

УДК 621.658.512

О. В. МЕЛЬНИЧУК, В. С. ГРИШИН, О. П. МОРОЗЕНКО

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ЗОН КРИТИЧЕСКИХ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ФОРМООБРАЗУЮЩИХ ДЕТАЛЯХ ГИБОЧНОГО ШТАМПА

Розглядається математична модель оцінки зон критичних внутрішніх напруг в формотворчих деталях сгинального штампу. Спроекована тривимірна робоча конструкція штампу. Розроблена математична модель напруг у прикладному програмному забезпеченні Solidworks Simulation, яка включає в себе використані набори контактів, сили та кріплення. Виявлені ділянки критичних напруг, які підтверджуються практичним досвідом експлуатації даного оснащення на промисловому виробництві, що свідчить про достовірність проведених досліджень. Результати дослідження можуть бути використані для прогнозування зношення формотворчих деталей штампу.

Ключові слова: штампування, внутрішні напруги, матриця, метод кінцевих елементів, моделювання, прогнозування зношення.

Рассматривается математическая модель оценки зон критических внутренних напряжений в формообразующих деталях гибочного штампа. Спроектирована трехмерная рабочая конструкция штампа. Разработана математическая модель напряжений в прикладном программном обеспечении Solidworks Simulation, которая включает в себя использованные наборы контактов, силы и крепления. Выявлены участки критических напряжений, которые подтверждаются практическим опытом эксплуатации данной оснастки на промышленном производстве, что свидетельствует о достоверности проведенных исследований. Результаты исследования могут быть использованы для прогнозирования износа формообразующих деталей штампа.

Ключевые слова: штамповка, внутренние напряжения, матрица, метод конечных элементов, моделирование, прогнозирование износа.

There was considered the evaluation of stresses model in shape-generating parts of bending die stamp. The construction of a die stamp three-dimensional working model was done. Was designed the mathematical model of stresses in applied program Solidworks Simulation, that include used contacts, forces and fixtures. Simulation was provided with the finite element method. The finite element method allows to take into account properties of the deformable zones of heterogeneity, including flat and curved surfaces, allows the calculation of complex configuration areas including multivariable provided technological impact of physical and mechanical properties of the materials. Was detected the areas of critical stresses that are proved by practical experience of the tooling exploitation at manufacture. It shows that provided research is positive. The results of research can be used for wearing prediction of shape-generating parts of die stamp.

Keywords: die stamping, internal stresses, matrix, finite elements method, modelling, wearing prediction.

Введение. Надежность работы штампов для холодной деформации листового материала определяется не только использованием новых инструментальных сплавов и технологией изготовления деталей данной оснастки, но и конструкцией нагруженных элементов и их упрочнением. Наиболее нагруженными элементами штампов являются формообразующие поверхности матриц и пуансонов, которые работают при высоких контактных нагрузках, с сильной концентрацией напряжений. Это приводит к развитию механической усталости, пластической деформации, окислительным процессам и истиранию рабочих поверхностей [1, 2].

Поэтому задача повышения стойкости штамповой оснастки за счет минимизации напряженно-деформированного состояния при эксплуатации является актуальной.

Цель работы. Разработка моделей контактных нагруженных зон на формообразующих поверхностях деталей штампов для выявления участков с наибольшими напряжениями для дальнейшего их упрочнения.

Методика исследования по выявлению наиболее нагруженных участков рабочих поверхностей матрицы штампа. В работе проведены исследования по выявлению наиболее нагруженных участков рабочих поверхностей матрицы штампа, рис. 1, для изготовления скобы трубного хомута и определения внутренних напряжений методом конечных элементов в среде SolidWorks Simulation [3, 4].

Метод конечных элементов дает возможность учитывать неоднородность свойств деформируемых зон, включая криволинейные и плоские поверхности, позволяет рассчитывать зоны сложной конфигурации, в том числе и при условии многофакторного влияния

технологических физико-механических свойств применяемых материалов [5, 6].

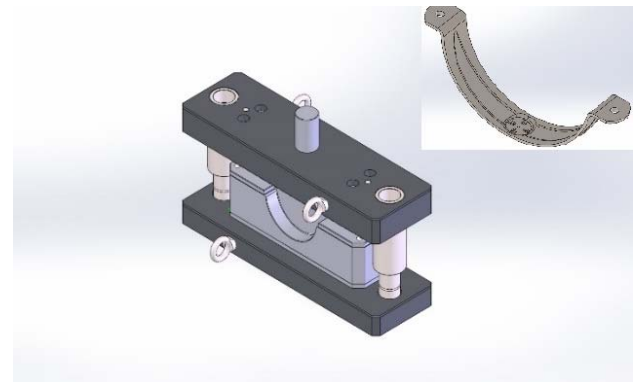


Рис. 1 – 3D модель штампа и изготовления скобы

При моделировании нагрузок были включены детали штампа (матрица, пуансон, знаки) и изготавливаемая скоба, которые непосредственно контактируют с поверхностями матрицы (рис. 1, 2) и максимальное усилие которые развивает пресс, табл. 1.

Результаты исследований при математическом моделировании нагруженных деталей штампа и скобы, представлены в виде твердого тела исходными характеристиками исследуемых материалов.

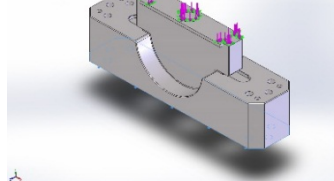
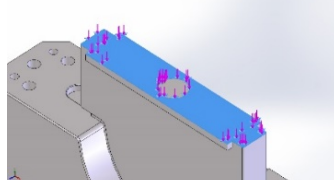
Для адекватного проведения исследования следует применить корректную фиксацию элементов штампа в системе симуляции, данные по креплению приведены в табл. 2.

© О. В. Мельничук, В. С. Гришин, О. П. Морозенко. 2016

Таблица 1 – Приложения внешних нагрузок и числовой эквивалент

Нагрузка	Изображение нагрузок	Данные нагрузок	
		Объекты:	2 грани
Сила-1		Тип:	Приложена нормальная сила
		Значение:	500000 N

Таблица 2 – Крепления элементов штампа

Название крепления		Изображение крепления		Данные крепления	
Зафиксирован -1				Объекты:	1 грань
				Тип:	Зафиксированная геометрия
Результирующие силы					
Компоненты	X	Y	Z	Результирующая	
Сила реакции(N)	1617.26	997382	-38.9302	997383	
Реактивный момент(N.m)	0	0	0	0	
На плоских гранях-1				Объекты:	1 грань
				Тип:	На плоских гранях
				Сдвиг:	0, 0, ---
				Размерность:	mm
Результирующие силы					
Компоненты	X	Y	Z	Результирующая	
Сила реакции (N)	-1617.44	0	38.8813	1617.91	
Реактивный момент (N.m)	0	0	0	0	

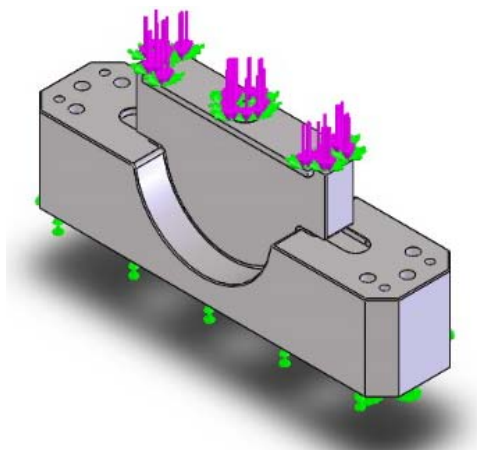


Рис. 2 – Модель контактных нагрузок и крепления

Кроме креплений большую роль играет модель поведения и реакций твердых тел, участвующих в исследовании, за эти функции отвечают контакты, добавленные в рассматриваемую систему, и приведены в табл. 3.

После проведения предварительной подготовительной работы в среде моделирования для

создания наиболее реальных условий симуляции была проведена симуляция нагрузки на штамп [7].

Наглядное изображение связанных контактов без проникновения приведено на рис. 3.

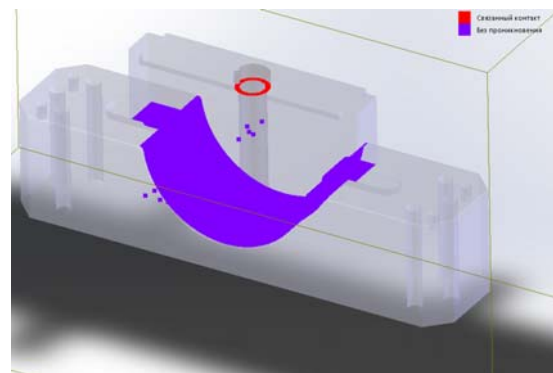


Рис. 3 – Связи между компонентами гибочного штампа

Сетка является важным этапом исследования в среде модуля Solidworks Simulation, в исследовании наибольший размер конечного элемента равна 10 мм, рис. 4.

Таблица 3 – Данные по контактам твердых тел

Контакт 3D	Изображение контакта		Свойства контакта	
Набор соприкосновения -1			Тип:	Контактная пара со связанными узлами
			Элементы:	2 грани
Набор соприкосновения -2			Тип:	Контактная пара без проникновения
			Элементы:	125 грани
			Значение трения:	0.2
			Дополнительно:	Узел с поверхностью
Сила контакту/трения				
Компоненты	X	Y	Z	Результирующая
Сила контакта(N)	-1.2187E-010	-4.6242E-010	-1.2847E-011	4.7838E-010
Сила трения(N)	-1.9348E-011	9.8332E-011	1.8971E-012	1.0024E-010
Набор соприкосновения-3			Тип:	Контактная пара без проникновения
			Элементы:	158 грани
			Значение трения:	0.2
			Дополнительно:	Узел с поверхностью
Сила контакту/ трения				
Компоненты	X	Y	Z	Результирующая
Сила контакта (N)	-2.7143E-011	-2.5392E-009	1.16E-012	2.5394E-009
Сила трения (N)	2.7644E-011	1.3466E-010	-5.9819E-013	1.3747E-010

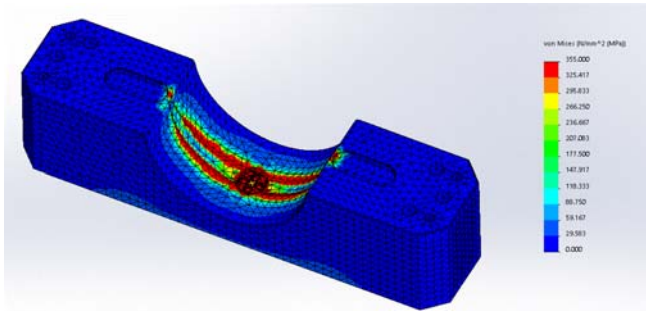


Рис. 4 – Зоны критических напряжений матрицы гибочного штампа

Выводы. Результаты моделирования указывают на то, что в детали «Матрица» глобально существуют две зоны критических напряжений, приводящих к износу штампа, первая - на формообразующей поверхности пуклевки и выемки скобы, вторая - на скруглениях детали. Напряжения на скруглениях матрицы приводят к интенсивному износу этих поверхностей, так как они контактируют с поверхностями других деталей штампа более длительное время в цикле напряжения, а потому воспринимают гораздо большую нагрузку, чем другие элементы матрицы и штампа в целом, что доказывает практический опыт

эксплуатации рассматриваемой оснастки. Результаты проведенного исследования могут быть использованы в производственных условиях для прогнозирования износа формообразующих деталей штампа.

Список литературы:

1. Долматов, А. И. Повышение жизненного цикла оснастки на основе защитных технологий [Текст] / А. И. Долматов, А. В. Богуслаев. – Запорожье: ОАО «Мотор-Сич», 2000. – 296 с.
2. Палей, М. М. Технология производства приспособлений прессформ и штампов [Текст] / М. М. Палей. – Москва: Машиностроение, 1979. – 344 с.
3. Алямовский, А. А. Solid Works. Компьютерное моделирование в инженерной практике [Текст] / А. А. Алямовский, А. А. Собачкин, Е. В. Одинцов, А. Е. Харитонович, Н. Б. Пономарев. – Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2005. – 800 с.
4. Mac Donald, B. J. Practical Stress Analysis with Finite Elements (2nd Edition) [Text] / B. J. Mac Donald. – Glasnevin Publishing, 2011. – 402 p.
5. Даутов, Р. З. Вступ в теорію методу скінчених елементів [Текст]: навч. пос. / Р. З. Даутов, М. М. Карчевський. – Казань: Казанський державний університет ім. В. І. Ульянова-Леніна, 2004. – 239 с.
6. Зенкевич, О. Конечные элементы и аппроксимация [Текст] / О. Зенкевич, К. Морган. – Москва: Мир, 1986. – 318 с.
7. Мельничук, О. В. Виявлення зон критичних напруг у технологічному оснащенні [Текст]: матер. Шістнадцятої міжнар. молодіжної науково-технічної конф. / О. В. Мельничук, В. С. Гришин // Машинобудування очима молодих: прогресивні ідеї – наука – виробництво, 2016. – С. 44–46.
8. Кухарь, В. В. Разработка альтернативной технологии

- спаренной штамповки из профилированной заготовки, полученной продольным изгибом [Текст] / В. В. Кухарь, В. А. Бурко, А. Г. Присяжный, Е. Ю. Балалаева, Н. Н. Нагнибеда // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2016. – № 3/7 (81). – С. 53–61. doi: [10.15587/1729-4061.2016.72063](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.72063)
9. Mirzak, V. Ia. The influence of mechanical error compensator on the quality of thin-sheet separating stamping [Text] / V. Ia. Mirzak, V. M. Bokov // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2015. – № 6/7 (78). – P. 10–15. doi: [10.15587/1729-4061.2015.54276](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.54276)
 10. Guk, N. Identification of the geometry and elastic properties of rigid inclusions in thin plate [Text] / N. Guk, N. Stepanova // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – № 2/7 (80). – P. 4–9. doi: [10.15587/1729-4061.2016.64395](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.64395)
 1. Dolmatov, A. I., Boguslaev, A. V. (2000). Povyshenie zhiznennogo cikla osnastki na osnove zashhitnykh tehnologij. Zaporozh'e: OAO «Motor-Sich», 296.
 2. Palej, M. M. (1979). Tehnologija proizvodstva prisposoblenij pressform i shtampov. Moscow: Mashinostroenie, 344.
 3. Aljamovskij, A. A., Sobachkin, A. A., Odincov, E. V., Haritonovich, A. E., Ponomarev, N. B. (2005). Solid Works. Komp'juternoe modelirovanie v inzhenernoj praktike. Saint-Petersburg: BHV-Peterburg, 800.
 4. Mac Donald, B. J. (2011). Practical Stress Analysis with Finite Elements (2nd Edition). Glasnevin Publishing, 402.
 5. Dautov, R. Z., Karchevskiy, M. M. (2004). Vstup v teoriiu metodu skinchennykh elementiv. Kazan: Kazanskiy derzhavnyy universitet im. V. I. Ulianova-Lenina, 239.
 6. Zenkevich, O., Morgan, K. (1986). Konechnye jelementy i approksimacija. Moscow: Mir, 318.
 7. Melnychuk, O. V., Hryshyn, V. S. (2016). Vyiavlennia zon krytychnykh napruh u tekhnolohichnomu osnashchenni. Mashynobuduvannia ochyma molodykh: prohresyvni idei – nauka – vyrobnytstvo, 44–46.
 8. Kukhar, V., Burko, V., Prisyazhnyi, A., Balalayeva, E., Nyhnbida, M. (2016). Development of alternative technology of dual forming of profiled workpiece obtained by buckling. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3 (7 (81)), 53. doi: [10.15587/1729-4061.2016.72063](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.72063)
 9. Mirzak, V. Ia., Bokov, V. M. (2015). The influence of mechanical error compensator on the quality of thin-sheet separating stamping. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6 (7 (78)), 10–15. doi: [10.15587/1729-4061.2015.54276](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.54276)
 10. Guk, N., Stepanova, N. (2016). Identification of the geometry and elastic properties of rigid inclusions in thin plate. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2 (7 (80)), 4–9. doi: [10.15587/1729-4061.2016.64395](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.64395)

Bibliography (transliterated):

Поступила (received) 11.11.2016

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Розробка математичної моделі оцінки зон критичних внутрішніх напружень в формотворчих деталях сигнального штампа/ О. В. Мельничук // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 50(1222). – С.133–136. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Разработка математической модели оценки зон критических внутренних напряжений в формообразующих деталях гибочного штампа/ А. В. Мельничук // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 50(1222). – С.133–136. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459.

Development of mathematical model evaluation of critical areas internal stresses in the molding details bending dies/ О. Melnychuk // Bulletin of NTU “KhPI”. Series: Mechanical-technological systems and complexes. – Kharkov: NTU “KhPI”, 2016. – No 50 (1222). – P.133–136. – Bibliogr.: 10. – ISSN 2079-5459.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Мельничук Олександр Володимирович – аспірант, Національна Металургійна Академія України, вул. Гагаріна 4, м. Дніпро 49000, Україна; e-mail: oleksandr.melnichuk.92@gmail.com.

Гришин Володимир Сергійович – кандидат технічних наук, Національна Металургійна Академія України, доцент кафедри "Технології машинобудування"; вул. Гагаріна 4, м. Дніпро 49000, Україна; e-mail: texmash@ua.fm.

Морозенко Олена Петрівна – кандидат технічних наук, Національна Металургійна Академія України, доцент кафедри "Нарисної геометрії та інженерної графіки"; вул. Гагаріна 4, м. Дніпро 49000, Україна; e-mail: elenamorozenko@gmail.com.

Мельничук Олександр Володимирович – аспірант, Национальная Металлургическая Академия Украины, ул. Гагарина 4, г. Днепр 49000, Украина; e-mail: oleksandr.melnichuk.92@gmail.com.

Гришин Владимир Сергеевич – кандидат технических наук, Национальная Металлургическая Академия Украины, доцент кафедры "Технологии машиностроения", ул. Гагарина 4, г. Днепр 49000, Украина.

Морозенко Елена Петровна – кандидат технических наук, Национальная Металлургическая Академия Украины, доцент кафедры "Начертательной геометрии и инженерной графики", ул. Гагарина 4, г. Днепр 49000, Украина; e-mail: elenamorozenko@gmail.com.

Melnichuk Oleksandr – PhD student, National Metallurgical Academy of Ukraine; Gagarina street 4, city Dnipro 49000, Ukraine; e-mail: oleksandr.melnichuk.92@gmail.com.

Gryshyn Volodymyr – candidate of technical sciences, National Metallurgical Academy of Ukraine, associate professor at the department of "Technology of machinebuilding"; Gagarina street 4, city Dnipro 49000, Ukraine; e-mail: texmash@ua.fm.

Morozenko Olena – candidate of technical sciences, National Metallurgical Academy of Ukraine; associate professor at the department of "Descriptive geometry and engineering graphics "; Gagarina street 4, city Dnipro 49000, Ukraine; e-mail: texmash@ua.fm.