ISSN 2079 – 1747
DOI 10.32820/2079-1747-2020-26

Міністерство освіти і науки України
Українська інженерно-педагогічна академія

Машинобудування

Engineering

Галузеве машинобудування
Матеріалознавство
Прикладна механіка

Збірник наукових праць
Видається 2 рази на рік
Видається з грудня 2007 р.

Industry engineering
Material Science
Applied mechanics

Збірник наукових праць «Машинобудування» входить до Категорії Б наукових фахових видань, включених до Переліку наукових фахових видань України (технічні науки), в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора наук і доктора філософії (кандидата наук) наказ МОН України №409 від 17.03.2020.

УІПА

Машинобудування

2020, № 26

Збірник наукових праць

Засновник
Українська інженерно-педагогічна академія
(УІПА)

Видається з грудня 2007 р.

Свідоцтво про державну реєстрацію
друкованого засобу масової інформації
Серія КВ № 12132 – 1016Р від 26.12.2006.
ISSN 2079 – 1747
DOI 10.32820/2079-1747-2020-26

Мови видання:
українська, англійська

Друкується за рішенням Вченої ради УІПА,
протокол № 6 від 22.12.20 р

При використанні матеріалів збірника посилання
на збірник – обов'язкове.

Журнал відображено у базах даних:
Національна бібліотека України імені
В. І. Вернадського – http://www.irbis-nbuv.gov.ua/
Bielefeld Academic Search Engine –
https://www.base-search.net/
Index Copernicus – http://www.indexcopernicus.com/
Google Scholar – http://scholar.google.com.ua/
OpenAIRE (Open Access Infrastructure for Research
in Europe) – https://www.openaire.eu/
WorldCat – https://www.worldcat.org/

Редакційна колегія:

Головний редактор
Купріянов О. В., д.тех.н., доц.

Заступник головного редактора:
Фідровська, Н. М., д.тех.н., проф.

Члени колегії:
Гордєєв А. С., д.тех.н., проф.
Григоров О. В., д.тех.н., проф.
Залога В.О., д.тех.н., проф.
Ларшин В. П., д.тех.н., проф.
Литвин О. М., д. физ.-мат. н., проф.
Ловейкін В. С., д.тех.н., проф.
Петраков Ю.В., д.тех.н., проф.
Ромасевич Ю.О., д.тех.н., доц.
Соколов В. І., д.тех.н., проф.
Хавін Г. Л., д.тех.н., проф.
Alper Uysal, Ph.D., Assoc. Prof.
Dagmar Caganova, Ph.D., Assoc. Prof.
Dimitar Dichev, D.Sc., Prof.
Milan Edl,Ph.D., Assoc. Prof.
Predrag Dasic, D.Sc., Prof.

Відповідальні редактори
Подоляк О.С., к.тех.н., доц.
Сичов Ю.І., к.тех.н., доц.
Чернишенко О.В., к.тех.н.

Випусковий редактор
Соболь Л.А.

Відповідальний секретар
Соболь Л.А.

Адреса редакції:
Україна, 61003, м. Харків
вул. Університетська, 16
Українська інженерно-педагогічна академія
Тел. (057)733-79-17
Факс (057)731-32-36
E-mail: mashynobuduvannia@uipa.edu.ua
http://jmash.uipa.edu.ua

Address of editorial office:

16 Universitetska vul., Kharkiv
61003, Ukraine
Ukrainian Engineering Pedagogics Academy
Tel. (057)733-79-17
Fax (057)731-32-36

© Українська інженерно-педагогічна академія
(УІПА), Харків, 2020

Шановні автори публікацій!

Редакційна колегія збірника «Машинобудування» вживає заходів щодо підвищення якості нашого видання, спрямовані на входження в провідні світові наукометричні бази. З цією метою сайт збірника перенесений на платформу Open Journal Systems і впроваджується незалежне рецензування рукописів, що подаються до публікації. Збірник «Машинобудування» тепер має власний сайт, який розташовується за посиланням: http://jmash.uipa.edu.ua

Використання платформи Open Journal Systems дозволяє автоматизувати весь видавничий процес: подачу рукописів авторами, рецензування, внесення редакторських правок, розміщення статей у відкритому доступі і їх подальше індексування наукометричними базами. Ми починаємо приймати рукописи через сайт збірника, і надавати там результати рецензування. Для цього всі учасники видавничого процесу, від авторів до рецензентів і редакторів, повинні зареєструватися на сайті. Сайт доступний в трьох мовних версіях: українська, російська та англійська, тому у наших іноземних авторів не повинно бути мовних проблем. На час перехідного періоду рукописи приймаються і за старою схемою, але давайте разом освоювати перспективну редакторську платформу.

З метою забезпечення високої якості видавання, статі, які отримали низьку оцінку рецензентів, не будуть опубліковані. У разі виникнення труднощів, пишіть нам на E-mail: mashynobuduvannia@uipa.edu.ua.

Запрошуємо фахівців в галузі машинобудування брати участь у рецензуванні, в процесі реєстрації на сайті збірника є можливість подати запит на додавання в рецензенти.

Ми докладаємо зусиль по розширенню географії авторів, і запрошуємо як українських, так і зарубіжних авторів подавати рукописи до збірника. При подачі статті слід стежити за правилами оформлення та академічною доброчесністю.

Давайте разом постійно покращувати наш збірник з метою вивести його в лідери машинобудівного напрямку!

Головний редактор
Купріянов Олександр Володимирович

Dear Authors,

The editorial board of the journal "Engineering" is taking steps to improve the quality of our publication with the aim of entering the world's leading scientometric databases. Accordingly, the website of the journal is moving to the Open Journal Systems platform and an independent review of manuscripts submitted for publication is being introduced. The journal "Engineering" now has its own website, which you can visit following the link http://jmash.uipa.edu.ua.

Using the Open Journal Systems platform allows automating the entire publishing process, which includes submitting manuscripts by authors, reviewing, editing, publishing articles in the open access, and then indexing them by scientometric databases. We are beginning to accept manuscripts via the website of the journal, which is where we are also starting to present the results of reviewing. To this end, all participants in the publishing process, from authors to reviewers and editors, must register on the website. T

he website is available in three languages: Ukrainian, Russian and English, so our foreign authors will not encounter any language-related problems. During the transition period, the manuscripts are still accepted according to the previous scheme, but let us start exploring this promising editorial platform together.
In order to ensure high quality of published articles, those papers which have received a low rating from reviewers will not be published. In case of technical difficulties, please email us at mashynobuduvannia@uipa.edu.ua.

We are inviting specialists in the field of mechanical engineering to take part in reviewing; for this purpose, while registering on the website of the journal there is an opportunity to submit a request to become a reviewer.

We are making efforts to expand the geography of the authors, so we are inviting both Ukrainian and foreign authors to submit manuscripts to the journal. When submitting an article, you should follow the guide for authors and the rules on academic honesty.

Let us together constantly improve our journal in order to make it a leader in the field of mechanical engineering.

Oleksandr Kupriyanov
Editor-in-Chief

Уважаемые авторы публикаций!

Редакционная коллегия сборника «Машиностроение» предпринимает шаги по повышению качества нашего издания, направленные на вхождение в ведущие мировые наукометрические базы. С этой целью сайт сборника перенесен на платформу Open Journal Systems и вводится независимое рецензирование подаваемых к публикации рукописей. Сборник «Машиностроение» теперь имеет собственный сайт, который располагается по ссылке: http://jmash.uipa.edu.ua

Использование платформы Open Journal Systems позволяет автоматизировать весь издательский процесс: подачу рукописей авторами, рецензирование, внесения редакторских правок, размещение статей в открытом доступе их последующее индексирование наукометрическими базами. Мы начинаем принимать рукописи через сайт сборника, и предоставлять там результаты рецензирования. Для этого все участники издательского процесса, от авторов до рецензентов и редакторов, должны зарегистрироваться на сайте. Сайт доступен в трех языковых версиях: украинский, русский и английский, поэтому у наших иностранных авторов языковых проблем быть не должно. На время переходного периода рукописи принимаются и по старой схеме, но давайте вместе осваивать перспективную редакторскую платформу.

С целью обеспечения высокого качества издаваемых статей, получившие низкую оценку рецензентов материалы не будут опубликованы. В случае технических трудностей, пишите нам на E-mail: mashynobuduvannia@uipa.edu.ua

Приглашаем специалистов в области машиностроения участвовать в рецензировании, в процессе регистрации на сайте сборника есть возможность подать запрос на добавление в рецензенты.

Мы прикладываем усилия по расширению географии авторов, и приглашаем как украинских, так и зарубежных авторов подавать рукописи в сборник. При подаче статьи следует следить за правилами оформления и академической добропорядочностью.

Давайте вместе постоянно улучшать наш сборник с целью вывести его в лидеры машиностроительного направления!

Главный редактор
Куприянов Александр Владимирович

ISSN 2079 – 1747 Машинобудування, 2020, №26
DOI 10.32820/2079-1747-2020-26

Зміст

Галузеве машинобудування……………………………………………………………………...5

Ловейкін В.С., Ромасевич Ю.О., Муштин Д.І. Розробка системи оптимального керування механізмами зміни вильоту вантажу та повороту баштового крана…………………..5

Фідровська Н.М., Слєпужніков Є.Д, Перевозник І.А. Експериментальні дослідження віброприскорень у вертикальному напрямі на модернізованих ходових колесах вантажного візка мостового крана..…………………………..............18

Матеріалознавство…………………………………………………………………...............33

Стрельчук Р. М., Дослідження зносу кругів при електроерозійному алмазному шліфуванні зі змінною полярністю електродів в зоні різання……………………………...33

Курпе О.Г., Кухар В.В., Присяжний А.Г. Вдосконалення превентивних заходів забезпечення стабільності технології та параметрів якості плоского прокату……...……....45

Прикладна механіка……..………………………………………………………………...57

Гордєєв А.С. Стандартизація технологічних процесів цифрового друку…………… 57

Ізотова К.О. Підвищення продуктивності електродів з основним видом покриття……………………...…..……………………………………………………....65

Калін М.А. Особливості розкислення електродного металу вуглецем, пов'язаним в Fe-C сплав………………………………………………………………......73

Фролов Е.А., Муравльов В.В., Дерябкіна Є.С., Агарков В.В. Аналітичне визначення напружень в клейовому шарі з'єднання елементівнапрямної системи УСПШ………….………...79

До уваги авторів………………………………………………………………………**89**

DOI 10.32820/2079-1747-2020-26-79-88
УДК 621.7.044

АНАЛІТИЧНЕ ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНЬ В КЛЕЙОВОМУ ШАРІ З'ЄДНАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ НАПРЯМНОЇ СИСТЕМИ УСПШ

Фролов Е.А. [1], Муравльов В.В.[2], Дерябкина Е.С.[3], Агарков В.В.[4]

Полтавський національний технічний університет імені Ю. Кондратюка[1]
Полтавський державний аграрний університет[2]
Українська інженерно-педагогічна академія[3]
Державне підприємство «Харківстандартметрологія»[4]

Інформація про авторів:

Фролов Євгеній Андрійович: ORCID 0000-0002-9415-1066, naumova olga1@mail.ru; доктор технічних наук, професор; професор кафедри технології машинобудування; Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка; Першотравневий проспект, 24, м. Полтава, Україна.

Муравльов Володимир Вячеславович: ORCID: 0000-0002-3221-0411; mvv02021975@ukr.net; кандидат технічних наук; доцент кафедри галузеве машинобудування; Полтавський державний аграрний університет; вул. Сковороди, 1/3, м. Полтава, 36003, Україна.

Дерябкіна Євгенія Станіславівна: ORCID 0000-0002-5531-0124, 216464 @ mail.ru кандидат технічних наук; доцент кафедри машинобудування, транспорту і зварювання; Українська інженерно-педагогічна академія; вул. Університетська 16, м. Харків, Україна.

Агарков Віктор Васильович: ORCID 0000-0001-9883-0480; 290@mti.kharkov.ua; кандидат технічних наук; заступник директора, начальник лабораторії; Державне підприємство "Харківстандартметрологія", вул. Мироносицька, 36, м. Харків, 61003, Україна.

Метою досліджень було створення надійних методів аналітичного розрахунку напружень у клейовому шарі з'єднання напрямна колонка - втулка (обойма) в конструкції універсальної складальної переналагоджуваної штампової оснастки. Встановлено, що товщина клейового шару може бути від декількох десятих долів міліметрів до 0,5-1,2 мм, при цьому епоксидний клей має модуль пружності у 100 раз менше, ніж модуль пружності матеріалів обойми або спрямовуючої колонки. Використовуючи закон Гуку вважаємо, що матеріал клею, який затвердів, однорідний, ізотропний і фізично лінійний. Враховуючи, що маємо симетричне навантаження і рівномірність у клейовій поверхні, отримали напруження у деякій точці поверхні, яка виражається системою рівнянь. Таким чином, формули, які отримали, дозволяють визначити максимальну величину переміщення направляючої колонки УСПШ під дією горизонтального зусилля, а також привести розрахунок на міцність клейової поверхні у будь-якій точці поверхні, розташованій під кутом. Встановлено, якщо для матеріалу клею, який затвердів, виконується умова $\sigma \leq [\sigma]$, то міцність клейового прошарку забезпечена. В іншому випадку необхідно або замінити горизонтальну складову зусилля штампування або збільшити діаметр направляючої колонки і вишину клейового з'єднання.

Ключові слова: направляюча колонка**, втулка, клейове** з'єднання, напруження, зусилля штампування, універсально - збірний переналагоджуваний штамп.

Фролов Е.А., Муравльов В.В., Дерябкина Е.С., Агарков В.В. „Аналитическое определение напряжений в клеевом слое соединения елементов направляющей системы УСПШ“

©Фролов Е.А., Муравльов В.В., Дерябкина Е.С., Агарков В.В. 2020

Целью исследований было создание надежных методов аналитического расчета напряжений в клеевом слое соединение направляющая колонка - втулка (обойма) в конструкции универсально-сборной переналаживаемой штамповой оснастки. Установлено, что толщина клеевого слоя может быть от нескольких десятых долей миллиметров до 0,5-1,2 мм, при этом эпоксидный клей имеет модуль упругости в 100 раз меньше, чем модуль упругости материалов обоймы или направляющей колонки. Используя закон Гука полагаем, что материал затверддевшего клея, однородный, изотропный и физически линейный. Учитывая, что у нас симметричное нагрузки и равномерность в клеевой поверхности, получили напряжение в некоторой точке поверхности, которая выражается системой уравнений. Таким образом, полученные формулы позволяют определить максимальную величину перемещения направляющей колонки УСПШ под действием горизонтального усилия, а также привести расчет на прочность клеевой поверхности в любой точке поверхности, расположенной под углом. Установлено, если для материала затвердевшего клея выполняется условие σ ≤ [σ], то прочность клеевого слоя обеспечена. В противном случае необходимо либо заменить горизонтальную составляющую усилия штамповки или увеличить диаметр направляющей колонки и толщину клеевого соединения.

Ключевые слова: направляющая колонка, втулка, клеевое соединение, напряжения, усилие штамповки, универсально - сборный переналаживаемый штамп.

Frolov E., Muravlyov V., Deryabkina E., Agarkov V. "Analytical determination of stresses in the adhesive layer of joining elements of the USPSh guide system".

The aim of the research was to create reliable methods of analytical calculation of stresses in the adhesive layer of the connection of the guide column – sleeve (holder) in the design of the universal assembly reconfiguration stamping equipment. It is established that the thickness of the adhesive layer can be from a few tenths of a millimeter to 0.5-1.2 mm, while the epoxy adhesive has a modulus of elasticity 100 times less than the modulus of elasticity of the materials of the clamp or guide column. Using Hooke's law, we assume that the hardened adhesive material is homogeneous, isotropic, and physically linear. Given that we have a symmetrical load and uniformity in the adhesive surface, we obtained stresses at some point on the surface, which is expressed by a system of equations. Thus, the formulae obtained allow determining the maximum value of the movement of the USPSh guide column under the action of horizontal force, as well as calculating the strength of the adhesive surface in any angled point of the surface. It is established that if the condition σ ≤ [σ] is fulfilled for the hardened adhesive material, then the strength of the adhesive layer is provided. Otherwise, it is necessary to either replace the horizontal component of the stamping force or increase the diameter of the guide column and the height of the adhesive joint.

Keywords: guide column, sleeve, adhesive connection, tension, stamping force, universally folded adjustable stamp.

Вступ

Як показала практика, технологічна собівартість універсально - збірного переналагоджуваного штампу (УСПШ) складає 7-12% від вартості спеціального штампу, що дозволяє розширити межи економічно доцільного використання штампування у діапазоні 50-2000 деталей у рік.

©Фролов Е.А., Муравльов В.В., Дерябкина Е.С., Агарков В.В. 2020

ISSN 2079 – 1747 Машинобудування, 2020, №25
DOI 10.32820/2079-1747-2020-25

Строк роботи основних елементів УСПШ складає 10-12 років, час на проектування, переналаджування і складання універсально - збірного переналагоджуваного штампу складає 2-8 годин.

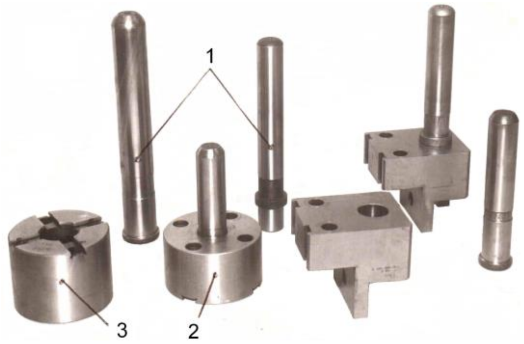
Таким чином, система УСПШ змінює старі методи технологічної підготовки виробництва нових виробів і дозволяє використати у широкому масштабі прогресивний метод листового штампування деталей в умовах одиничного і дрібносерійного виробництва.

В зв'язку з цим особливе значення набуває правильний вибір оптимальних, науково - обґрунтованих конструктивних параметрів УСПШ, матеріалів для їх виготовлення, дослідження надійності і довговічності окремих вузлів УСПШ [1-4].

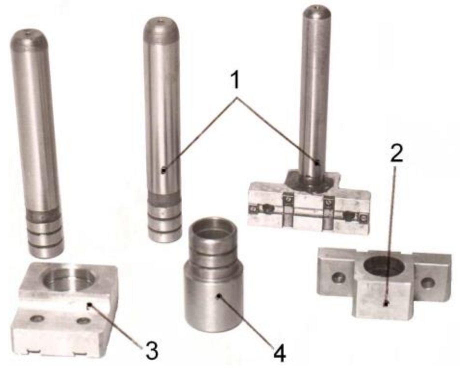
На деяких машинобудівних підприємствах при виготовленні блоків штампів використовується клейове з'єднання направляючих елементів. Цей спосіб значно скорочує трудомісткість виготовлення штампової оснастки. Крім того, при клейовому методі досягається висока точність установки колонок у штамповому блоці. У даний час відсутні які-небудь аналітичні матеріали і рекомендації по вибору параметрів клейового з'єднання [5-9].

Постановка проблеми

Одним з основних питань конструювання УСПШ є науково - обґрунтований вибір способу закріплення направляючих колонок (рис.1).



а)



б)

Рис. 1 - Направляючі елементи: а – УСШ-16; б – УСШ-8: 1 – направляюча колонка; 2 – нижня обойма; 3 – верхня обойма; 4 – направляюча втулка

Необхідно відмітити, що питанням досліджень вибору способу закріплення системи направлення у конструкціях штампів у вітчизняній і закордонній літературі приділяється недостатньо уваги. Більшість рекомендацій носить чисто прикладний характер і часто не підкріплюється якими-небудь експериментами. Дослідження конструкторських і технологічних основ системи направлення і її вплив на працездатність універсально - збірних переналагоджуваних штампів є актуальною науково-технічною задачею, яка представляє наукову і практичну цінність.

Мета досліджень - провести дослідження по аналітичному визначенню напружень у клейовому шарі з'єднання напрямна колонка-втулка (обойма) в конструкції універсально - збірного переналагоджуваного штампу.

©Фролов Е.А., Муравльов В.В., Дерябкина Е.С., Агарков В.В. 2020

ISSN 2079 – 1747 Машинобудування, 2020, №26
DOI 10.32820/2079-1747-2020-26

Основний матеріал

В універсально - збірних переналагоджуваних штампах напрямна колонка з’єднується з нижньою обоймою нерухомо шляхом склеювання. Товщина клейового шару може бути від кількох десятих часток міліметра до 0,5-1,2 міліметра. Застосовуваний епоксидний клей має модуль пружності в 100 разів менший, ніж модулі матеріалів обойми або направляючої колонки [6-10].

Вважаючи, що, внаслідок малого модуля пружності клею, деформації колонки і обойми малі, в порівнянні з деформацією шару клею, ми приходимо до розрахункової схеми (рис.2), коли колонка і обойма є абсолютно жорсткими, а клей пружним.

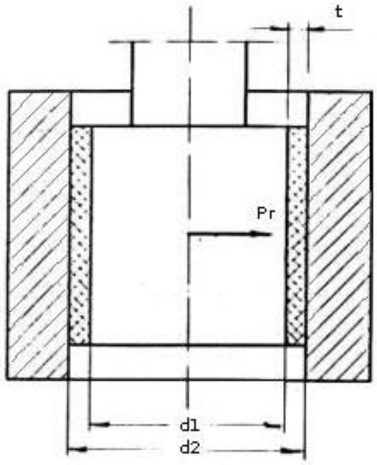
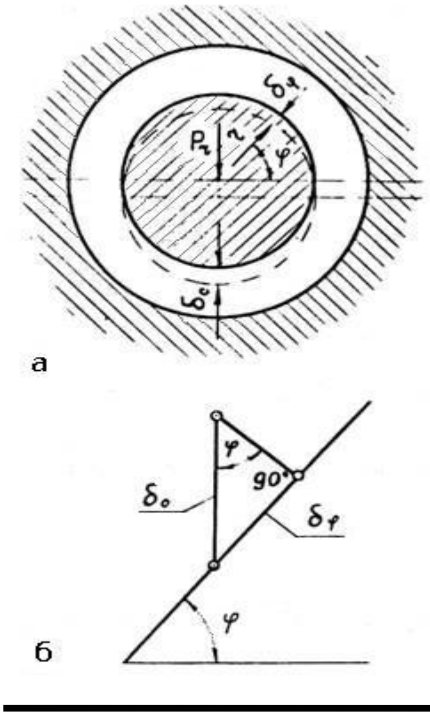


Рис.2 - Розрахункова схема клейового з'єднання

В процесі експлуатації внаслідок неточності збірки штампа, нерівномірності зазору між пуансоном і матрицею, похибки, що вносяться повзуном преса на напрямні колонки, а, отже, і на клейовий шар, діє горизонтальне зусилля P_r. Силами тертя, що виникають між мастильними поверхнями колонки і втулки нехтуємо. Таким чином, приходимо до схеми плоского напруженого стану клейового шару. Розглянемо радіальне переміщення колонки від дії сили P_r (рис. 3).



©Фролов Е.А., Муравльов В.В., Дерябкина Е.С., Агарков В.В. 2020

ISSN 2079 – 1747 Машинобудування, 2020, №25
DOI 10.32820/2079-1747-2020-25

Рис.3 - Деформація клейового шару від радіальної сили

Колонка під дією сили переміститься, а клейовий шар деформується на величину сили δ_a. Переміщення довільної точки клею, що належить одночасно і колонці, буде визначати формулою:

$$\delta_\varphi = \delta_a \cdot \sin\varphi \tag{1}$$

де δ_a - максимальне радіальне переміщення колонки від сили P_r; φ - поточний центральний кут, що визначає положення даної точки.

Внаслідок деформації шару клею, в ньому виникнуть напруги (рис.4).

Максимальна відносна деформація клейового шару визначається відношенням:

$$\varepsilon_r = \frac{\delta_a}{t} \tag{2}$$

де t - товщина клейового шару.

А $\varepsilon_\theta = 0$, вважаючи на абсолютну жорсткості колонки і обойми.

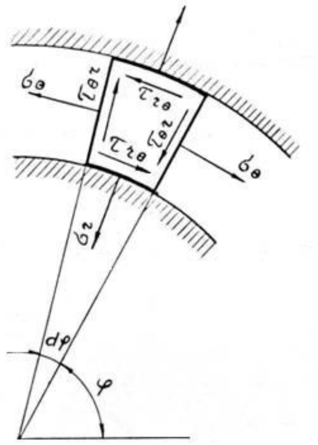


Рис.4 – Напружений стан елементу клею

Як було показано, товщина клейового шару не перевищує 1,2 мм. З аналізу конструкції з'єднання «колонка-обойма» випливає, що довжина кола направляючої колонки, а, отже, і клейового шару, становить від 63 до 126 мм, тобто в 50 - 100 разів більше шару клею. Таким чином, розглядається випадок, коли t мало в порівнянні з довжиною окружності клейового шару. Визначимо кут зсуву елемента клею $\gamma_{r\theta}$ вважаючи його сталим по товщині з огляду на мале значення t, (рис.5).

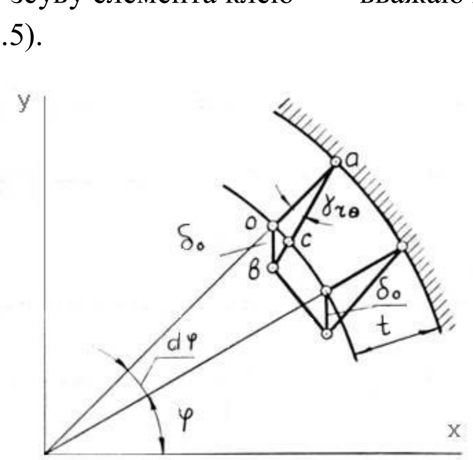


Рис. 5 – До визначення кута зсуву

©Фролов Е.А., Муравльов В.В., Дерябкина Е.С., Агарков В.В. 2020

З рис. 5 випливає, що $< COB = \varphi$, як кути із взаємно-перпендикулярними сторонами. З прямокутного трикутника слідує

$$OC = OB \cdot \cos\varphi$$

$$\text{або} \;\; OC = \delta_o \cdot \cos\varphi .$$

Тоді $\gamma_{r\theta} = \dfrac{OC}{t}$ або

$$\gamma_{r\theta} = \delta_a \cdot \frac{\cos\varphi}{t} \tag{3}$$

для $\varphi = 0 \quad \gamma_{r\theta} = \dfrac{\delta_a}{t}$

для $\varphi = \dfrac{\pi}{2} \quad \gamma_{r\theta} = a$

Крім цього, в розглядуваній задачі

$$\gamma_{rz} = \gamma_{\theta z} = a$$

Знаючи компоненти деформованого стану, можна визначити виникаючі при цьому напруження.

Закон Гука для розглянутого плоского напруженого стану має вигляд

$$\varepsilon_r = \frac{1}{E}(\delta_r - \mu\delta_\theta);$$

$$\varepsilon_\theta = \frac{1}{E}(\delta_\theta - \mu\delta_r); \tag{4}$$

$$\gamma_{r\theta} = \frac{1}{G}\tau_{r\theta}$$

При постановці завдання вважаємо, що матеріал клею, який затвердів, однорідний, ізотропний і фізично лінійний.

Вирішуючи спільно два перших рівняння системи (3), отримаємо:

$$\delta_r = \frac{E(\varepsilon_r + \mu\varepsilon_\theta)}{1-\mu^2}$$

$$\delta_\theta = \frac{E(\varepsilon_\theta + \mu\varepsilon_r)}{1-\mu^2} \tag{5}$$

а з останнього рівняння слідує, що

$$\tau_{r\theta} = G\gamma_{r\theta} , \tag{6}$$

де δ_r – радіальне напруження; δ_θ – тангенціальне напруження; $\tau_{r\theta}$ – дотичне напруження; E – модуль пружності I роду; G – модуль пружності II роду; μ – коефіцієнт Пуассону.

З урахуванням (1) і (2) вирази (5) і (6) запишуться в такий спосіб (максимальні значення):

©Фролов Е.А., Муравльов В.В., Дерябкина Е.С., Агарков В.В. 2020

$$\delta_r = \frac{E\frac{\delta_a}{t}}{1-\mu^2}$$

$$\delta_\theta = \frac{E\mu\frac{\delta_a}{t}}{1-\mu^2} \qquad (7)$$

$$\tau_{r\theta} = G\frac{\delta_a}{t}$$

а напруження в довільній точці клейової поверхні можна визначити за формулами:

$$\varepsilon_r = \frac{E\delta_a}{t(1-\mu^2)}\cdot\sin\varphi$$

$$\delta_\theta = \frac{E\mu\delta_a}{t(1-\mu^2)}\cdot\sin\varphi \qquad (8)$$

$$\tau_{r\theta} = G\frac{\delta_a}{t}\cdot\cos\varphi$$

Величину δ_a визначимо з умови рівноваги колонки (6), яке запишеться у вигляді

$$\sum P_x = 0 \qquad (9)$$

$$\sum P_y = 0 \qquad (10)$$

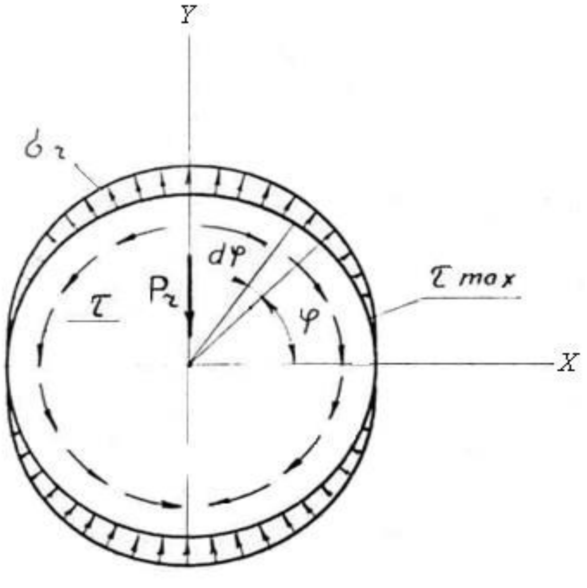


Рис. 6 – Схема навантаження направляючої колонки в місці закладення

Спроектуємо всі сили, прикладені по дузі з центральним кутом φ, на вертикальну вісь Y (рис. 7).

ISSN 2079 – 1747 Машинобудування, 2020, №26
DOI 10.32820/2079-1747-2020-26

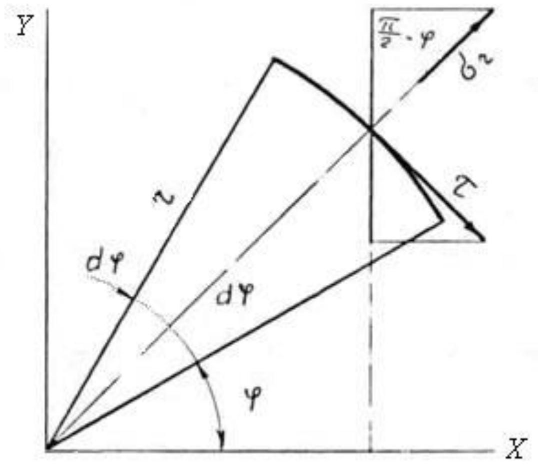


Рис. 7 – Схема розташування нормальних і дотичних напружень

З огляду на симетричності навантаження колонки щодо осі Y і з урахуванням пропозиції про рівномірності розподілу напружень в клейовому шарі по всій його висоті умова (8) задовольняється тотожно. Умова (9) в розгорнутому вигляді для розглянутого перетину записується в такий спосіб

$$\int_0^{2\pi} G_r r \sin\varphi d\varphi + \int_0^{2\pi} \tau_{r\theta} r \cos\varphi d\varphi - \frac{P_r}{B} = 0 \qquad (11)$$

Підставляючи значення δ_r и $\tau_{r\theta}$ з (7) та (10) отримуємо

$$\frac{E\delta_{0r}}{t(1-\mu^2)}\int_0^{2\pi} \sin^2\varphi d\varphi + G\frac{\delta_{0r}}{t}\int_0^{2\pi}\cos\varphi d\varphi - \frac{P_r}{B} = 0$$

Виконавши інтегрування і необхідні перетворення, знаходимо

$$\frac{E\delta_{0r}}{t(1-\mu^2)}\cdot\pi_r + G\frac{\delta_{0r}}{t}\cdot\pi_r - \frac{P_r}{B} = 0$$

Звідки

$$P_r = \pi_r\frac{\delta_0}{t}\left(G + \frac{E}{1-\mu^2}\right)\cdot B\,; \qquad (12)$$

$$\delta_0 = \frac{P_r t}{\pi_r\left(G + \frac{E}{1-\mu^2}\right)B} \qquad (13)$$

Остаточно вираз (7) з урахуванням (12) приймає наступний вигляд

$$\delta_r = \frac{P_r\cdot\sin\varphi}{\pi_r B\left[1 - \frac{G}{E}\left(1-\mu^2\right)\right]}\,;$$

©Фролов Е.А., Муравльов В.В., Дерябкина Е.С., Агарков В.В. 2020

$$\delta_\theta = \frac{P_r \mu \cdot \sin\varphi}{\pi_r B\left[1 + \frac{G}{E}\left(1-\mu^2\right)\right]} \qquad (14)$$

$$\tau_{r\theta} = \frac{P_r \cdot \cos\varphi}{\pi_r B\left[1 + \frac{E}{G\left(1-\mu^2\right)}\right]}$$

Висновки

Таким чином, отримані формули дозволяють визначити максимальну величину переміщення направляючої колонки під дією горизонтального зусилля, а також провести розрахунок на міцність клейового шару в будь-якій точці поверхні, розташованій під кутом.

Якщо для матеріалу затвердівшого клею виконується умова σ ≤ [σ], то міцність клейового прошарку забезпечена. В іншому випадку, як випливає з системи рівнянь (14), необхідно або зменшити горизонтальну складову зусилля штампування, або збільшити діаметр направляючої колонки і висоту клейового з'єднання.

Список використаних джерел

1. Агарков В. В. Совершенствование универсально-сборных переналаживаемых штампов путем оптимизации конструктивных параметров компоновок в условиях машиностроительных производств : дис. … канд. техн. наук / В. В. Агарков. – Харьков, 2013. – 210 с.

2. Универсально-сборные переналаживаемые штампы для листовой штамповки / Н. К Резниченко, Г. И. Ищенко, В. В. Агарков, А. Я. Мовшович // Вісник інженерної академії України. – 2011. – Вип. 3. – С. 95–98.

3. Буденный М. М. Перспективы развития исследований и разработка новых конструкций штамповой оснастки на основе композитов / М. М. Буденный // Резание и инструмент в технологических системах : сб. науч. трудов Харьков. гос. политехн. ун-та "ХПИ". – Харьков, 2005. – Вып. 58. – С. 25–28.

4. Мовшович А. Я. Конструкции и технологические возможности специализированных переналаживаемых гибочных штампов / А. Я Мовшович, Ю. А. Кочергин // Вестник Национального технического университета «КПИ». – Киев, 2010. – С. 250–254.

5. Мовшович А. Я. Технологические системы холоднолистовой штамповки к вопросу обоснования расчетных схем элементов разделительных штампов / А. Я. Мовшович, Н. А. Ткачук, А. Н.Ткачук // Вестник НТУ "ХПИ". Серия: Машиностроение и САПР : сб. науч. трудов. – Харьков, 2008. – № 14. – С.126–141.

6. Исследование точности деталей, получаемых в переналаживаемых штампах на основе композиционных материалов / Н. В. Чижиков, А. Я. Мовшович, А. Я. Горницкий, Л. Г. Кузнецова // Вісник Національного технічного університету : зб. наук. пр. Нац. техн. ун-ту "ХПІ". Харків, 2005. –Вип. 11. – С. 25–28.

7. Денисов В. И. Повышение износостойкости направляющих элементов универсально-сборных штампов / В. И. Денисов, И. Я. Мовшович. // Технология и организация производства. – 1980. – № 1. – С. 28–30.

8. Чижиков Н. В. Аналитическая оценка надежности систем обратимых штампов / Н. В. Чижиков, М. М. Буденный // Технічний прогрес та ефективність виробництва : зб. наук. пр. Нац. техн. у-ту «ХПІ». – Харків, 2009. – Вип. 91. – С. 83–89.

9. Применение эпоксидных компаундов для закрепления направляющих элементов штампов / Г. Г. Жолткевич, В. И. Денисов, И. Я. Мовшович, А. Л. Хаетович // Технология и организация производства. – 1978. – № 4. – С. 31–34.

References

1. Agarkov, VV 2013, 'Sovershenstvovanie universalno-sbornyh perenalazhivaemyh shtampov putem optimizacii konstruktivnyh parametrov komponovok v uslovijah mashinostroitelnyh proizvodstv', Kand.tekh.n. thesis, Harkov.
2. Reznichenko, NK, Ishchenko, GI, Agarkov, VV & Movshovich, AYa 2011, 'Universalno-sbornye perenalazhivaemye shtampy dlja listovoj shtampovki', *Visnyk inzhenernoi akademii Ukrainy,* iss. 3, pp. 95-98.
3. Budennyj, MM 2005, 'Perspektivy razvitija issledovanij i razrabotka novyh konstrukcij shtampovoj osnastki na osnove kompozitov', *Rezanie i instrument v tehnologicheskih sistemah,* Harkov, iss. 58, pp. 25-28.
4. Movshovich, AJa & Kochergin, JuA 2010, 'Konstrukcii i tehnologicheskie vozmozhnosti specializirovannyh perenalazhivaemyh gibochnyh shtampov', *Vestnik Nacionalnogo tehnicheskogo universiteta Kievskij politehnicheskij institut,* Kiev, pp. 250-254.
5. Movshovich, AJa, Tkachuk, NA & Tkachuk, AN 2008, 'Tehnologicheskie sistemy holodnolistovoj shtampovki k voprosu obosnovanija raschetnyh shem jelementov razdelitelnyh shtampov', *Vestnik Nacionalnogo tehnicheskogo universiteta Harkovskij politehnicheskij institut,* Serija Mashinostroenie i Sistemy avtomatizirovannogo proektirovanija, Harkov, no. 14, pp.126-141.
6. Chizhikov, NV, Movshovich, AJa, Gornickij, AJa & Kuznecova, LG 2005, 'Issledovanie tochnosti detalej, poluchaemyh v perenalazhivaemyh shtampah na osnove kompozicionnyh materialov', *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Kharkivskyi politekhnichnyi instytut*, Kharkiv, iss.11, pp. 25-28.
7. Denisov, VI & Movshovich, IJa 1980, 'Povyshenie iznosostojkosti napravljajushhih jelementov universalno-sbornyh shtampov', *Tehnologija i organizacija proizvodstva*, no. 1, pp. 28-30.
8. Chizhikov, NV & Budennyj, MM 2009, 'Analiticheskaja ocenka nadezhnosti sistem obratimyh shtampov', *Tekhnichnyi prohres ta efektyvnist vyrobnytstva,* Natsionalnyi tekhnichnyi universytet Ukrainy Kyivskyi politekhnichnyi instytut, Kharkiv, iss. 91, pp. 83-89.
9. Zholtkevich, GG, Denisov, VI, Movshovich, IJa & Haetovich, AL 1978, 'Primenenie jepoksidnyh kompaundov dlja zakreplenija napravljajushhih jelementov shtampov', *Tehnologija i organizacija proizvodstva,* no. 4, pp. 31-34.

Стаття надійшла до редакції 17 листопада 2020 р.

©Фролов Е.А., Муравльов В.В., Дерябкина Е.С., Агарков В.В. 2020

Збірник наукових праць «Машинобудування» входить до Категорії Б наукових фахових видань, включених до Переліку наукових фахових видань України (технічні науки), в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора наук і доктора філософії (кандидата наук) наказ МОН України №409 від 17.03.2020.

Збірник наукових праць «Машинобудування» зареєстровано у Державному комітеті інформаційної політики України у 2006 році (Свідоцтво про Державну реєстрацію засобу масової інформації серія КВ № 12132-1016Р). Друкований варіант видання зареєстровано у ISSN Register під номером ISSN 2079-1747.

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

УДК 621 – 622

Машинобудування. Збірник наукових праць. Випуск 26. – Харків, Українська інженерно-педагогічна академія (УІПА), 2020. – 94 с.

У збірнику подано результати наукових досліджень в галузі машинобудування. Розглянуто важливі проблеми міцності, стійкості, роботоздатності, динаміки вантажопідйомних, транспортуючих машин та верстатів, а також питання технології машинобудування.

Для викладачів, науковців, аспірантів, фахівців в галузі машинобудування.

SCIENTIFIC EDITION

UDC 621 – 622

Engineering. Collection of Scientific Papers. Issue 25. – Kharkiv, Ukrainian Engineering Pedagogics Academy (UEPA), 2020. – 94 p.

There were considered the important problems of strength, steadiness, capacity for work, dynamics of loading transporting, technological, machines and imporers, also a question of machine-building technologic.

For instructors, research workers, post graduates, experts in the field of machine-building.

Підписано до друку 24.12.2020, Формат 70×100 $^{1}/_{16}$. Умов. друк. арк. – 7,75.

Гарнітура *Times New Roman*. Друк офсетний. Наклад 50 прим. Ціна договірна.

Свідоцтво серія ДК №6146 від 17.04.2018

Друкарня «Мадрид», ООО