



Немчинов С. І.

к.т.н., доцент

*Державний вищий
навчальний заклад
«Український державний
хіміко-технологічний
університет»*

УДК 539.3:621.226

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО- ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ РАМИ ГІДРАВЛІЧНОГО ПРЕСУ ПОВЕРХОВОГО

У статті досліджено напружено-деформований стан (НДС) рами поверхового гідравлічного преса для виготовлення фольгованих пластиків з використанням програмного комплексу SolidWorks Premium. Встановлено, що НДС рами характеризується загальним і локальним нерівномірним розподілом напружень і деформацій, Знайдено перерізи рами, в яких значення нормальних напружень, обчислених за методами опору матеріалів і скінчених елементів співпадають. Виявлено різний характер зміни дотичних напружень по висоті верхньої та нижньої поперечок. Визначено зони рами, в яких спостерігаються максимальні нормальні й дотичні напруження та деформації. Дослідження дозволило змінити геометрію рами з незначною зміною напружень та деформацій і зменшити її вагу. Це дослідження та його результати можуть бути застосовані при удосконаленні існуючих і проектуванні нових гідравлічних пресів рамної конструкції, а також є основою для подальших досліджень.

Ключові слова: гідравлічний прес, рама, поперечка, стійка, епюра, напруження, деформація, переміщення.

Вступ. У багатьох галузях хімічної промисловості широко використовують гідравлічні преси рамної конструкції, які, в порівнянні з колонними пресами, мають значно менші габаритні розміри, металоємність, а також більшу жорсткість. Базові елементи таких пресів (станіни, робочі циліндри, рухомі плити, столи пресу) у процесі роботи зазнають високих питомих навантажень і їх надійність визначає надійну роботу преса.

Станина пресу рамної конструкції складається з рам (стійок), кількість яких залежить від призначення пресу, та служить для монтажу й фіксації в заданих положеннях всіх механізмів преса і є замикаючою ланкою, яка сприймає номінальне зусилля преса.

Слід зазначити, що маса та вартість основних базових деталей пресів складає приблизно 80% від їх маси й вартості [1]. В науковій літературі відсутні роботи щодо досліджень по зменшенню маси базових елементів гідравлічних пресів, що застосовуються в хімічній промисловості.

Останніми роками для розрахунку базових деталей гідравлічних пресів впроваджуються чисельні методи, серед яких важливе місце займає метод скінчених елементів (МСЕ). В якості інструменту числових

досліджень використовуються програмні системи скінченно-елементного аналізу: ANSYS, NASTRAN, SOLIDWORKS. Вказані системи дозволяють: врахувати всі особливості геометрії конструкції і різноманітність навантажень; проводити ретельне дослідження загального напружено-деформованого стану (НДС) та характеру розподілу місцевих напружень; забезпечити велику кількість варіантів раціональної геометрії як всієї конструкції, так і її частин.

Отже, вищенаведене свідчить про те, що дослідження НДС рами із застосуванням програмних систем скінченно-елементного аналізу і вибір її раціональної форми на етапі проектування є актуальними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні накопичено певний досвід дослідження НДС і проектування базових елементів гідравлічних пресів, але їх розрахунок у більшості випадків виконується наближено, що пояснюється складністю опису НДС і обумовлено конструктивними особливостями.

Аналіз літературних даних показує, що для визначення НДС базових елементів пресів, як правило, застосовують методи опору матеріалів [2 – 4], які не дають достатньо



повного уявлення про НДС і, як наслідок, не дозволяють надати рекомендації стосовно раціонального проектування конструкції.

У роботі [5] виконано розрахунок станини гідравлічного пресу моделі П7640А МСЕ в пакеті ANSYS і на підставі аналізу НДС було запропоновано раціональні (з точки зору авторів) обриси станини.

В роботах [6] і [1] встановлено, що основною причиною пошкоджень та

руйнації поперечок потужного пресу є виникнення й розвиток втомних тріщин, які з'являються у зонах з великим рівнем напружень – на контурах технологічних і конструктивних отворів у внутрішніх ребрах, зовнішніх стінках і розтягнутих пластинах.

В роботі [7] вказані основні напрямки щодо збереження та розширення технологічних можливостей потужних гідравлічних пресів.

Проведений аналіз показав: у більшості робіт розглянуто проблеми розрахунку потужних гідравлічних пресів і практично відсутні методики розрахунку пресів, що застосовуються в хімічній промисловості; використання МСЕ, який в даний час є стандартом для розрахунку на міцність та жорсткість, дозволяє з єдиних позицій проводити дослідження НДС будь-якої конструкції.

Мета роботи – дослідження НДС рами поверхового гідравлічного пресу з номінальним зусиллям пресування 12,5 МН для виготовлення фольгованих пластиків та обґрунтування вибору її можливої раціональної геометрії.

Викладення основного матеріалу.

Рама пресу, яка зображена на рисунку 1, перебуває під дією рівномірно розподіленого навантаження. Необхідно визначити її НДС.

З рисунку 1 видно, що два лінійних розміри рами суттєво більші за третій, тоді її розрахунок зводиться до розрахунку пластини під дією заданого навантаження у площині рами. Отже, для визначення НДС рами необхідно розв'язати плоску задачу теорії пружності для пластини.

Оскільки рама – конструкція складної конфігурації, то аналітичні методи розрахунку практично неприйнятні. Тому надійні результати можна отримати при використанні чисельних методів, що реалізуються на ЕОМ.

Для визначення НДС рами застосовувався варіаційний принцип мінімуму потенціальної енергії, який дозволяє сформулювати задачу про НДС пружного тіла як задачу мінімізації квадратичного функціоналу [8]. Рішення задачі мінімізації відбувалося на скінченномірному просторі

шляхом переходу від континуального середовища до дискретного. При побудові дискретної моделі застосовувалась лінійна апроксимація переміщень на трикутниках. В якості інструменту чисельних досліджень застосовували базову конфігурацію SolidWorks Premium,

На підставі робочих креслень для розрахунку була створена геометрична модель, задавалися фізико-механічні властивості матеріалу та граничні умови. Відповідно до умов роботи пресу навантаження на одну раму (станина заданого пресу з номінальним зусиллям пресування 12,5 МН складається з двох рам) приймалося рівним 6,25 МН.

Габаритні розміри рами складали 2200 x 5725 x 90 мм. В якості матеріалу була вибрана лита вуглецева сталь з модулем

пружності $E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$, коефіцієнтом Пуассона $\nu = 0,32$, границею текучості $\sigma_m = 248 \text{ МПа}$, границею міцності $\sigma_{мц} = 482,5 \text{ МПа}$.

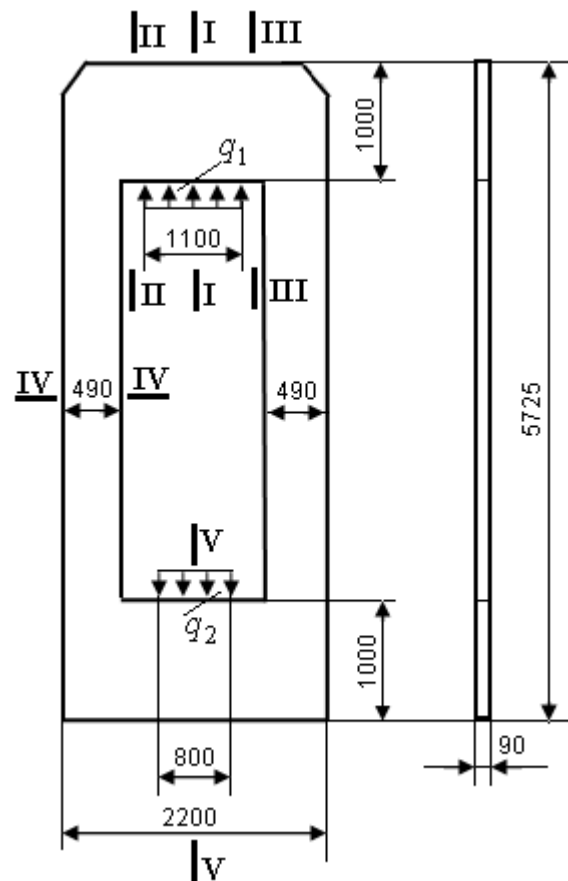


Рис. 1. Рама поверхового гідравлічного пресу

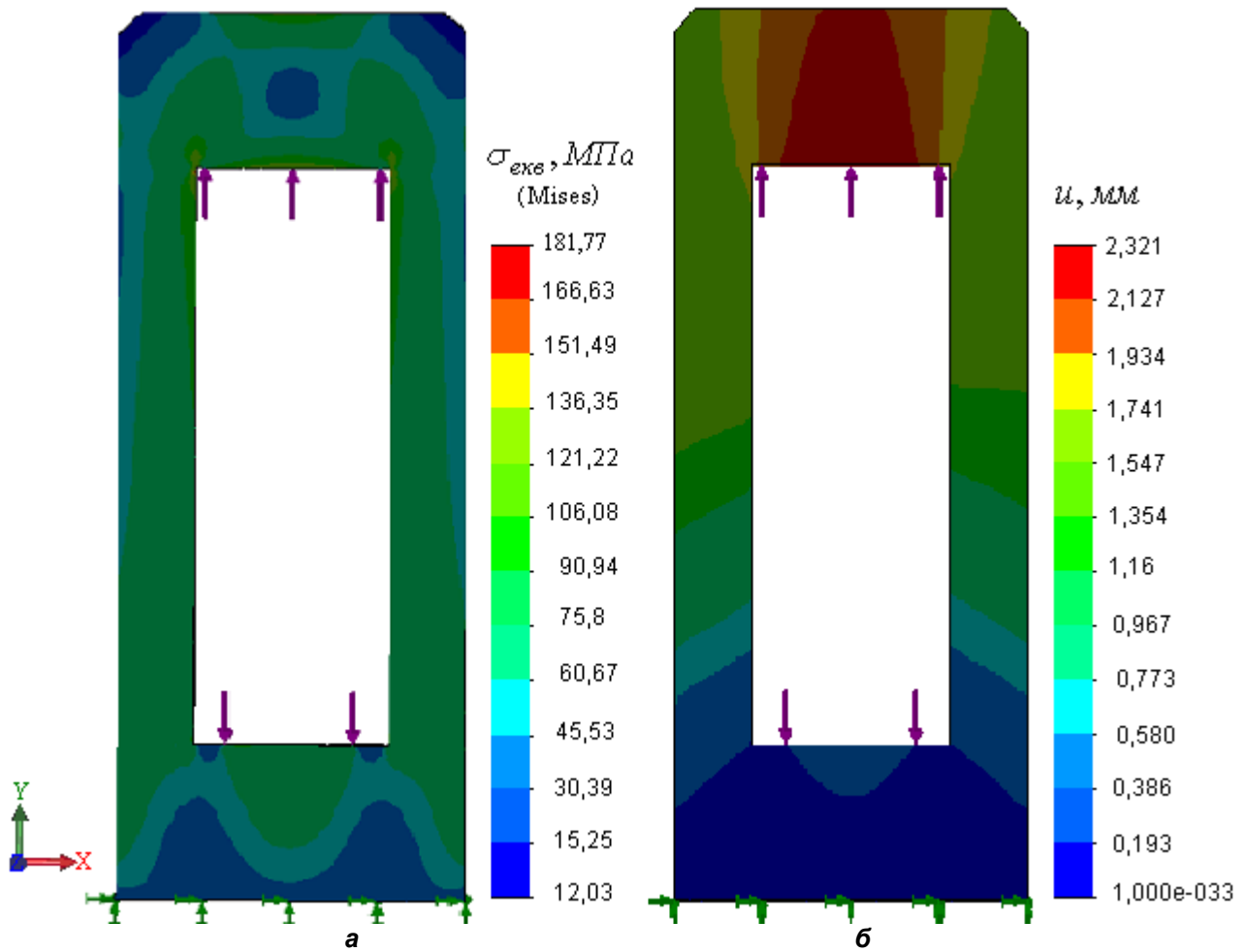


Граничні умови ставились таким чином, щоб виключити переміщення рами як абсолютно жорсткого тіла. У результаті дискретизації отримали 25758 елементів та 44256 вузлів.

У результаті статичного розрахунку рами отримані такі параметри НДС: σ_x, σ_y – нормальні напруження у напрямках відповідних осей; τ_{xy} – дотичні напруження у відповідних координатних площинах; головні напруження; $\sigma_{екв}$ – еквівалентні напруження, які обчислені за формулою Мізеса; u_x, u_y – переміщення в

напрямах відповідних осей; n – коефіцієнти запасу міцності.

Отримані в результаті розрахунку поля напружень, переміщень і деформацій існуючої рами показали, що значення досліджених характеристик в різних її частинах суттєво відрізняються. При цьому максимальні еквівалентні напруження (рисунок 2, а) спостерігаються в місцях прикладення навантажень, різкої зміни геометрії, на внутрішніх поверхнях рами. Так напруження $\sigma_{екв}$ у верхній частині нижньої поперечки рами



а – епюра еквівалентних напружень $\sigma_{екв}$; б – епюра переміщень u
Рис. 2. Епюри еквівалентних напружень і переміщень рами поверхового гідравлічного пресу

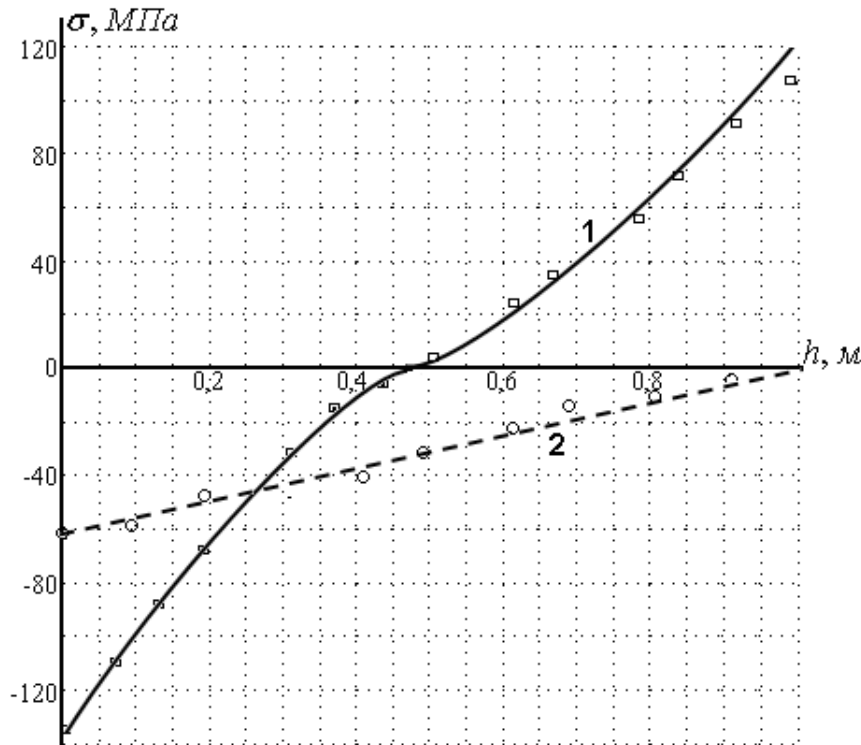
перерізу V-V дорівнює 89,99 МПа, а у нижньої – 31,15 МПа. Аналіз полів деформацій і переміщень існуючої рами (рисунок 2, б) також показав, що максимальні деформації і переміщення спостерігаються у

внутрішніх частинах рами. Так переміщення u у верхній частині нижньої поперечки рами перерізу V-V дорівнює 0,289 мм, а у нижньої – 0,018 мм. Це свідчить про те, що конструкція рами не є оптимальною.



Аналіз полів напружень показав, що характер зміни σ_x і σ_y по висоті поперечок різний. Напруження σ_x в перерізі I-I

змінюється від 113,86 МПа до «мінус» 136,54 МПа (рисунок 3), набуваючи нульового значення посередині



1 – залежність нормальних напружень σ_x від висоти поперечки;

2 – залежність нормальних напружень σ_y від висоти поперечки

Рис. 3. Графіки залежності нормальних напружень від висоти h верхньої поперечки рами, обчислених в перерізі I-I

висоти верхньої поперечки. Слід зазначити, що максимальне значення σ_x , отримане в даній роботі, збігається зі значенням, яке отримане при розгляді верхньої поперечки, як двоопорної статично визначуваної балки. Напруження σ_y в перерізі I-I змінюється від 0 до «мінус» 63,24 МПа (рисунок 3).

Характер зміни дотичних напружень τ_{xy} по висоті верхньої поперечки рами (рисунок 4) у трьох зазначених на рисунку 1 перерізах різний. У перерізі II-II значення τ_{xy} зі знаком «плюс» (крива 1), а у перерізі III-III – зі знаком «мінус». Для кривих 1 і 2 (рисунок 4) максимальні за абсолютною величиною дотичні напруження спостерігаються при $h = 0,13$ м.

Отже, проведене дослідження свідчить про те, що на зовнішніх поверхнях рами

значення нормальних напружень рами не перевищують допустимі напруження для вибраного матеріалу. Ці факти дозволяють змінити геометрію рами з метою зменшення її ваги.

Враховуючи низький рівень напружень на бічних поверхнях рами і той факт, що зародження тріщин починається на поверхнях з високим рівнем напружень, в роботі було запропоновано зменшити довжину рами з 2200 мм до 2160 мм. Для оцінки міцності нової рами проводився аналіз епюр нормальних, дотичних і еквівалентних напружень, деформацій та коефіцієнтів запасу міцності n . Встановлено, що збільшення напружень і деформацій не перевищувало 5–6%, коефіцієнт запасу міцності на зовнішніх бічних поверхнях рами складав не менше трьох, а маса рами зменшилася майже на 160 кг.

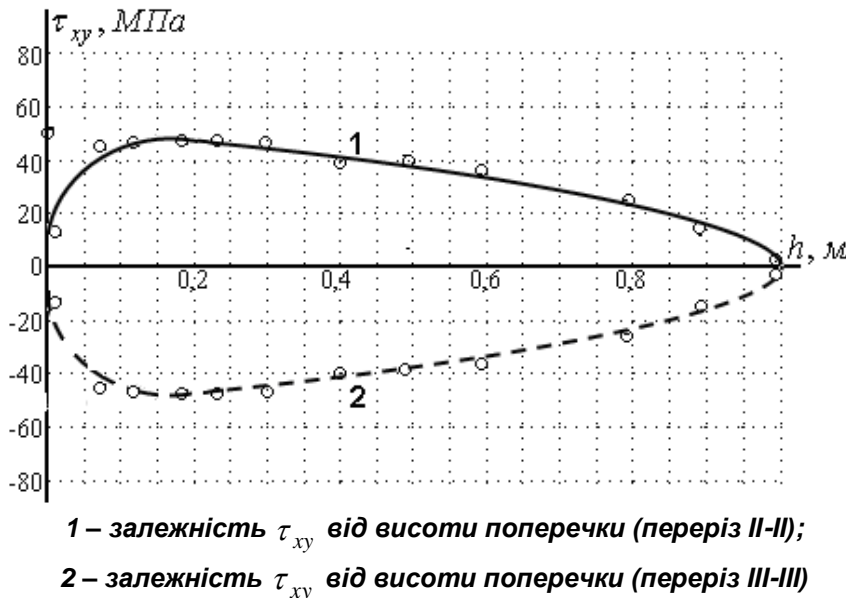


Рис. 4. Графіки залежності дотичних напружень від висоти h верхньої поперечки рами

Висновки. НДС рами поверхового пресу, який отримано за допомогою скінченно-елементного моделювання, характеризується загальною і місцевою нерівномірністю напружень і деформацій. За результатами досліджень НДС траверси встановлено зони, в яких спостерігаються максимальні напруження – місця прикладення навантаження, опор та різкої зміни геометрії. Виявлено різний характер зміни нормальних та дотичних напружень по висоті верхньої та нижньої поперечок. Встановлено, що характер зміни лінійних нормальних і дотичних напружень по висоті поперечок рами суттєво відрізняються від таких, що виникають у балках. Запропоновано підхід, за яким можна змінити геометрію рами при незначній зміні напружень і деформацій і, як наслідок, зменшити вагу рами. Отримані результати можуть бути застосовані при проектуванні та удосконаленні рам гідравлічних пресів рамного типу.

Список використаних джерел

1. Сурков И. А. Состояние и перспективы обеспечения прочностной надежности базовых деталей мощных гидравлических прессов / И. А. Сурков // Заготовительные производства в машиностроении. Кузнечно-штамповочное, литейное и другие производства. – 2004. – №3. – С. 24-28.

2. Живов Л. И. Кузнечно-штамповочное оборудование / Л. И. Живов, А. Г. Овчинников, Е. Н. Складчиков. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. – 560 с.

3. Детали машин. Расчет и конструирование: справочник: в 3 т. Т.2. / под

ред. Н. С. Ачеркана. – М.: Машиностроение, 1968. – 408 с.

4. Басов Н. И. Расчет и конструирование оборудования для производства и переработки полимерных материалов: учебн. для вузов / Н.И. Басов, Ю.В. Казанков, Ю.А. Любартович – М.: Химия, 1986. – 488 с.

5. Дащенко О. Ф. Напряжено-деформованый стан базовых деталей гидравлических пресов / О. Ф. Дащенко, О. М. Лимаренко // Машинознание. – 2013. – №1-2. – С. 33-38.

6. Сурков А. И. Восстановление работоспособности и предупреждение разрушений поперечин мощных гидравлических прессов с применением стяжных устройств / А. И. Сурков, И. А. Сурков // Главный механик. – 2013. – № 10. – С. 51-56.

7. Сурков А. И. Обеспечение прочностной надежности базовых деталей мощных гидравлических прессов на стадиях проектирования и эксплуатации / А. И. Сурков, А. Н. Курович, И. А. Сурков // Тяжелое машиностроение. – 2003. – №5. – С. 35-37.

8. Василенко Н. В. Расчет пластинчатых систем / Н. В. Василенко, А. Е. Бабенко, А. Ю. Чирков // Проблемы прочности. – 1985. – № 2. – С. 79-84.

Список джерел у транслітерації

1. Surkov I. A. Sostoyaniye perspektivy obespecheniya prochnostnoy nadezhnosti bazovykh detaley moshchnykh gidravlicheskiykh pressov / I. A. Surkov // Zagotovitel'nyye proizvodstva v mashinostroyenii. Kuznechno-shtampovochnoye, liteynoye i drugiyе proizvodstva. – 2004. – №3. – pp. 24-28.



2. Zhivov L. I. Kuznechno-shtampovochnoe oborudovanie: uchebn. / L. I. Zhivov, A. G. Ovchinnikov, E. N. Skladchikov – M.: Izd-vo MG TU im. N. E. Bauman, 2006. – 560 s.

3. Detaly machine. Raschet i konstruirovanye: spravochnyk: v 3 t. T.2. / pod red. N. S. Acherkana. – M.: Mashinostroenie, 1968. – 408 s.

4. Basov N. I. Raschet i konstruirovanye oborudovanya dlya proizvodstva i pererabotky polimernykh materialov: uchebn. // N. I. Basov, Yu. V. Kazankov, Yu. A. Lyubartovich – M.: Himya, 1986. – 488 s.

5. Dashchenko O. F. Napruzhenodeformovany stan bazovykh detaley gidravlichnykh presiv / O. F. Dashchenko, O. M. Limarenko // Machinoznavstvo, – 2013. – №1-2. – S. 33-38.

6. Surkov I. A. Ustanovlenie prichin i preduprezhdenye razrusheniy kolonn moschnykh gidravlicheskykh presov / I. A. Surkov // Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo, – 2004. – №3. – S. 42-45.

7. Surkov A. I. Obespecheniye prochnostnoy nadezhnosti bazovykh detaley moshchnykh gidravlicheskykh presov na stadiyakh proyektirovaniya i ekspluatatsii / A. I. Surkov, A. N. Kurovich, I. A. Surkov // Tyazheloye mashinostroyeniye. – 2003. – № 5. – pp. 35-37.

8. Vasilenko N. V. Raschet plastinchatikh sistem / N. V. Vasilenko, A. Ye. Babenko, A. Yu. Chirkov // Problemy prochnosti. – 1985. – № 2. – S. 79-84.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ РАМЫ ЭТАЖНОГО ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРЕССА

Аннотация. В данной статье исследовано напряженно-деформированное состояние рамы этажного гидравлического пресса для изготовления фольгированных пластиков с использованием программного комплекса SolidWorks Premium. Установлено, что напряженно-деформированное состояние рамы характеризуется общим и локальным неравномерным распределением напряжений и деформаций. Определены сечения рамы, в которых значения нормальных напряжений, рассчитанных методами сопротивления

материалов и конечных элементов совпадают. Обнаружен различный характер изменения касательных напряжений по высоте верхней и нижней поперечин. Определены зоны рамы, в которых наблюдаются максимальные нормальные, касательные напряжения и деформации. Исследование позволило изменить геометрию рамы с незначительным изменением напряжений и деформаций и уменьшить ее вес. Это исследование и его результаты могут использоваться при усовершенствовании существующих и проектировании новых гидравлических прессов, а также являются основой для дальнейших исследований.

Ключевые слова: гидравлический пресс, рама, поперечина, стойка, эпюра, напряжение, деформация, перемещение.

INVESTIGATION OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE FLOOR HYDRAULIC PRESS

Annotation. In the present article the stress-strain state of the frame of the floor hydraulic press for the production of foil plastics has been investigated by using SolidWorks Premium software. It is established that the stress-strain state of the frame is characterized by a general and local uneven distribution of stresses and deformations. The sections of the frame in which the values of the normal stresses calculated by methods of resistance of materials and finite elements coincide were determined. Various changes of the tangential stresses along the height of the upper and lower cross-bars was detected. The zones of the frame that are experiencing the highest values of normal and tangential stresses and strains have been identified. The research allowed to change the geometry of the frame with a slight change in the stress and strain and therefore to reduce weight of the traverse. This investigation and its results have practical application in the design of new hydraulic presses as well as in improvement of existing hydraulic presses and also are the basis for further research.

Key words: hydraulic press, frame, cross-bar, column, diagram, stress, strain, displacement.

Відомості про авторів

Немчинов Сергій Ілліч – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри матеріалознавства ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (пр. Гагаріна, 8, м. Дніпро, Україна, 49005, e-mail: sinonis@ukr.net).

Немчинов Сергей Ильич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры материаловедения ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет» (пр. Гагарина, 8, г. Днепр, Украина, 49005, e-mail: sinonis@ukr.net).

Nemchynov Sergiy – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Material Science Department SHEI Ukrainian State University of Chemical Technology (8, Gagarin avenue, Dnipro, Ukraine, 49005, e-mail: sinonis@ukr.net).