



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 87006

(13) C2

(51) МПК (2009)

B24B 39/00

B06B 1/00

B24B 1/04

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) УЛЬТРАЗВУКОВИЙ ІНСТРУМЕНТ ДЛЯ ДЕФОРМАЦІЙНОГО ЗМІЦНЕННЯ І РЕЛАКСАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ

1

(21) а200706372

(22) 08.06.2007

(24) 10.06.2009

(46) 10.06.2009, Бюл.№ 11, 2009 р.

(72) ПРОКОПЕНКО ГЕОРГІЙ ІВАНОВИЧ, ЛУГОВСЬКИЙ ОЛЕКСАНДР ФЕДОРОВИЧ, ЧОРНИЙ ВАЛЕРІЙ ІВАНОВИЧ, МОВЧАНЮК АНДРІЙ ВАЛЕРІЙОВИЧ, КЛЕЙМАН ЯКОБ ІСАКОВИЧ, СА, КУДРЯВЦЕВ ЮРІЙ ФІЛІПОВИЧ, СА

(73) ПРОКОПЕНКО ГЕОРГІЙ ІВАНОВИЧ, ЛУГОВСЬКИЙ ОЛЕКСАНДР ФЕДОРОВИЧ, ЧОРНИЙ ВАЛЕРІЙ ІВАНОВИЧ, МОВЧАНЮК АНДРІЙ ВАЛЕРІЙОВИЧ, КЛЕЙМАН ЯКОБ ІСАКОВИЧ, СА, КУДРЯВЦЕВ ЮРІЙ ФІЛІПОВИЧ, СА

(56) UA 68264 C2, 15.07.2004

RU 2179919 C2, 27.02.2002

RU 2266805 C1, 27.12.2005

UA 9175 U, 15.09.2005

SU 472782, 29.09.1975

SU 1074705 A, 23.02.1984

GB 1143789, 26.02.1969

GB 1009161, 10.11.1965

(57) Ультразвуковий інструмент для деформаційного зміцнення і релаксаційної обробки металів, що містить корпус, в якому встановлений на напрямних ковзання металевий стакан, що з зазором охоплює ультразвуковий п'єзокерамічний перетворювач з трансформатором коливальної швидкості (ТКС), який вузловою площиною зв'язаний із крайкою стакану, куди прикріплена циліндрична насадка, що вмонтована коаксіально вихідному кінцю ТКС, на вільному кінці якої пружно зафіксована державка з ударними елементами, стопор у ви-

2

гляді штифта, розміщеного в поздовжньому пазу корпусу і встановленого на поверхні стакану, систему повітряного охолодження, датчик температури, при цьому стакан змонтовано з можливістю пружного осевого зворотно-поступального руху відносно корпусу, що реєструється датчиком, датчик включений в систему запуску генератора ультразвукових коливань, який відрізняється тим, що додатково в корпусі вмонтовано індикатор сили притиску ударних елементів у вигляді індикатора зміщення стопора, а датчик температури встановлений на ультразвуковому перетворювачі, в дні стакану виконано отвір для подачі повітря, а в ТКС - наскрізні отвори, що з'єднують порожнину стакану із простором між вихідним кінцем ТКС і насадкою, державку перфоровано отворами в бік поверхні, що обробляється, ультразвуковий перетворювач з ТКС в об'ємі стакану мають теплообмінну поверхню у вигляді ребер, висота яких менша зазору між стаканом і ультразвуковим перетворювачем з ТКС, вихідний торець останнього і вихідні торці ударних елементів виконано твердосплавними, наприклад з твердосплавним покриттям, по відношенню до матеріалу поверхонь, з якими вони контактують, датчик зворотно-поступального руху виконаний магнітним і встановлений в стакані із немагнітного матеріалу, а магніт закріплений в корпусі, між крайкою стакану і повернутим до неї торцем корпусу встановлено пружину стиснення, розміщену в пневмокамері, яка створена циліндричними поверхнями корпусу і стакану і з'єднана із зовнішнім середовищем через демпферну щілину.

Винахід відноситься до області технологічного використання енергії ультразвукових коливань і може бути застосований в машинобудівній, суднобудівній та інших галузях промисловості, зокрема для деформаційного зміцнення і релаксаційної обробки металевих поверхонь і зварювальних

швів, відповідальних конструкцій, що працюють в умовах вібраційного навантаження.

Поверхнєве зміцнення металевих виробів і зварних швів, як заключна технологічна операція, значно збільшує працездатність деталей машин, підвищує їх якість і строк служби. На сьогоднішній день значне поширення отримали методи поверх-

(19) UA (11) 87006 (13) C2

невої обробки з допомогою пластичної деформації, такі як обробка кульками, роликками, дробеструменевий наклеп, віброобкатування та інші. Знаючи підвищився інтерес до високоенергетичних видів обробки поверхні, до яких відноситься і поверхневе зміцнення з допомогою ультразвукових коливань. Результати випробувань і практика експлуатації показують, що при обробці металів і особливо високоміцних матеріалів, ультразвуковий спосіб є достатньо ефективним. З його допомогою вдалося добитися суттєвого підвищення механічних властивостей конструкційних матеріалів, особливо втомної міцності і зносостійкості. В свою чергу, продуктивність і якість процесу ультразвукової обробки, зручності в роботі в значній мірі залежить від конструкції ультразвукового інструменту.

Відомий ультразвуковий обробний інструмент (патент Росії №2266805 С1, МПК В24В 39/00, 2005) що містить акустичну систему, в склад якої входять магнітострикційний перетворювач і жорстко з'єднаний з ним трансформатор коливальної швидкості (ТКС), розміщені в корпусі, оснащеному системою охолодження, в якому встановлена на одній осі з акустичною системою пружина з можливістю виявляти на неї прижимну дію на оброблювальний об'єкт, індентор, виконаний у вигляді стакану з наскрізними отворами в торці, в яких встановлені з можливістю зворотнопоступального руху стрижні з потовщеннями, причому потовщення стрижнів розміщені між торцем стакану і випромінюючою поверхнею. Згідно винаходу ТКС жорстко з'єднаний з циліндричним хвилеводом-подовжувачем, довжина якого кратна $\lambda/2$, де λ - довжина повздовжньої хвилі в матеріалі хвилеводу, в вузловій частині його виконана проточка, в якій встановлені кульки з можливістю крутильного переміщення навколо своєї осі, на яких розміщені стінки стакану, переміщення якого вздовж хвилеводу в бік розміщення стрижнів обмежено рівнем розміщення кульок. Також у відомому пристрої згідно винаходу хвилевід-подовжувач виконаний із загартованої сталі, а система охолодження виконана в виді бачка, оснащеного підводом і відводом охолоджуючої рідини, закріпленого гайкою на ТКС в його вузловій області.

У відомому пристрої в якості ультразвукового перетворювача використаний магнітострикційний перетворювач, який має більш ніж у два рази менший ККД ніж п'єзоелектричний перетворювач і вимагає використання рідинної системи охолодження, що знижує надійність, додає ваги, створює додаткове джерело кавітаційних шумів.

Використання сталюого циліндричного хвилеводу-подовжувача збільшує вагу пристрою, збільшує акустичні втрати із-за додаткового різьбового з'єднання з ТКС. Строк служби інструменту невеликий із-за обмеженої міцності загартованої сталі хвилеводу, що призводить до його руйнування такими ж загартованими стрижнями-ударниками, особливо при обробці твердосплавних поверхонь.

Відомий віброударний інструмент з ультразвуковим збудженням (патент Росії №2179919 С2, МПК В25Д 9/14, В06В 1/08, В06В 1/12, В24В 39/04, 2000), що містить корпус, еластичні віброзахисні

прокладки, джерело збудження, що складається із магнітострикційного перетворювача і хвилевідного трансформатора, розміщене в корпусі з можливістю зворотно-поступального руху відносно нього, а також обойму з бойками, що встановлена співвісно з хвилевідним трансформатором і системою охолодження, згідно винаходу система охолодження повітряна, а джерело збудження закріплене у втулці, що встановлена на зв'язані з корпусом напрямники ковзання, при цьому між зовнішньою поверхнею втулки і внутрішньої поверхні корпусу є зазор.

У відомому пристрої використання повітряної системи охолодження для відводу великої кількості тепла від магнітостриктора без теплообмінної поверхні знижує її ефективність, а за відсутності датчика температури може привести до перегріву і поломки інструменту, друге джерело тепла, обойма з бойками, що сильно нагрівається під час роботи, взагалі не піддається примусовому охолодженню, тому воно додатково нагріває джерело збудження і може привести до опіків оператора. Іншим недоліком відомого пристрою є його недовговічність, яка викликана руйнівною дією поверхні, що обробляється, на бойки, а ті в свою чергу руйнують випромінюючу поверхню хвилевідного трансформатора. Відсутність індикатора притиску бойків до поверхні, що обробляється і складна нестабільна система притиску із пружини і стисненого повітря приводять до нестабільності ультразвукової віброударної обробки (УВО).

Найбільш близьким до запропонованого пристрою по сукупності ознак і технічному результату є ультразвуковий інструмент для деформаційного зміцнення і релаксаційної обробки металів (Патент України №68264, МПК В24В 39/00, В06В 1/06, 2007), що містить корпус з захисним чохлом і кришкою, в якому встановлений ультразвуковий перетворювач, з'єднаний з ТКС, який оснащений віброізоляційним ущільненням і має співвісну їм пневмокамеру, а також державку з ударними елементами, при цьому ультразвуковий перетворювач змонтовано з можливістю осьового зворотнопоступального руху і взаємодії з пневмокамерою, згідно винаходу в корпусі додатково вмонтовані датчики осьового зворотнопоступального руху ультразвукового перетворювача і його температури, які включені в систему запуску генератора ультразвукових коливань, на корпусі також закріплена ручка з еластичним чохлом і з можливістю повороту навколо осі корпусу, додатково на напрямниках ковзання металевий стакан, який охоплює ультразвуковий перетворювач із трансформатором коливальної швидкості (ТКС), останній вузловою площиною через віброізоляційне ущільнення зв'язаний з крайкою стакану, куди також прикріплена циліндрична насадка, встановлена коаксіально вихідному кінцю ТКС, в якому виконана порожнина, замкнена з боку ударних елементів, а державка закріплена на вільному кінці насадки з можливістю повороту навколо її осі і швидкого зняття, при цьому пневмокамера виконана в виді порожнини між кришкою і дном стакану, ультразвуковий перетворювач - у вигляді складеного п'єзокерамічного.

Відомий інструмент має малоефективну систему охолодження: нагрітий, без розвиненої теплообмінної поверхні ультразвуковий перетворювач розміщений в герметичному металевому стакані, який тільки малою зовнішньою поверхнею віддає тепло за рахунок конвекції атмосферного повітря. Нагріта державка з ударниками також охолоджується тільки за рахунок малоефективної природної конвекції повітря. Розміщення температурного датчика на дні стакану приводить до похибки в вимірюванні температури ультразвукового перетворювача, тому інструмент при тривалій інтенсивній роботі може перегрітися і вийти із ладу.

Використання оптичного датчика з шторкою в якості датчика зворотно-поступального руху приводить до збоїв в його роботі при експлуатації інструмента в умовах вібрації, ударів, впливу пилу і вологості.

Ударники під час роботи руйнують вихідний кінець ТКШ, що зменшує строк служби інструменту. Встановлення пружини зворотно-поступального руху в пневмокамері між дном стакану і кришкою корпусу в місці підводу проводів до датчиків температури, зворотно-поступального руху, і ультразвукового перетворювача може викликати обрив проводів при їх інтенсивних згинальних деформаціях.

В основу запропонованого винаходу поставлена задача вдосконалення відомого ультразвукового інструменту для деформаційного зміцнення і релаксаційної обробки металів шляхом зменшення нагріву ультразвукового перетворювача і нагрітих конструктивних елементів за рахунок підвищення ефективності примусового повітряного охолодження і достовірності контролю температури за найбільш критичним до нагріву конструктивним елементом - ультразвуковим перетворювачем, а також зменшення руйнівної дії поверхні, що обробляється, на інструмент. Це дасть можливість збільшити ефективність УВО, підвищити надійність, строк служби інструменту, безпеку і зручність при його експлуатації.

Для вирішення поставленої задачі в ультразвуковому інструменті для деформаційного зміцнення і релаксаційної обробки металів, що містить корпус, в якому встановлений на напрямниках ковзання металевий стакан, що з зазором охоплює ультразвуковий п'єзокерамічний перетворювач з ТКШ, який вузловою площиною зв'язаний із крайкою стакану, куди прикріплена циліндрична насадка, вмонтована коаксіально вихідному кінцю ТКШ, на вільному кінці якої пружно зафіксована державка з ударними елементами стопор у вигляді штифта, розміщеного у поздовжньому пазі корпусу і встановленого на поверхні стакану, систему повітряного охолодження, датчик температури, при цьому стакан змонтовано з можливістю пружного осьового зворотно-поступального руху відносно корпусу, що реєструється датчиком, датчики включені в систему запуску генератора ультразвукових коливань, згідно винаходу додатково в корпусі вмонтовано індикатор сили притиску ударних елементів у вигляді індикатора зміщення стопора, а датчик температури встановлений на ультразвуковому перетворювачі, в дні стакану виконано

отвір для подачі повітря, а в ТКШ - наскрізні отвори, що з'єднують порожнину стакану із простором між вихідним кінцем ТКШ і насадкою, державку перфоровано отворами в бік поверхні, що обробляється, ультразвуковий перетворювач і ТКШ в об'ємі стакану мають теплообмінну поверхню у вигляді ребер, висота яких менша зазору між стаканом і ультразвуковим перетворювачем з ТКШ, вихідний торець останнього і вихідні торці ударних елементів виконано твердосплавними, наприклад, з твердосплавним покриттям, по відношенню до матеріалу поверхонь з якими вони контактують, датчик зворотно-поступального руху виконаний у вигляді магнітного встановленого в стакані із немагнітного матеріалу, а магніт закріплений в корпусі, між крайкою стакану і повернутим до неї торцем корпусу встановлено пружину стиснення, розміщену в пневмокамері, утвореній циліндричними поверхнями корпусу і стакану і з'єднаний із зовнішнім середовищем через демпферну щілину.

Для підвищення ефективності охолодження ультразвукового перетворювача використовується його примусове охолодження. Холодне повітря через штуцер в дні стакану попадає в його внутрішню порожнину, проходить в зазорі між тепловіддаючими ребрами п'єзокерамічного перетворювача, охолоджуючи їх, потім через наскрізні отвори в ТКШ попадає в порожнину насадки і державки, через отвори в останній виходить в навколишній простір, забираючи також тепло від нагрітих ударників і насадки. Велика теплообмінна бічна поверхня п'єзоперетворювача і перфорация в державці забезпечують ефективну тепловіддачу. Закріплення термодатчика безпосередньо на частотнопонижаючій накладці п'єзокерамічного перетворювача підвищить достовірність інформації про температуру чутливих до перегріву п'єзокерамічних шайб.

Тому гарантується відключення ультразвукового генератора інструменту при нагріві п'єзошайб до заданої температури в умовах екстремальної експлуатації. Наступний запуск інструменту можливий тільки після зниження температури п'єзошайб до допустимої, що підвищує надійність його роботи.

Датчик зміщення ультразвукового перетворювача відносно корпусу який включає ультразвуковий генератор тільки після надійного контакту ударників із поверхнею зони обробки і автоматично вимикає після зняття сили мінімального притиску ударників виконано в виді магнітного (датчика Хола). Він поміщений в герметичний стакан із нержавіючої сталі і взаємодіє через його стінки із магнітом що закріплений на корпусі. Така конструкція підвищує надійність його спрацювання, тому зменшується ризик роботи перетворювача на холостому ході і відповідно його перегріву.

Виконання вихідного торця ТКШ твердосплавним різко зменшує руйнівну дію ударників на випромінюючу поверхню, і збільшує строк служби інструменту. Таке ж покриття на сферичній поверхні ударних елементів, яка контактує із поверхнею обробки також збільшує ресурс роботи інструменту, покращує якість УВО (сферична поверхня довго не стирається, що дозволяє проводити точкове співударення із металевою поверхнею, це стабілізує

зує ступінь деформації металу), зменшує простий інструменту на заміну ударників. Пружний осьовий зворотно-поступальний рух ультразвукового перетворювача відносно корпусу забезпечує притиск ударників до поверхні, що обробляється. Від сили притиску при постійній амплітуді вібрацій перетворювача залежить ступінь пластичної деформації металевої поверхні, тому контроль сили притиску по ступені пружної деформації (зміщення стопорного штифта відносно корпусу) по індикатору зміщення дає можливість контролювати якість УВО, змінювати її ступінь.

Вібрації, що виникають при обробці виробів гасяться за рахунок амортизатора, фізично представленого пружністю пружини і повітря, що знаходиться в середині пневмокамери. Роль елемента тертя при зворотно-поступальному русі виконують напрямними ковзання (як і в прототипі), додатково використані демпфуючі властивості повітря (в'язкість) при його витісненні із пневмокамери через демпферну щілину або втягуванні, що зменшує вібраційний вплив на оператора.

Сутність винаходу пояснюється малюнками, де на Фіг.1 показаний запропонований ультразвуковий інструмент в розрізі, на Фіг.2 - вид з боку штифта (вид А).

Ультразвуковий інструмент для деформаційного зміщення і релаксації обробки металів містить ультразвуковий складений п'єзокерамічний перетворювач 1, що складається з двох п'єзокерамічних шайб 2, стиснутих при допомозі стяжної шпильки 3 між частотознижувальною накладкою 4 і лінійно-ступінчастим ТКШ 5, виготовленим, наприклад, із титанового сплаву, який має вихідний кінець 6 іншого діаметру. Ультразвуковий перетворювач 1 з трансформатором коливальної швидкості (ТКШ) 5 встановлений з зазором в герметичний стакан 7 із нержавіючої сталі так, що його крайка 8 зв'язана з вузловою площиною ТКШ 5 через віброізоляційне ущільнення 9. До крайки 8 прикріплена (опресована) своїм торцем циліндрична насадка 10, яка розміщена коаксіально вихідному кінцю 6 ТКШ. На вихідному кінці насадки 10 встановлена державка 11 у формі стакану з можливістю повороту навколо її осі. На зовнішній поверхні державки 11 є сферичні впадини 12 куди заходить шарик 13 радіально притиснутий циліндричною пружиною 14, для осьової фіксації державки. В отвори вихідного торця державки 11 поміщені ударні елементи 15, що мають проти випадання із них потовщення з боку вихідного кінця 6 ТКШ. Стакан 7 встановлений із зазором в корпус 16 на двох напрямниках ковзання 17, виготовлених, наприклад, із текстоліту. Пневмокамера 18 утворена внутрішньою поверхнею корпусу 16, зовнішньою поверхнею стакану 7, напрямником 17 і з'єднана із зовнішнім середовищем через демпферну щілину 19. Пружина стиснення 20 розміщена в пневмокамері 18 між крайкою 8 і виступом 21 корпусу. Для запобігання випадання стакану 7 із корпусу 16 на ньому закріплений стопор виконаний у вигляді штифта 22 який може рухатися в повздовжньому пазі 23 корпусу. В герметичний стакан 7 вмонтовано магнітний датчик 24 (наприклад датчик Хола) його осьового зворотно-поступального

руху, що взаємодіє із магнітом 25, розміщеним навпроти нього в корпусі 16. Датчик температури 26 ультразвукового перетворювача закріплений на торці частотознижувальної накладки 4. Через герметичне ущільнення в дні 27 в стакан 7 заводиться кабель 28 одним кінцем з'єднаний з ультразвуковим генератором (не показаний), а другим - з електродами п'єзокерамічних шайб 2. Магнітний датчик 24 і датчик температури 26 підключені проводами кабелю 28 до системи запуску ультразвукового генератора.

До корпусу 16 прикріплена рукоятка 29, на них одягнуті еластичні трубки (наприклад із пористої гуми) відповідно 30 і 31. Ступінь зміщення штифта 22 в пазі 23 корпусу відображається на індикаторі 32 (Фіг.2) у вигляді лінійки або планки, що має різнокольорові зони (наприклад, зелену, жовту, червону). В дні 27 стакану встановлено штуцер 33 для подачі охолоджуючого повітря, накладка 4 і ТКШ 5 мають розвинену теплообмінну поверхню у вигляді ребер 34. Висота останніх більша ніж зазор між ними і стаканом, це направляє майже все охолоджуюче повітря між ребрами, що підвищить тепловіддачу. Порожнина стакану 7 з'єднується отворами 35 в ТКШ із простором між концентрично розміщеними вихідним кінцем 6 ТКШ і насадкою 10, а в державці 11 виконані отвори 36 вздовж ударних елементів 15 в напрямку поверхні обробки для виходу охолоджуючого повітря в атмосферу. Вихідний торець 37 ТКШ 5 виконаний у вигляді твердосплавного (наприклад, напаяна пластина із сплаву ВК-6) або має твердосплавне покриття (обробку). Ударні елементи 15 на сферичних поверхнях, які контактують з поверхнею, що обробляється також мають твердосплавне покриття або обробку.

Ультразвуковий інструмент працює наступним чином. Після подачі охолоджуючого повітря, яке поступає в інструмент через систему охолодження, що складається з штуцера 33, каналів між охолоджуючими ребрами 34, наскрізних отворів 35, отворів 36 в державці і виходить із нього в напрямку поверхні обробки. Ударні елементи 15 перед початком обробки вводять в механічний контакт з металевою поверхнею, що буде оброблятися. Натиском через рукоятку 29 добираються осьового зміщення стакану 7 відносно корпусу 16 (3-5мм) поки магнітний датчик 24, що закріплений на його дні 27 не попаде в зону дії магніту 25, і не запустить ультразвуковий генератор. Останній подає напругу резонансної частоти на ультразвуковий п'єзокерамічний перетворювач 1, яка збуджує в ньому повздовжні ультразвукові пружні механічні коливання. ТКШ 5 збільшує амплітуду коливань на вихідному торці 37 (до 30мкм приблизно). Ударні елементи 15 що знаходяться в контакті з ним, також починають із-за ударної взаємодії робити коливання, рухаючись в отворах державки 11. При цьому кінетична енергія, отримана ударними елементами 15 від ультразвукового перетворювача, витрачається на деформування поверхні і на її пружний відскок назад. Інструмент притискається до поверхні із зусиллям 40-60Н, пружина 20 деформується, на відповідну відстань зміщується штифт 22 в пазі 23. Величина зміщення відповідно

- притиску ударних елементів 15 відображається на індикаторі 32, що має метричну шкалу і може контролюватися оператором. Повітря в пневмокамері 18 під час стиску пружини також стискається і починає виходити через демпферну щілину 19. Інструменту надають поступальний рух в напрямі перпендикулярному його осі і обробляють виріб, охоплюючи всю необхідну поверхню.

Втрати, що виникають в п'єзокерамічному ультразвуковому перетворювачі, нагрівають його. За рахунок великої теплообмінної поверхні ребер 34 тепло відводиться повітрям системи охолодження в навколишнє середовище, попутно охолоджуються ударні елементи 15, державка 11 найбільше через отвори 36 і поверхня, що обробляється. Перепад тиску повітря між порожниною державки 11 і зовнішнім середовищем запобігає попаданню продуктів УВО (окалина, іржа, бруд і т.п.) в отвори державки, особливо робочі, де знаходяться ударні елементи. У випадках експлуатації при підвищених зовнішніх температурах і можливих порушеннях технологічного режиму, коли температура п'єзокерамічних шайб 2 може досягнути критичного значення, передбачено постійний контроль температури датчиком 26 і відключення ультразвукового генератора при нагріві перетворювача до заданої температури.

Вібрації (низько і високочастотні), що виникають в інструменті при обробці виробів гасяться віброізоляційним ущільненням 9 в площині вузла коливальних зміщень ТКШ 5, потім за рахунок зворотного-поступального фрикційного руху стакан 7 в напрямниках ковзання 17, амортизації пружиною 20 і повітрям в пневмокамері 18, і далі - в в'язкість повітря, що виходить із пневмокамери через демпферну щілину 19. Зниження вібраційних навантажень на оператора також обумовлене віброізоляційними властивостями еластичних трубок 30, 31. Такий багатоступінчастий захист (із викорис-

танням різних фізичних факторів: пружності, тертя, в'язкості) від дії вібрацій дозволяє добитися зниження їх рівня до величин, що значно нижчі допустимих. Можливість повороту державки 11 з ударними елементами навколо осі зменшує знос торця 37 ТКШ, а можливість швидкого зйому державки разом з ударними елементами підвищує зручність в роботі з інструментом.

Використання ефективного відводу тепла від нагрітого п'єзокерамічного перетворювача з контролем його температури і охолодження головки з ударними елементами підвищить надійність інструменту і безпеку при експлуатації, а збереження робочого стану торця ТКШ подовжує строк служби інструменту. Багатоступінчаста система віброзахисту знижує рівень вібрації при всіх режимах віброударної обробки. Контроль сили притиску ударних елементів і збільшення ресурсу вихідних торців ударних елементів підвищує якість УВО. Швидка заміна ударних елементів, спеціальна конструкція датчика зворотного-поступального руху підвищує надійність і зручність в експлуатації інструменту.

Наприклад, був виготовлений запропонований пристрій, який мав підвищену амплітуду коливальних (до 30мкм), робочу частоту 22кГц і споживав до 400Вт потужності. При використанні примусового повітряного охолодження ультразвуковий перетворювач, державка з ударними елементами мали допустиму температуру. Час збереження робочого стану торця ТКШ під час обробки сталей середньої міцності збільшився в 3-4 рази. Вібрації і удари, які виникали під час обробки металевих поверхонь, гасилися системою віброізоляції, що забезпечило довготермінову і безпечну роботу оператора. За рахунок збереження робочого стану торця ТКШ і вихідних торців ударних елементів підвищилася ефективність впливу на поверхню обробки, що скоротило час її обробки на 20-30%.

