

УДК 621.9

<https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2020.3.4>

Ю.Г. РОЗОВ

Херсонський національний технічний університет
ORCID : 0000-0002-7377-5566

Д.О. ДМИТРИЄВ

Херсонський національний технічний університет
ORCID : 0000-0001-8200-351X

С.А. РУСАНОВ

Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0002-1003-4867

Д.Д. ФЕДОРЧУК

Херсонський національний технічний університет
ORCID : 0000-0003-1565-7067

МОДЕЛЮВАННЯ І КОНСТРУКТИВНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ТРУБЧАСТИХ ВИРОБІВ З ПРОФІЛЬНОЮ ПОВЕРХНЕЮ

В даній роботі теоретично досліджено процеси формоутворення прецизійних виробів складної форми методами механічної обробки - різанням і тиском. Запропоновано новий спосіб виготовлення прецизійних трубчастих виробів малого розміру з профільованою у різних напрямках внутрішньою поверхнею, що полягає в обтисненні заготовки профільної оправки ззовні неприводними роликками.

При виготовленні прецизійних трубчастих виробів з профільованою внутрішньою поверхнею методами, заснованими на холодній пластичній деформації металу, не завжди забезпечується бажана якість каналу. Основні способи виготовлення прецизійних трубчастих виробів зі спеціальним профілем внутрішньої поверхні, які засновані на методах обробки з видаленням металу з оброблюваної поверхні, пов'язані зі значною втратою металу, мають високу трудомісткість або вимагають спеціального обладнання, (глибокого свердління).

Розробка нових технологічних процесів для виготовлення прецизійних трубчастих виробів методами холодної пластичної деформації і проектування необхідного для цього технологічного обладнання неможливі без ретельного аналізу НДС в осередку деформації, визначення енергосилових параметрів і розрахунків на міцність робочих інструментів.

Створено нове технологічне обладнання пристосування для обтиснення трубчастої заготовки між роликками, отримано нові знання на основі методів розрахунку параметрів конструкції і процесів формоутворення з застосуванням багатofункціональних систем зі зворотнім зв'язком між наявним напружено-деформованим станом обладнання та відкликом оброблюваного об'єкту.

Результати дослідження базуються на експериментальних випробуваннях, що проводяться із застосуванням розроблених методик, патентів, нового обладнання та створених засобів

Ключові слова: пристосування; трубчасті вироби, профільована внутрішня поверхня.

Ю.Г. РОЗОВ

Херсонський національний технічний університет
ORCID : 0000-0002-7377-5566

Д.О. ДМИТРИЄВ

Херсонський національний технічний університет
ORCID : 0000-0001-8200-351X

С.А. РУСАНОВ

Херсонський національний технічний університет
ORCID : 0000-0002-1003-4867

Д.Д. ФЕДОРЧУК

Херсонський національний технічний університет
ORCID : 0000-0003-1565-7067

МОДЕЛИРОВАНИЕ И КОНСТРУКТИВНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТРУБЧАТЫХ ИЗДЕЛИЙ С ПРОФИЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

В данной работе теоретически исследованы процессы формообразования прецизионных изделий сложной формы методами механической обработки - резанием и давлением. Предложен новый способ изготовления прецизионных трубчатых изделий малого размера с профилированной в разных

направленнях внутрішньої поверхністю заключається в обжатті заготовки профільної оправки ізвне не приводними роликками.

При изготовленні прецизійних трубчатих изделий із профілюваної внутрішньої поверхністю методами, основанийми на холодній пластическій деформації металла, не всегда забезпечується жєлаємеє качєство каналла. Основні способи изготовлення прецизійних трубчатих изделий со спеціальним профілем внутрішньої поверхності, основанийні на методах обробки с удалєнієм металла с обробатуємоєї поверхності, звязанні со значительної потєрей металла, имеют високує трудоємкєсть или требуює спеціальнєго оборудованія, (глубокєго сверленія).

Разроботка нових технологіеских процесєв для изготовлення прецизійних трубчатих изделий методами холодній пластическій деформації и проєктирєванія необхіднєго для этого технологіескєго оборудованія невозможнє без тїцательнєго анализа НДС в очає деформації, опрєдєленія енергєсильєвих параметрєв и расчєтов на прочнєсть робєчих инструмєнтов.

Создано новєе технологіескєе оборудованіє приспєоблєнія для обжатія трубчатєї заготовки мєждєу роликками, полєченє новєе знанія на основє методєв расчєта параметрєв конструкції и процесєв формєобразованія с применєнієм мнєгофункціональнєх систем с обрєтнєї звязьє мєждєу имєющимся напрязєннє-деформирєваннєм состояннєм оборудованія и отзывєм обробатуємоєго обєкєта.

Рєзультаты исслєдованія базирєються на експєримєнтальнєх испїтаніях, проводимєх с применєнієм разроботаннєх методик, патєнтов, новєго оборудованія и созданнєх средств

Ключєвыє слова: приспєоблєніє; трубчатєе изделие, профілюваннєя внутрєннєя поверхнєсть.

U.H. ROZOV

Kherson National Technical University

ORCID : 0000-0002-7377-5566

D.O. DMYTRIIEV

Kherson National Technical University

ORCID : 0000-0001-8200-351X

S.A. RUSANOV

Kherson National Technical University

ORCID : 0000-0002-1003-4867

D.D. FEDORCHUK

Kherson National Technical University

ORCID : 0000-0003-1565-7067

MODELING AND CONSTRUCTIVE SAFE TECHNOLOGY OF SCREWING OF TUBE PARTS INTO THE PROFILE SURFACE

In this work, the processes of forming precision products of complex shape by methods of machining - cutting and pressure are theoretically investigated. A new method of manufacturing low-size precision tubular products with a profiled inner surface in different directions is proposed, which consists in compressing the profile mandrel blank from the outside with non-drive rollers.

In the manufacture of precision tubular products with a profiled inner surface by methods based on cold plastic deformation of the metal, the desired quality of the channel is not always provided. The main methods of manufacturing precision tubular products with a special profile of the inner surface, which are based on methods of processing with removal of metal from the treated surface, associated with significant loss of metal, have high complexity or require special equipment (deep drilling).

Development of new technological processes for the manufacture of precision tubular products by cold plastic deformation and design of the necessary technological equipment is impossible without careful analysis of VAT in the deformation center, determination of power parameters and calculations of the strength of working tools.

New technological equipment of the device for compression of the tubular workpiece between the rollers, new knowledge based on methods of calculating design parameters and forming processes using multifunctional systems with feedback between the existing stress-strain state of the equipment and the response of the machining object.

The results of the study are based on experimental tests conducted using developed methods, patents, new equipment and tools.

Key words: adaptation; tubular products, profiled inner surface.

Постановка проблеми

В роботі розраховано розміри положення опорних ланок для різних компоновань, ступінь пружної деформації ланок, значення і напрям сил реакції в опорах. Виявлено “слабкі” місця при силовому аналізі і прийнято відповідний режим роботи пристосування для виготовлення трубчастих прецизійних виробів з внутрішньою профільованою поверхнею. Досліджено взаємовплив у системі «оброблювальне обладнання – деталь», що потребує детального аналізу процесу обробки нерозривно з загальним напружено-деформованим станом оброблювального обладнання, що утворює єдиний об’єкт дослідження на макрорівні.

В роботі використано новий підхід побудови динамічного відгуку за набором заданих складних технологічних умов обробки. Розроблюване спеціалізоване програмне забезпечення повинне виконувати функції по розрахунку величин складових зусилля за технологічними режимами обробки, величини переміщення робочого органу та визначення динамічних характеристик за ортогональними осями, визначення величини загального переміщення робочих органів і оброблюваного матеріалу.

Новизною також є взаємовплив у системі «оброблювальне обладнання – деталь», що потребує детального аналізу процесу обробки нерозривно з загальним напружено-деформованим станом оброблювального обладнання, що утворює єдиний об’єкт дослідження на макрорівні. В роботі використано новий підхід побудови динамічного відгуку за набором заданих складних технологічних умов обробки. Розроблюване спеціалізоване програмне забезпечення повинне виконувати функції по розрахунку величин складових зусилля за технологічними режимами обробки, величини переміщення робочого органу та визначення динамічних характеристик за ортогональними осями, визначення величини загального переміщення робочих органів і оброблюваного матеріалу.

Аналіз попередніх досліджень.

Основною і досить складною задачею при проектуванні нового технологічного обладнання є забезпечення прогнозованих технічних характеристик на рівні технічного завдання. Авторами[1,2] запропоновано новий спосіб виготовлення прицевійних трубчастих виробів малого розміру з профільованою у різних напрямках внутрішньою поверхнею, що полягає в обтисненні заготовки профільної оправки ззовні неприводними роликками. Даний процес супроводжується великими навантаженнями на елементи конструкції пристосування, а саме-ролики, осі, валики, розпірки, корпус, що потребує теоретичного розрахунку конструктивних параметрів пристосування. До них відносяться розміри поперечних перетинів елементів, місця їх розташування, габарити і матеріал елементів.

Для прецизійних виробів із складним внутрішнім профілем малих розмірів даний тип обробки стає майже єдиною альтернативою в порівнянні з операціями різання. Зокрема, для виготовлення ствольних заготовок стрілецької зброї існує технологія їх отримання шляхом обтискання на нерухомій оправці неприводними роликками (валками), застосовуючи спеціальне пристосування (рис.1).

Існуючі дослідження базуються на експериментальних випробуваннях, що проводяться із застосуванням розроблених методик, патентів, нового обладнання та створених засобів. Методологія проведених досліджень включає сукупність методів наукових досліджень, таких як:

- метод порівняльного оцінювання;
- аналітичні методи аналізу напружено-деформованого стану та динаміки технічних об’єктів;
- метод скінчених елементів (МСЕ) та інші чисельні методи моделювання стану технічних об’єктів;
- експериментальні методи дослідження (моделювання в лабораторних умовах і натурні дослідження в промислових умовах, метод координатних сіток, методи тензометрії, метод вимірювання твердості на шліфах осередку деформації, дослідження мікроструктури металу трубчастих заготовок до і після холодної пластичної деформації, методи вимірювання механічних властивостей, а також методи планованого експерименту і математичної статистики).

Формулювання мети дослідження

Мета роботи – підвищення техніко-економічних показників процесів отримання прецизійних складнопрофільних виробів на основі розвитку методів автоматизованого розрахунку і проектування, а також розробки практичних рекомендацій по вдосконаленню технологій і оснащення багатофункціональних систем в яких існує виражений зворотній зв’язок між наявним напружено-деформованим станом обладнання та відкликом оброблювального об’єкту, що впливає на точність технологічного процесу.

Викладення основного матеріалу дослідження

При створенні нових технологій та обладнання для отримання виробів складної форми з урахуванням процесів деформації середовища та зворотнього зв’язку у виробничих системах завжди виникає задача технічного і програмного забезпечення його працездатності і не завжди знаходять готові рішення. Традиційні способи виготовлення прецизійних трубчастих виробів зі спеціальним профілем внутрішньої поверхні, які засновані на методах обробки з видаленням металу з оброблюваної поверхні, пов’язані зі значною втратою металу, мають високу трудомісткість або вимагають спеціального обладнання.

Необхідність створення науково-обґрунтованих рекомендацій з проектування технологічної оснастки для здійснення обробки складнопрофільних виробів методами холодної пластичної деформації, різанням для отримання виробів складної форми і забезпечення високої якості виробленої продукції стримується недостатністю знань і відсутністю надійних методів розробки та вдосконалення процесів гідропресування і радіального обтиснення заготовок з малопластичних сталей для одержання високоякісних виробів з підвищеними експлуатаційними властивостями.

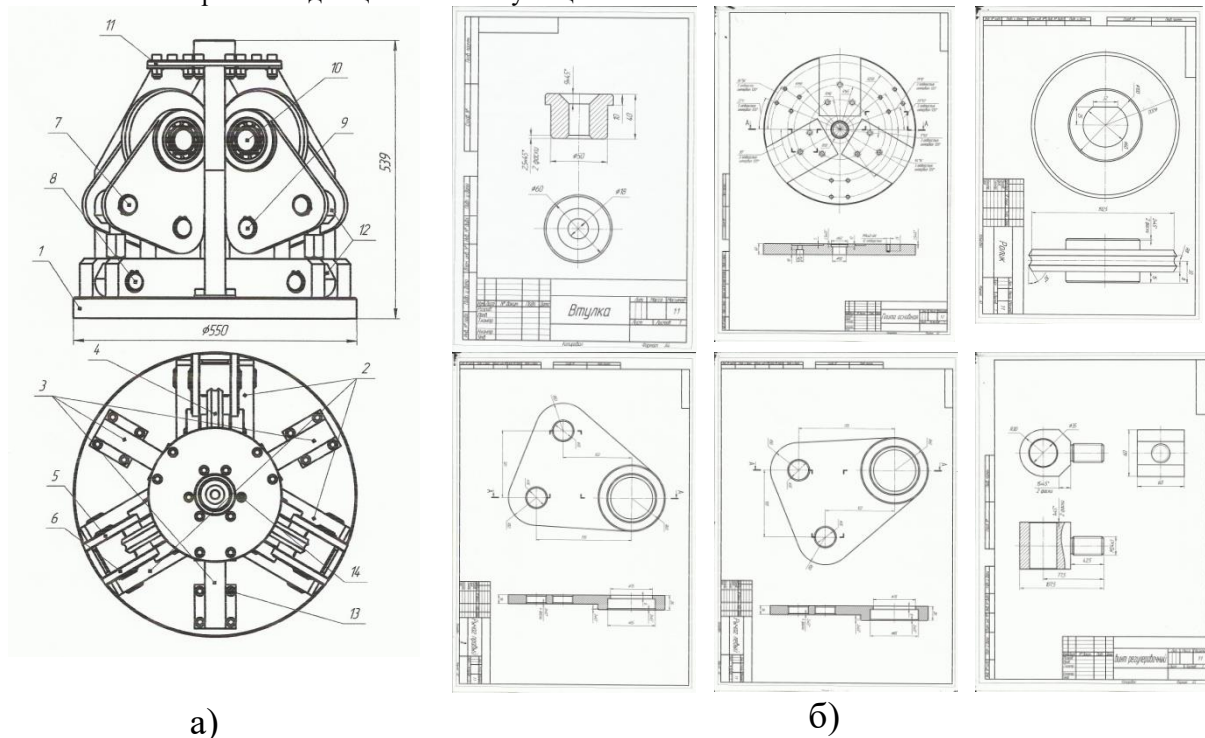


Рис.1. Конструкція пристосування для обтиснення трубчастої заготовки між роликами:
 а) складальне креслення, б) деталювання

В даній роботі теоретично досліджено ступінь пружної деформації деталей і розподіл зусиль реакцій в опорних місцях опорні місця O3, O4, O6, (рис.2, а) в пристосуванні з неприводними роликами в площині одного ролика-валка в залежності від змін навантаження в осередку деформації заготовки у часі і різного виконання компоновання опор важелів на опорній плиті (відстані a і b).

Для моделювання прийнято зміну відтиснення ролика-валка від осі оправки із заготовкою на фіксоване значення 100 мкм після чого розраховувались нормальні зусилля F_T , які є параметром для розрахунку тангенціальних зусиль F_O і загальної сили, що діє на ролик в точці O5. Розрахунок зусиль реакцій в опорних точках важелів пристосування O3, O4, O6, при пружному переміщенні осі валка показано на рис.2, при різних відстанях на опорній плиті.

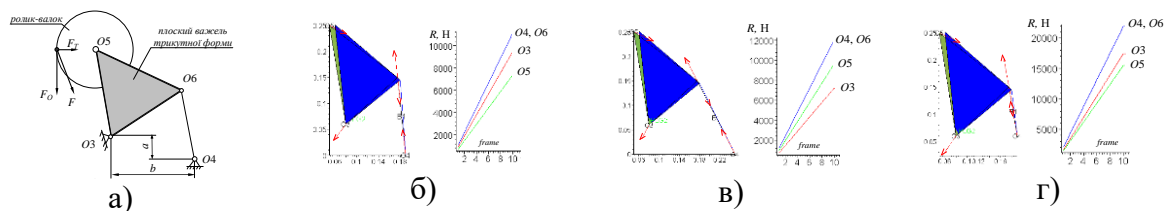


Рис.2. Розрахункова схема силового аналізу ланок пристосування у площині ролика-валка (а), результати розрахунку зусиль реакцій в опорних O3, O4, O6 точках пристосування для різних варіантів компоновань опор O4 і O3 (розміри наведено в, м): б) - $a=0,06$ м, $b=0,1$ м; в) - $a=0,06$ м, $b=0,16$ м; г) - $a=0$ м, $b=0,1$ м

Вказані на рис.2 результати моделювання було виконано в авторському програмному продукті Tools Response за кінцево-елементним аналізом повільного навантаження конструкції [3]. Теоретично досліджена ступінь пружної деформації деталей і розподіл зусиль реакцій в опорних місцях шарнірів.

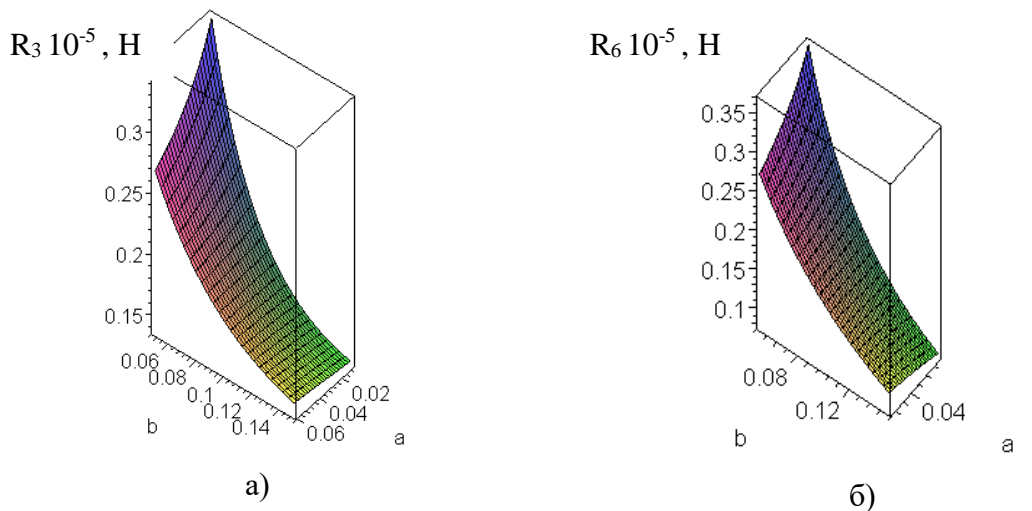


Рис.3. Діапазон зміни сил реакції в залежності від поля положень опорних шарнірів

На рис.3 показано аналітичне дослідження реакцій в шарнірах розпірки і опор важелів як функції поля імовірних їх розташувань в компоновці пристосування (визначні геометричні параметри – розміри a та b , за схемою рис.1, а). Розрахунок проводився за умови рівноваги сил і моментів конструкції як статичної системи за формулами:

$$R_{3x} = - \frac{F_0(-y_6x_3 + y_4x_3 - y_4x_6 + y_6x_4 - fx_3x_6 + fx_3x_4 + fx_5x_6 - fx_5x_4 + y_5x_6 - y_5x_4)}{-y_6x_3 + y_4x_3 - y_4x_6 + y_3x_6 - y_3x_4 + y_6x_4},$$

$$R_{3y} = - \frac{F_x(fy_4x_6 - fy_3x_6 + fy_3x_4 - fy_6x_4 + fy_6x_5 + y_6y_5 - y_6y_3 - fy_4x_5 - y_4y_5 + y_4y_3)}{-y_6x_3 + y_4x_3 - y_4x_6 + y_3x_6 - y_3x_4 + y_6x_4},$$

$$R_{6x} = \frac{(fx_3 - fx_5 - y_5 + y_3)F_x(-x_6 + x_4)}{-y_6x_3 + y_4x_3 - y_4x_6 + y_3x_6 - y_3x_4 + y_6x_4},$$

$$R_{6y} = \frac{F_x(fy_6x_5 + y_6y_5 - fy_6x_3 + fy_4x_3 - y_6y_3 - fy_4x_5 - y_4y_5 + y_4y_3)}{-y_6x_3 + y_4x_3 - y_4x_6 + y_3x_6 - y_3x_4 + y_6x_4},$$

де R_{3x}, R_{3y} - реакція в шарнірі 3; R_{6x}, R_{6y} - реакція в шарнірі 6; F_T - зовнішня притискаюча сила на ролик; f - коефіцієнт тертя, $F_0 = -fF_x$; x_i, y_i - координати i -го шарніру; $x_4 = x_3 + b, y_4 = y_3 - a$.

В результаті досліджень визначено найбільш раціональну в конструктивному виконанні компоновальну схему з параметрами $a=0,06$ м, $b=0,16$ м і розмірами стрижнів-розпірок.

При створенні нових технологій та обладнання для отримання виробів складної форми з урахуванням процесів деформації середовища та зворотнього зв'язку у виробничих системах завжди виникає задача технічного і програмного забезпечення його працездатності і не завжди підприємства знаходять готові рішення.

Необхідність створення науково-обґрунтованих рекомендацій з проектування технологічної оснастки для здійснення обробки складнопрофільних виробів методами холодної пластичної деформації, різанням для отримання виробів складної форми і забезпечення високої якості виробленої продукції стримується недостатністю знань і відсутністю надійних методів розробки та вдосконалення процесів гідропресування і радіального обтиснення заготовок з малопластичних сталей для одержання високоякісних виробів з підвищеними експлуатаційними властивостями.

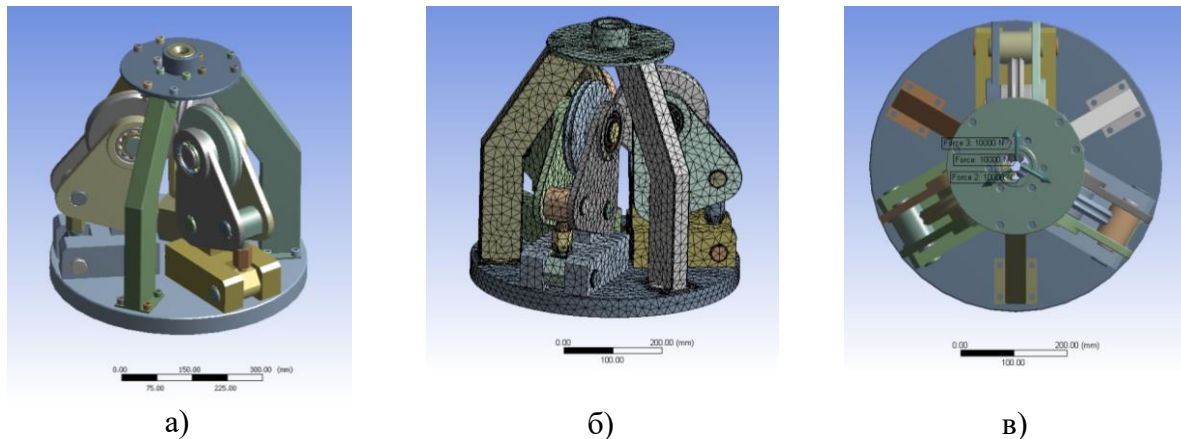


Рис.4. САД-модель пристрою(а), сітка кінцевих елементів(б), силове навантаження на ролики(в)

Було проаналізовано напружено-деформований стан пристрою, що навантажений силами прокатки на ролики у розмірі 10000 Н на кожен. Окрім того граничні умови включали жорстке зацземлення плити-основи, в шарнірних елементах задавалась ступінь свободи у тангенціальному до поверхні напрямку. В результаті розрахунку отримали поле еквівалентних напруг за Мізесом.

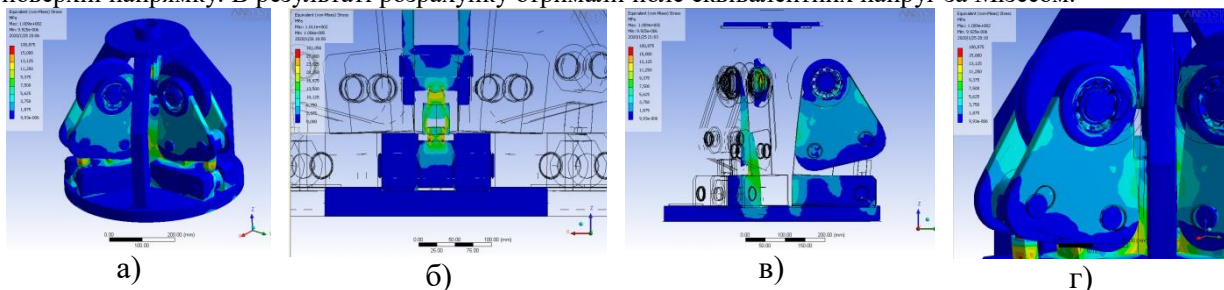


Рис.5. Поле еквівалентних напруг за Мізесом (а), напружено-деформований стан розпірки (б), поле деформацій конструкції (в), сукупна деформація в масштабі відносно вихідного положення шарнірів (г)

Найбільш навантаженим елементом є розпірка, що під дією зовнішнього навантаження та за рахунок шарнірного закріплення без врахування сили тертя знаходиться у стані стиску. Напружений стан розпірки представлено на рис.5б. Напружено-деформований стан трикутної пластини та підшипникового вузла – рис.5, в, г

Висновки

Побудовано теоретичну модель, робочі і складальні креслення пристосування для виготовлення трубчастих виробів з профільованою внутрішньою поверхнею. З метою визначення відповідних пошкоджень опор і їх перетинів проведено розрахунок навантажень і пружинних відтискань. Конструктивно забезпечено розташування кінців розпірок, що зводять важелі з роликами на рівні 10000Н.

Список використаної літератури

1. Розов Ю. Г. Технології виготовлення прецизійних трубчастих виробів холодним пластичним деформуванням: монографія / Ю. Г. Розов. - Херсон: Вид-во Херсонського національного технічного університету, 2013. - 336 с.
2. Розов Ю. Г. Нові технології виготовлення прецизійних трубчастих виробів з профільованою внутрішньою поверхнею / Ю. Г. Розов // Вісник Херсонського національного технічного університету: інженерні науки. - Херсон, 2014. - № 4 (51). - С. 29-35.
3. Дмитрієв Д.О., Русанов С.А., Федорчук Д.Д. Методологія синтезу технологічного обладнання з МПС за критеріями точності, жорсткості і функціональності // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях». – Вінниця, 2017. - 4(87), с.54-57
4. Дмитрієв Д.О. Компонетика верстатів з механізмами паралельної структури / Д.О. Дмитрієв // Науковий журнал "Технологічні комплекси". 2011 – №3. С.37-48.
5. Дмитрієв Д.О. Розробка технічних засобів проектування технологічного і верстатного обладнання каркасних просторових компоновок / Д.О. Дмитрієв, С.А. Русанов, А.А. Омельчук, Д.Д. Федорчук // Mechanics and Advanced Technologies Вісник НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського». Серія машинобудування. Вип.3 (81). – К: НТУУ «КПІ», 2017. - С.

6. Дмитрієв Д.О., Русанов С.А., Федорчук Д.Д. Методологія синтезу технологічного обладнання з МПС за критеріями точності, жорсткості і функціональності //Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вібрації в техніці та технологіях». – Вінниця, 2017. - 4(87), с.54-57
7. Dmitriev D.O., Piven S.M., Fedorchuk D.D. Using of the mechanism with parallel structures for lapping machining and new materials testing//Вісник Херсонського національного технічного університету. – Херсон: ХНТУ, 2017. - 2(61), с.45-49
8. Дмитрієв Д.О., Русанов С.А., Федорчук Д.Д. Методологія синтезу технологічного обладнання з МПС за критеріями точності, жорсткості і функціональності//«Вібрації в техніці та технологіях» XVI Міжнародна науково-технічна конференція: збірник тез доповідей. – Вінниця:ВНТУ, 2017. – с.26-29
9. Дмитрієв Д. О., Русанов С. А., Омельчук А. А., Федорчук Д. Д., Павлов П. М. Аналіз типових стратегій обробки поверхонь другого порядку на обладнанні каркасних компоновок за критеріями точності і жорсткості // Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво (МOM – 2017): матеріали тез доповідей XVII міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернігів , 01 – 03 листопада 2017 р.)/ Чернігівський національний технологічний університет [та ін.]. – Чернігів : ЧНТУ, 2017. – С. 127-129
10. Дмитрієв Д.О. Аналіз типових стратегій програмно-керованої обробки тиском поверхонь обертання механізмами паралельної структури Д.О. Дмитрієв, Г.В. Рудакова, С.А. Русанов, В.В. Рачинський // Матеріали XVIII-МНТК «Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта», 29 червня – 1 липня 2017 р, м. Київ. - С. 310 - 312

Reference

1. Rozov Yu. G. Technologies for the manufacture of precision tubular products by cold plastic deformation: monograph / Yu. G. Rozov. - Kherson: Publishing house of the Kherson National Technical University, 2013. - 336 p.
2. Rozov Yu. G. New technologies for the manufacture of precision tubular products with a profiled inner surface / Yu. G. Rozov // Bulletin of the Kherson National Technical University: Engineering Sciences. - Kherson, 2014. - No. 4 (51). - pp. 29–35.
3. Dmitriev D.O., Rusanov S.A., Fedorchuk D.D. Methodology for the synthesis of technological possession of the Ministry of Railways according to the criteria of accuracy, rigidity and functionality // All-Ukrainian Science and Technology Journal "Vibrations in Technologies and Technologies". - Vinnytsia, 2017. - 4 (87), pp.54-57
4. Dmitriev D.O. The composition of verstats with mechanisms of parallel structures / D.O. Dmitriyev // Science magazine "Technological complexes". 2011 - No. 3. pp.37-48.
5. Dmitriev D.O. Development of technical tools for the design of technological and verstatny design of spacious frame layouts / D.O. Dmitriev, S.A. Rusanov, A.A. Omelchuk, D.D. Fedorchuk // Mechanics and Advanced Technologies Bulletin of NTUU “KPI im. I. Sikorsky”. Seriya machine-building. Vip. 3 (81). - K: NTUU "KPI", 2017. - p.
6. Dmitryev D.O., Rusanov S.A., Fedorchuk D.D. Methodology for the synthesis of technological possession of the Ministry of Railways according to the criteria of accuracy, rigidity and functionality // All-Ukrainian Science and Technology Journal "Vibratsii in Tekhniki and Tekhnologii". - Vinnytsia, 2017. - 4 (87), pp.54-57
7. Dmitriev D.O., Piven S.M., Fedorchuk D.D. Using of the mechanism with parallel structures for lapping machining and new materials testing // Bulletin of the Kherson National Technical University. - Kherson: KhNTU, 2017. -- 2 (61), pp.45-49
8. Dmitryev D.O., Rusanov S.A., Fedorchuk D.D. Methodology for the synthesis of technological possession of the Ministry of Railways according to the criteria of accuracy, rigidity and functionality // "Vibrations in technologies and technologies" XVI International Science and Technology Conference: Review of theses of additional ideas. - Vinnytsia: VNTU, 2017. -- pp. 26-29
9. Dmitryev D.O., Rusanov S.A., Omelchuk A.A., Fedorchuk D.D., Pavlov P.M. Analysis of typical strategies for shaping surfaces of a different order on the existing frame layouts according to the criteria of accuracy and rigidity // Mashinobuvannya Recovering the young: progressive ideas - science - research (IOM - 2017): materials theses of additional ideas from the 17th international scientific and practical conference (m. Chernigiv, 01 - 03 leaf fall 2017) - Chernigiv: ChNTU, 2017. -- pp. 127-129
10. Dmitryev D.O. Analysis of typical strategies of software-kerovized processing with a vice overwrapped by mechanisms of parallel structure D.O. Dmitriev, G.V. Rudakova, S.A. Rusanov, V.V. Rachinsky // Materials XVIII-MNTK "Progressive technology, technology and engineering education", 29 chervnya - 1 lipnya 2017 r, m. Kiev. - pp. 310 – 312.