qquad (1)$$

де $Д_о$ – діаметр оброблюваної поверхні деталі 1; ε – ексцентриситет зміцнювача 13 відносно геометричної осі оброблюваної поверхні деталі 1; D – діаметр деформівних тіл у вигляді сталевих кульок, який переважно обирають із співвідношення $D = (0{,}15 \div 0{,}20)\ Д_о$ із діапазону $D = 10 \div 15$ *мм*.

Циліндричні зміцнювачі 13 встановлено на оброблювальній деталі 1 вільно із можливістю його обертання навколо осі зміцнюваної поверхні із ексцентриситетом ε. На

рисунку 1 напрями обертання зміцнювачів 13 із деформівними тілами 14, привідної шестерні 8, а також осьових переміщень оброблюваної деталі 1 відображено стрілками.

Зміцнювальну обробку ППД зовнішньої циліндричної поверхні довгомірних деталей, у тому числі і торсіонних валів, на даному пристрої здійснюють наступним чином. Належний до зміцнювальної обробки торсіонний вал 1 вводять всередину зміцнювачів 13, пружних елементів 12 та основи 2, базуючи його оброблюваною зовнішньою циліндричною поверхнею між центрувальними роликами 4 (рис. 1). Після вмикання електродвигуна приводу 11 крутний момент та обертовий рух від його валу через муфту 10 передаються привідній конічній шестерні 8. Через зубчастий вінець обертання шестерні 8 передається зубчастим колесам 7, які обертаються при цьому у протилежних напрямах разом із корпусами 6 навколо оброблюваного торсіонного вала 1. Через пружні елементи 12 крутний момент передається зміцнювачам 13, що набувають при цьому обертового руху навколо зміцнюваної поверхні оброблюваного торсіонного валу 1.

Під дією відцентрових сил обертовий рух масивних зміцнювачів 13 навколо їх власних осей трансформується в обкочувальний рух зміцнювачів зафіксованими на їх внутрішній поверхні деформівними тілами 14 по зміцнюваній поверхні торсіонного вала 1. Цьому сприяє наявність ексцентрисистету *ε* зміцнювачів 13 відносно оброблюваної поверхні торсіонного вала 1. У процесі зміцнювальної обробки у будь-який проміжок часу зміцнювач 13 контактує із оброблюваною зовнішною поверхнею торсіонного вала 1 через незначну кількість деформівних тіл 14, що розміщені вздовж твірних внутрішньої поверхні зміцнювача 13 та оброблюваної поверхні. Завдяки наявності складного обкочувального руху зміцнювача 13, що одночасно включає і його обертання навколо власної геометричної осі, і радіальні переміщення відносно оброблюваної поверхні торсіонного вала 1, вступання в контакт із оброблюваною поверхнею вала 1 чергової групи розміщених вздовж твірної зміцнювача 13 деформівних тіл 14 відбувається з ударом (рисунок 3). При цьому на зміцнювач 13 діє відцентрова сила *F*, обертовий вектор дії якої направлений від центра маси зміцнювача і проходить перпендикулярно геометричним осям зміцнювача і оброблюваної поверхні (рисунок 3). Напрям дії цієї відцентрової сили відображено стрілкою із буквенним позначенням *F*, а її величина *F* пропорційна масі *m* та ексцентриситету ε зміцнювача і квадрату кругової частоти *n* його обкочувального руху і визначається із залежності

$$F = m \cdot \varepsilon \cdot \omega^2, \qquad (2)$$

де *ω=2Пn* – кругова частота обкочувального руху зміцнювача 13; *n* – частота обкочування зміцнювача 14 по оброблюваній зовнішній поверхні торсіонного вала 1; *ε* – ексцентриситет зміцнювача 13 відносно геометричної осі оброблюваної поверхні торсіонного вала 1; *m* – маса зміцнювача 13 із деформівними тілами 14.

Регламентуюча якість зміцнювальної обробки, а саме товщину залягання зміцненого прошарку матеріалу на обробленій поверхні та забезпечений тут рівень залишкових напружень, сила деформування, тобто сила удару, що припадає на кожне із деформівних тіл, пропорційна відцентровій силі *F*, що діє на обертовий зміцнювач 13, і обернено прпопорційна кількості *N* розташованих вздовж твірної зміцнювача деформівних тіл 14, тобто

$$F_y = \frac{F}{N} = \frac{m \cdot \varepsilon \cdot D \cdot \omega^2}{l}, \qquad (3)$$

де – довжина твірної циліндричної поверхні зміцнювача 13, на якій встановлено деформівні тіла 14.

У якості деформівних тіл 14 у даному пристрої використовують переважно сталеві загартовані кульки високої твердості. Тому ударна взаємодія деформівних тіл 14, із поверхнею оброблюваного вала 1, матеріал якого поступається по твердості сталевим кулькам, проявляється у формуванні в точках контакту кульок 14 із матеріалом оброблюваного вала 1 значних контактних напружень, під дією яких матеріал оброблюваної деталі пластично деформується, зміцнюється. Величину контактних напружень, що забезпечуються в місцях контакту із деформівними тілами 14 в приповерхневих прошарках матеріалу оброблюваної поверхні торсіонного вала 1 у результаті ударної взаємодії, визначають із залежності

$$\sigma_{кон} = \frac{F_y}{S} = \frac{10 \cdot m \cdot \varepsilon \cdot D \cdot n^2}{l \cdot d^2}, \qquad (4)$$

де $S = \frac{\Pi d^2}{4}$ – площа належного для забезпечення якісного зміцнення оброблюваної поверхні деталі залишкового відбитку після ударного контакту із деформівним сферичним тілом (кулькою 14); *d* – діаметр відбитка на оброблюваній поверхні від ударного контакту деформівного тіла 14 із торсіонним валом 1.

Якісна зміцнювальна обробка торсіонних валів із використанням даного зміцнювача забезпечується виключно завдяки динаміці зміцнювача 13, а саме забезпеченням робочого планетарного обкочувального руху зміцнювача 13 із деформівними тілами 14 та належного рівня сил *F* деформування матеріалу оброблюваної деталі. Своєю чергою це забезпечується частотою *n* обкочувального руху зміцнювача 13 та його ексцентриситетом *ε* відносно геометричної осі оброблюваної поверхні торсіонного вала 1. Величину цього ексцентриситету обирають із залежності

$$\varepsilon = \frac{\sigma_m \cdot d^2 \cdot l}{50 \cdot m \cdot D \cdot n^2} \quad , \qquad (5)$$

де σ_m – межа текучості матеріалу зміцнюваної деталі 1; *d* – діаметр належного для забезпечення якісного зміцнення оброблюваної поверхні торсіонного валу 1 залишкового відбитку на оброблюваній поверхні від ударного контакту деформівного тіла 14 із валом 1.

Приведені математичні залежності, що пов'язують якісні параметри зміцнювальної обробки із розмірами зміцнювального інструменту, надають підставу для виокремлення основних конструктивних та технологічних параметрів запропонованих зміцнювачів довгомірних деталей, включно із торсіонними валами.

До основних конструктивних параметрів зміцнювача тут можна віднести:

-- ексцентриситет *ε* зміцнювача;

-- кількість *N* та діаметр *D* облаштованих на зміцнювачі деформівних тіл.

Основними технологічними параметрами даного процесу зміцнення циліндричних зовнішніх поверхонь довгомірних деталей поверхневим пластичним деформуванням, що є визначальними для кінцевої якості зміцнювальної обробки, у даному процесі є:

-- сила F_y удару, що припадає на кожне із деформівних тіл, в основному залежна від маси *m* зміцнювача ;

-- частота *n* обкочування зміцнювача по зовнішній поверхні оброблюваної деталі;

-- швидкість осьового переміщення оброблюваної деталі відносно зміцнювача, або навпаки – зміцнювача відносно оброблюваної деталі;

-- кількість повторних переходів, тобто повторних переміщень зміцнювача вздовж твірної оброблюваної поверхні деталі.

Такий широкий спектр регулювальних параметрів при змінах їх у певних допустимих межах у кінцевому результаті забезпечує регулювання сили контактної взаємодії матеріалу оброблюваної деталі із деформівними тілами. А це, своєю чергою, надає можливість регулювання у широких межах якості зміцнювальної обробки, включно із такими її параметрами як товщину залягання зміцненого шару металу, градієнт та рівень залишкових напружень у поверхневих прошарках зміцненого матеріалу, а також тривалість та рівномірність обробки.

Так зміна таких конструктивних параметрів як маса *m* та ексцентриситет *ε* зміцнювача зумовлює зміну сили F_y ударної взаємодії зміцнювача із матеріалом оброблюваної деталі, а відповідно величину контактних напружень $\sigma_{кон}$, що формуються у поверхневому прошарку металу зміцнюваної деталі в місцях контакту із сферичними деформівними тілами. Реалізовується це доволі просто - кріпленням до зміцнювача 13 додаткових вантажів, що нарощує його масу, а відповідно, забезпечує збільшення відцентрової сили *F* та нерозривно пов'язаної із нею сили ударної взаємодії зміцнювача із матеріалом оброблюваної деталі 1. Повторними переміщеннями оброблюваної деталі 1 вздовж зміцнювального пристрою (чи навпаки), тобто повторними переходами, покращують рівномірність зміцнювальної обробки.

Розглянемо у якості прикладу методику визначення такого вагомого для динаміки даного зміцнювача параметра як його ексцентриситет *ε*. У якості зміцнюваної деталі розглянемо танковий торсіон із діаметром зовнішньої поверхні D_o*=65 мм,* виготовлений із легованої конструкційної сталі марки 12ХН3А із межею текучості матеріалу σ_m *=750МПа.* Зміцнювальній обробці підлягає його циліндрична зовнішня поверхня. Задана товщина зміцненого шару *h* оброблюваної поверхні танкового торсіона -- *h=0,15÷0,20 мм.*

Зогально відомо, що у процесі зміцнення сталевих деталей сферичними деформівними тілами поверхневим пластичним деформуванням товщина *h* залягання зміцненого шару металу корегується із діаметром відбитків *d* на оброблюваній поверхні залежністю *d=2h.* Тоді, у нашому випадку, діаметр належного для забезпечення заданої товщини зміцнення відбитку на зміцнюваній поверхні

$$d=2\cdot 0{,}2=0{,}4мм.$$

Враховуючи геометричні розміри оброблюваної деталі (танкового торсіона), призначають геометричні параметри зміцнювача та параметри обробки, а саме:

– діаметр деформівних тіл (сталевих загартованих кульок) -- *D=10мм*;

– довжина зміцнювача -- *l=0,5 м*;

– масса зміцнювача із деформівними тілами -- *m=30кг*;

– кількість деформівних тіл вздовж твірної зміцнювача -- *N=50 штук*;

– частота обкочування зміцнювача по зовнішній поверхні оброблюваної деталі -- *n=940 об/хв=16 1/с*.

Визначимо величину ексцентриситету *ε* зміцнювача, підставивши прийняті числові значення у залежність (5)

$$\varepsilon = \frac{\sigma_m \cdot d^2 \cdot l}{50 \cdot m \cdot D \cdot n^2} = \frac{750 \cdot 10^6 \cdot (0{,}4 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 0{,}5}{50 \cdot 30 \cdot 10 \cdot 10^{-3} \cdot 16^2} = 15{,}6 мм.$$

Отже, нами визначено основний геометричний параметр зміцнювача зовнішньої поверхні танкового торсіона - його ексцентриситет *ε* при заданих масі масі зміцнювача *m,* його довжині (розмір *l*) та кількості *N* і діаметру *D* деформівних тіл (сталевих кульок) відповідно. Аналогічно, конструктивно задавшись ексцентриситетом *ε* зміцнювача можна визначити його масу *m* та інші конструктивні параметри.

Експериментально досліджено вплив ексцентриситету *ε, мм* зміцнювача та його маси *m*, *кг* на такий визначальний для зміцнювальних обробок параметр як товщина залягання зміцненого шару *h, мм.* Дослідження проводили при зміцненні циліндричних зразків діаметром D_0*=65 мм* торсіонних валів із сталі 12ХН3А. Зміцнення зразків здійснювали на зміцнювачі запропонованої конструкції, а їх результати відображено на рис. 4. Для вимірювання товщини залягання зміцненого шару *h, мм* використовували методику вимірювання змін кристалічної гратки обробленого матеріалу на шліфах зміцнених зразків за допомогою приладу вимірювання мікротвердості моделі ПМТ-3.

Дослідження проводили при трьох фіксованих величинах ексцентриситету *ε* зміцнювача, а саме *ε = 10мм,ε = 15мм* та *ε = 20мм,* зміцнюючи величину маси *m*, *кг* в діапазоні *20 кг ≤ ε ≤ 40кг.*

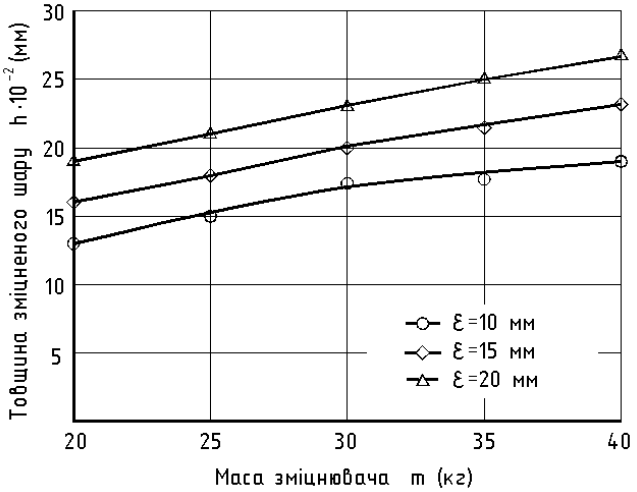

Рис. 4. Залежність товщини залягання зміцненого шару h (мм) від маси зміцнювача m (кг) при обробці циліндричних зразків (D_0=65мм) із конструкційної сталі 12ХН3А

У результаті даних експериментальних досліджень встановлено, що по мірі збільшення таких конструктивних параметрів зміцнювача, як ексцентриситет *ε, мм* та маса *m*, *кг,* товщина залягання зміцненого шару *h* у товщі зміцненого металу наростає. При цьому товщина залягання зміцненого шару *h* наростає, асимптотично наближаючись до максимальних значень. Також встановлено, що інтенсивність нарощування товщини залягання зміцненого шару по мірі збільшення ексцентриситету спадає, що свідчить про доцільність його обмеження в діапазоні *ε=12,5÷15 мм*. Це дає необхідні дані для оптимізації як конструктивних, так і технологічних параметрів даної зміцнювальної обробки. Так виявлено, що надмірне нарощування маси зміцнювача не забезпечує бажаного ефекту оскільки воно стрімко нарощує потужності електродвигуна приводу, що необхідні для надання зміцнювачу бажаного обкочувального руху, тобто до невиправданих енергозатрат.

Однак, встановлено, що не залежно від маси зміцнювача та його ексцентриситету при досяганні товщини зміцненого прошарку металу значень *0,17, мм ≤ h ≤ 0,20, мм* подальше нарощування сили ударної взаємодії зміцнювача із оброблюваною деталлю провокує перенаклепування матеріалу деталі. Перенаклепування матеріалу вкрай небажане, оскільки воно супроводжується його відшаровуванням від основної маси деталі, а також і слугує джерелами зародження

мікротріщин, нарощування кількості та розмірів яких провокує руйнування деталі.

Таким чином, дані експерименти підтвердили, що із зміною розмірів, а головне марки та властивостей металу зміцнюваних деталей, всі конструктивні та технологічні параметри запропонованого зміцнювача неодмінно підлягатимуть корегуванню експериментальною перевіркою. Це дає підставу для висновку що для конкретних різновидів зміцнюваного металу існує низка оптимальних значень не тільки сили *F* ударної взаємодії зміцнювача із оброблюваною деталлю, а і регламентуючих її таких основних конструктивних та технологічних параметрів зміцнювача як його маса, ексцентриситет і, незаперечно, кількість повторних переходів.

Зрозуміло, що із зміною розмірів, а головне марки та властивостей металу зміцнюваних деталей, всі конструктивні та технологічні параметри запропонованого зміцнювача неодмінно підлягатимуть корегуванню експериментальною перевіркою.

Проведені експериментальні дослідження підтверджують, що перевагою запропонованої технології зміцнення поверхневим пластичним деформуванням зовнішніх циліндричних поверхонь торсіонних валів, порівняно із відомими, є те, що завдяки ударній взаємодії масивного зміцнювача із зміцнюваною поверхнею забезпечуються вища, порівняно із відомими, ступінь зміцнення та значні в межах 0,15÷0,2 мм товщини залягання зміцненого прошарку матеріалу на цих сталевих деталях. При цьому, наявність значної кількості розміщених на масивному зміцнювачі деформівних тіл сприяє підвищенню продуктивності зміцнювальної обробки.

Незаперечною перевагою тут є і універсальність конструктивної схеми зміцнювального пристрою, яка дозволяє окрім торсіонних валів розповсюдити її і на інші різновиди довгомірних деталей. Адже запропоновані технологія та конструкція зміцнювача придатні для обробки з метою підвищення надійності та довговічності навантажених знакозмінними циклічними навантаженнями торсіонних валів великотоннажних транспортних засобів, у тому числі військових танків та самохідних артилерійських установок, півосей автомобільного та залізничного транспорту, бурових труб тощо.

Окрім цього, завдяки забезпечуваному зміцненням підвищенню міцності матеріалу, вони можуть використовуватися і для зменшення маси та матеріаловмістимості обсадних труб свердловин, труб високого тиску і подібних їм масивних довгомірних деталей, навантажених значними статичними навантаженнями.

Висновки

1. Створено принципово нову конструкцію пристрою для зміцнювальної обробки поверхневим пластичним деформуванням зовнішніх циліндричних поверхонь довгомірних деталей, у тому числі широко використовуваних у великотонажних транспортних засобах торсіонних валів. Запропонований зміцнювальний пристрій простий за конструктивною будовою, а його аналоги відсутні у світовій практиці зміцнювальних технологій та реалізуючого їх устаткування.

2. Розроблені математичні залежності для визначення величин забезпечуваних в процесі обробки контактних напружень в матеріалі оброблюваної деталі та основних конструктивних параметрів зміцнювача. Експериментально перевірено вплив маси *m, кг* та ексцентриситету *ε*, *мм* зміцнювача на показники якості зміцнювальної обробки.

3. Встановлено основні технологічні та конструктивні параметри зміцнення торсіонних валів, що мають визначальний вплив на силу ударної взаємодії зміцнювача з деформівними тілами із матеріалом оброблюваної деталі, а відповідно і на параметри та якість зміцнювальної обробки.

4. Встановлена наявність оптимальних значень сили ударної взаємодії зміцнювача із оброблюваною деталлю, яка залежна від властивостей зміцнюваного матеріалу. Надмірне нарощування сили ударної взаємодії зміцнювача із деталлю провокує перенаклепування зміцнюваного металу. Це свідчить про наявність оптимальних рівнів технологічних параметрів даного зміцнювального процесу, підтверджує потребу в їх оптимізації при зміні матеріалу оброблюваної деталі чи її розмірів.

5. Експериментально встановлено, що при обробці на запропонованому пристрої циліндричних зразків із конструкційної сталі 12ХН3А оптимальна забезпечувана товщина зміцнення знаходиться в межах 0,10÷0,20 мм.

6. Запропонована конструкція зміцнювача особливо ефективна для зміцнювальної обробки деталей, що в процесі експлуатації піддаються знакозмінним циклічним навантаженням, зокрема торсіонних валів великотоннажних автомобільних та залізничних транспортних засобів, у тому числі військових танків та самохідних артилерійських установок.

Список використаних джерел

1. Афтаназів І.С. та ін. Технологічні методи забезпечення надійності машин.- Київ: КИТ, 2004. –148с.
2. Афтаназів І.С. та ін. Підвищення надійності деталей машин поверхневим пластичним деформуванням. Житомир: ЖІТІ, 2001. – 516 с.
3. Mc. Cormick D. Shot peen gears for longer life. “Design Eng.”, 1981, 52, №7, С.49-52.
4. Заневский И.Ф. Динамика и расчет протяженных вибрационных машин для обработки длинномерных изделий. Автореферат дис. канд. тех. наук, Львов, 1980, -- с.
5. Патент України на винахід №51720. Афтаназів І.С., Кусий Я.М. Пристрій для зміцнення поверхонь довгомірних циліндричних деталей. Опубл. в Бюл. №12, 2002.
6. Иноуэ Дзюнкити, Ароки Йосиоки, Хаяси Сэцуко О самосинхронизации вибраторов. Часть 1. Вращение неуравновешенного ротора, зависящее от гармонических колебаний его оси. – Нихон Кикай гаккай роибуесю, 1966, 32, №234.
7. Блехман И.И. Синхронизация динамических систем. М., «Наука», 1971. –896с.
8. Афтаназив И.С. и др. Вибрационно-центробежная упрочняющая обработка деталей машин. Винница: ВГАУ, 2002. -- 235с.

Список джерел у транслітерації

1. Aftanaziv I.S. ta in. Tekhnolohichni metody zabezpechennya nadiynosti mashin.- Kyyiv: KYT, 2004. -148s.
2. Aftanaziv I.S. ta in. Pidvyshchennya nadiynosti detaley mashyn poverkhnevo plastychnym deformuvannyam. Zhytomyr: ZHITI, 2001. – 516 s.
3. Mc. Cormick D. Shot peen gears for longer life. "Design Eng.", 1981, 52, №7, S.49-52.
4. Zanevskiy I.F. Dinamika i raschet protyazhennykh vibratsionnykh mashin dlya obrabotki dlinnomernykh izdeliy. Dis. kand. tekh. nauk, L'vov, 1980 - s.
5. Patent Ukrayiny na Vynakhid №51720. Aftanaziv I.S., Kusyy YA.M. Prystriy dlya Zmitsnennya poverkhon' dovhomirnikh tsilindrichnikh detaley. Opubl. v Byul. №12, 2002.
6. Inoue Dzyunkity, arok Yosioky, Khayasi Setsuko V samosinkhronizatsii vibratorov. Chast 1. Vrashcheniye neuravnoveshennogo rotora, zavisyashcheye ot garmonicheskikh kolebaniy yego osi. - Nikhon Kika gakkay roibuyesyu, 1966, 32, №234.
7. Blekhmana I.I. Sinkhronizatsiya dinamicheskikh sistem. M., «Nauka», 1971. -896s.
8. Aftanaziv I.S. i dr. Vibratsionno-tsentrobezhnaya uprochnyayushchaya obrabotka detaley mashin. Vinnitsa: VGAU, 2002. - 235s.

УСТРОЙСТВО ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ ТОРСИОННИХ ВАЛОВ И ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЛИННОМЕРНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Аннотация. *Предложены оригинальные технология и конструкция устройства для упрочнения поверхностным пластическим деформированием внешних цилиндрических поверхностей длинномерных деталей. Основой технологии является ударное взаимодействие обрабатываемой поверхности длинномерной детали с массивным эксцентрически установленным на ней упрочнителем, на рабочей поверхности которого розположены деформирующие тела. Для деталей из конструкционных сталей обеспечиваемая толщина залегания упрочненного слоя материала достигает 0.1- 0.15мм, в нем формируются остаточные напряжения сжатия, которые надежно противостоят знакопеременным циклическим эксплуатационным нагрузкам. Технология и конструкция упрочнителя пригодны для обработки с целью повышения надежности и долговечности полуосей автомобильного и железнодорожного транспорта, торсионных валов крупнотоннажных транспортных средств, в том числе военных танков и самоходных артиллерийских установок, буровых труб и т.п.*

Ключевые слова: *сталь, упрочнение, напряжения сжатия, деформирующие тела.*

DEVICE FOR STRENGTHENING OF TORSION BILLOWSAND CYLINDRICAL LONG-LENGTH DETAILS

Annotation. *The proposed original technology and design of the device for strengthening the surface plastic deformation of the external cylindrical surfaces of long-length parts. The basis of technology is the shock interaction of the processed surface of a long-length component with a massive eccentrically installed on it a reinforcement, on the working surface of which there are deformable bodies. For details on structural steels, the thickness of the laying of the reinforced layer of material reaches 0.1-0.15 mm, forming residual stresses of compression, which reliably resist the alternating cyclic operating load. The technology and design of the reinforcement are suitable for processing in order to increase the reliability and durability of automobile and railroad semi-trailers, torsion shafts of large-scale vehicles, including military tanks and self-propelled artillery units, drill pipes,etc.*

Key words: *steel, strengthening, tension of clench, deformable bodies.*