

Визначення міцності несучої конструкції напіввагона при перевезенні в ньому гусеничної техніки

Перспективи техніко-економічного розвитку європейських країн, а також зміцнення їх національної безпеки та оборони зумовлюють підвищення ефективності експлуатації залізничного рухомого складу, як провідної галузі транспортної системи. При цьому потребують розв'язку питання створення спеціалізованого рухомого складу для перевезень гусеничної техніки (сільськогосподарської, військової тощо).

Поповнення вагонного парку в багатьох європейських країнах за останні роки є незначним. У зв'язку з цим виникає необхідність впровадження ефективних конструктивних рішень залізничного рухомого складу для здійснення перевезень вантажів. Одним з найбільш актуальних варіантів серед таких є ситуаційна адаптація існуючого парку вагонів до відповідних умов експлуатації [1, 2].

Відомо, що одним з найбільш поширених типів вагонів, які використовуються для перевезень гусеничної техніки є вагони-платформи. Разом з цим, нестача вагонів-платформ в експлуатації під перевезення гусеничної техніки може викликати її простій в очікуванні транспортування. Одним із варіантів вирішення цього питання є адаптація інших типів вагонів під перевезення гусеничної техніки. Тому питання ситуаційної адаптації вантажних вагонів під перевезення гусеничної техніки є актуальним.

Для перевезень гусеничної техніки залізницею можливим є залучення для цих цілей напіввагонів з торцевими дверима. Таким чином завантаження гусеничної техніки може здійснюватися через відкриті торцеві двері. Разом з цим, для її кріплення в напіввагоні необхідно передбачити спеціальні кріпильні скоби (рими). Для дослідження можливості перевезень гусеничної техніки в напіввагоні проведено відповідні розрахунки. Як прототип розглянуто напіввагон моделі 12-753-01. Торцеві стіни даного напіввагона утворені двостувковими дверима.

У якості прикладу враховано, що гусенична транспортна одиниця має масу 24 т. Для визначення динамічних навантажень, які будуть діяти на несучу конструкцію напіввагона, завантаженого гусеничною технікою проведено математичне моделювання його динамічної навантаженості у повздовжній площині. До уваги прийнято рух вагона у складі поїзда при розрахунковому режимі "ривок". Враховано, що на передній упор автотзепу діє повздовжнє навантаження у 2,5 МН [3].

Розрахована величина прискорення врахована при визначенні міцності несучої конструкції напіввагона. Для цього створено просторову модель несучої конструкції напіввагона (рис. 1).

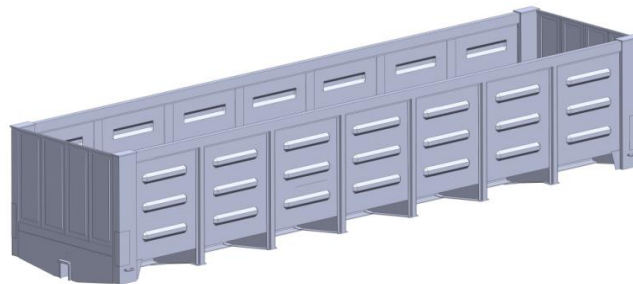


Рис. 1. Просторова модель несучої конструкції напіввагона

Графічні роботи відтворені у SolidWorks [4, 5]. При створенні просторової моделі враховані елементи конструкції, які жорстко взаємодіють між собою зварюванням або заклепками. На підлогу напіввагона встановлювалися накладки, які імітують зони взаємодії гусениць транспортної одиниці з напіввагоном (рис. 2).

До горизонтальних поверхонь п'ятників вагона прикладалися зв'язки, які імітують його обпирання на візки. При цьому застосовувалося жорстке зашпелення. Створення скінчено-елементної моделі здійснено за допомогою тетраедрів. Модель утворена 390767 елементами та 127755 вузлами. Максимальний розмір елемента склав – 100 мм, а мінімальний – 20 мм. Оптимальне значення елементів моделі визначено графоаналітично [6].

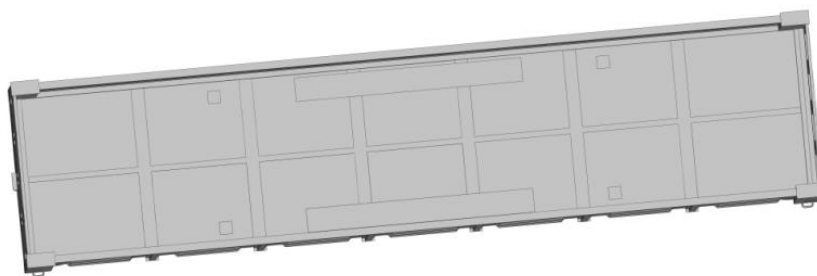


Рис. 2. Розміщення накладок на підлозі напіввагона

У якості матеріалу несучої конструкції напіввагона призначено низьколеговану сталь 09Г2С. Ця марка сталі є типовою для виготовлення несучих конструкцій вагонів.

За результатами проведених розрахунків встановлено, що максимальні напруження в несучій конструкції напіввагона виникають в зонах встановлення кріпильних скоб з протилежного за ходом руху боці вагона. Розрахункові значення отриманих напружень майже на 30% перевищують допустимі і складають 276,3 МПа (рис. 3).

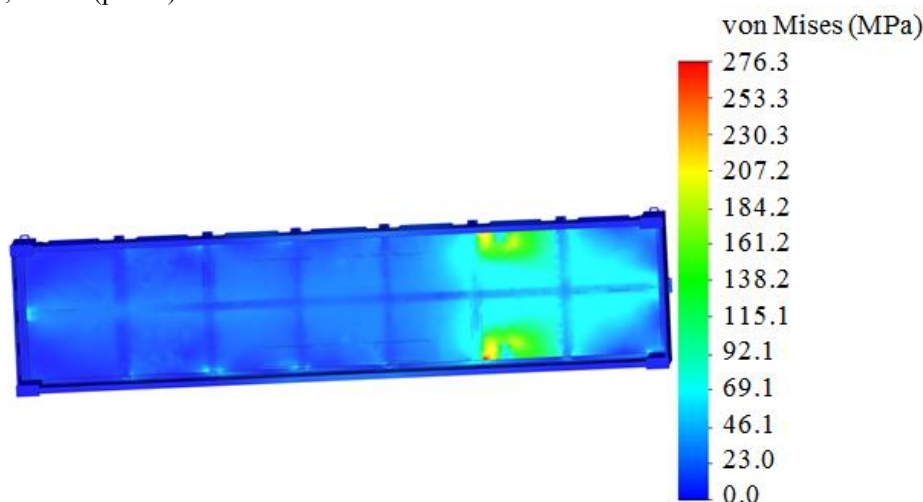


Рис. 3. Напружений стан несучої конструкції напіввагона

Максимальні переміщення в несучій конструкції напіввагона зафіксовано також в зонах розміщення кріпильних скоб з протилежного за ходом руху напрямку і склали 5,74 мм. На підставі проведених розрахунків можна зробити висновок, що для безпеки перевезень гусеничної техніки в напіввагонах необхідним є адаптація їх конструкції до взаємодії з засобами закріплення.

Проведені дослідження сприятимуть підвищенню ефективності експлуатації залізничного транспорту та стануть корисними напрацюваннями при проектуванні сучасних концептів транспортних засобів багатофункціонального призначення.

Список літератури:

1. Juraj Gerlici, Alyona Lovska, Glib Vatulia, Mykhailo Pavliuchenkov, Oleksandr Kravchenko, Sebastian Solcansky. Situational adaptation of the open wagon body to container transportation. Applied Sciences. 2023. Vol. 13(15), 8605. <https://doi.org/10.3390/app13158605>
2. A. Reidemeister, L. Muradian, V. Shaposhnyk, O. Shykunov, O. Kyryl'chuk, V. Kalashnyk. Improvement of the open wagon for cargoes which implyloading with a "hat". IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 985, 012034. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/985/1/012034>
3. ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). Київ, 2015. 162 с.
4. Козяр М.М., Фешук Ю.В., Парфенюк О.В. Комп'ютерна графіка: SolidWorks: Навчальний посібник. Херсон: Олді-плюс, 2018. 252 с.
5. Пустюльга С. І., Самостян В. Р., Клак Ю. В. Інженерна графіка в SolidWorks: навчальний посібник. Луцьк: Вежа. 2018. 172 с.
6. Juraj Gerlici, Alyona Lovska, Mykhailo Pavliuchenkov. Study of the Dynamics and Strength of the Detachable Module for Long Cargoes under Asymmetric Loading Diagrams. Applied Sciences. 2024. Vol. 14, 3211. <https://doi.org/10.3390/app14083211>

Ловська А.О., д.т.н., проф., професор
Павлюченко М. В., к.т.н., доц., доцент
Український державний університет залізничного транспорту

Дослідження доцільності застосування балок з гофрованими стінками в рамі пасажирського вагону

Забезпечення сталого розвитку економіки євразійських країн зумовлюють необхідність безперервного функціонування залізничної галузі, як однієї із найважливіших складових транспорту. Пасажирські перевезення є невід'ємною частиною залізничного транспорту [1, 2]. Наразі парк пасажирських вагонів включає велику кількість за конструкційними особливостями моделей вагонів. При цьому рама пасажирських вагонів виконується в двох варіантах: з хребтовою балкою за довжиною рами та без хребтової балки.

Внаслідок значної довжини рами (близько 23,6 м), а також експлуатаційних навантажень, які діють на неї вона випробовує вплив циклічних навантажень. У зв'язку з цим, в процесі експлуатації може мати місце поява різного роду дефектів в рамі, одним із найбільш небажаних серед яких, є тріщини. Виникнення тріщин в рамі на шляху прямування загрожує безпеці руху поїзда та може стати причиною серйозних транспортних подій (катастрофа чи аварія). У зв'язку з цим важливим є створення та впровадження науково-технічних рішень, спрямованих на покращення міцнісних характеристик рами пасажирського вагона в процесі експлуатації.

Типова хребтова балка пасажирського вагона складається з трьох частин – двох кінцевих, що виготовлені зі швелера №30В та середньої – із швелера №30А.

Для покращення міцності рами пасажирського вагона пропонується впровадження у якості профілю виконання хребтової балки, балок із гофрованими стінками [3, 4]. Такі балки добре зарекомендували себе в цивільному будівництві тому є доцільним дослідження можливості їх застосування і в рамі пасажирського вагона.

При виборі параметрів балки з гофрованими стінками враховано такі обмеження:

- висота балки приймалася рівною висоті типового профілю виконання хребтової балки пасажирського вагона;
- маса балки повинна бути меншою ніж типової балки;
- момент опору поперечного перерізу повинен бути більшим ніж у типової балки.

На підставі аналізу нормативних документів у якості профілю виконання хребтової балки пасажирського вагона обрано балку з гофрованою стінкою 30/30БГС1 (рис. 1).

Встановлено, що застосування балок з гофрованими стінками в рамі пасажирського вагона є більш доцільним рішенням ніж зі швелера №30, оскільки при меншій масі забезпечується більший на 11% момент опору її поперечного перерізу.

Для обґрунтування запропонованого рішення проведено розрахунок на міцність кузова пасажирського вагона з хребтовою балкою, утвореною балками із гофрованими стінками.

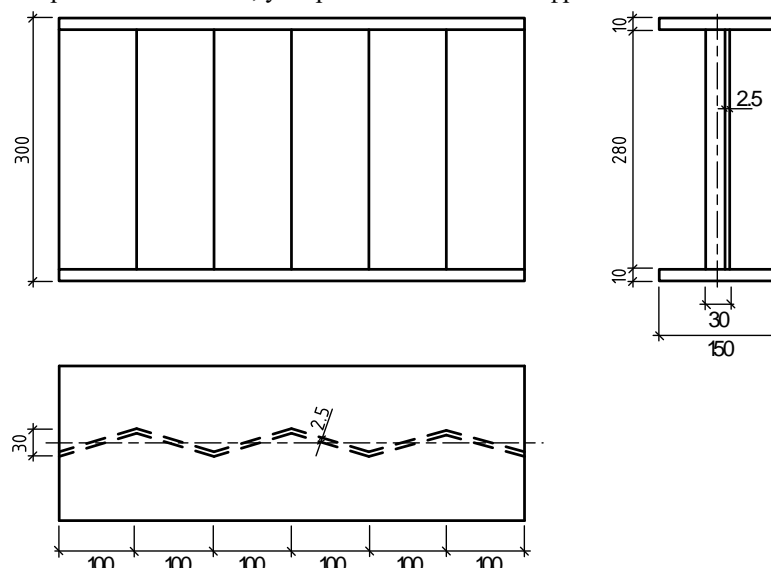


Рис. 1. Основні геометричні параметри балки з гофрованою стінкою

З цією метою створено просторову модель кузова пасажирського вагона моделі 61-920 (рис. 2). Графічні роботи здійснено в SolidWorks [5, 6], а розрахунок на міцність – в SolidWorks Simulation за методом скінчених елементів.

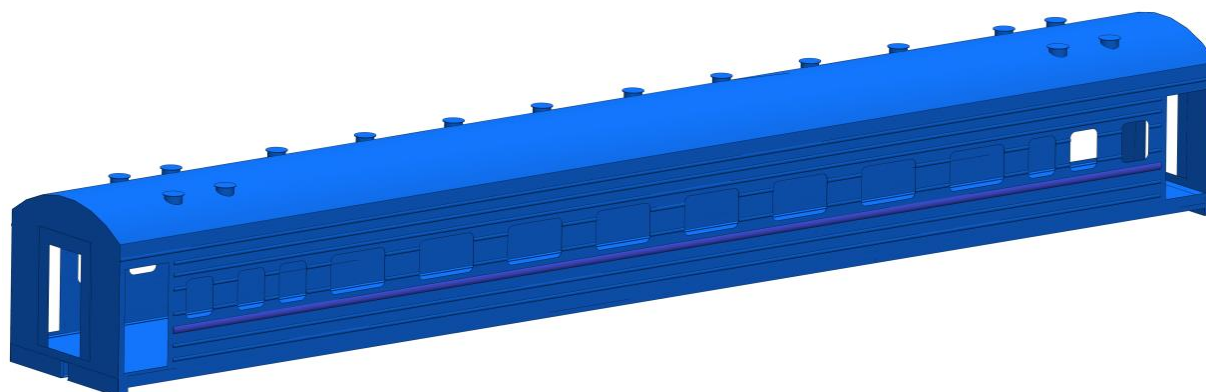


Рис. 2. Кузов пасажирського вагона з хребтовою балкою, утвореною балками із гофрованими стінками

При створенні скінчено-елементної моделі використано ізопараметричні тетраедри. Визначення їх оптимальної чисельності здійснено графоаналітичним способом. З урахуванням цього кількість вузлів сітки складала 154190, а елементів – 443368 з максимальним розміром 80 мм і мінімальним – 16 мм.

Розрахунок на міцність здійснено за умови випробовування кузовом вагона вертикальних навантажень. При цьому застосовано IV теорію міцності. На підставі проведених розрахунків встановлено, що максимальні напруження мають місце в зонах взаємодії шворневих балок з хребтовою і складають близько 112 МПа, що значно нижче за допустимі [7].

Важливо сказати, що отримані в рамі напруження на 4,2% нижче за ті, що мають місце в типовій конструкції. За умови циклічності дії вертикальних навантажень отриманий “додатковий” запас міцності сприятиме зменшенню пошкоджень рами.

На послідуєчому етапі наукових досліджень за даним напрямком буде проведено визначення міцності кузова пасажирського вагона при основних експлуатаційних режимах навантажень.

Проведені дослідження сприятимуть створенню рекомендацій щодо проектування сучасних конструкцій пасажирських вагонів з покращеними техніко-економічними та експлуатаційними характеристиками.

Список літератури:

1. Alyona Lovska, Iaida Stanovska, Volodymyr Nerubatskyi, Denys Hordiienko, Olena Zinchenko, Nadiia Karpenko, Yurii Semenenko. Determining features of the stressed state of a passenger car frame with an energy-absorbing material in the girder beam. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2022. №5/7 (119). P. 44 – 53. doi: 10.15587/1729-4061.2022.265043
2. Alyona Lovska, Oleksij Fomin, Anatolij Horban, Valentyna Radkevych, Pavel Skok, Inna Skliarenko. Investigation of the dynamic loading of a body of passenger cars during transportation by rail ferry. EUREKA: Physics and Engineering. 2019. Number 4. P. 91 – 100.
3. Лаврінєнко Л., Олійник Д. Области оптимальних параметрів сталевих гофрованих балок. Будівельні конструкції. Теорія і практика. 2020. Вип. 7. С. 45 – 56.
4. Пічугін С. Ф., Чичулін В. П., Чичулїна К. В. Розвиток конструктивних рішень сталевих балок із гофрованою стінкою. Збірник наукових праць Українського інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського. 2013. Вип. 12. С. 18 – 25.
5. Козяр М.М., Фещук Ю.В., Парфєнюк О.В. Комп'ютерна графіка: SolidWorks: Навчальний посібник. Херсон: Олді-плюс, 2018. 252 с.
6. Пустьольга С.І., Самостян В.Р., Клак Ю.В. Інженерна графіка в SolidWorks: навчальний посібник. Луцьк: Вежа. 2018. 172 с.
7. ДСТУ 7774:2015. Вагони пасажирські магістральної локомотивної тяги. Загальнотехнічні норми для розрахування та проектування механічної частин вагонів. Київ, 2016. 145 с.

УДК 621.78

Білоус О.І., к.т.н., доц., доцент кафедри галузевого машинобудування
Танцура Г.І., к.т.н., доц., доцент кафедри галузевого машинобудування
Журавель М.Д., здобувач другого (магістерського) рівня освіти
Дніпровський державний технічний університет

Дослідження напруженого стану печі відпалювання руди

Центральний гірничозбагачувальний комбінат (м. Кривий Ріг) спеціалізований на збагаченні окислених залізних руд. Вони не магнітні, що ускладнює застосування магнітних методів збагачення. Такі руди попередньо піддають впливу високих температур в машинах барабанного типу. Вони спираються на три пари опорних роликів – статично не визначені. Дослідження їх напружено-деформованого стану актуальна задача.

В роботі Л.В. Дзюбик [1] досліджено вплив пружності опор на запас міцності корпусу. В роботах [2, 3] досліджена залежність викривлення осі обертання корпусу та перерозподіл величин реакцій опор та згинальних моментів від деформування окремих елементів опорних вузлів.

Вплив дефектів спирання визначимо скориставшись комп'ютерними технологіями. Піч відпалювання руди має складові, що взаємодіють поміж собою. Першою складовою є корпус агрегату. Другою - система спирання корпусу. Корпус - циліндрична оболонка підкріплена бандажами та наділена веденим зубчастим вінцем. Напружений стан корпусу в цілому впливає на надійність роботи машини.

Скористаємося САПР SolidWorks. Виконаємо розрахунок напружено-деформованого стану (НДС) чисельним способом - методом кінечних об'ємів з метою спрощення задачі розглянемо лише половину корпусу.



Рис. 1. Розрахункова електронна (комп'ютерна) модель корпусу установки відпалювання руди

Приймемо розрахункову модель корпусу з урахуванням симетричності корпусу - переміщення в напрямку площини симетрії обмежимо (рис. 2).

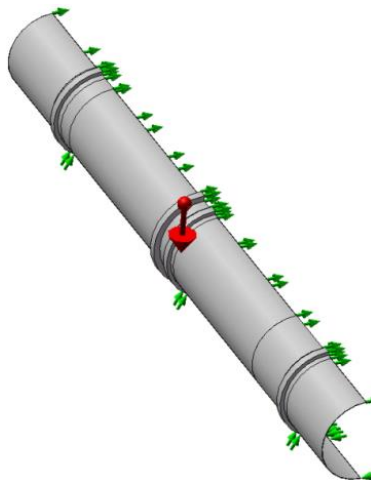


Рис. 2. Розрахункова електронна (комп'ютерна) модель корпусу установки відпалювання окислених залізних руд з урахуванням відсутності симетричної частини корпусу

Побудовану модель розбили засобами САПР SolidWorks на елементарні об'єми (рис. 3).

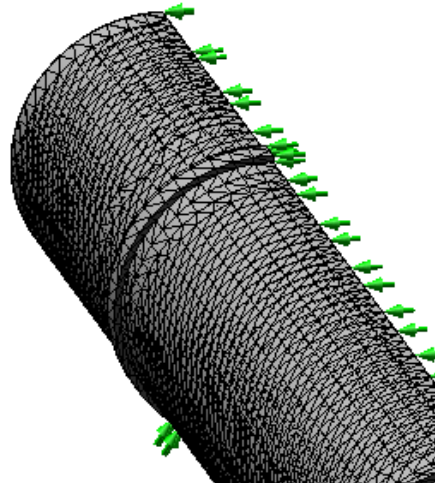


Рис. 3. Модель поділена на елементарні об'єми

Для побудованої моделі визначали навантаження на опори та напружений стан печі. Інтерфейс програми виведення результатів визначення переміщень та навантажень показано на рисунку 4.

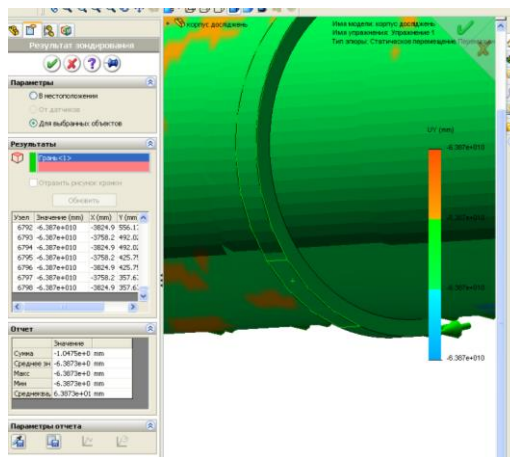


Рис. 4. Інтерфейс виведення результатів визначення переміщень та навантажень

З використанням отриманих результатів встановили напруження в корпусі та навантаження на опори.

Для забезпечення рівномірного навантаження на опори було прийнята загальна довжина корпусу установки 19 м, відстань поміж опорами 6,5 м. За такої умови маса корпусу 12 т (без урахування маси зубчатого колеса) була рівномірно розподілена поміж усіх опор. З використанням побудованої моделі, розглянувши четверту частину корпусу, прийнявши, що тільки одна зона контакту нерухому в напрямку перпендикулярному радіусу нахиленому до вертикальної площин під кутом 30^0 – кутом розташування опор, зафіксована, визначали вертикальне переміщення ділянки контакту бандажа крайньої опори з умовно прибраним опорним роликком. Це переміщення склало 0,68мм.

Список літератури:

1. Дзюбик Л.В. Міцність корпусів обертових агрегатів із врахуванням пружних деформацій опор [Текст] Л.В. Дзюбик // Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. - 2011. - Вип. 45. - С. 44-47.
2. Кузьо І. В., Дзюбик Л. В. Вплив положення геометричної осі на міцність обертових агрегатів [Текст] І.В. Кузьо, Л.В. Дзюбик// Вісник НУ «Львівська політехніка». Динаміка, міцність та проектування машин і приладів. - 2007. - № 588 - С. 53 - 57.
3. Кузьо І. В., Дзюбик Л. В. Дослідження пружних деформацій опорних вузлів та їх вплив на силові характеристики обертових машин [Текст] І.В. Кузьо, Л.В. Дзюбик // Вісник НУ «Львівська політехніка». Оптимізація виробничих процесів і технічний контроль у машинобудуванні та приладобудуванні. - 2008. - № 613 - С. 106 - 110.

Чернишов О.В., старший викладач
Захаров Н.О., магістрант
Яновський В.А., доцент
Маслов А.А., магістрант

*Дніпровський державний технічний університет
Державний університет «Житомирська політехніка»*

Комплексна система очищення мастильно-охолоджуючих рідин (МОР) від шламів шліфувальних верстатів

При абразивній обробці деталей на шліфувальних верстатах у зону різання подається велика кількість мастильно-охолоджуючої рідини (МОР). У більшості випадків на шліфувальних верстатах встановлені індивідуальні магнітні вловлювачі шламу, напірні насоси для подачі МОР тощо. Це потребує значних витрат ручної праці верстатників для обслуговування вказаного обладнання, при цьому багато видів шламів не вловлюються магнітними сепараторами, при цьому ступінь очищення МОР від шламів недостатня, що веде до зростання параметра шорсткості оброблюваної поверхні.

Проведені пошукові, теоретичні дослідження показали, що механізацію видалення відходів металообробки від шліфувальних верстатів та із зони різання можна вести двома способами: за допомогою механічних конвеєрів (механічний спосіб) та по похилих жолобах за допомогою потоку рідини (гідралічний спосіб транспортування). Широке розповсюдження отримали механічні конвеєри, але економічна ефективність їх використання в більшості випадків низька. Це пояснюється тим, що застосовуються конструкції конвеєрів без врахування особливостей металевої стружки та шламів шліфувальних верстатів, наявності в них МОР, поломаних інструментів, бракованих заготовок та ін. До таких конвеєрів можна віднести скребкові, шнекові, вібраційні та ін. Загальний недолік всіх механічних конвеєрів являється розташування силових транспортуючих органів в зоні переміщення стружки та шламів. Це призводить до того, що органи піддаються впливу МОР і з часом заклинюють шарніри, напрямні штанги, що різко знижує ККД конвеєра і виводить з ладу привод.

Тому в цехових умовах для транспортування дрібно елементної стружки та шламів широко застосовується безнапірний гідротранспорт. Для його надійної роботи необхідний певний нахил дна жолоба та розхід рідини. Значний вплив на безнапірний гідротранспорт виявляє місцевий опір у вигляді поворотів траси та перетину потоків пульпи. Рух пульпи на закругленнях (у колінах) характеризується, перш за все, зміною величини і форми живого перетину потоку.

Під дією відцентрової сили в жолобі з внутрішньої сторони закруглення зменшується глибина потоку, внаслідок чого створюються умови для зупинки великих твердих частинок шламу.

Рівень рідини біля зовнішньої стінки значно збільшується, що може призводити до переливу води через борт. Крім того, на повороті утворюються більш-менш значні зони, в яких спостерігаються вихори і протитоки рідини. Проведені експериментальні дослідження дали можливість розробити методику розрахунку гідро трас і розробити рекомендації по виготовленню жолобів і поворотів гідро трас. Тому для транспортування відходів шліфувальних верстатів раціонально застосовувати гідротранспорт. А оскільки всі шліфувальні верстати працюють із МОР, то це завдання ще більше спрощується у зв'язку з тим, що при централізованому постачанні металорізального обладнання МОР після виконання своєї основної функції - охолодження інструменту в зоні різання виконує ще функцію транспортуючого середовища для переміщення шламу від верстатів. Але в цьому випадку необхідно провести операцію поділу пульпи на фази (тобто, очистити МОР від шламів).

Дослідження існуючих систем очищення МОР від шламів шліфувальних верстатів, що проведені кафедрою «Технологія машинобудування» Дніпровського державного технічного університету (м. Каменське) показали, що найбільш доцільним та перспективним способом очищення МОР для умов інструментального виробництва є використання гідроциклонів, при якому під дією відцентрового та гравітаційного поля відбувається відокремлення твердих частинок від рідини. Авторами пропонується комплексна система транспортування та очищення МОР від шламів шліфувальних верстатів.

Комплексна система транспортування та очищення МОР представлена на рис.1.

Пульпа від верстатів зливається в магістральні жолоби, по яких вона переміщується в баки для збирання забрудненої МОР, що встановлені в ямі.

Пульпа насосами із бака 3 по трубі 4 та із бака 9 другої дільниці по трубі 1 подається в батареї гідроциклонів 2 і 3 через колектори змінного перетину 5 і 6.

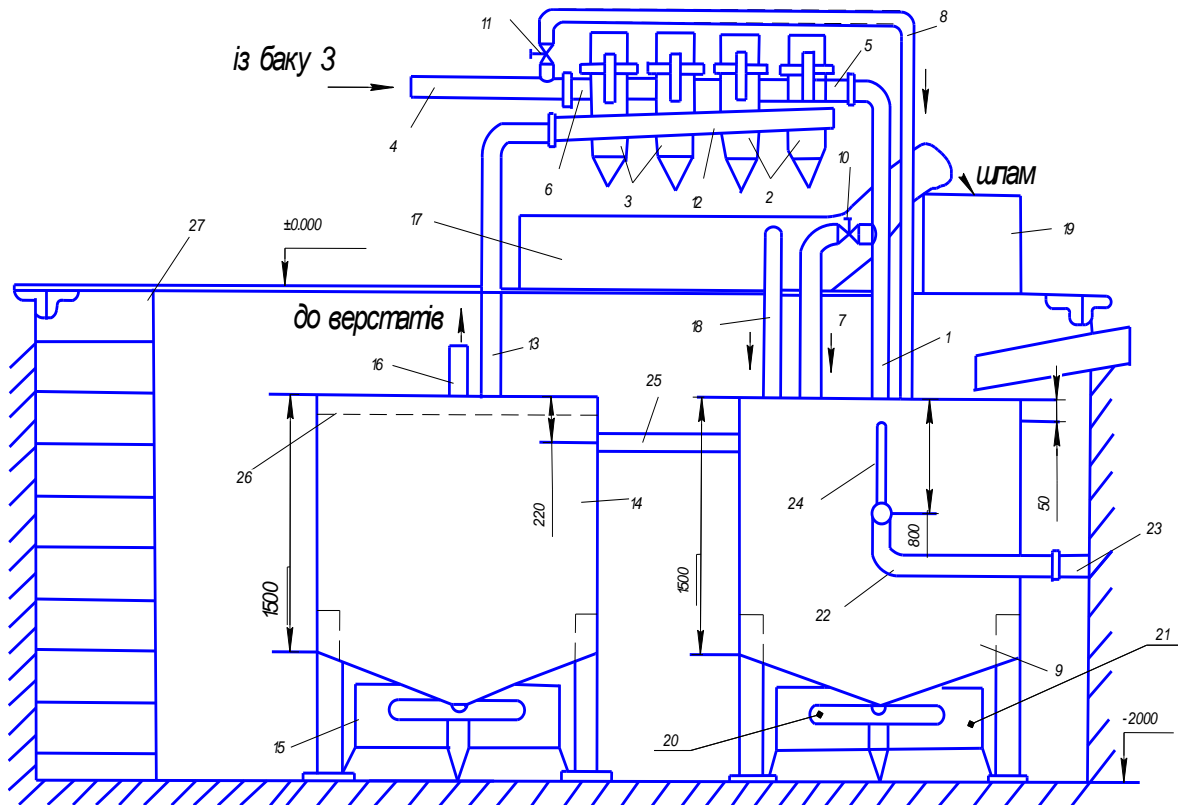


Рис. 1. Комплексна система очищення мастильно-охолоджуючої рідини від шламів шліфувальних верстатів

Для налаштування гідроциклонів на потрібну ступінь очищення при зміні витрати МОР змонтовано зливні труби 7 та 8 з вентилями 10 та 11. Очищена рідина по жолобу 12, а потім по трубі 13 зливається в бак 14 для чистої МОР, звідки насосами 15 по трубі 16 чиста МОР подається до верстатів. Шлам, що відокремився від емульсії, разом з деякою кількістю рідини розвантажується в скребковий пристрій 17 для вивантаження відходів абразивної обробки.

МОР, що відстоюється у пристрої 17, зливається в бак 9 по трубі 18. Шлам, що осів, скребковим конвеєром пристрою 17 вивантажується в тару 19 та періодично видаляється.

Бак 9 для збирання забрудненої рідини має розміри 2000 x 2000 x 1500 мм. Дно бака має похилі стінки під кутом 30° до горизонту. У нижній частині цих похилих стінок знаходиться всмоктувальна труба, до якої через колектор 20 приєднуються насоси 21. До цього баку на висоті 800 мм від верху приєднується зливна труба 22 з вентилям, яка з'єднується зі зливною трубою 23, що відводить рідину в розширювальний бак, який знаходиться за межами даної дільниці. З цього боку бака 9 на висоті 100 мм від верху встановлена труба переливна 24 діаметром 75 мм, яка врізається у трубу 22 за вентилям. Така система дозволяє виключити можливість виникнення аварійної ситуації на дільниці (зайва рідина стікає трубою 23 в розширювальний бак, який знаходиться за межами даної дільниці).

Результати роботи можуть бути використані в проєктних організаціях та на машинобудівних заводах при проєктуванні комплексних систем прибирання шламу від шліфувальних верстатів та очищення централізованої подачі МОР металорізального обладнання.

Список літератури:

1. О.М. Коробочка, О.М. Тіхонцов, А.М. Павленко. Прогресивні способи знезараження та знешкодження МОР металорізальних верстатів. Монографія. – Дніпродзержинськ, ДДТУ, 1994.
2. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «МОР та техніка їх використання» освітньо-кваліфікаційного рівня «бакалавр» за напрямом 6.050502 «Інженерна механіка» 6.050503 «Машинобудування» денної та заочної форм навчання /Укладач: ст. викл. Чернишов О.В.- Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2016. - 20 с.

Динаміка 3D-принтера з механізмом паралельної структури

1. Деякі особливості динамічного моделювання у САПР Autodesk Inventor

Об'єктом дослідження динаміки механізмів паралельної структури (МПС) [2] є математичний опис діючих на нього зусиль та моментів у вигляді рівнянь руху, іншими словами, створення та аналіз динамічної моделі є замкнутим кінематичним ланцюгом. Ці рівняння необхідні для вирішення прямої та оберненої задачі динаміки, синтезу законів керування та оцінки якості конструкції механізму. В загальному випадку підготовка моделі динамічного розрахунку містить наступні роботи: спрощення складальної моделі; створення механічних з'єднань; визначення схеми навантаження елементів моделі. Щоб прискорити процес моделювання і зробити його більш надійним, перед додаванням з'єднань і сил (в крайньому випадку після цього) необхідно виконати наступні визначення: особливостей збірки вузла та мети моделювання; найбільш важливих (з точки зору динамічного аналізу) компонентів збірки.

Таким чином слід спростити готову збірку до моделі для аналізу [2]. У середовищі Autodesk Inventor це легко можна зробити за допомогою команди «Suppress». За допомогою команди "Automatically Convert Constraints to Standard Joints", включеної за умовчанням в діалоговому вікні "Parameters. Dynamic simulation" у вигляді прапорця з підписом "Automatically Convert Constraints to Standard Joints" (програма автоматично перетворює складальні конструктивні зв'язки в стандартні з'єднання). З'єднання, що виконані за допомогою автоматичного перетворення, в подальшому можна відредагувати змінюючи напрямні вектори основної деталі та приєднаної. Перевіримо правильність автоматичної генерації з'єднань у моделі за допомогою команди «Model State». За допомогою команди "Automatically Convert Constraints to Standard Joints", включеної за умовчанням в діалоговому вікні "Parameters. Dynamic simulation" у вигляді прапорця з підписом "Automatically Convert Constraints to Standard Joints" (програма автоматично перетворює складальні конструктивні зв'язки в стандартні з'єднання). З'єднання, що виконані за допомогою автоматичного перетворення, в подальшому можна відредагувати змінюючи напрямні вектори основної деталі та приєднаної. Перевіримо правильність автоматичної генерації з'єднань у моделі за допомогою команди «Model State».

В модулі динамічного моделювання доступні типи кінематичних з'єднань, що реалізують всі існуючі класи кінематичних пар: стандартні з'єднання ("Turning", "Prismatic", "Cylindrical", "Spherical", "Flat", "Point - Segment", "Segment - Flat", "Point - Flat", "Spatial", "Weld"); шарніри кочення ("Cylinder on Plane", "Cylinder on Cylinder", "Cylinder in Cylinder", "Cylinder Curve", "Belt", "Cone on Plane", "Cone on Cone", "Cone in cone", "Screw", "Worm Gear"); шарніри ковзання ("Cylinder on Plane", "Cylinder on Cylinder", "Cylinder in Cylinder", "Cylinder Curve", "Point Curve"); 2D контактні з'єднання ("2D Contact"); силові з'єднання ("Spring / Damper / Jack 3D Contact"). Далі налаштуємо властивості з'єднань за допомогою вкладки «Connection Properties».

Для призматичних з'єднань приймемо наступні обмеження та налаштування. Для обмеження рухомості кареток вздовж рельсу, задаємо налаштування мінімального та максимального положення, так аби положення робочого органу (каретки) в цих екстремумах відповідало мінімуму та максимуму у точках робочого простору по осі Z. Кількість ступенів рухомості дорівнює 9. Це є вірним значенням, адже 3 з них – це переміщення платформи та 6 це надлишкові ступені вільності у штангах навколо власної осі, через використання не карданних шарнірів, а сферичних. В модулі динамічного моделювання доступні типи кінематичних з'єднань, що реалізують всі існуючі класи кінематичних пар: стандартні з'єднання ("Turning", "Prismatic", "Cylindrical", "Spherical", "Flat", "Point - Segment", "Segment - Flat", "Point - Flat", "Spatial", "Welded"); шарніри кочення ("Cylinder on plane", "Cylinder on Cylinder", "Cylinder in Cylinder", "Cylinder Curve", "Belt", "Cone on Plane", "Cone on Cone", "Cone in Cone", "Screw", "Worm Gear"); шарніри ковзання ("Cylinder on plane", "Cylinder on Cylinder", "Cylinder in Cylinder", "Cylinder Curve", "Point Curve"); 2D контактні з'єднання ("2D contact"); силові з'єднання ("Spring / Damper/ Jack 3D Contact"). Далі налаштуємо властивості з'єднань за допомогою вкладки «Connection Properties».

2. Моделювання динамічних процесів в ADAMS

ADAMS це програмний продукт корпорації MSC для динамічного та кінематичного аналізу систем твердих тіл. Основні особливості та переваги ADAMS: - розробка розрахункових моделей досліджуваних виробів, в максимальному ступені враховують особливості їх конструкції, включаючи високу ідентичність зовнішнього вигляду, що в багатьох випадках полегшує побудову моделей, їх налагодження та аналіз отриманих результатів; - виконувати розрахунок параметрів виробів, що визначають їх працездатність і точність (переміщення, швидкості і прискорення компонентів виробу, діючі

навантаження, габарити простору, необхідного для рухомих частин машини і т.п.); - виконувати оптимізацію параметрів.

Однією з задач, що повстала при виконанні була оптимізація 3D-принтера та створення на основі нього багатоцільової малогабаритної роботизованої платформи на модульному принципі. Так, наприклад, реалізація можливості заміни такого модулю, як інструмент ставить перед нами наступну задачу. Нехай є два інструменти Сопло з екструдером для друку та адаптивний захват [2]. Таким чином необхідно «відірвати» надрукований зразок від поверхні та перенести його за допомогою захвату в задану позицію, яка може виходити за робочу зону друку робота. Для моделювання процесу відриву та захвату необхідно було відтворити гнучкий захват.

ADAMS дозволяє моделювати: мульти-контакт; динамічне тертя; контакт між тривимірною суцільною геометрією; контакт між двовимірними геометріями Adams solver (C++) має два двигуни геометрії, які він використовує для тривимірних контактів. Він використовує Parasolid, інструментарій геометрії з EDS/ Unigraphics і RAPID. В даний час RAPID є типовим, а Adams Solver (C++) підтримує версію 2.01. Адамс Солвер розрізняє деякі геометрії як аналітичні.

Наступні типи контактів є повністю аналітичними. Ці обидві геометрії розглядаються аналітично: сфера по сфері; циліндр по циліндру. Для моделювання захвату довільного об'єкта адаптивним захватом необхідно використовувати чисельні методи. Моделювання контакту можна розділити умовно на два етапи. Перший це моделювання нормальної складової сили та другий це моделювання тангенціальної.

Список літератури:

1. Кузнєцов Ю.М. Компонівки верстатів з механізмами паралельної структури/ [Під ред. Ю.М. Кузнєцова] Ю.М. Кузнєцов, Д.О. Дмитрієв, Г.Ю. Діневич. – Херсон: ПП Вишемирський В.С., 2009. – 456 с.
2. Інтегровані технології прискореного прототипування і виготовлення. Монографія. Під ред. Л.Л. Таважнянського, А.І. Грабченка. – Харків: ВАТ «Модель всесвіту», 2002. – 140с. 5. Орліков М.Л. Динаміка верстатів. 2-е вид., перероб. и доп. – К.: Вища школа. Головне в-во, 1989. – 256с.

Андрійчук С.О., магістрант
 Д'яченко М.Д., магістрант
 Степчин В.Я., магістрант
 Степчин Я.А., к.т.н., доц.
 Сторчак М.Г., д.т.н., проф.

Державний університет «Житомирська політехніка»

Врахування нелінійності динамічних характеристик коливальної системи при вібраційному різанні

Постановка проблеми. У сучасному машинобудуванні завдяки широкому застосуванню конструкційних матеріалів з особливими фізико-механічними властивостями та зростанню вимог до точності розмірів і форми деталей постійно існує потреба у нових способах обробки деталей машин, які дозволяють істотно підвищити ефективність виготовлення деталей з важкооброблюваних матеріалів та сплавів. Одним з методів є застосування вібрацій, які направлено вводяться в зону обробки [1-4], як під час різання так і пластичного деформування.

Основними перевагами вібраційного різання [1, 3, 4] є підвищення оброблюваності важкооброблюваних матеріалів за рахунок:

- зниження сил різання і температури в зоні контакту інструменту із заготовкою;
- створення умов гарантованого подрібнення стружки;
- підвищення якості обробленої поверхні;
- збільшення стійкості інструментів.

За характеристиками застосованого вібраційного процесу вібраційне різання умовно поділяється на низькочастотне [1] ($\nu < 200$ Гц), основним ефектом якого є надійне подрібнення стружки, та високочастотне ($\nu > 16$ кГц), що створює більш комплексний ефект впливу на процес обробки різанням.

За способом створення гарантованих вібрацій у зоні обробки методи вібраційного різання поділяються на дві групи: з примусовим введенням коливань за рахунок використання спеціального обладнання (вібраторів) та шляхом використання коливальних властивостей технологічної обробної системи (ТОС) та/або процесу різання. Перша група забезпечує більш ефективне управління коливальним процесом (досягнення та зміна визначеного режиму коливань в залежності від умов обробки, матеріалу заготовки тощо), але вимагає вартісного додаткового обладнання (вібраторів) з автономним джерелом енергії, розміщення ударних елементів практично в зоні обробки, що ускладнює їх регулювання. Друга група не потребує значних матеріальних витрат, але має суттєво обмежені можливості зміни параметрів вібрацій і підтримання самого процесу на встановленому рівні.

Тому цілеспрямоване управління параметрами вібрацій при вібраційному різанні є актуальною науковою проблемою.

Основна частина. Процеси вібраційного різання є доволі різноманітними і використовуються при точінні, свердлуванні та фрезеруванні. Найчастіше використовуються коливання з тангенційними, радіальними та осьовими вібраціями. Основними особливостями тангенційних коливань при різанні з вібраціями є збереження розмірів поздовжнього та поперечного перерізів зрізаного шару, відсутність негативного впливу на шорсткість оброблюваної поверхні та можливість застосування коливань зі значними змінами їх швидкості (амплітуди). Це надає можливості управління процесом зміною тільки одного параметра – амплітуди.

Розглянемо умови забезпечення стійкого коливального процесу у обробній системі та можливості управління його параметрами для випадку поздовжнього точіння зі зміною амплітуди у напрямку швидкості різання.

При оцінці умов виникнення та підтримки стабільності коливальних процесів під час різання велике значення має врахування усіх параметрів впливу на коливальну систему. Так при переході від теоретичних положень до застосування вібраційного різання в умовах реальної ТОС слід враховувати її замкнутість, обмеженість і непостійність параметрів її статичної та динамічної жорсткості, коефіцієнтів демпфування й інерційних характеристик. Врахування наведених особливостей приводить до суттєвих нелінійностей у описі коливальної системи – шпинделя токарного верстата з патроном і заготовкою. Ці нелінійності застосуванням методу прямої лінеаризації можуть бути приведені до динамічної системи у вигляді невірноваженого ротора, який обертається з середньою кутовою швидкістю ω . Вісь ротора буде рухатися по еліптичній траєкторії з виконанням гармонічних коливань у двох взаємно-перпендикулярних напрямках [5]. Рівняння руху такої системи матиме вигляд:

$$I\ddot{\varphi} - mg\epsilon\cos\varphi = -m\epsilon\omega^2[H\sin\omega t\sin\varphi + G\cos(\omega t + \theta)\cos\varphi] + L(\dot{\varphi}) - R(\varphi), \quad (1)$$

де $H\sin\omega t$ та $G\cos(\omega t + \theta)$ – характеристики гармонічних коливань ротора у двох взаємно-перпендикулярних площинах, $mge\cos\varphi$ – момент сил тяжіння, $L(\dot{\varphi})$, $R(\dot{\varphi})$ – рушійний момент та момент сил опору системи відповідно; $m\epsilon\omega^2[H\sin\omega t\sin\varphi + G\cos(\omega t + \theta)\cos\varphi]$ – момент сил інерції.

Моменти сил тяжіння, рушійний момент та момент сил опору системи визначають повільні рухи коливальної системи, а момент сил інерції – швидкий коливальний рух.

Характер руху коливальної системи визначатиметься рівнянням (за умов рівномірного обертання з середньою кутовою швидкістю ω):

$$\varphi = -\Phi[\omega t + \alpha(t) + \psi(t, \omega t)] \quad (2)$$

де $\Phi = \pm 1$ – визначає співпадіння чи неспівпадіння напрямків обертання ротора з напрямком руху його осі по траєкторії.

Рівняння повільних рухів, яке враховує нелінійний вплив вібраційних сил та моментів на основний рух коливальної системи (1) матиме вигляд:

$$\begin{aligned} I\ddot{\alpha} &= \Phi L(\Phi\omega) - R(\omega) - W(\alpha) \\ W(\alpha) &= m\epsilon A\omega^2 \cos(\alpha - \delta) \\ A &= \frac{1}{2}(a + \Phi b), \end{aligned} \quad (3)$$

З рівнянь (1-3) слідує, що при накладенні вібрацій на шпindel верстата при виконанні вібраційного різання на певній частоті його власного обертання ω_0 може виникати нелінійний ефект додаткового навантаження коливальної системи вібраційним моментом $W(\alpha)$ спрямованим на зміну його частоти обертання ω_0 на частоту накладених коливань ω , або кратну їй (ω/n).

Висновки:

Аналіз умов роботи шпинделя токарного верстата, як ротора на пружній основі при накладенні на нього вібрацій в радіальному напрямку показує, що в коливальній системі може виникати додатковий «вібраційний» момент одного порядку величини з моментом приводу (двигуна):

1. При співпадінні напрямку обертання шпинделя з напрямком дії «вібраційного» моменту частота обертання шпинделя буде зростати до частоти накладених коливань ($\omega_0 \rightarrow \omega$, ω/n), викликаючи збільшення швидкості різання (момент опору зменшується).

2. При неспівпадінні напрямку обертання шпинделя з напрямком дії «вібраційного» моменту частота обертання шпинделя буде зменшуватись до частоти кратній частоті накладених коливань ($\omega_0 \rightarrow \omega/n$, ω), викликаючи зменшення швидкості різання та додатково навантажуючи привод (момент опору зростає).

3. В залежності від динамічних характеристик реальної коливальної системи – невривноваженого ротора є можливість управління процесом вібраційного різання шляхом їх цілеспрямованої зміни.

Список літератури:

1. Чубенко В.А. Підвищення ефективності вібраційного різання важкооброблюваних матеріалів лезовим інструментом : автореф. дис. канд. тех. наук. : 05.03.01. Харків, 2005. 17 с.
2. Учитель А.Д., Малиновский Ю.А., Панченко А.Н., Дворецкий Д.Н., Омельченко Е.В, Даценко С.Ю. Интенсификация процессов механического взаимодействия инструмента с заготовкой при выполнении высокоточных и энергоёмких технологических операций методами давления и резания. Металургійна та гірничорудна промисловість, Дніпро. – 2019. – № 5-6 – С. 94-113.
3. Хавін В.Л., Лавриненко І.С. Особливості процесу вібраційного різання при лезовій обробці біоінженерних матеріалів. Автомобіль і електроніка. Сучасні технології, Харків 2014. – №6 – С. 117-120.
4. Р.Р. Обертюх, А.В. Слабкий. Вібраційне свердління – ефективний спосіб отримання отворів у важкооброблюваних матеріалах. Вісник машинобудування та транспорту, ВНТУ. Вінниця. – 2015. – №2 – С. 61-68.
5. Степчин Я.А. Отаманський В.В., Малишев І.П. Аналіз динамічних процесів у високошвидкісних шпindelних вузлах металорізальних верстатів з врахуванням різних видів не лінійності. Вісник Хмельницького національного університету. – 2022. – №1 (305) – С. 130-135.

Найбільш вживані покриття для відновлення деталей із сталей мартенситного класу

Мартенситні сталі, завдяки своїй високій міцності, твердості та зносостійкості, знаходять широке застосування в різноманітних галузях промисловості, включаючи автомобільну, нафтогазову та металургійну галузі. Проте, навіть з такими властивостями, металеві деталі з мартенситних сталей підлягають зношуванню, корозії та механічним пошкодженням під час експлуатації. Для забезпечення довговічності та ефективності таких деталей важливо застосовувати ефективні методи відновлення, серед яких особливе місце займають різні види покриттів.

У роботі розглядається найбільш вживані методи покриття сталей для відновлення деталей із мартенситного класу. Аналізуючи такі методи, як плавлені покриття, поверхнєве напилення, гальванічне покриття та покриття за допомогою полімерів, досліджуємо їхню ефективність у забезпеченні захисту та відновлення властивостей металевих деталей. Крім того, проаналізуємо вплив використання різних типів проволочи на якість відновлених деталей та виявимо оптимальні параметри наплавлення.

Результати цього дослідження мають важливе значення для промислових підприємств, які використовують мартенситні сталі, оскільки вони допоможуть вибрати найефективніші методи відновлення, забезпечуючи таким чином підвищення довговічності та надійності технічного обладнання.

Плавлені покриття (зварювання): Цей метод використовується для відновлення деталей шляхом нагрівання основного металу та нанесення на нього додаткового матеріалу в металевому стані або порошкового за допомогою зварювання. Такі покриття можуть бути здійснені за допомогою різних технологій, таких як MMA, MIG, TIG або плазмове зварювання.

Поверхнєве напилення: цей процес включає напилення тонкого шару матеріалу на поверхню деталі для відновлення або покращення її властивостей. Для цього можуть використовуватися різні методи, включаючи плазмове напилення, аркопромивання, аерозольне напилення тощо.

Гальванічне покриття: цей метод передбачає нанесення захисного шару на металеву поверхню деталі шляхом хімічних реакцій. Гальванічні покриття можуть бути золотими, срібними, нікелевими, цинковими тощо і використовуються для захисту від корозії та зношування.

Покриття за допомогою полімерів: цей тип покриття використовує полімерні матеріали для нанесення захисного шару на деталь. Полімерні покриття можуть бути використані для захисту від корозії, абразивного зношування та покращення зовнішнього вигляду деталі.

Мартенситні сталі використовуються у багатьох галузях промисловості, таких як автомобільна, нафтогазова, металургійна та інші, через свою високу міцність, твердість та зносостійкість. Однак, внаслідок експлуатації, ці деталі можуть втратити свої властивості через зношування, корозію або механічні пошкодження. У таких випадках важливо використовувати ефективні методи відновлення, зокрема покриття, що забезпечують захист та відновлюють властивості деталей.

У даній роботі дослідимо та проаналізуємо найбільш вживані покриття для відновлення деталей із мартенситного класу, зокрема ті, які використовують проволочку Hn-35, Hn-65 та Hn-30Hgca для наплавлення, та їхній вплив на якість відновлених деталей.

Перед початком власних досліджень варто врахувати результати попередніх науковців та вивчити вже існуючі матеріали на цю тему. Дослідження, що проводилися раніше, надають важливу інформацію про ефективність різних видів покриттів, а також їх переваги та недоліки. Наприклад, дослідження Smith (2020) виявило, що проволочка Hn-35 демонструє високу міцність та стійкість до зношування, що робить її ефективним вибором для відновлення мартенситних деталей.

У своєму дослідженні будемо використовувати проволочку Hn-35, Hn-65 та Hn-30Hgca для наплавлення на деталі мартенситного класу. Експерименти включали в себе визначення оптимальних параметрів наплавлення, таких як температура, швидкість та напруга, а також визначення якості та стійкості отриманих покриттів. Для аналізу результатів використовувалися методи металографії, склерометрії та мікротвердості.

Після завершення досліджень були отримані наступні результати:

- Проволочка Hn-35: ця проволочка відзначається високою міцністю та доброю зносостійкістю. Вона має високу рівномірність наплавлення та добру адгезію до базового матеріалу. Підходить для відновлення деталей, що піддаються інтенсивному тертю або ударному навантаженню.

- Проволочка Hn-65: відрізняється високою твердістю, що робить її ідеальним варіантом для деталей, які піддаються абразивному зношуванню. Має властивості, що дозволяють отримати високу міцність та добру адгезію до підложки. Часто використовується для відновлення зношених робочих поверхонь.

• Проволока Hn-30Hgca: відрізняється високою корозійною стійкістю, що робить її відмінним вибором для деталей, що експлуатуються в агресивних середовищах. Має добру оброблюваність та зручність у використанні. Підходить для відновлення деталей, які піддаються впливу хімічних реагентів або високих температур. Ці результати підтверджують важливість вибору правильного типу проволоки для конкретних умов експлуатації.

Використання ефективних методів відновлення є ключовим аспектом забезпечення довговічності та ефективності металевих деталей, зокрема тих, які виготовлені з мартенситних сталей. У цій роботі було проаналізовано найбільш поширені методи покриття для відновлення таких деталей, зокрема плавлені покриття, поверхнєве напилення, гальванічне покриття та покриття за допомогою полімерів. Плавлені покриття застосовуються для відновлення деталей шляхом нагрівання основного металу та нанесення на нього додаткового матеріалу, що робить їх відмінним варіантом для ремонту металевих деталей, що піддаються механічному зношуванню або корозії. Поверхнєве напилення та гальванічні покриття забезпечують захист від корозії та зношування, тоді як покриття за допомогою полімерів дозволяє покращити зовнішній вигляд деталі та забезпечити захист від корозії та абразивного зношування. Додатково, дослідження впливу проволоки Hn-35, Hn-65 та Hn-30Hgca на якість відновлених деталей підтвердило важливість правильного вибору матеріалу для відновлення в залежності від умов експлуатації. Підбір оптимального методу та матеріалу для відновлення металевих деталей забезпечує не лише їхню довговічність, а й оптимізацію ефективності їхнього використання в різних умовах. Таким чином, вибір правильного методу покриття та матеріалу для відновлення металевих деталей із мартенситного класу є важливим кроком у забезпеченні їхньої довговічності та ефективності у різних умовах експлуатації.

Список літератури:

1. Smith, J. (2020). "Applications of Hn-35 wire in martensitic steel restoration." *Journal of Materials Engineering*, 10(2), 45-56.
2. Johnson, A. (2018). "Comparison of different coating materials for martensitic steel restoration." *International Conference on Materials Science Proceedings*, 25-30.
3. Brown, K. (2019). "Corrosion resistance of Hn-30Hgca wire coatings on martensitic steel." *Corrosion Engineering Journal*, 5(3), 112-120.

Утворення задирок при мікрофрезеруванні нітинолу

Сплави на основі Ni та Ti, відомі як нітиноли, широко використовуються завдяки своїм унікальним властивостям, таким як ефект пам'яті форми, суперпластичність, висока тріщиностійкість, корозійна стійкість та біосумісність [1–3].

Застосування NiTi дозволяє вирішувати багато технічних завдань: створення герметичних трубних вузлів аналогічно методу розвальцьовування (фланцеві з'єднання, самозатяжні обойми і муфти), з'єднань з різномірних матеріалів (метал–металоїд), виготовлення затискних інструментів, штовхачів, силових елементів багаторазової дії, «суперпружин», акумуляторів механічної енергії, крокових двигунів, виробництво регуляторів і датчиків температури в різних приладах (пожежна сигналізація, запобіжники, клапани теплових машин), імплантатів та ін.

Для отримання таких складнопрофільних, дрібно розмірних, високоточних деталей на сьогоднішній день одним з основних методів залишається мікрофрезерування. Це технологія мікрорізання, що дозволяє виготовляти деталі та їх найдрібніші елементи розміром менше 1 мм, а часто і менше 50 мкм [4].

Однією із важливих проблем при мікрофрезеруванні нітинолів є утворення задирок (рис. 1, 2). Їх видалення потребує застосування спеціальних технологічних прийомів, що значно знижує ефективність виготовлення виробів та може впливати на функціональні властивості оброблених поверхонь. Саме тому питання мінімізації утворення задирок при мікрофрезеруванні викликають значний практичний інтерес.



а)

б)

Рис. 1. Пази, отримані мікрофрезеруванням аустенітного сплаву $Ni_{56,5}Ti_{43,5}$:

а) $V_c = 20$ м/хв, $S_z = 0,001$ мм, $t = 0,1$ мм, $d = 0,5$ мм; б) $V_c = 20$ м/хв, $S_z = 0,003$ мм, $t = 0,2$ мм, $d = 1$ мм
(результати власних досліджень)

В результаті літературного аналізу було виявлено незначну кількість досліджень утворення задирок при мікрокінцевому фрезеруванні різних матеріалів [5–7]. В роботі Lekkala та ін. [5] було встановлено, що на висоту задирок впливає діаметр та кількість зубців фрези, глибина різання, швидкість подачі, а також співвідношення між швидкістю подачі та кількістю зубців фрези. Згідно з їхніми результатами, збільшення швидкості подачі зазвичай призводить до зменшення висоти задирок, яка також зменшується зі збільшенням діаметра інструменту як при зустрічному, так і при попутному фрезеруванні. При зустрічному фрезеруванні утворюються більш широкі задирки з характерною криволінійною формою, у порівнянні із попутним.

Riquard та ін. [6] експериментально досліджували утворення задирок під час кінцевого фрезерування NiTi. Вони встановили, що під час мікрофрезерування сплавів NiTi утворювалися різні типи задирок, зокрема, найбільшими були поверхневі задирки, висота яких може досягати значень, близьких до глибини різання.

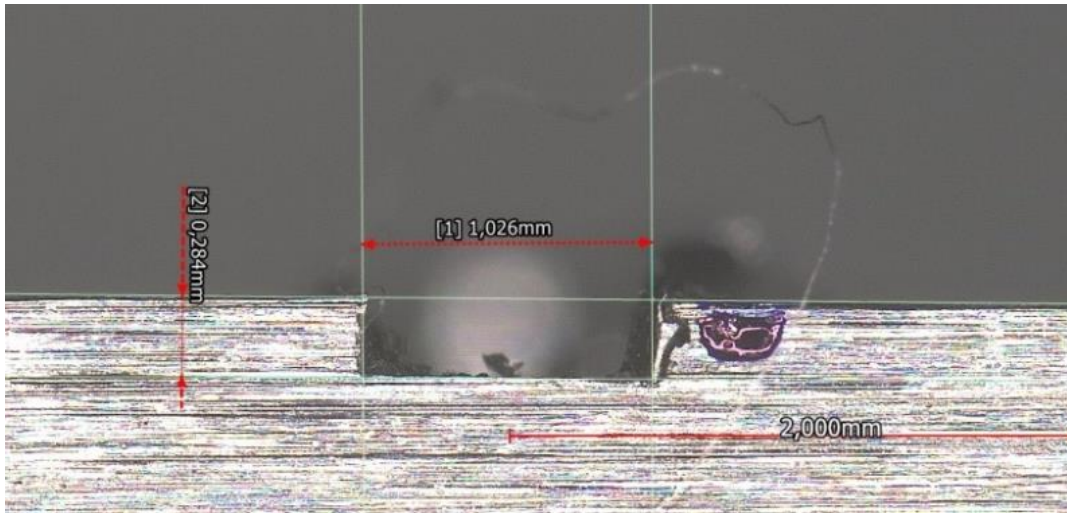


Рис. 2. Задирки при мікрофрезеруванні пазу в аустенітному сплаві $Ni_{56,5}Ti_{43,5}$:
 $V_c = 20$ м/хв, $S_z = 0,003$ мм, $t = 0,2$ мм, $d = 1$ мм
 (результати власних досліджень)

У роботі Weinert та Petzoldt [7] досліджувалися особливості фрезерування сплавів NiTi з використанням твердосплавних кінцевих фрез з TiAlN покриттям. Автори показали, що для досягнення прийнятних результатів обробки необхідно використовувати мінімальну кількість мастила, а висока швидкість подачі в поєднанні з відносно великою шириною різання сприятиме кращому стружкоутворенню. Це призводить до подовження терміну служби інструменту та покращення якості обробки, разом з тим неможливо повністю уникнути утворення задирок.

На основі аналізу літератури та даних власних експериментальних досліджень для зменшення розміру задирок рекомендовано:

- збільшення подачі на зуб і ширини різання;
- попутна схема фрезерування;
- обробка із мінімальною кількістю мастильно–охолоджувальних технологічних середовищ.

Таким чином, для забезпечення високої якості мікропазів у виробі з нітинолу необхідне подальше дослідження параметрів процесу мікрофрезерування та оптимізація умов різання.

Список літератури:

1. Koval Y. Shape Memory Alloys – Powerful Class of Functional Materials. *Nauka ta innovacii*. 2005. Vol. 1. P. 80–95.
2. Балицька Н.О. Особливості торцевого фрезерування сплавів Ni-Ti з ефектом пам'яті форми. *Технічна інженерія*. Серія: Прикладна механіка. 2022. Вип. 2(90). С. 3–12. [https://doi.org/10.26642/ten-2022-2\(90\)-3-12](https://doi.org/10.26642/ten-2022-2(90)-3-12)
3. Балицька Н.О. Перспективи застосування мікрофрезерування для модифікації змочувальних властивостей поверхонь нітинолів. *Сучасні технології у промисловому виробництві*. Матеріали XI Всеукраїнської науково–технічної конференції, 23–26 квітня 2024 р. – Суми, Сумський державний університет, 2024. – С. 78–79.
4. Томашевський О.О., Балицька Н.О. Процес мікрофрезерування металів і сплавів: аналітичний огляд. *Технічна інженерія*. Серія: Прикладна механіка. 2023. Вип. 2(92), С. 74–88. [https://doi.org/10.26642/ten-2023-2\(92\)-74-88](https://doi.org/10.26642/ten-2023-2(92)-74-88)
5. Lekkala R. et al. Characterization and modeling of burr formation in micro–end milling. *Precision Engineering*. 2011. Vol. 35, no. 4. P. 625–637.
6. Piquard R. et al. Micro–end milling of NiTi biomedical alloys, burr formation and phase transformation. *Precision Engineering*. 2014. Vol. 38, no. 2. P. 356–364.
7. Weinert K., Petzoldt V. Machining NiTi micro–parts by micro–milling. *Materials Science and Engineering*. 2008. Vol. 481–482. P. 672–675.

УДК 621.793

Медвідь Д.О., магістрант
Андрусенко С.М., студ., гр. ПМ-141
Кошовий О.О., студ., гр. ПМ-141
Ночвай В.М., к.т.н., доц.
Полонський Л.Г., д.т.н., проф.

Державний університет «Житомирська політехніка»

Напилення антифрикційних газотермічних покриттів з використанням установки Л5405А

Використання зносостійких та антифрикційних газотермічних покриттів на стадії виготовлення та експлуатації деталей верстатів, машин і механізмів відкриває принципово нові можливості підвищення ресурсу роботи деталей, які швидко спрацьовуються. Правильний вибір матеріалів покриттів, обладнання і технології їх нанесення в залежності від конструкції деталі дає можливість добитися високої зносостійкості робочої поверхні при мінімальній собівартості покриття.

В роботі [1] автор рекомендує з метою зменшення вартості і часу ремонту вкладишів підшипників використовувати метод газополуменевого напилення.

Для газотермічного напилення та наплавлення зносостійких та антифрикційних покриттів використовують порошки бронз. Кращі антифрикційні властивості мають олов'яні бронзи БрОЗЦ7С5Н1, БрОЗЦ12С5, БрОФ6,5-0,44 та ін. У важконавантажених вузлах тертя (дорожніх машин, важкого верстатного устаткування) застосовують високоміцні алюмінієві бронзи БрА9Мц2, БрА9Ж4 [2].

Автори роботи [3] рекомендують для газополуменевого напилення антифрикційних покриттів застосовувати порошкові сплави на основі міді марок: БрКМц3-5; БрА10; БрАЖ10-1,5.

При розробленні технологічного процесу зміцнення деталей методом напилення антифрикційних покриттів складено перелік основних технологічних операцій: підготовка порошоків; підготовка деталі; нанесення шару покриття; механічна обробка зміцненої поверхні деталі; вихідний контроль якості.

Для отримання антифрикційних покриттів вибрано порошки марок: БрКМц3-5; БрА10; БрАЖ10-1,5. В якості підшару покриття застосовано порошок ПТ-НА-01.

Вибрані порошкові матеріали перед напиленням просували при температурі 100...120 °С на протязі 2 годин. Розділення порошкових матеріалів на фракції виконано з використанням механічного сита моделі 029. Для отримання покриттів використано порошки з розміром частинок 40...160 мкм.

Підготовка деталей для нанесення покриттів складається з наступних операцій: очищення від забруднень; зняття залишків нерівномірного спрацювання; знежирювання поверхні; формування шорсткості поверхні деталі шляхом абразивно-струменевої обробки поверхонь корундом.

Напилення покриттів виконано з використанням газополуменевої установки мод. Л5405А, яка призначена для нанесення захисних антикорозійних і антифрикційних покриттів на будь-які поверхні. Напилення виконується порошковими матеріалами за допомогою стиснутого повітря і полум'я, яке отримують при спалюванні з киснем ацетилену або пропан-бутану.

До складу установки входять: пульт керування, пістолет-розпилювач, комплект рукавів для пістолета-розпилювача і рукави для підведення газів.

Технічні характеристики установки мод. Л5405А дають можливість напилювати наступні порошкові матеріали: металеві з розміром частинок 5...80 мкм; кераміку з розміром частинок 5...50 мкм; органічні з розміром частинок 50...250 мкм. Продуктивність напилення матеріалу складає 1,8...10 кг/год.

Витрати робочих газів знаходяться в межах: кисень 38...48 л/хв; ацетилен 23...30 л/хв; пропан-бутан 17...23 л/хв; стиснутого повітря 12...50 л/хв.

При виконанні операції напилення покриттів деталі типу «вал» закріплювали в центрах установки КНПА 1,2М, а плоскі деталі розміщували на робочому столі. Пістолет-розпилювач установки Л5405А встановлювали на супорті установки КНПА 1,2М.

Після нагрівання виробу полум'ям пістолета-розпилювача до температури 150...250 °С та ввімкнення подачі порошку виконано напилення підшару покриття товщиною 0,3 мм і основного шару покриття товщиною 1,5 мм. Режими напилення покриттів наступні: тиск кисню 0,5 МПа; тиск пропан-бутану 0,1 МПа; тиск стиснутого повітря 0,1 МПа; витрати кисню 40 л/хв; витрати пропан-бутану 18 л/хв; витрати стиснутого повітря 17 л/хв; витрати порошоків 3 кг/год; дистанція напилення 200 мм.

Токарну обробку отриманих покриттів виконано на наступних режимах:

- чорнова обробка: $V = 20...25$ м/хв; $S = 0,15...0,2$ мм/об; $t = 0,3...0,4$ мм; матеріал різального інструменту – тверді сплави, ВК3, ВК4, гексаніт;
- фінішна обробка: $V = 25...30$ м/хв; $S = 0,1...0,15$ мм/об; $t = 0,15...0,2$ мм; матеріал різального інструменту – тверді сплави, гексаніт, ельбор-Р);

Режими шліфування корундовим кругом на м'якій основі зернистістю 46-60 марки Е60СМ: швидкість круга $V_k = 25...30$ м/с; швидкість руху деталі $V_{дет} = 10...20$ м/хв; глибина різання $t = 0,015...0,03$ мм; подача $S = 5...10$ мм/об.

Після зміцнення деталі виконано вихідний контроль деталей, який полягає в наступному: візуальний огляд; контроль твердості покриттів; контроль розмірів; контроль шорсткості поверхонь.

З використанням установки мод. Л5405А можна отримувати також декоративні покриття шляхом напилення композиційних порошків, порошків на основі нікелю, кобальту, міді та ін. (рис. 1).

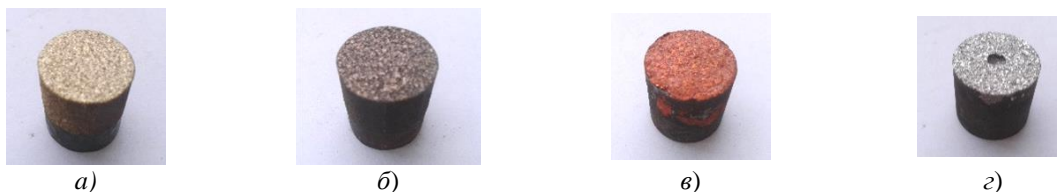


Рис. 1. Зразки-свідки з декоративними покриттями:
а – БрА10; б – БрАЖ-1,5; в – БрКМц3-5; з – алюміній

Дослідження порівняльної зносостійкості зразків сталонних деталей та антифрикційних покриттів проводились на машині тертя. Для цього розроблені антифрикційні покриття наносили на зразки-свідки для досліджень їх властивостей. Покриття наносили на підготовлений блок нерухомих зразків (рис. 2).

Після цього з блоку вирізали нерухомі зразки і обробляли їх циліндричною фрезою з окружним кроком не більше 3 мм або алмазним колом на металевій основі, діаметр якого відповідає діаметру контрзразка з допуском не більше 0,01 мм. Контрзразок (рухомий зразок) виготовлено із загартованої сталі 45 твердістю HRC 45...50.

Найменшу зносостійкість показали базові зразки, а найбільшу – газотермічні покриття з БрАЖ10-1,5. Зносостійкість покриттів з БрАЖ10-1,5 більша в 3...4 рази, БрА10 – в 2 рази, БрКМц3-5 – в 1,5 рази за зносостійкість базових матеріалів.



Рис. 2. Блок нерухомих зразків

Порівняльним вивченням зносостійкості зразків з покриттями на основі сплавів БрАЖ10-1,5, БрАЖ10, БрКМц3-5 та зразків деталі зі Ст20Х встановлено, що в досліджених режимах випробувань зразків з покриттями знос менший, ніж базових.

Розроблені антифрикційні покриття на основі бронзи відповідають сучасному рівню і можуть бути рекомендовані для отримання захисних покриттів на деталях при їх серійному випуску та відновленню спрацьованих деталей в різних галузях машинобудування.

Список літератури:

1. Діденко О. Л. Відновлення геометричних розмірів вкладишів підшипників ковзання газоперекачувальних агрегатів / О.Л. Діденко // Проблеми тертя та зношування. 2010. №54. – С. 88-94.
2. Сучасні антифрикційні матеріали / О.Г. Добровольський, В.А. Косенко // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. / Серія: будівельні машини і технологічне обладнання. – К.: Київський національний університет будівництва і архітектури, 2016. – №88. – С. 55-63.
3. Пилипенко О. М. Розробка та дослідження газотермічних покриттів підшипників ковзання / О. М. Пилипенко, В.М. Ночвай, Р.А. Симон, Д.В. Храбан, В.А. Погорильчук // Науковий журнал : Технічні науки та технології / Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2023. – № 2(32). – С. 9–15.

УДК 621.914.22

Шишкова О.А., аспірантка
Ремесник І.С., магістрант
Громовий О.А., к.т.н., доц.
Бондарчук В.М., ст. викл.

Державний університет «Житомирська політехніка»

Вплив вібрацій на якість лезової обробки плоских поверхонь деталей торцевим фрезеруванням

Дослідженню впливу вібрацій на якість обробки деталей присвячено ряд робіт вітчизняних і закордонних авторів. Вібрації в технологічній оброблювальній системі негативно впливають на процес різання, а саме є причинами високої шорсткості і низької точності оброблених поверхонь, викликають нерівномірне зношування різального інструменту і т.п. Встановлено [1,2], що для ефективної лезової обробки плоских поверхонь деталей із високоміцних чавунів і загартованих сталей доцільно використовувати торцеві фрези, оснащені надтвердими матеріалами, з косокутною геометрією різальних ножів і комбінованими схемами різання. В роботі [3] проаналізовано стан розвитку конструювання чистових торцевих фрез з комбінованими схемами різання та питання практичної реалізації процесів фрезерування при фінішній обробці чавунних та сталевих загартованих деталей. Проаналізовано основні кінематичні параметри процесу ступінчастого фрезерування з косокутною геометрією ножів фрез та рухом різального ножа у процесі обробки. Досліджено процес фрезерування та розроблено на його основі рекомендації щодо конструктивних параметрів торцевих фрез з рухомим різальним ножом та режимів різання при обробці чавунних та сталевих загартованих деталей.

Аналіз виконаних досліджень показав, що процес чистового торцевого фрезерування вивчений недостатньо повно, має місце суперечливість існуючих рекомендацій щодо застосування та умов експлуатації чистових торцевих фрез з рухомими у процесі обробки різальними ножами. Основними напрямками вдосконалення торцевих фрез є використання прогресивних схем різання, що забезпечують збільшення кількості ножів, що беруть участь у різанні, та застосування оптимальної геометрії різальних частин ножів фрез. Виконаний аналіз особливостей конструкцій, експлуатації та працездатності торцевих фрез для чистової обробки дозволив встановити, що для підвищення якості обробки необхідно використовувати комбіновані процеси обробки з поділом припуску по глибині та подачі, а для можливості зрізання тонких шарів зрізу та підвищення якості обробки – застосовувати косокутну геометрію ножів і рухливий в процесі обробки різальний ніж, що профілює поверхню, що обробляється. Розроблено конструкцію чистової торцевої фрези з комбінованою схемою різання.

Виконано аналіз основних кінематичних параметрів процесу ступінчастого фрезерування з косокутною геометрією ножів фрез та з рухомим профілюючим ножом. Експериментальними дослідженнями виконано перевірку теоретичного аналізу та розроблених практичних рекомендацій щодо умов експлуатації спеціальних фрез. Підтверджено, що застосування косокутної геометрії нерухомих ножів фрез і рухомого профілюючого різального ножа призводить до зниження питомого навантаження на одиницю довжини різальної кромки та підвищення стійкості фрез. Встановлено, що використання комбінованої схеми різання дає можливість вирівнювати шорсткість обробки за шириною фрезерування, формувати прямолінійні штрихи обробки в напрямку перпендикулярному поздовжній подачі.

Середньоарифметична висота мікронерівностей оброблених поверхонь для чавунних деталей становила $Ra = 0,6 - 1,1$ мкм, для сталевих загартованих деталей – $Ra = 0,6 - 1,5$ мкм.

На підставі виробничих випробувань розроблених торцевих фрез запропоновано проектувати для чистової обробки деталей з чавуну та загартованих сталей торцеві ступінчасті фрези з косокутною геометрією ножів та з рухомим у процесі обробки ножом, що за рахунок збільшення кількості ножів, що беруть участь у різанні, та руху ножа у напрямку перпендикулярному вектору подачі заготовки дозволяє збільшити якість обробки під час обробки плоских поверхонь.

Аналіз вищенаведеного показує, що подальше дослідження обробки поверхонь деталей із чавунів і загартованих сталей потребує подальшого вивчення. Додаткової уваги потребує питання вивчення впливу вібрацій в технологічній оброблювальній системі на параметри продуктивності і якості обробки.

Список літератури:

1. Виговський Г.М. Сучасні тенденції розвитку обробки матеріалів різанням. Процеси механічної обробки в машинобудуванні // Вісник ЖДТУ. – 2010. – № 2 (9). – С. 1–6.
2. Мельничук П.П., Лоев В.Ю. Теоретико-технологічне обґрунтування можливостей обробки плоских поверхонь деталей торцевим лезовим інструментом, оснащеним надтвердими матеріалами, замість шліфування // Вісник ХНУ. Сер. : Технічні науки. – 2014. – № 3. – С. 164–172.
3. Громовий О.А., Виговський Г.М., Балицька Н.О. Шляхи удосконалення процесу обробки плоских поверхонь деталей фрезеруванням // Технічна інженерія. – 2020. – № 2 (86). – С. 48–53.

Знос твердосплавних різальних пластин при торцевому фрезеруванні нікеліду титану

Нікелід титану (Ni-Ti) вважається найбільш часто використовуваним сплавом з ефектом пам'яті форми та одним із найбільш важкооброблюваних. Це обумовлено високою пластичністю і високим ступенем зміцнення сплаву NiTi в процесі обробки, а також особливою поведінкою напружено-деформованого стану сплавів з пам'яттю форми [1]. Механічна обробка нікеліду титану стикається з низькою стійкістю різальних інструментів, утворенням задирок та зміцненого шару на обробленій поверхні, внаслідок високих значень сил різання та температур в зоні різання [2].

Дане дослідження було виконано з метою дослідження процесу сухого торцевого фрезерування сплаву з нікеліду титану. Для експерименту було використано заготовку розмірами 30×30×30 мм. В якості різального інструмента застосовувалася торцева фреза CoroMill 300 з механічним кріпленням пластинок з твердого сплаву марки H13A без покриття (рис. 1).

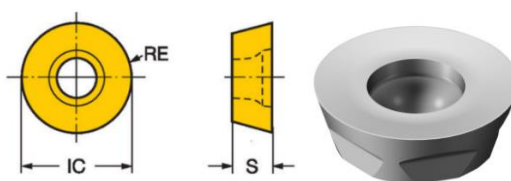


Рис. 1. Різальна пластинка з твердого сплаву марки H13A (без покриття) [3]

Проводилося порівняння зносу різальних пластин при обробці заготовок із нікеліду титану ($\text{Ni}_{56,5}\text{Ti}_{43,5}$) та титанового сплаву VT1-0. Встановлено, що при фрезеруванні NiTi зношування інструменту відбувається надзвичайно інтенсивно, порівняно із титановим сплавом (рис. 2).

Процес лезової обробки супроводжувався високими значеннями сил різання та температур в зоні різання. Все це стало причиною інтенсивного зношування різальних пластин. У процесі експерименту було виявлено, що різальна пластинка після обробки поверхні 30×30 мм зразка з нітинолу стала повністю непридатною до подальшої експлуатації (рис. 2,а). Виявлено критичне сколювання різальної кромки та червоні плями на передній поверхні.

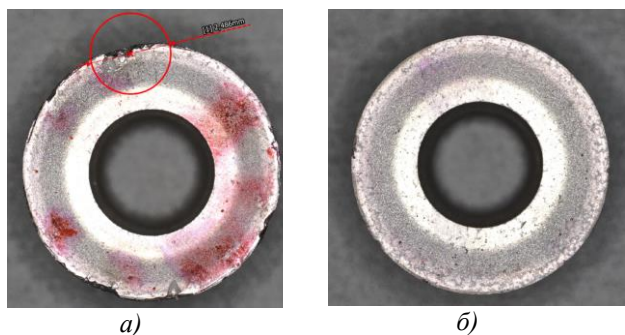


Рис. 2. Різальна пластинка після фрезерування ($V = 50$ м/хв; $S_z = 0,1$ мм/зуб; $t = 1$ мм):
а) нікеліду титану б) титанового сплаву VT1-0

Інтенсивне зношування різальних пластин при фрезеруванні нітинолів зумовлює необхідність подальших досліджень процесів різання цього матеріалу з метою підвищення ефективності його механічного оброблення.

Список літератури:

1. Weinert, K., Petzoldt, V., 2004. Machining of NiTi based shape memory alloys, Mater Sci Eng A 378, p.180-184.
2. Балицька Н. О. Особливості торцевого фрезерування сплавів Ni-Ti з ефектом пам'яті форми. Технічна інженерія. 2022. № 2(90). С. 3–12.
3. Каталог Sandvik Coromant. Фреза CoroMill 300. URL: <https://www.henka.de/r300-32eh25-10h-r300-32eh25-10h/R300-32EH25-10H> (дата звернення: 03.05.2024).

Радкевич С.І., аспірантка 3-го курсу
Обурко Н.В., студент 2 –го курсу
Погорильчук В.А. магістр 1-го курсу
Глембоцька Л.Є., к.т.н., доцент кафедри
Державний університет «Житомирська політехніка»

Фінішне торцеве фрезерування плоских поверхонь деталей з чавунів з вермикулярним графітом

У визначенні експлуатаційних характеристик і зовнішнього вигляду кінцевого продукту вирішальну роль відіграє фінішна обробка поверхні. Можливості сучасного обладнання дозволяють при обробці плоских поверхонь деталей з чавунів застосовувати такий вид механічної обробки як фінішне торцеве фрезерування, який дозволяє отримати параметри шорсткості як після шліфування, при цьому зменшуючи негативний вплив на навколишнє середовище. Велике значення при цьому має правильний підбір інструменту, інструментального матеріалу, параметрів різання, та умов різання.

На якість обробки поверхні суттєво може вплинути використання змащувально - охолоджувальних рідин (ЗОР). Їх застосування зменшує накопичення тепла під час обробки, збільшує термін служби інструменту та забезпечує більш якісну обробку. Однак великим недоліком використання ЗОР при механічній обробці є підвищення собівартості обробки та негативний вплив на навколишнє середовище. При сухій обробці, особливо чавунів, також присутні негативні моменти, такі як викиди пилу, які мають шкідливий вплив на здоров'я особи яка здійснює механічну обробку. Але викиди пилу можна мінімізувати завдяки використанню правильного кута нахилу різальної кромки, за рахунок високої швидкості обробки та вдосконаленню системи вентиляції. Проте суха обробка чавунів вимагає використання інструментів з надтвердих матеріалів або твердосплавів з високоміцними покриттями які здатні витримувати високі температури та запобігати швидкому зношуванню інструмента.

Нині існує багато видів зносостійких покриттів для різальних інструментів. Вони відрізняються за структурою, хімічним складом і товщиною, це: одношарові, градієнтні та багатошарові покриття. Покриття наноситься методом фізичного осадження з газової фази (PVD) та методом хімічного осадження з газової фази (CVD). PVD метод дозволяє отримати мінімальну товщину покриття. Такі покриття дозволяють зберегти геометрію різальної пластини і отримати пластинки з гострими кромками. Важливість цієї переваги особливо актуальна для фінішного фрезерування чавуну. При нанесенні покриття методом CVD для отримання тонкої плівки використовується хімічна реакція. Товщина покриття при цьому більша, і запобігає зносу пластинку по задній поверхні, однак радіус заокруглення різальної кромки при цьому збільшується, це унеможливує застосування її при фінішному фрезеруванні з малими глибинами різання.

Існує багато вітчизняних та зарубіжних досліджень присвячених оброблюваності різних типів чавунів, в умовах сухої обробки та з додаванням ЗОР. Зокрема протягом останніх років особлива увага приділяється оброблюваності CGI в різних умовах. В основному автори досліджували як впливає швидкість різання, швидкість подачі і глибина різання та мікроструктури чавуну (вміст перліту, кількість та форма графіту та неметалічних включень) на силу різання, температуру та знос інструмента в різних умовах. Твердосплавні інструменти з покриттями досліджувалися в умовах сухої обробки та з застосуванням ЗОР [1]. При застосуванні ЗОР відмічалася незначне зменшення сил різання та шорсткості. Інструменти з матеріалів на основі КБН досліджувалися в умовах сухої обробки. Дослідники зазначали, що сили різання істотно зменшилися по відношенню до тих які мали місце при використанні твердосплавів в різних умовах. Також зазначалося, що швидкість подачі та глибина різання мали очевидний вплив на сили різання, тоді як швидкість різання мала невеликий вплив. В одній з робіт [2] вивчався вплив вермикулярності на силу різання та температуру різання під час торцевого фрезерування високоміцного CGI. Проведені дослідження дозволяють краще зрозуміти особливості оброблюваності CGI, але є ще багато питань якій потребують уточнення.

Плануємо дослідити сили різання, якісні показники та зношувальність різальних пластинок з твердосплавних матеріалів з PVD і CVD покриттями в умовах сухого фрезерування та з застосуванням ЗОР, та матеріалів на основі КБН та нітридної кераміки в умовах сухого фрезерування, для пошуку оптимальних умов які забезпечували б отримання найкращих показників якості з мінімальними витратами та досягненням максимального екологічного ефекту.

Список літератури:

1. Tu L, Chen J, An Q, Ming W, Xu J, Chen M, et al. Machinability improvement of compacted graphite irons in milling process with supercritical CO₂-based MQL. J Manuf Process 2021; 68:154–68.
2. Berglund A, Nicolescu CM, Svensson H. The effect of interlamellar distance in pearlite on CGI machining. 2009.

Виговський Г.М., к.т.н., проф.
Плисак М.М., аспірант
Глембоцька Л.С., к.т.н., доцент
Отаманський В.В., ст. викл.

Державний університет «Житомирська політехніка»

Особливості чистового торцевого фрезерування ступінчастими фрезами

Дослідженнями [1-3] встановлена висока ефективність використання торцевих ступінчастих фрез косокутного різання з безвершинними різальними кромками, оснащеними НТМ, для фінішної обробки конструктивних матеріалів. Разом з тим, при чистовому торцевому фрезеруванні внаслідок деформацій технологічної системи похибки обробки можуть становити до 90% від сумарної похибки, що впливає на якість оброблених плоских поверхонь.

Характерною особливістю чистового торцевого фрезерування є зміна товщини зрізаного шару за дугою контакту різального елемента фрези із заготовкою, при цьому виникають складові сили різання, які змінюють свою величину та напрям дії. Зміна величини та напрямку дії сил різання призводить до похибок обробки деталей у поперечному напрямку внаслідок динамічних деформацій технологічної системи. Динамічні деформації технологічної системи при чистовому торцевому фрезеруванні характеризуються процесом входу різальних елементів у зону різання та виходу із нього. У повздовжньому напрямку похибки обробки виникають через коливання сил різання у зв'язку зі змінністю ширини фрезерування на ділянках врізання та виходу фрези із зони різання. Це веде до зміни кількості різальних елементів, що одночасно приймають участь у різанні та викликають похибки повздовжнього профілю деталей, які є повільно змінними, статичними [4-7].

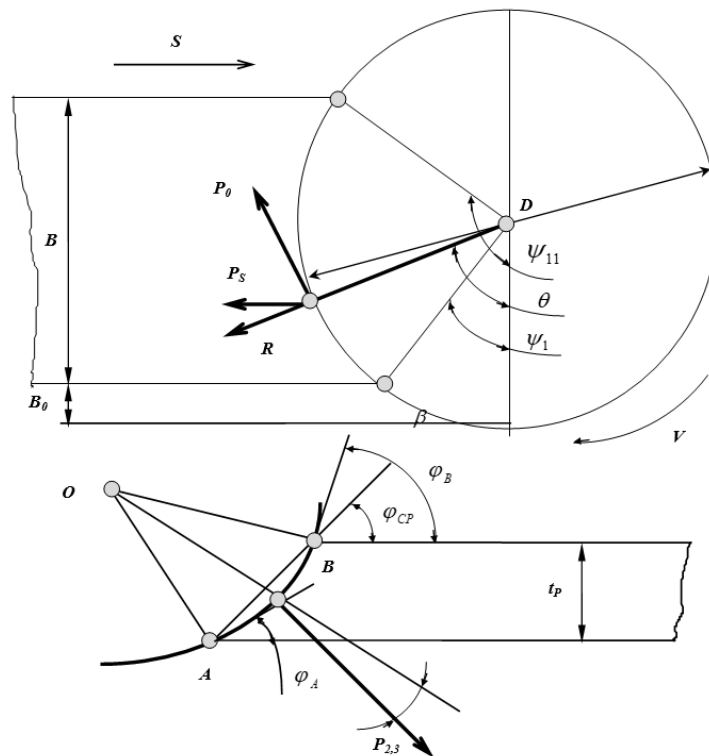


Схема дії сил різання при торцевому фрезеруванні

Похибки обробки деталей при обробці фрезами стандартної конструкції без врахування динамічного впливу сил різання визначаються [7]:

$$\Delta = \frac{P}{J} \sum_{i=1}^m \sin(\psi + i\nu) \quad (1);$$

де P – максимальна величина нормальної складової сили різання на одному різальному елементі; J – жорсткість системи у нормальному напрямку до оброблюваної поверхні; ψ – кут повороту фрези, при

якому деформація (f_{max}) максимальна; ν – кутовий крок між різальними елементами; m – кількість різальних елементів, що одночасно приймають участь у різанні.

При цьому вважається, що сили різання кожним різальним елементом мають однакові значення. Не враховуються похибки різальних елементів у корпусі фрези, похибки базування та закріплення фрези у шпинделі верстата, нестабільність припуску для кожного різального елемента.

У зв'язку з тим, що для ступінчастих фрез різальні елементи розміщуються на різній відстані від осі фрези і зрізають шар змінної глибини, сила різання має своє значення для кожного різального елемента.

Тому вираз (1) для торцевих ступінчастих фрез має вигляд:

$$\Delta = \frac{1}{J} \sum_{i=1}^m P_i \cdot \sin(\psi + i\nu) \quad (2);$$

де P_i – сила різання кожним різальним елементом.

Коефіцієнт нерівномірності [8] визначає коливання сил різання, які змінюють навантаження на технологічну систему та впливають на якість обробки.

Коефіцієнт нерівномірності визначається як відношення максимальної миттєвої сили до середньої:

$$\mu = \frac{\sum_1^m P_0}{\left(\sum P_0 \right)_{CP}} \quad (3);$$

При торцевому фрезеруванні стандартними фрезами миттєве значення колової сили визначається:

$$\sum_1^m P_0 = 0,28S_k \left\{ S_z t_p K_2 [\sin \psi_1 + \sin(\psi_1 + \nu) + \sin(\psi_1 + 2\nu)] + \sin[\psi_1 + (m-1)\nu] + ml_p (\delta_0 + \delta) \right\}. \quad (4);$$

де S_k – напруження при розірванні, тобто частка від розподілу сили в момент розриву на площу поперечного перетину зразка в місці розриву, S_z – подача на зуб, мм/зуб (при рівномірному кутовому розташуванні РЕ у радіальному напрямку $S_z = S_o/z$, де S_o – подача на оберт), z – число різальних елементів фрези, t_p – глибина різання, l_p – довжина різальної кромки, що бере участь у різанні, δ_0 – ширина контакту, що при відсутності зносу для НТМ складає 0,03 мм.

Запропоновані методики дозволяють виконати розрахунки миттєвих значень колової сили та всіх складових сил різання при обробці деталей чистовими ступінчастими торцевими фрезами косокутного різання для подальшого розрахунку деформацій технологічної системи, які значною мірою визначають макро- та мікрогеометрію оброблених деталей.

Список літератури:

1. Виговський, Г. М., О. А. Громовий, М. Л. Білявський. Розширення області використання торцевих фрез, оснащених НТМ. Процеси механічної обробки в машинобудуванні.–2007.–Вип 2 (2007).
2. Мельничук П.П. Наукові основи чистового торцевого фрезерування плоских поверхонь : автореф докт. техн. наук / Петро Петрович Мельничук. – К. : НТУУ “КПІ”, 2002. – 26 с.
3. Виговський, Г.М. Підвищення працездатності торцевих фрез для чистової обробки плоских поверхонь [Текст]: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.03.01 «Процеси механічної обробки, верстата та інструменти» / Виговський Георгій Миколайович. – Київ, 2000. – 16 с.
4. Vyhovskiy, H., Plysak, M., Balytska, N., Melnyk, O., Hlembotska, L. (2021). Engineering Methodology for Determining Elastic Displacements of the Joint «Spindle Assembly-Face Milling Cutter» While Machining Planes. In: Tonkonogyi, V., et al. Advanced Manufacturing Processes II . InterPartner 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68014-5_26
5. Виговський, Г. М., Громовий, О. А., Плисак, М. М. (2023). Дослідження впливу сил різання при чистовому торцевому фрезеруванні на процеси формування оброблених поверхонь. Технічна інженерія, (2)(92), 53–59. [https://doi.org/10.26642/ten-2023-2\(92\)-53-59](https://doi.org/10.26642/ten-2023-2(92)-53-59)
6. Виговський Г.М. Дослідження напружено-деформованого стану торцевої фрези для чистової обробки площин / Г.М. Виговський, М.М. Плисак // Вісник ЖДТУ. Серія : Технічні науки. – 2019. – № 1 (83). – С. 53–58. DOI: 10.26642/tn- 2019-1(83)-53-58.
7. Горчаков Л.М. Вивчення динамічних похибок обробки при переривчастому різанні. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня к. т. н., 1969, 32 с.
8. Розенберг А.М., Розенберг О.А. Механіка пластичного деформування в процесах різання та деформуючого протягування, Київ: Наук. думка, 1990.-320 с.

Отаманський В.В., ст. викладач кафедри механічної інженерії
 Березівська М.Г., аспірантка
 Шахов Д.К., магістрант
 Сторчак М.Г., д.т.н., проф.
 Державний університет «Житомирська політехніка»

Вплив геометричних параметрів інструменту на формоутворення при деформуючому протягуванні

Деформуюче протягування – це процес пластичного деформування при якому зубці інструменту (дорна) переміщуються з натягом вздовж твірної оброблюваного отвору. Пластичне деформування поділяють на декілька основних видів: згладжуюче (зменшення вихідної шорсткості поверхні отвору); калібруюче (підвищення точності розмірів і геометричної форми отворів); зміцнююче (підвищення фізико-механічних характеристик металу заготовки); формоутворююче (профільююча формоутворююча обробка отворів) [1]. Також розрізняють процеси вільного деформуючого протягування, при якому відсутні обмеження деформацій зовнішньої поверхні, та невільного – виконується в жорстких або пружних обоймах, які обмежують деформацію зовнішньої поверхні.

В даній роботі пропонується розглянути вплив геометричних параметрів інструменту на формоутворення, а саме зміну розмірів довжини, внутрішнього та зовнішнього діаметрів втулки при вільному, наскрізному деформуючому протягуванні.

Зуб дорна має такі основні геометричні параметри: d_d – діаметр по стрічці дорна, b_d – ширина стрічка, α – кут нахилу твірної забірного конуса, α_1 – кут зворотного конуса. З точки зору утворення розмірів вихідної деталі найбільш впливовими є діаметр по стрічці дорна, так як від нього залежить діаметральний натяг, та кут забірного конуса, який суттєво може впливати на напружено деформований стан в контактній зоні [1].

Моделювання деформуючого протягування виконувались у програмі DEFORM 2D/3DTMV 11.0 [2]. Для визначення впливу натягу та кута забірного конуса було використано заготовку з наступними розмірами: внутрішній діаметр – $d_0 = 40$ мм, зовнішній діаметр – $D_0 = 56$ мм та довжина – $H = 100$ мм (рис. 1). Геометричні параметри інструменту (рис. 1): діаметр по стрічці дорна змінювався в межах від $d_0 + 0,25$ мм до $d_0 + 2,25$ мм з кроком 0,25 мм; кут нахилу твірної забірного конуса α приймалася: 2° , 4° , 6° , 8° . Швидкість переміщення деформуючого елемента була не змінною і дорівнювала 0,5 мм/с.

У дослідженнях було використано сталь DIN 14NiCr14 з бібліотеки матеріалів DEFORM [2].

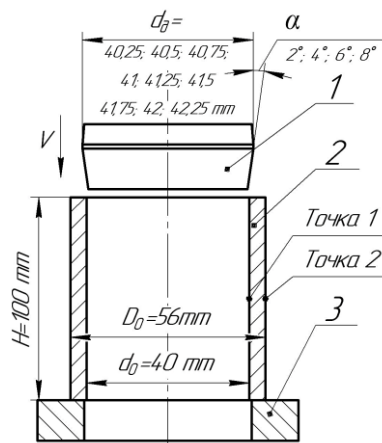


Рис. 1. Схема обробки деформуючим протягуванням:
 1 – деформуючий елемент; 2 – втулка; 3 – основа

Перша група дослідів проводилася зі зміною діаметра дорна, тобто натягу. Під час розрахунків було отримано графіки переміщення двох точок у радіальному напрямку, одна з яких розташовувалась посередині втулки на внутрішній стороні, а друга – на зовнішній (рис.1). Після виходу дорна з втулки було побудовано графіки залежності зміщення точок в радіальному та осьовому напрямках (рис. 2).

З графіку зміщення точок в радіальному напрямку (рис. 2, а) видно що залежність є лінійною. При необхідності отримання після обробки деталі певний зовнішній діаметр слід обрати, відповідний по графіку, натяг.

Більш цікавим є графік зміщення точок в осьовому напрямку (рис. 2, б), з якого слідує що при обробці заготовки з дуже малими натягами (приблизно до 0,3 мм) відбувається незначне укорочення деталі. При подальшому збільшенні натягу (приблизно від 0,3 до 1,3 мм) відстежуванні точки починають

зміщатися у додатному напрямку, тобто довжина вихідної деталі починає збільшуватися. З подальшим нарощуванням натягу – вихідна висота втулки зменшується.

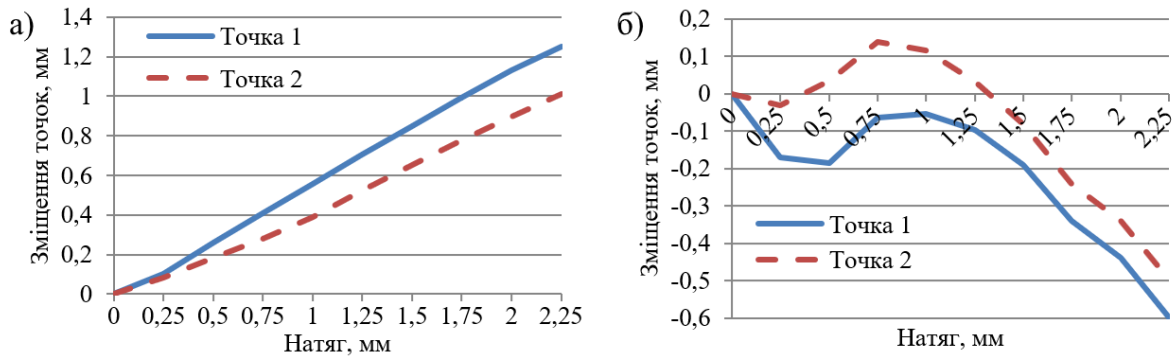


Рис. 2. Отримані результати залежності зміщення точок 1 та 2 від величини натягу: а) у радіальному напрямку, б) в осьовому напрямку

Як було вище сказано другим ваговим фактором, який впливає на вихідні розміри втулки є кут нахилу твірної забірного конуса інструменту. Тому у другому етапі було проведено дослідження впливу кута α при трьох різних натягах (0,75; 1,25; 1,75 мм) результати зміщення точок в радіальному напрямку представлені на рисунку 3 та в осьовому напрямку на рисунку 4.

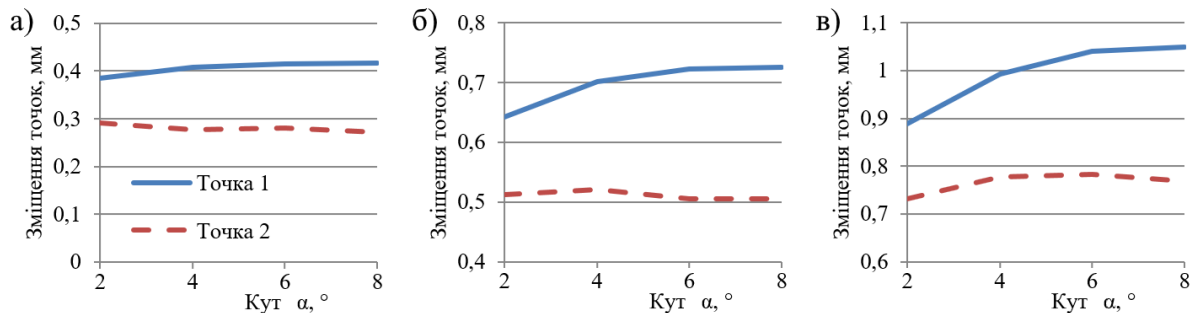


Рис. 3. Результати залежності зміщення точок 1 та 2 у радіальному напрямку від величини кута нахилу твірної забірного конуса: а) при натягу 0,75 мм, б) при натягу 1,25 мм, в) при натягу 1,75 мм

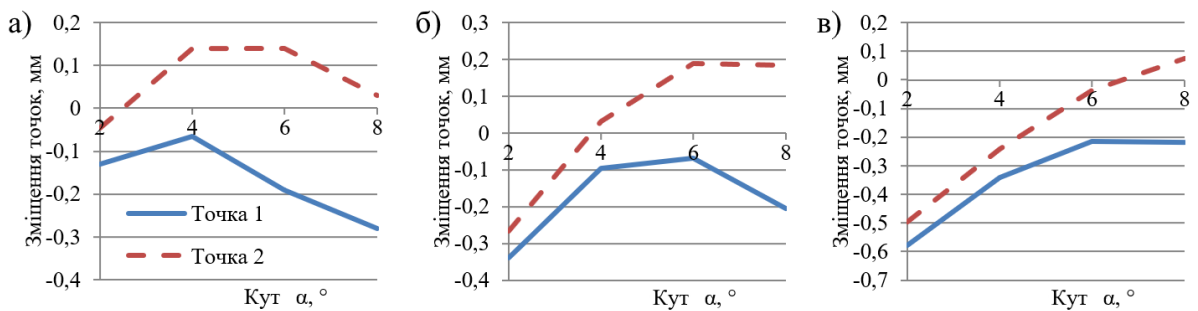


Рис. 4. Результати залежності зміщення точок 1 та 2 в осьовому напрямку від величини кута нахилу твірної забірного конуса: а) при натягу 0,75 мм, б) при натягу 1,25 мм, в) при натягу 1,75 мм

Отримані результати показали, що кут нахилу твірної забірного конуса має незначний вплив на зміщення точки на зовнішньому діаметрі втулки. Що стосується зміщення точки внутрішнього діаметра, результати показують, що кут має не значний вплив на зміщення точки при малих натягах і набуває більш вагомого впливу на більших натягах (рис. 3).

Результати зміщення точок в осьовому напрямку (рис. 4) показують, що кут нахилу твірної забірного конуса може суттєво впливати на зміщення точок. В поєднанні з натягом можливо отримувати як укорочення довжини втулки, так і її подовження.

Список літератури:

1. Інженерія деталей, оброблених протягуванням: монографія / Е.К. Посвятенко, Я.Б. Немировський, С.С. Шейкін, І.В. Шепеленко, О.В. Чернявський / ІНМ ім. Бакуля НАН України, ЦНТУ МОН України, Кропивницький: видавець Лисенко В.Ф., 2021. – 466 с.
2. Deform-User Manual SFTC-Deform V11.0.2, Columbus (OH), USA, (2014).

Дубчак В.В., магістрант
Глембоцька Л.Є., к.т.н.
Полонський Л.Г., д.т.н., проф.
Яновський В.А., доцент

Державний університет «Житомирська політехніка»

Система автоматизованої подачі палива для твердопаливних котлів

Твердопаливні котли (рис. 1) відіграють важливу роль у сучасних реаліях України з кількох причин:

1. Енергетична безпека та незалежність.

Після повномасштабного вторгнення Росії в Україну питання енергетичної безпеки стало надзвичайно актуальним. Твердопаливні котли дозволяють використовувати місцеві джерела палива, зокрема, деревину, торф, вугілля або палети, зменшуючи залежність від імпортованих енергоносіїв.

2. Доступність палива.

В умовах економічної кризи, зростання цін на газ та інші види палива, тверде біопаливо, таке як деревина чи палети, є більш доступним варіантом для опалення приватних будинків, комунальних та промислових об'єктів.

3. Екологічність.

При належному використанні та налаштуванні сучасні твердопаливні котли є більш екологічними порівняно з котлами на викопному паливі, оскільки при спалюванні деревини (палет) виділяється менше шкідливих речовин.

4. Використання відновлюваних джерел енергії.

Деревина та інші біомаси є відновлюваними джерелами енергії, тому їх використання у твердопаливних котлах сприяє переходу на більш сталі та екологічні джерела енергії.

5. Зменшення навантаження на електромережі.

В зимовий період зростає навантаження на електромережі через використання обігрівачів. Твердопаливні котли зменшують це навантаження, забезпечуючи альтернативний спосіб опалення.

6. Підтримка місцевої економіки.

Використання місцевих видів твердого палива – деревина, буре вугілля, торф – стимулює місцеву економіку та створює робочі місця у відповідних галузях.

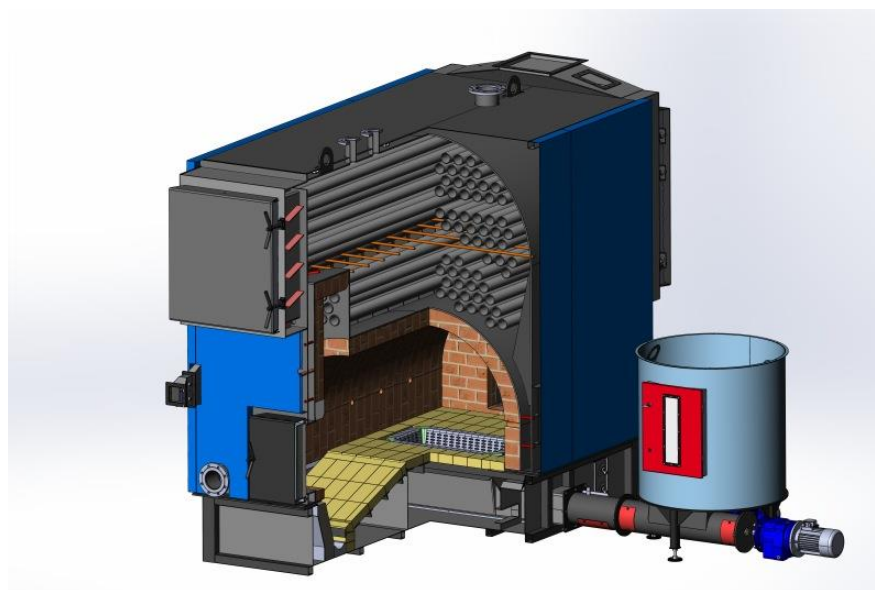


Рис. 1. Твердопаливний котел із приєднаним до нього бункером оперативним [1]

Таким чином, в умовах економічної кризи та необхідності енергетичної незалежності застосування твердопаливних котлів дозволяє вирішити проблему забезпечення теплом житлової, комунальної та промислової інфраструктури країни.

Однією з найважливіших функцій твердопаливного котла є ефективна подача палива, серед декількох систем якої якнайкраще зарекомендувала себе автоматизована.

1. Автоматизована система подачі палива:

- зменшує потребу в ручній праці, оскільки процес подачі палива повністю автоматизований та не вимагає постійної присутності оператора;
- забезпечує безперервну та рівномірну подачу палива до пальника котла, що дозволяє підтримувати стабільний процес горіння та максимальну ефективність котла.

2. Бункер для зберігання палива:

- дозволяє зберігати значну кількість твердого палива (деревини, вугілля, палет тощо), забезпечуючи автономну роботу системи протягом тривалого часу без необхідності частого поповнення запасів;
- конструкція бункера забезпечує захист палива від атмосферних впливів та зберігає його в належних умовах.

3. Шнекова подача:

- шнековий транспортер ефективно транспортує паливо з бункера безпосередньо до пальника котла через герметичний канал;
- швидкість обертання шнека дозволяє точно регулювати та контролювати подачу палива відповідно до потреб котла.

4. Скребокний транспортер:

- забезпечує подачу палива з віддалених місць зберігання (наприклад, із приміщення для зберігання деревини) до бункера [2];
- дозволяє використовувати різні види твердого палива, оскільки транспортер може переміщувати паливо різного розміру та форми.

5. Енергоефективність:

- автоматизована, а, отже, рівномірна, подача палива оптимізує процес горіння, забезпечуючи максимальне вивільнення енергії з палива;
- зменшуються втрати палива через неконтрольоване або нерівномірне горіння, підвищуючи при цьому загальну ефективність котла.

6. Зниження забруднення:

- рівномірна подача палива сприяє більш повному та ефективному згорянню, зменшуючи кількість часток, що не згоріли;
- забезпечує зниження викидів шкідливих речовин, таких як оксиди вуглецю, зола та інші забруднювачі.

7. Контроль та моніторинг:

- система дозволяє контролювати та регулювати швидкість подачі палива відповідно до потреб котла та умов горіння;
- забезпечує рівень палива у бункері та сповіщає про необхідність поповнення запасів;
- дає змогу управляти процесом горіння, підтримуючи оптимальні умови, що сприяють максимальній ефективності теплозабезпечення та мініимальному забрудненню.

Така комплексна система подачі палива поєднує переваги автоматизації, ефективності, зручності та екологічності, забезпечуючи безперебійну роботу твердопаливного котла та оптимізуючи процес горіння для максимальної віддачі енергії.

Список літератури:

1. Котел водогрійний ретортний [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу: <https://kotloteh.com.ua/page-product/vodogrejniy-kotel-s-retortnoj-gorelkoj/>.
2. Системи автоматизованої подачі палива [Електронний ресурс]. – 2020. – Режим доступу: <https://www.lika-svit.com.ua/shop/sistemy-avtomatizirovannoy-podachi-topliva/>.

Коваленко Я.П., аспірантка
 Державний університет «Житомирська політехніка»
 Семенова Н.Ю., заступник директора по виробництву
 ІП «Свроголд Індекстріз ЛТД»

Аналіз впливу параметрів різання на температуру в зоні різання при фрезеруванні загартованих сталей

Під час обробки загартованих сталей утворюється тепло, яке впливає на якість поверхні деталей машин, а також може змінювати структуру поверхневого шару оброблюваного матеріалу. Найбільш негативним дефектом при різанні загартованих сталей є тріщини із-за залишкових напружень, що формуються в результаті пластичних та температурних деформацій. Температура різання має фундаментальне значення при фрезеруванні матеріалу високої твердості. Однак її неможливо точно виміряти за допомогою вимірювального обладнання, тому побудова моделі FAE є альтернативним інструментом для дослідження розподілу температури в зоні різання при фрезеруванні. Через конфігурацію «інструмент-заготовка» товщина зрізу зменшується вздовж осі мінус X системи координат (рис. 1).

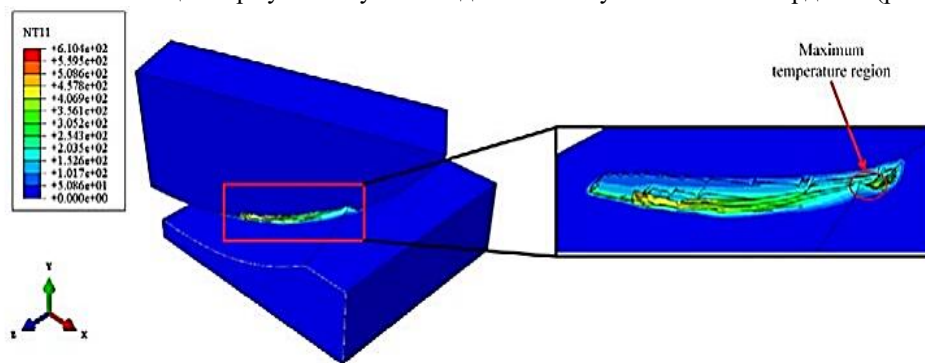


Рис. 1. Розподіл температури ($a_p=0.8$ mm, $a_e=0.6$ mm, $v_c=280$ m/min, $f_z=0.35$ mm/t)

Таким чином максимальна температура виникає в правій частині зони різання інструмент-заготовка (область в червоному колі), де товщина зрізу досягає максимуму. На рис.2. зображено зміни температури в залежності від часу для одного вузла моделі з різними параметрами різання [1, 2].

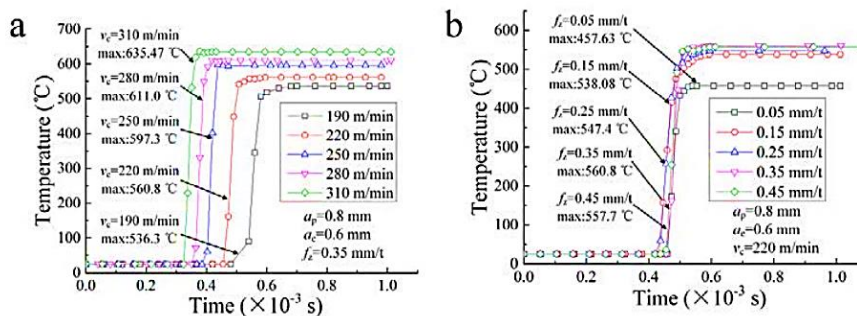


Рис. 2. а) вплив швидкості різання на температуру різання; б) вплив збільшення подачі на температуру

Зміна температури з різними показниками швидкості різання зображено на рис.2. (а). Це пояснюється тим, що початкове положення і відносний кут між інструментом і заготовкою були однаковими для всіх симуляцій, а початок різання для моделі з вищою швидкістю різання був би швидшим через відповідно вищу швидкість обертання пластини ріжучого інструменту, що є причиною підвищення температури. На рис.2. (б) зображено як температура різання зростає зі збільшенням швидкості різання. При збільшенні подачі з 0.05 мм/зуб до 0.15 мм/зуб температура різання зростає з 457,63°C до 538,08°C. Після цього температура різання мало змінюється, що є подальшим напрямком для досліджень.

Список літератури:

1. L. Wang, M. Tröngren, M. Onori, Current status and advancement of cyber-physical systems in manufacturing. Journal of Manufacturing Systems, 37 (2015), P.517–527.
2. Qing Zh., Song Zh., Jianfeng L. Three Dimensional Finite Element Simulation of Cutting Forces and Cutting Temperature in Hard Milling of AISI H13 Steel. Procedia Manufacturing, 10 (2017), P.37 – 47.

Виговський Г.М., к.т.н., проф.
Державний університет «Житомирська політехніка»
Женжера Ю.М., інженер-конструктор
ТОВ "Партнер-ВС"

Підвищення ефективності обробки деталей використанням лазерного різання

Лазерне різання є одним із найбільш сучасних методів розкрою та різання сталі, чавуну, алюмінію та інших конструктивних матеріалів. Спосіб відрізняється високою точністю та якістю обробки, має високу ефективність та продуктивність. Дозволяє обробляти деталі складного профілю із забезпеченням необхідних якісних характеристик. Перевагою методу є можливість обробляти деталі із крихких матеріалів, твердих сплавів та використовувати операції автоматичного розкрою деталей.

Лазерна обробка металу здійснюється безконтактним методом, що на відміну від інших процесів обробки (різанням, пластичним деформуванням тощо) не викликає деформацій деталей під час обробки. При лазерній обробці високотемпературний вплив поширюється тільки на локальні ділянки, що не викликає теплові деформації виробів, що оброблюються.

Рядом досліджень процесів лазерного різання визначені оптимальні параметри обробки та вплив фізико-механічних характеристик металів на ефективність процесу обробки. Разом з тим, є необхідність додаткового вивчення особливостей лазерного різання для вирішення конкретних задач виробництва.

Однією з переваг лазерного різання є можливість одночасного різання та гартування сталі. Гартування відбувається через швидке охолодження розплавленої металевої зони у зоні взаємодії з лазерним променем. Процес гартування деталей із вуглецевої сталі під час лазерного різання може покращити їх міцність та твердість.

Для досягнення високих характеристик гартування деталей важливо врахувати основні моменти:

- швидкість різання (більша швидкість призводить до більш інтенсивного гартування);
- потужність різання (більша потужність лазерного променя підвищує твердість деталей);
- товщина матеріалу деталі (при більшій товщині виробу твердість деталей зменшується).

Використовуються два основних видів лазерного різання – це різання киснем та повітрям. Кисень використовується як газовий реагент для окислення металу, що відбувається під дією лазерного променя. Основна перевага цього методу – висока швидкість різання, можливість різання товстих виробів та зменшення ймовірності зварювання під час різання.

Лазерне різання (лазер LTC75-3000-2512LD) було використано в умовах виробництва для обробки деталей із сталі 45 (табл. 1).

Таблиця 1

Найменування	Характеристика
Тип лазера	Оптоволоконний, серія ЛК, ЛС
Середня потужність випромінювання, кВт	3
Довжина хвилі лазерного випромінювання, нм	1070
Точність позиціонування по координатам X и Y, мм	0,01
Максимальна швидкість переміщення X, Y, м/хв	90
Товщини сталі	до 16 мм
Швидкість різання сталі товщиною 1мм, мм/хв	до 8000

Обробці лазерним різанням піддавалися деталі швидкоскидного механізму, які працюють в умовах підвищеного тертя, що викликає їх швидкий знос.

В табл. 2 наведені режими обробки деталей та їх якісні показники.

Таблиця 2.

№ деталі	Товщина сталі, мм	Швидкість різання, мм/хв	Газ	Шорсткість, Ra, мкм	Твердість, HRC
1	3	2800	Кисень	1,25	41
2	4	1650	Кисень	1,6	40

Результати виготовлення деталей зі сталі 45 лазерним різанням дозволило відмовитись від операцій чистової обробки та термічних операцій, зменшити собівартість деталей та підвищити зносостійкість в 2–3 рази.

Напрями досліджень процесів чистового торцевого фрезерування важкооброблюваних матеріалів

У сучасному машинобудуванні широко використовуються деталі із важкооброблюваних матеріалів, які мають особливі фізико-механічні характеристики. Процес обробки таких матеріалів супроводжується значними силовими навантаженнями, високою температурою в зоні різання та підвищеним зношуванням інструменту. Це, в свою чергу, негативно позначається на продуктивності обробки та якості оброблених деталей. Особливо важливою є проблема обробки плоских точних протяжних поверхонь, зокрема торцевим фрезеруванням. Вимоги до таких поверхонь щодо макро- та мікрогеометрії дуже високі, але при цьому процес обробки складний через особливості фізико-механічного складу матеріалів деталей та труднощі обробки деталей великої довжини.

Незважаючи на значні досягнення у цій галузі, дослідження процесу торцевого фрезерування плоских протяжних поверхонь деталей з важкооброблюваних матеріалів залишається недостатньо вивченим.

Тому вирішення проблеми підвищення продуктивності торцевого фрезерування та забезпечення необхідної якості обробки плоских поверхонь деталей із важкооброблюваних матеріалів вимагає глибокого розгляду особливостей процесу обробки та визначення основних напрямів удосконалення конструкцій торцевих фрез. Фрези повинні бути розраховані для процесу обробки зі збільшеними подачами та забезпечувати динамічну стабільність процесу різання.

Необхідно також враховувати, що при розробці технологічного процесу обробки ступінчастими фрезами необхідно врахувати наступні особливості процесу фрезерування:

- динамічні процеси врізання та виходу із зони різання кожного різального елемента фрези та фрези у цілому;
- змінну ширину фрезерування у зонах входу фрези в заготовку та виходу з неї;
- змінність параметрів шарів, що зрізаються, за дугою контакту різальних елементів із заготовкою;
- змінну кількість різальних елементів, що одночасно приймають участь у різанні;
- внецентрове силове навантаження фрез у процесі різання;
- змінні деформації технологічної системи (верстата, інструмента, пристосування, деталі);
- коливання швидкості обертального руху фрези у процесі різання тощо.

У зв'язку з великою кількістю факторів, що впливають на характеристики процесу різання, необхідним є використання математичного моделювання процесів різання для розробки та прогнозування основних характеристик процесу різання залежно від параметрів обробки та конструктивних параметрів торцевих фрез. Ці моделі можуть бути використані для оптимізації конструктивних параметрів інструментів та визначення якісних характеристик обробки без необхідності проведення фізичних експериментів на кожному етапі, що дозволить зменшити обсяг проведення натурних експериментів.

При обробці деталей великої довжини виникає питання щодо розмірної стійкості торцевих фрез та можливості забезпечення стабільних характеристик оброблюваних поверхонь за всією довжиною деталі, що викликає необхідність проведення стійкісних досліджень при обробці деталей із важкооброблюваних матеріалів.

Результати попередніх досліджень стійкості торцевих ступінчастих фрез косокутної геометрії, оснащених гексанітом-Р при обробці загартованої сталі 45 (45...48HRC_E) показали, що процес зношування відбувається по задній поверхні різальних елементів торцевих фрез без катастрофічних руйнувань при досягненні фаски зносу по задній поверхні до 0,2...0,3 мм, при цьому середньоарифметична висота нерівностей не перевищувала 1,25 мкм.

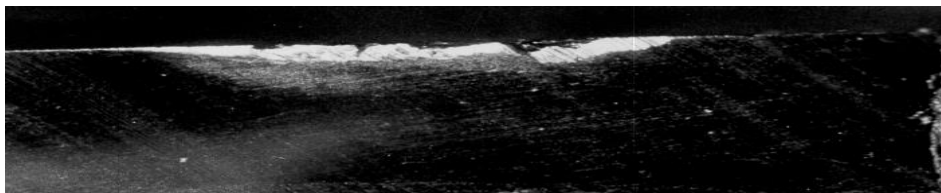


Рис. 1. Фаска зношування по задній поверхні різального елемента торцевої фрези

При використанні оптимальних режимів різання та геометричних параметрів стійкість ступінчастих фрез косокутного різання при обробці загартованої сталі становила не менше 400 хвилин машинного часу при площі обробленої поверхні до 6 м², що дозволяє прогнозувати можливість використовувати торцеві фрези для обробки деталей великої довжини із важкооброблюваних матеріалів.