

**ВИГОТОВЛЕННЯ ОСЕСИМЕТРИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ СКЛАДНОЇ ФОРМИ
НА ВЕРСТАТАХ З ЧПК, МЕТОДАМИ РОТАЦІЙНОЇ ВИТЯЖКИ**

Проаналізовано вплив основних факторів на формоутворення при ротаційній витяжці деталей із тонкостінної оболонки і запропоновано методику (послідовність) дій по забезпеченню розробки технологічного процесу для виготовлення деталей методами ротаційної витяжки з допомогою верстатів з ЧПК. Отримана методика дозволяє розробляти раціональні технології виготовлення деталей складної опукло-вигнутої форми методами ротаційної витяжки, шляхом забезпечення оптимальних значень та заданих законів зміни параметрів процесу ротаційної витяжки.

Режими ротаційної витяжки та параметри процесу, при яких забезпечується стійкість формозмінення заготовки без її руйнування визначається методами теорії стійкості та прикладної теорії деформованості.

Ключові слова: ротаційна витяжка, технологічний процес, осесиметричні, гофроутворення, керування, траєкторія.

Y. I. SHEVCHUK, K. I. SHEVCHUK, I. O. SYVAK, O. M. MIRONENKO
Vinnytsia National Technical University

**MANUFACTURING AXISYMMETRIC DETAILS WITH COMPLEX FORM
ON CNC MACHINES, ROTARY DRAWING METHODS**

The influence of main factors on the forming process by rotary drawing of parts, made from a thin-wall shell, is analyzed and procedure (sequence of actions) is proposed in order to provide a technological process for manufacturing parts by rotary drawing methods using CNC machine tools. The obtained procedure makes it possible to develop rational technologies for manufacturing parts of a complex convex-concave shape by rotary drawing methods, ensuring optimal values and definite variation laws for the parameters of rotary drawing process.

Rotary drawing processes and the process parameters, which provide the blank forming stability without its destruction, are determined by the methods of stability theory and the applied theory of deformability.

Keywords: rotary extract, process, axisymmetrical, mountain building, control, trajectory.

Вступ

Ротаційна витяжка – це процес локального циклічного деформування плоскої або порожнистої заготовки, що обертається, деформуючим інструментом у вигляді одного або декількох роликів. Інструменти при ротаційній витяжці найчастіше не прив'язані до геометрії деталей, тому даний спосіб має високу формоутворювальну гнучкість не тільки в сфері серійного виробництва, а й при виготовленні обмеженої кількості деталей і виготовлення одиничних прототипів і є реальною альтернативою звичайному листовому штампуванню при виготовленні осесиметричних деталей [1, 2].

В даний час не вирішені проблеми точного виготовлення осесиметричних деталей складної форми методами ротаційна витяжки на різних видах напівавтоматичних верстатів. Завдяки використанню верстатів з числовим програмним керуванням розроблено нові технології, оснащення та інструмент, автоматизовано ротаційну витяжку та розширено спектр сучасних методів виготовлення порожнистих осесиметричних деталей [3].

Основні переваги ротаційної витяжки в порівнянні зі штампуванням полягають в наступному: універсальність і широкі технологічні можливості процесу; простота і низька вартість оснащення та інструменту; можливість обробки різанням і пластичним деформуванням на одному верстаті; висока концентрація операцій і можливість остаточного виготовлення виробів складної форми на одному робочому місці.

Вартість оснастки для ротаційної витяжки складає 5–10% від вартості інструментальних штампів, а вага в порівнянні з вагою штампів – близько 15–20%, а іноді й менше. Завдяки її впровадженню терміни підготовки виробництва зменшуються в 5–10 разів. Деталі виготовлені методом ротаційної витяжки на верстатах з ЧПК повністю відповідають вимогам, які ставляться до виробів, отриманих штампуванням [4].

Постановка [та викладання основного матеріалу]

Метою даної роботи є забезпечення якості та необхідної геометричної форми осесиметричних деталей з листових заготовок, отриманих методами ротаційної витяжки на обладнанні з ЧПК, на основі розробки методики підготовки програм для верстатів з ЧПК, які дозволяють управляти параметрами процесу та забезпечувати стійкість формозмінення заготовки без її руйнування.

Виконані дослідження показали, що швидкість подачі, частота обертання шпинделів, потужність, жорсткість і тягові зусилля сучасних токарних верстатів з ЧПК в основному задовольняють вимогам, що пред'являються до таких технологій.

При числовому управлінні такими верстатами задається інформація як про швидкість обертання заготовки, швидкість подачі і прискорення переміщення, так і про траєкторії руху робочих інструментів, завдяки чому при розробці програми можна добитися максимального використання пластичних властивостей матеріалу і створення найсприятливіших умов деформування. Ці параметри можна змінювати в будь-який момент на кожному переході, домагаючись заданої шорсткості поверхні, високої точності і високої продуктивності обробки. Програма може бути тривалою, що дає можливість повністю обробляти

оболонки складної форми. Витяжку можна вести як на оправці, форма якої співпадає з кінцевою формою деталі, так і на простій оправці, добиваючись додержання потрібної форми виробу шляхом призначення необхідних режимів обробки.

Підготовка програм для ротаційної витяжки (РВ) на верстатах з ЧПК трудомістка і складна, тому актуальні проблеми розробки прогресивної технології і способів автоматизації підготовки програм. Для автоматичного програмування роботи верстатів з ЧПК нами використані графічні САП AutoCAD, T-FLEX, КОМПАС- 3D, SolidWorks, а для програмування в МG кодах використані системи ArtCam, T-FLEX, SolidWorks, розроблені для токарних верстатів.

Технологічна підготовка програм. Підготовка керуючої програми для верстатів з ЧПК складається з трьох стадій: технологічної, математичної та програмування.

Технологічна підготовка програм для РВ порожнистих деталей на токарних верстатах з ЧПК істотно відрізняється від технологічної підготовки для токарно-давильних верстатів інших видів. Це пояснюється в першу чергу тим, що зростає складність технологічних завдань. Управляючі програми розробляються або на ЕОМ з використанням систем автоматичного програмування (САП), або ручним способом. Підготовку вихідних даних виконує технолог-програміст, знайомий з основами РВ і з мовою програмування конкретної системи САП [5].

Готова система САП для обробки деталей РВ авторам не відома. Тому нами для реалізації процесу використані згадані вище САП з елементами ручного програмування. Таке програмування проводиться в певній послідовності: вивчення існуючих методів виготовлення деталей на токарно-давильних верстатах; розробка технологічної документації та керуючої програми; перевірка і корегування програми.

Ознайомлення з існуючими методами виготовлення деталей на токарно-давильних верстатах в першу чергу переслідує мету максимального використання відомих технологічних прийомів та існуючого оснащення і інструменту. При цьому вивчають маршрут технологічного процесу обробки деталі, аналізують зміну форми заготовки на кожному парному і непарному ходах, а також після кожної операції, яка планується на верстатах з ЧПК. Визначають способи базування, методи витяжки окремих елементів проміжних заготовок, спеціальні технологічні прийоми, використовувані при автоматизованій РВ. Визначають необхідні пристосування, давильний і ріжучий інструмент, який використовується на всіх операціях.

Розробляють детально операції технологічного процесу повної обробки деталі. Встановлюють режими обробки окремих ділянок деталі, використовуючи наявний технологічний досвід, елементи теорії РВ, загальні положення обробки металів тиском і різанням з урахуванням технологічних можливостей верстата з ЧПК. Зміст процесу записується в операційно-технологічну карту, до якої додається ескіз оброблюваної на даній операції деталі.

На основі операційно-технологічної карти і схеми руху давильного і ріжучих інструментів розробляється розрахунково-технологічна карта (РТК), за якою складається карта програмування, яка є вихідним документом для розробки керуючої програми. Розроблена керуюча програма проходить ряд перевірок і при необхідності коригується.

При технологічній підготовці операцій РВ деталей на верстатах з ЧПК недостатньо виготовити керуючі програми для здійснення певних траєкторій руху давильного інструменту. Перш за все необхідно забезпечити стабільність процесу, стійкість процесу витяжки заготовки. Запобігти гофроутворенню і надмірному стоншенню, забезпечити задану точність, високу продуктивність обробки деталей в автоматичному режимі роботи верстата. Це досягається шляхом технічно обґрунтованого вибору моделі верстата з ЧПК, допустимих ступенів деформації, частоти обертання заготовки, величин подач, геометричних параметрів обладнання і інструмента. Верстат з ЧПК вибирають з умови забезпечення необхідних зусиль деформування і продуктивності обробки при заданих розмірах заготовки і механічних властивостях матеріалу. При виборі верстата враховують його технологічні можливості, забезпечення повного завантаження і відпускну ціну.

Багато, щоб технологічне оснащення для РВ на токарних верстатах з ЧПК було жорстким, недорогим та забезпечувало необхідну точність обробки.

Особливе значення для вибору давильного інструменту набуває питання його кріплення на супорті, виключення биття і розмірна ув'язка вихідної точки обробки з системою координат деталі. При проектуванні і виготовленні давильного інструменту для верстатів з ЧПК повинні бути забезпечені необхідна жорсткість, точність і мінімальне биття.

Порожнисті і листові заготовки, які обробляються на верстатах з ЧПК, повинні мати добре підготовлені базові поверхні. Проміжні заготовки повинні бути досить жорсткими і стійкими при формоутворенні. Якщо конфігурація або форма дна готової деталі не дозволяє виконати перелічені вимоги, то необхідно їх забезпечити технологічними способами. Кріплення оправки, заготовки та інструменту повинні мати високу надійність. При витяжці глибоких деталей верстат з ЧПК необхідно обладнати пристроєм для знімання деталей з оправки і підтримуючим роликком, сприяючим підвищенню стійкості формоутворення заготовки з високим фланцем.

Механічна обробка різцями при РВ програмується тими ж методами, що й на звичайній токарній операції, з урахуванням особливостей різання тонкостінних оболонок.

Головне завдання технологічної підготовки обробки тонкостінних оболонок на верстатах з ЧПК полягає в забезпеченні ефективності методів формоутворення оболонки в порівнянні з їх виготовленням на

давильних верстатах з ручним керуванням. Це досягається в першу чергу технічно обґрунтованим відбором номенклатури деталей, витяжку яких економічно і доцільно проводити на верстатах з ЧПК. Сюди відносяться насамперед великі деталі складної конфігурації, для виготовлення яких потрібні штампи і обладнання високої вартості.

Проектування технологічних процесів. Особливості проектування технологічного процесу для РВ оболонки на верстатах з ЧПК вимагають більш ретельної підготовки вихідних даних в порівнянні з підготовкою аналогічних даних для автоматизованих токарно-давильних верстатів з цикловою системою керування. Обсяг вихідних даних для проектування технологічного процесу РВ на верстатах з ЧПК дуже великий, що викликано високим рівнем автоматизації виконуваних операцій [5].

Основними вихідними даними для проектування технологічного процесу РВ на верстатах з ЧПК є креслення і технічні умови на виготовлення деталі, розмір програмного завдання, послідовність операцій і переходів, схеми обробки проміжних заготовок, траєкторії руху давильного та ріжучого інструментів.

Операційний технологічний процес РВ для верстатів з ЧПК проектується на основі техніко-економічних принципів. Відповідно до технічних принципів технологічний процес повинен забезпечувати стійкість протікання формоутворення оболонки, виконання вимог креслення деталі і технічних умов на її виготовлення. Відповідно до економічних принципів деталі повинні оброблятися при мінімальних витратах часу і найменшій собівартості. Тому, проектуючи технологічну операцію, прагнуть до зменшення штучного часу і до використання недорогого верстата з ЧПК, оснащення та інструменту. Основний час можна скоротити шляхом зменшення числа і тривалості переходів при РВ і використання високопродуктивних режимів обробки різанням. Допоміжний час скорочують за рахунок зменшення часу холостих ходів верстата і часу на заміну інструменту, а також застосування найбільш досконалих пристосувань для встановлення заготовки і зняття готових деталей. Особливо це відноситься до складних глибоких деталей. При проектуванні технологічного процесу РВ необхідне точне визначення траєкторій руху інструменту в системі координат верстата, а також ув'язка вихідної точки обробки з положенням заготовки.

При підготовці керуючої програми роботи верстата з ЧПК методом автоматичного отримання кінцевих розмірів оболонки виникає необхідність складання докладного плану операції і розрахунку режимів витяжки для всіх технологічних переходів. При цьому можливе застосування математичних методів оптимізації. Можуть оптимізуватися сили, метод витяжки, форма робочої траєкторії руху давильного ролика, число і послідовність переходів, траєкторії допоміжних переміщень і холостих ходів інструменту, тощо. Для оптимізації окремих складових технологічного процесу і режимів витяжки можуть бути використані ЕОМ. У зв'язку з цим актуальним є подальше дослідження особливостей РВ на верстатах з ЧПК.

Маршрут обробки пластичним деформуванням і різанням оболонкових деталей на верстаті з ЧПК визначається прийнятою схемою формоутворення і послідовністю обробки окремих ділянок, погоджених з комплексом оснащення, давильного та ріжучого інструменту. Від вибору послідовності операцій і переходів залежить стійкість процесу, якість деталі і продуктивність її обробки. При виборі методів і послідовності обробки деталі на верстатах з ЧПК необхідно керуватися принципами, покладеними в основу ручної витяжки і витяжки на автоматизованих токарно-давильних верстатах з цикловою системою керування, враховуючи при цьому широкі технологічні можливості верстатів з ЧПК.

В окремих випадках слід застосовувати траєкторії руху інструменту які забезпечують більш високі ступені деформації, з поверненням для подальшого згладжування нерівностей. Слід враховувати, що на верстатах з ЧПК передбачені можливості складних рухів для швидких холостих ходів в прямому і зворотному напрямках.

При РВ завдяки локальному навантаженню заготовки легко виявляються дефекти в металі. Тому при встановленні послідовності обробки відповідальних деталей з дефіцитних матеріалів або деталей, в заготовках яких часто зустрічаються дефекти металу, необхідно виділяти небезпечні місця. Для виявлення дефектів візуально і контрольних промірів потрібно передбачити зупинку шпинделя на незначний час.

Визначення числа операцій і переходів РВ слід починати з вибору методу витяжки, числа оправок і способу базування на кожній операції до повної обробки. При цьому треба враховувати особливості конструкції деталі та технологічні можливості верстата. Першу установку зазвичай вибирають із умов найбільш зручного формоутворення і базування заготовки.

Кінцевою метою при визначенні послідовності операцій являється встановлення такої схеми, яка забезпечує стійке протікання процесу витяжки, необхідну якість деталі, найбільш повну обробку з найменшим штучним часом.

Особливості проектування технологічних процесів з використанням верстатів з ЧПК. Проектування технологічної операції РВ на токарному верстаті з ЧПК складається з комплексу завдань, які доводиться вирішувати при використанні як звичайних токарно-давильних верстатів з автоматичним керуванням, так і верстатів з ЧПК. До таких завдань відносяться вибір методу РВ, числа операцій, схеми виготовлення проміжних заготовок, способів базування і конструкції оправок, конструкції і розмірів ролика давильного інструменту, а також розрахунок режимів і норм часу.

Поряд з цим для розробки керуючої програми роботи верстата з ЧПК необхідно побудувати траєкторії руху ролика і визначити координати опорних точок траєкторій. Усю отриману інформацію необхідно занести в операційну розрахунково-технологічну карту, потім описати певним чином геометричні технологічні параметри і необхідні команди по керуванню робочим циклом верстата в карті програмування.

На завершальному етапі отримані дані в установленому кодї записують на носій програми. Отримана таким чином керуюча програма перед використанням у виробничих умовах перевіряється моделюванням процесу обробки з допомогою ЕОМ і при необхідності коригується.

При РВ на токарних верстатах з ЧПК застосовують три основні схеми базування: по отвору, виступу або по площині. Базові поверхні утворюються при виготовленні заготовки. Ці схеми установки при відповідній підготовці базових поверхонь відповідають вимогам, які ставляться до установки деталей на токарних верстатах з ЧПК. Прийняті схеми базування визначають форму заготовок і конструкцію роликів.

Вибір траєкторій руху давильного ролика і розрахунок величини ротаційної витяжки є комплексним техніко-економічним завданням, вирішення якого полягає у виборі і комбінації рухів які забезпечують мінімум витрат на виготовлення деталі при заданих технічних обмеженнях. Для проектування схеми руху давильних та ріжучих інструментів необхідно побудувати траєкторії руху і допоміжних переміщень при обробці всіх поверхонь. Найбільшу складність представляє побудова траєкторії руху інструменту при багатоперехідній РВ. При цьому траєкторію розраховують графо-аналітичними методами з урахуванням відомих рекомендацій.

Кількість переходів та режими РВ будь-якої деталі визначають на основі оцінки деформованості матеріалу заготовки та стійкості формозмінення [6, 7]. На основі аналізу отриманих результатів будуються траєкторії з урахуванням визначених на стадії проектування допустимих ступенів деформації та деформуючих зусиль на кожному переході для кожної ділянки складної деталі при прийнятому методі РВ. При виборі вихідного положення "нуль інструменту" потрібно виходити з того, щоб найдовша траєкторія не виходила за встановлені межі.

Визначення оптимальних траєкторій руху давильного ролика і режимів витяжки, що забезпечують мінімальну собівартість обробки, залежить від форми, розмірів і матеріалу заготовки, допустимого ступеня стоншення, особливості верстата з ЧПК, прийнятого критерію оптимізації, числа оптимізованих параметрів та ін.

У РТК та на інших схемах, побудованих для верстатів з ЧПК, рух давильного ролика зображається як траєкторія переміщення центру кривизни робочої поверхні ролика. Схему рухів і деталь викреслюють з допомогою САП AutoCAD, SolidWorks, ArtCAM, КОМПАС-3D. Суцільними лініями вказують робочі рухи, штриховими - холості. Послідовно розташовані опорні точки, в яких змінюється напрямок руху інструменту, позначають арабськими цифрами. Напрямок руху вказують стрілками.

При великому числі інструментів і значному числі опорних точок слід викреслювати схему руху для кожного інструменту окремо.

З метою уникнення помилок рекомендується поєднувати викреслювання схеми руху інструментів зі складанням РТК. Де РТК дає всю інформацію для розрахунку та кодування траєкторій руху інструменту. Розрахунок, кодування і запис програм руху інструментів при РВ виконують тими ж методами, які застосовують при токарній обробці на верстатах з ЧПК.

Розглянемо процес ротаційної витяжки тонкостінної заготовки складної форми комбінованим методом виконання який можливий тільки на верстатах з ЧПК. Заготовка із алюмінію АД1 та сталі 10 товщиною 0,8, 1,0 та 1.2 мм. Яка закріплена на оправці і притискається болтом (рис. 1). Ролик підводиться до початкової точки O_1 де він починає поступовий рух деформування. Заздалегідь розрахована еквідистанта руху давильного інструменту складається з шляху підведення інструменту в початковий стан до початкової точки формоутворення O_2 , робочий хід 1-2 і вихід в початковий стан по траєкторії 2-3- O_1 . За нуль деталі при відтворенні еквідистанти зазвичай приймають точку O_0 місці перетину осей X і Y на правому.

При обробці деталі складної форми для досягнення оптимального результату, розробку програми було розбито на дві частини.

- Витяжка у форму конуса з кутом конуса 60° (рис. 1).
- Витяжка у складну опукло-ввігнуту форму траєкторія показана на (рис. 2).

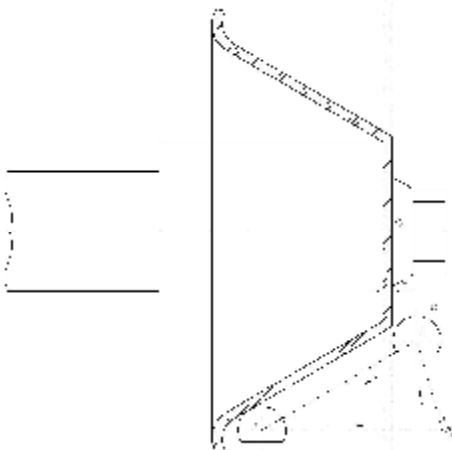


Рис. 1. Обробка деталі на першій операції у конічну форму

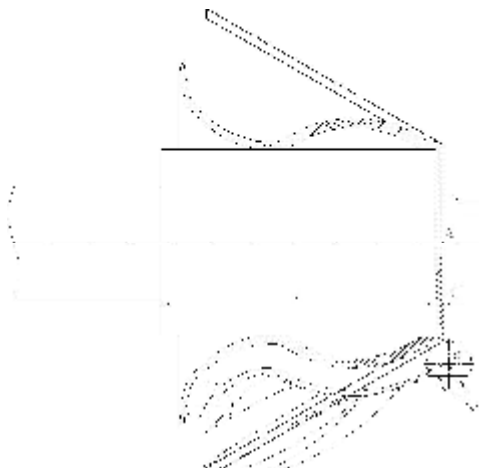


Рис. 2. Обробка деталі на другій операції у складну опукло-ввігнуту форму

Для забезпечення правильного виготовлення деталі було визначено раціональні геометричні параметри робочої поверхні ролика $R_{пол}=1,5$ мм, $R_{пол}=4,0$ мм та $R_{пол}=6,0$ мм кута α для листових заготовок товщиною $\delta=0,8$ мм, $\delta=1,0$ мм і $\delta=1,2$ мм із алюмінію АД1 і сталі 10. Виконано розрахунок напружено-деформованого стану в осередку деформації в залежності від параметрів процесу [8]. На основі отриманих результатів побудовано траєкторії навантаження в просторі з координатами: показник напруженого стану η , параметр Надаї-Лоде μ_{σ} , ступінь деформації e_n , які були використані для розрахунків величини використаного ресурсу пластичності ψ [9] та його залежності від параметрів процесу РВ. Параметри процесу РВ підбирали так, щоб величина ψ на першому етапі не перевищувала значень $\psi \leq 0,4$, що є важливим фактором виготовлення деталі, так як отриману кінчну заготовку використовували в подальшому для виготовлення деталі більш складної опукло-вигнутої форми (рис. 2). В подальшому траєкторії руху інструменту і інші параметри процесу підбирали так, щоб після кінцевої обробки - $\psi \leq 0,80 - 0,85$.

Використання розроблених програм дозволило виготовити деталі опукло-вигнутої форми з листових заготовок із сталі 10 та алюмінію АД1 представлені на рисунку 3.



Рис. 3. Деталь опукло-вигнутої форми з листової заготовки із сталі 10 та алюмінію АД1

Висновки

Запропонована методика розробки програм для реалізації технологічного процесу ротаційної витяжки осесиметричних деталей складної форми на верстатах з ЧПК. Програма дозволяє задавати такі траєкторії руху інструменту, при яких забезпечується стійкість формозмінення заготовки без її руйнування.

При розробці програми управління рухом інструменту відносно деталі використані САП AutoCAD, SolidWorks, ArtCAM, КОМПАС-3D, де забивалися параметри обробки в МГ коди використовуючи ArtCam, та T-FLEX, розроблені для токарних верстатів з ЧПК.

Використання розроблених програм дозволило виготовити деталі опукло-вигнутої форми з листових заготовок із сталі 10 та алюмінію АД1.

Література

1. Сивак І.О. Розподіл внутрішніх силових факторів в перерізі циліндричної заготовки при локальному навантаженні / І.О. Сивак, О.М. Мироненко, Є.І. Шевчук // Вісник Хмельницького національного університету. – 2013. – № 1. – С. 32 – 36.
2. Могильный Н. И. Ротационная вытяжка оболочковых деталей на станках / Могильный Н. И. – М. : Машиностроение, 1983. – 190 с.
3. Лозінський Д.О. Ротаційна витяжка осесиметричних деталей з використанням пропорційного електродігидравлічного приводу / Д.О. Лозінський, І.О. Сивак, Є.І. Шевчук, В.Г. Пилявець // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 4. – С. 21 – 24.
4. Яковлев С.С. Технологии изготовления осесиметричных деталей ротационной вытяжкой / С.С. Яковлев, В.И. Трегубов, Д.В. Дудука // Известия ТулГУ. Серия. Технологии и оборудование для обработки металлов давлением. – Тула : Изд-во ТулГУ, 2010. – Вып. 3. – С. 121–127.
5. Петраков Ю.В. Повышение точности токарной обработки на станках с ЧПУ / Ю.В. Петраков, Д.П. Ковальчук // Вісник НТУУ «КПІ». Серія: машинобудування. – 2013. – № 2 (68). – С. 134–138.
6. Огородников В. А. Деформируемость и разрушение металлов при пластическом формоизменении / В. А. Огородников. – К. : УМК ВО, 1989. – 152 с.
7. Грушко А. В. Карты материалов в холодной обработке давлением / А. В. Грушко. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 348 с. – ISBN 978-966-641-622-6.
8. Сивак І.О. Напружений стан в осередку деформації листової заготовки при ротаційній витяжці осесиметричних деталей [Електронний ресурс] / І.О. Сивак, С.І. Сухоруков, Є.І. Шевчук // Наукові праці ВНТУ. – 2014. – № 4. – С. 6. – Режим доступу : <http://praci.vntu.edu.ua/article/view/3829/5589>
9. Огородников В. А. Энергия. Деформации. Разрушение : (задачи автотехнической экспертизы) / В. А. Огородников, В. Б. Киселев, И. О. Сивак. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2005. – 204 с.

Рецензія/Peer review : 13.11.2015 р. Надрукована/Printed : 19.2.2016 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Р.Д. Іскович-Лотоцький