

1. Ряховский О.А. Справочник по муфтам / Ряховский О.А., Иванов С.С. – Л.: Политехника, 1991. – 384 с. 2. Павлице В.Т. Основы конструирования та розрахунок деталей машин / Павлице В.Т. – К.: Вища школа, 1993. – 556 с. 3. Малащенко В. Навантаження півмуфт кулькової муфти вільного ходу зосередженою осьовою силою / Малащенко В., Сороківський О. Всеукраїнський науково-технічний журнал “Машинознавство”. № 7 (61). – Львів: МПП „ВМС”, 2002. – С. 46–48. 4. Позитивне рішення на видачу деклараційного патенту України № 201101266 за заявкою “Універсальний гвинтовий змішувач” на корисну модель за результатами формальної експертизи. Любачівський Р.О. та інші; від 04.07. 2011 р. Укрпатенту.

УДК 621.787

В.І. ГУРЕЙ

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ВПЛИВ УДАРНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ГЕОМЕТРІЮ ПОВЕРХНІ ПРИ ФРИКЦІЙНОМУ ЗМІЦНЕННІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

© Гурей В.І., 2011

Досліджено геометричні параметри оброблених поверхонь після фрикційного зміцнення інструментом з поперечними пазами на робочій частині. В разі використання інструменту з нарізаними поперечними пазами на робочій частині під час фрикційного зміцнення у зоні контакту інструмент-деталь виникають додаткові ударні навантаження. При цьому покращуються геометричні параметри, а саме зменшується шорсткість та хвилястість обробленої поверхні, збільшується несуча здатність зміцненої поверхні.

The geometrical parameters of the treated surfaces are investigational after the friction strengthening by an instrument with transversal slots on working part. Additional impact loading is arise in the zone of contact an instrument-detail during the friction strengthening at the use the instrument with the transversal slots on working part. The geometrical parameters get better, such as a roughness and waviness of the treated surface are diminish, bearing strength of the fixed surface is increase.

Постановка проблеми Експлуатаційні властивості деталей і вузлів істотно залежать від якості контактуючих поверхонь і поверхневого шару, який визначається геометричними (макрівідхилення, хвилястість, шорсткість) і фізико-механічними (мікротвердість, залишкові напруження, структура) характеристиками і взаємним розташуванням мікронерівностей на контактуючих поверхнях. Усі ці параметри залежать від технології обробки деталей і складання виробів.

Контактна взаємодія поверхонь деталей визначає фактичну площу контакту, контактну жорсткість, величину локальних напружень, умови утворення масляної плівки й інші показники, які впливають на працездатність деталей машин. На контактну взаємодію суттєво впливають мікрогеометрія та фізико-механічні характеристики поверхні, такі як фактична площа контакту, що залежить від форми і розмірів одиничних виступів та їх розподілу (крива несучої здатності), максимального тиску та характеру контакту.

Аналіз основних досліджень. У машинобудування нині застосовують методи поверхневого зміцнення з використанням висококонцентрованих джерел енергії. Це лазерна, електронно-

променева, іонно-променева, іонно-плазмова та інші обробки. В цих методах на порівняно невеликій об'ємі поверхневого шару металу короткочасно і локально діють з великими швидкостями концентровані потоки енергії високої інтенсивності. Після відведення джерела енергії відбувається високошвидкісне охолодження нагрітого металу [1, 2]. Фрикційна обробка також належить до методів поверхневого зміцнення з використанням висококонцентрованих джерел енергії. За такої обробки у поверхневому шарі деталей проходить ще інтенсивне зсувне деформування металу. У поверхневих шарах деталей відбуваються структурні та фазові перетворення з утворенням зміцнених шарів, які мають специфічні фізико-механічні властивості [3].

Аналіз літературних джерел з технологічного забезпечення експлуатаційних властивостей деталей машин показує, що дослідження методів поверхневого зміцнення деталей машин не мають системного характеру, основані на класах чистоти, регламентованих тільки параметрами шорсткості за висотою, які не відповідають сучасним вимогам до якісних характеристик контактуючих поверхонь деталей машин.

Застосування технологій для поверхневої обробки і зміцнення деталей машин з використанням висококонцентрованих потоків енергії призводить до утворення у поверхневих шарах металу складних температурно-фазових перетворень. У поверхневих шарах відбувається нагрівання з великими швидкостями до температур, вищих від точки фазових перетворень, одночасне швидкісне деформування і подальше швидкісне охолодження в екстремальних умовах. Як результат, у поверхневих шарах змінюється структура, фізико-механічні та електрохімічні характеристики металу, які істотно впливають на працездатність деталей машин у процесі експлуатації [3].

Формулювання мети. Дослідження зміцнених робочих поверхонь після фрикційної обробки ґрунтується на параметрах шорсткості за висотою, тому мета нашої роботи – дослідити вплив збільшення зсувного деформування під час фрикційного зміцнення на параметри обробленої поверхні.

Виклад основного матеріалу. Під час фрикційної обробки висококонцентрований потік енергії утворюється у зоні контакту при високошвидкісному терті зміцнювального інструмента по оброблюваній деталі. Водночас відбувається одночасне швидкісне зсувне деформування поверхневого шару металу. Швидкість нагрівання досягає 10^5 – 10^6 К/с. Поверхневі шари металу нагріваються до температур, вищих за точки фазових перетворень (A_{c3}). За рахунок відведення теплоти у глибину металу швидкість охолодження досягає 10^4 – 10^5 К/с. У поверхневому шарі деталей машин формується специфічний структурно-напружений стан металу – білий шар. Структура білого шару являє собою високодисперсний мартенсит, залишковий аустеніт і дуже дисперсні карбіди.

Дослідження геометричних параметрів оброблених поверхонь після фрикційного зміцнення виконували на плоских зразках, виготовлених зі сталі 40Х у загартованому і низьковідпущеному стані.

Для збільшення інтенсивності зсувного деформування у поверхневому шарі оброблюваної деталі інструмент виготовляли з поперечними пазами на його робочій частині. Ширина паза становила 3-4 мм і була вибрана з умови гарантованого повного виходу з контакту інструменту і деталі. Кількість пазів вибирали з умови розташування на робочій частині їх парної кількості. Для покращання якості оброблюваної поверхні деталі та усунення схоплювання між оброблюваною та робочою поверхнями інструмента під час фрикційної обробки застосовується технологічне середовище. Також технологічне середовище у процесі обробки під дією високих температур та тисків розкладається і слугує джерелом для масоперенесення його складових у поверхневі шари оброблюваного матеріалу. Переважно використовується мінеральне мастило, яке у процесі обробки розкладається на атомарний вуглець та інші елементи. Відбувається їх масоперенесення у поверхневі шари оброблюваної деталі, що сприяє утворенню якісних зміцнених шарів. У нашому

випадку як технологічне середовище використовували мінеральне мастило “Індустріальне - 10А” з поверхнево активними полімервмісними добавками. Для подавання технологічного середовища в зону обробки застосовували систему подавання мастильно-охолоджувальної рідини верстата.

Під час проходження паза над зоною контакту відбувається розрив контакту інструмент-деталь. У зоні контакту пружні деформації починають релаксувати. Розмір деталі за товщиною починає збільшуватись. При входженні у контакт з деталлю виступу робочої частини інструмента відбувається ударне навантаження зони контакту. За заданих режимів фрикційного зміцнення частота ударних навантажень перевищила 2 кГц.

Фрикційне зміцнення за своєю сутністю аналогічне до шліфування. Для визначення складових сили взаємодії (P_x , P_y , P_z), яка виникає у зоні контакту інструмент-деталь, використовували трикомпонентний динамометр, на якому одночасно реєстрували усі три складові сили. Сигнали з динамометра подавались на аналогово-цифровий перетворювач (частота 100 кГц). Результати досліджень обробляли з використанням комп'ютерної програми “Power Graf”.

Аналізуючи отримані дані запису складових сили взаємодії у зоні контакту інструмент-деталь, можна сказати, що усі складові сили взаємодії мають хвильовий характер, однаковий за фазою. Амплітуда коливання складових сили взаємодії досягає 0,35–0,45 величини сили, а період коливань становить 20–23 мс. Період коливань не залежить від режимів обробки. Коливання складових сили взаємодії в зоні контакту інструмент-деталь виникають за рахунок того, що одиничний контакт нагрівається до високих температур, близьких до температури плавлення, відбувається розм'якшення оброблюваної поверхні та зниження коефіцієнта тертя (рис. 1).

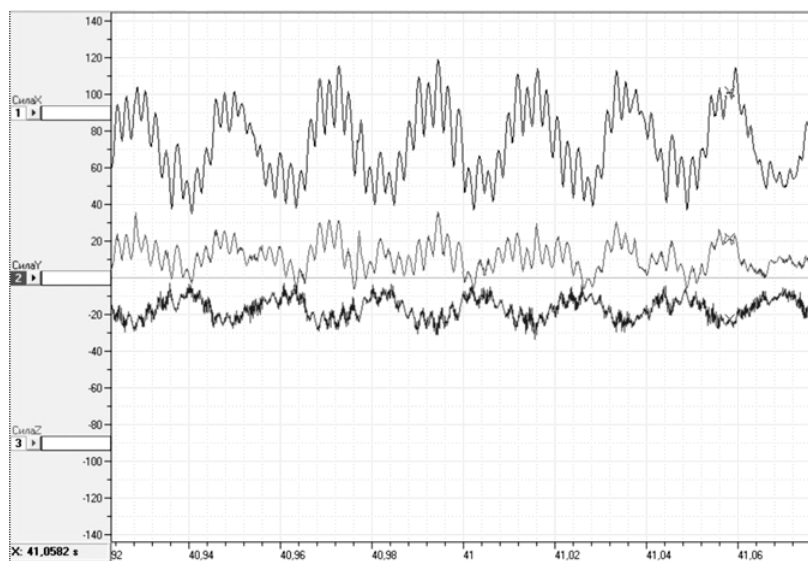


Рис. 1. Фрагмент запису складових сили взаємодії P_x , P_y , P_z при фрикційному зміцненні інструментом з поперечними пазами

Для фрикційного зміцнення переважно використовують інструменти з гладкою робочою поверхнею. Формування якісного зміцненого шару відбувається за рахунок високошвидкісного нагрівання поверхневого шару з подальшим його високошвидкісним охолодженням. При цьому відбувається також інтенсивне швидкісне зсувне деформування поверхневого шару. Для інтенсифікації зсувного деформування та часткового пониження температури поверхневого шару і отримання імпульсів теплової енергії використано інструменти з нарізаними поперечними пазами на робочій частині.

Для того, щоб порівняти, як впливає форма робочої поверхні інструмента на складові сили взаємодії в зоні контакту інструмент-деталь при фрикційному зміцненні, використали інструменти з гладкою робочою частиною та з нарізаними поперечними пазами.

Дослідження показали, що форма робочої частини інструмента значно впливає на складові сили взаємодії під час фрикційного зміцнення. Найбільші значення складових сили взаємодії P_x , P_y , P_z отримано при зміцненні інструментом з гладкою робочою частиною. Використання інструмента з поперечними пазами призводить до зниження усіх складових сили взаємодії.

Так, у разі використання інструмента з гладкою робочою частиною поперечна складова сили взаємодії P_x становить 22 Н, нормальна складова P_y – 1330 Н, а тангенціальна P_z – 85 Н. У випадку застосування інструмента з нарізаними поперечними пазами на робочій частині поперечна складова сили взаємодії P_x дорівнює 15,8 Н, нормальна складова P_y – 1190 Н, а тангенціальна P_z – 63 Н. Зниження складових P_x , P_y , P_z сили взаємодії становить 28 %, 11 % та 26 % відповідно порівняно з використанням інструмента з гладкою робочою поверхнею.

Використання інструмента з нарізаними поперечними пазами знижує складові сили взаємодії в зоні контакту. Це суттєво впливає на навантаження шпиндельного вузла верстата, а також знижує енергоємність поверхневого зміцнення деталей машин під час фрикційного зміцнення з традиційно використовуваним на практиці інструментом з гладкою робочою частиною. Зауважимо, що під час фрикційного зміцнення з використанням інструмента з поперечними пазами отримують зміцнений шар найбільшої товщини та найкращу якість поверхні.

Формування мікрогеометрії поверхні та якості поверхневого шару є складним фізичним процесом з активною фізико-хімічною взаємодією всіх матеріалів, що перебувають у зоні обробки. У такому разі оброблювана поверхня є результатом копіювання траєкторій переміщення поверхні інструмента щодо деталі, які формують макро- та мікропрофіль. Стала шорсткість обробленої поверхні залежить від геометричних параметрів і вібрацій системи верстат-інструмент-пристрій-деталь та формується після декількох проходів робочої поверхні інструмента по певній ділянці деталі.

Поряд з шорсткістю обробленої поверхні велике значення має також її хвилястість, що є поєднанням періодичних та аперіодичних виступів і западин. На утворення хвилястості обробленої поверхні під час чистової обробки найактивніше впливають коливання оброблюваної деталі, шпиндельного вузла, зміцнювального інструмента та форма його робочої поверхні і радіальне биття. Істотне значення має також відношення швидкостей деталі й інструмента, їхні розміри, кількість проходів і зміщення фаз хвиль при подальших проходах.

Експериментальні дослідження топографії зміцненої поверхні проводили на профілографі-профілометрі “*Taliskan 450*” фірми “*Taylor Hobson*”. Сканування оброблених поверхонь зразків розміром 6×6 мм виконали за допомогою алмазної голки з радіусом при вершині 0,2 мкм. Швидкість переміщення голки становила 3000 мм/хв, крок – 5 мкм. Обробку отриманих результатів здійснювали з використанням прикладної програми “*Digital Surf Sarl Mountains Map Universal. Version 2.0.19*”. За допомогою цієї програми будували 3D-модель сканованої поверхні, гістограму розподілу виступів, гістограму точкової площі по певних перерізах досліджуваної поверхні та отримали криву несучої поверхні з визначенням площі виступів та западин, а також повторюваності піків сканованої поверхні з визначенням кроку і величини піків виступів.

Досліди показали, що на геометрію зміцненої поверхні деталі істотно впливають режими фрикційної обробки, технологічне середовище, форма робочої поверхні інструмента та інші параметри. Аналізуючи топографію поверхні після фрикційної обробки, можна відзначити, що процес зміцнення оброблюваної поверхні відбувається перервно. З досягненням максимальної температури на оброблюваній поверхні в зоні одиничного контакту інструмент-деталь міцність матеріалу знижується, зменшується коефіцієнт тертя між інструментом і деталлю і відбувається дискретне переміщення інструмента на нову зону контакту. Про це також свідчать отримані експериментальні результати зміни нормальної та тангенціальної P_y та P_z складових сили тертя у зоні контакту інструмент-деталь.

На характеристики топографії поверхні суттєво впливає форма робочої поверхні інструмента. Якщо використано інструмент з гладкою робочою поверхнею, зсувне деформування відбувається

тільки в напрямку обертання інструмента. Формування якості обробленої поверхні відбувається за рахунок однонапрявленого тертя інструмента по контактуючій поверхні деталі. Під час оброблення інструментом з поперечними пазами на робочій частині, окрім зсувного деформування, додатково проходить ударне навантаження одиничної зони інструмента у момент входження пазу в контакт з оброблюваною поверхнею з частотою близько 2 кГц.

Гістограма розподілу виступів на обробленій поверхні показує, що під час фрикційної обробки інструментом з поперечними пазами на робочій частині оброблена поверхня має найбільшу площу виступів висотою від 8 мкм до 13 мкм і становить 7–8,5 пкс/мм² (рис. 2). Дещо меншу площу поверхні займають виступи висотою від 4 мкм до 8 мкм, яка становить 5 пкс/мм². Площа високих виступів від 13 мкм до 17 мкм різко зменшується від 4 пкс/мм² до 0,5 пкс/мм². Це стосується і виступів малої висоти – від 1,5 мкм до 4 мкм.

Під час обробки інструментом з гладкою робочою поверхнею найбільша висота виступів становить 8–11 мкм, але їхня площа на одиничній поверхні – 9–10 пкс/мм². Малі виступи висотою від 3 мкм до 8 мкм займають площу від 2,5 пкс/мм² до 6 пкс/мм². Високі виступи, більші від середніх, від 11 мкм до 20 мкм, займають площу від 4 пкс/мм² до 0,5 пкс/мм².

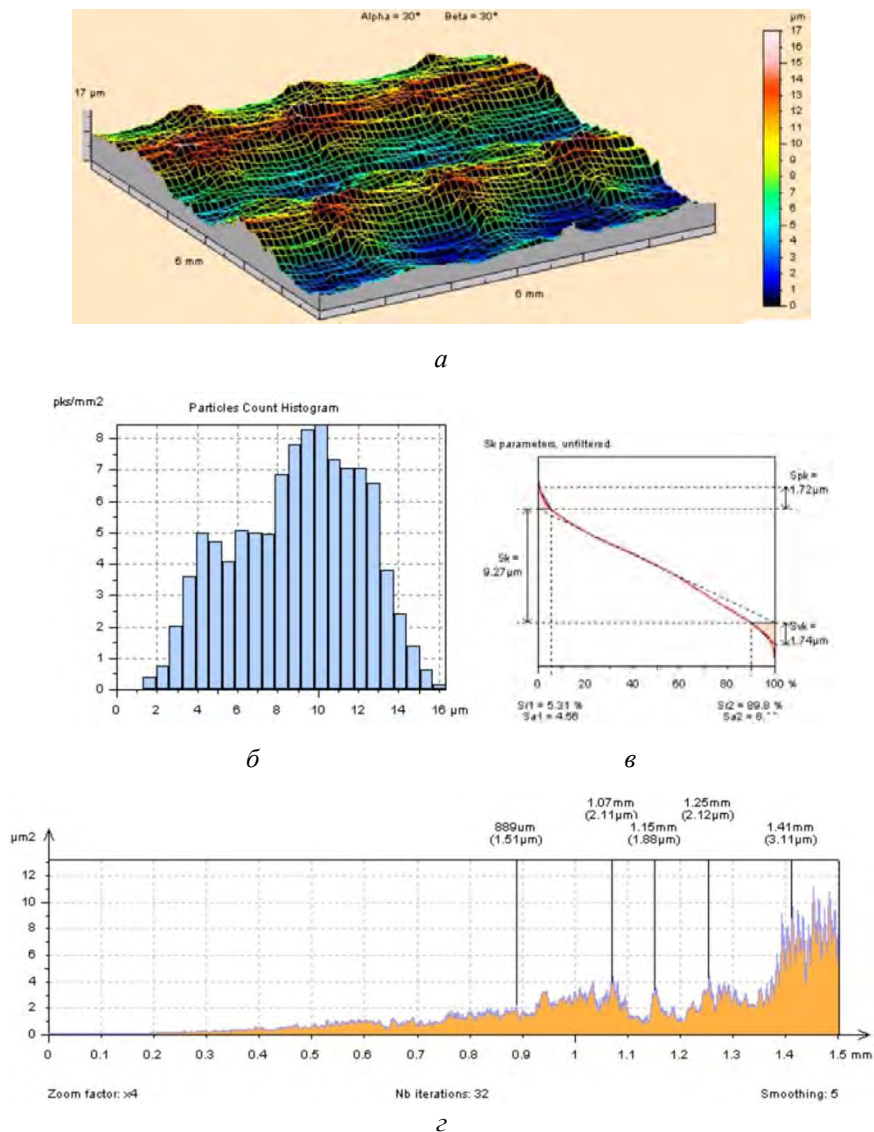


Рис. 2. Топографія (а), розподіл піків (б), крива несучої здатності (в) та спектральний аналіз (г) обробленої поверхні після фрикційного зміцнення інструментом з поперечними пазами

Важливим параметром якості обробленої поверхні є її несуча здатність, тобто реальна площа поверхні по глибині спотвореного профілю. Проводячи на заданій глибині січні площини, визначаємо відсоток, який займає матеріал обробленої поверхні, а який – порожнини стосовно загальної досліджуваної площі зразка. На основі цього будують криву несучої поверхні. За кривою несучої здатності можна оцінити, як проходять процеси припрацювання та зношування під час тертя контактуючих поверхонь.

При фрикційній обробці з використанням інструмента з поперечними пазами ухил прямолінійної ділянки несучої кривої є більшим, порівняно з кривими, отриманими при обробці інструментом з гладкою робочою частиною.

Висота макронерівностей обробленої поверхні є найменшою ($S_k = 9,27$ мкм) під час обробки з використанням інструмента з поперечними пазами. Також є незначними перевищення окремих виступів обробленої поверхні над основною поверхнею ($S_{pk} = 1,72$ мкм) та глибина окремих заглиблень на досліджуваній поверхні ($S_{vk} = 1,74$ мкм) порівняно з поверхнею, обробленою інструментом з гладкою робочою поверхнею, для якої є такі параметри поверхні – $S_k = 7,24$ мкм, $S_{pk} = 2,42$ мкм, $S_{vk} = 3,89$ мкм.

Характер кривої несучої здатності поверхні дає нам інформацію про можливу роботу цієї поверхні при зношуванні, особливо на початковому етапі тертя, коли припрацьовуються контактуючі поверхні. Чим вищі виступи на контактуючій поверхні і чим менша їхня площа, тим більші питомі навантаження будуть діяти на них і тим швидше проходитиме їх змінання та зношування. На початковому етапі тертя, при припрацюванні, швидше буде змінюватись розмір контактуючої поверхні, що є не завжди бажаним для пари тертя. Чим більшу площу займають виступи, бажано однакової висоти, на обробленій поверхні, тим менші навантаження діятимуть на них і процес припрацювання проходитиме швидше з меншою втратою розміру цієї поверхні. Тому оброблена інструментом з поперечними пазами поверхня сприятлива для зношування, що підтвердили наші дослідження на зносостійкість.

Спектральна густина розподілу виступів на досліджуваній поверхні дає змогу оцінити періодичність появи певних виступів з певним однаковим періодом. Поява виступів з малою частотою характеризує процес обробки з додатковими вібраціями, які виникають у цьому випадку. Аналізуючи спектральні густини розподілу виступів на оброблених поверхнях, можна відзначити, що при зміцненні інструментом з поперечними пазами площа спектрів є найнижчою порівняно зі зміцненням інструментом з гладкою робочою частиною і з поперечними пазами. Піки спектрів при обробці інструментами з різними робочими частинами є подібними. Найбільше піків виявлено внаслідок обробки інструментом з гладкою робочою частиною.

Експериментальні дослідження параметрів геометрії поверхонь здійснювались за тих самих режимів фрикційної обробки інструментами з різною робочою частиною. Тому піки спектральної густини розподілу виступів відповідають періоду проходження інструмента через зону одиничного контакту, яка при цих режимах обробки становила близько 1 мм. Під час обробки інструментом з поперечними пазами інтенсивність піків, які відповідають періоду проходження зони одиничного контакту, є найменшою, оскільки у цьому випадку відбувається взаємодія паза. Оскільки обробляють інструментом з гладкою робочою частиною, спектральна густина розподілу виступів на цьому етапі обробки є найбільшою і має декілька додаткових піків.

Висновки. Дослідження показали, що при фрикційному зміцненні інструментом з поперечними пазами на робочій частині відзначається додаткове ударне навантаження зони контакту інструмент-деталь. Значення складових сили взаємодії у зоні контакту інструмент-деталь мають хвильовий характер. Амплітуда коливання складових сили взаємодії досягає 0,35–0,45 величини сили. Під час фрикційного зміцнення інструментом з поперечними пазами на робочій частині покращується геометрія обробленої поверхні, зменшується висота макро- і мікронерівностей, збільшується несуча здатність зміцненої поверхні.

1. Ляшенко Б.А. Тенденции развития упрочняющей поверхностной обработки и положение в Украине / Б.А. Ляшенко, С.А. Клименко // Сучасне машинобудування. – 1999. – № 1. – С. 94–104. 2. Поляк М.С. Технология упрочнения. Технологические методы упрочнения. в 2 т. / М.С. Поляк – М.: Л.В.М. – СКРИПТ, Машиностроение, 1995. – Т. 1 – 832 с; Т.2 – 688 с. 3. Бабей Ю.И. Поверхностное упрочнение металлов / Ю.И. Бабей, Б.И. Бутаков, В.Г. Сысов. – К.: Наукова думка, 1995. – 256 с.

УДК 620.178.5

А.Ю. Деньщиков¹, А.Н. Слипчук², С.В. Подлесный¹

¹Донбасская государственная машиностроительная академия,

²Национальный университет “Львівська політехніка”

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ВИБРАЦИОННОГО СТАРЕНИЯ В ОСЕССИММЕТРИЧНЫХ ПЛАСТИНАХ

© Деньщиков А.Ю., Слипчук А.Н., Подлесный С.В., 2011

Розглянуто феноменологічну модель, що описує зняття залишкових напружень вібраційною обробкою. Розроблено залежності для розрахунку суцільної круглої пластини постійної товщини при зонтичних формах коливань. Побудовано епюри внутрішніх напружень до процесу вібраційної обробки та після неї; виконано їх аналіз.

In article representation the phenomenon model to relaxations of the remaining stress in metallic design by means of vibratory stress relief. Developed dependences for the calculation of continuous round plate of permanent thickness at the umbellate forms of vibrations. Built epures of internal stress to the process of vibratory stress relief and after it; their analysis is done.

Постановка проблемы. В процессе изготовления машиностроительных конструкций в них возникают остаточные напряжения, которые снижают срок эксплуатации конструкции и могут привести к преждевременному выходу из строя. Операция снижения остаточных напряжений является одной из наиболее трудновыполнимых и требует больших материальных затрат. В инженерной практике применяют многочисленные способы уменьшения напряжений, непрерывно совершенствуют и разрабатывают новые методы.

Один из таких методов – вибрационный метод снятия остаточных напряжений и деформаций, основанный на обработке изделий в резонансном режиме, переменными напряжениями, достаточными для упругопластических деформаций металла [1–3]. В отличие от других методов, высокая эффективность и экономичность вибрационного старения обеспечивается независимо от марки конструкционного материала. По производительности и простоте процесса вибрационное нагружение в большинстве случаев имеет преимущества перед другими методами и соответствует основным требованиям, предъявляемым к применяющимся в практике средствам снижения напряжений.

К сожалению, применение этого метода сильно ограничивается недостаточной изученностью процессов, происходящих в материале в процессе виброобработки. Остаются неопределенными оптимальные условия закрепления, точка приложения и величина возмущающей силы, время обработки изделий. Сегодня эти вопросы решаются на основании экспериментальных исследований, что зависит от личного опыта экспериментатора, при ошибках которого обработка