

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛУ ПУАНСОНА НА РОБОТОЗДАТНІСТЬ ОСНАЩЕННЯ ДЛЯ ХОЛОДНОГО ЛИСТОВОГО ШТАМПУВАННЯ

¹ В. Г. Панчук, ¹ Р. Т. Карпик, ² Н. О. Костюк

¹ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15,
e-mail: v.panchuk@pung.edu.ua; karpykroman@gmail.com

²Хмельницький національний університет; 29000, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 11;
e-mail: nazkost92@gmail.com

Проаналізувавши основні тенденції обробки заготовок пластичним деформуванням, виявлено, що листові штампування широко застосовують у багатьох галузях машинобудування. Однак, руйнування робочих деталей штампа в серійному або в масовому виробництві суттєво впливає на продуктивність цього процесу. Так, під час роботи пуансонів піддаються впливу високих силових навантажень, тому їх виготовляють зі зносостійкої сталі з підвищеною міцністю і прогартованістю. Але, як і будь-який інструмент з довготривалим навантаженням, пуансон і матриця практично завжди піддаються сумісній дії двох руйнівних процесів – зношування та втоми, а термін їх експлуатації обмежений кількістю ударів штампа. Методом скінченних елементів досліджено вплив властивостей матеріалу пуансона штампа холодного листового штампування на процес пробивання отвору у виробі із листового матеріалу. Дослідження проводили для п'яти різних матеріалів, пуансон піддавався навантаженням від зміни товщини листа. При цьому відстежувалися максимальні напруження, можливі переміщення, а також деформації, що впливають на стійкість інструменту. При довготривалій роботі штампа в найслабшій зоні пуансона виникає значна концентрація напружень, що стає причиною змінання його нижньої частини і породжує сили, які діють у напрямку до осі пуансона. Такі деформації зазвичай призводять до перекошу зазору між пуансоном і матрицею та, відповідно, підвищують сили тертя в зонах контакту. Визначено параметри зазору, що залежать від механічних властивостей і товщини матеріалу, а також режиму роботи преса (числа подвійних ходів ползуна на хвилину). Розглянуто залежність впливу матеріалу пуансона й параметрів зазору між пуансоном і матрицею на якість виготовлених деталей та продуктивність роботи штампа. Визначено максимальну можливу кількість ударів пуансона до перезаточування. Проведено розрахунково-аналітичний аналіз стійкості інструменту при зміні матеріалу та товщини листа, а також в залежності від твердості матеріалу інструменту. Отримані результати досліджень проаналізовано, змістовно обґрунтовано і описано в статті. Подано рекомендації щодо врахування властивостей матеріалу пуансона під час проектування штампів.

Ключові слова: штамп; пуансон; якість деталей; напружено-деформований стан; стійкість; метод скінченних елементів.

Анализ основных тенденций обработки заготовок пластическим деформированием показал, что листовая штамповка широко применяется во многих отраслях машиностроения. Однако, разрушение рабочих деталей штампа в серийном или в массовом производстве существенно влияет на производительность этого процесса. Так, при работе пуансоны подвергаются воздействию высоких силовых нагрузок, поэтому их изготавливают из износостойкой стали с повышенной прочностью и закаленностью. Но, как и любой инструмент с длительными нагрузками, пуансон и матрица практически всегда подвергаются совместному воздействию двух разрушительных процессов – износу и усталости, а срок их эксплуатации ограничен количеством ударов штампа. Методом конечных элементов исследовано влияние свойств материала пуансона штампа холодной листовой штамповки на процесс пробивания отверстия в изделии из листового материала. Исследования проводились для пяти различных материалов, пуансон подвергался нагрузкой от изменения толщины листа. При этом отслеживались максимальные напряжения, возможные перемещения, а также деформации, влияющие на устойчивость инструмента. При длительной работе штампа в слабой зоне пуансона возникает значительная концентрация напряжений, что становится причиной замятия его нижней части и порождает силы, действующие в направлении оси пуансона. Такие деформации обычно приводят к перекошу зазора между пуансоном и матрицей и, соответственно, повышают силы трения в зонах контакта. Определены параметры зазора, зависящие от механических свойств и толщины материала, а также режимы работы преса (числа двойных ходов ползуна в минуту). Рассмотрена зависимость влияния материала пуансона и параметров зазора между пуансоном и матрицей на качество

изготовленных деталей и производительность работы штампа. Определено максимально возможное количество ударов пуансона до перезаточки. Проведен расчетно-аналитический анализ стойкости инструмента при изменении материала и толщины листа, а также в зависимости от твердости материала инструмента. Полученные результаты исследований проанализированы, содержательно обоснованы и описаны в статье. Даны рекомендации по учету свойств материала пуансона при проектировании штампов.

Ключевые слова: штамп; пуансон; качество деталей; напряженно-деформированное состояние; устойчивость; метод конечных элементов.

After analyzing the main trends, it was found that sheet metal stamping is widely used in many fields of mechanical engineering. And the destruction of the working parts of the stamp in serial or mass production significantly affects productivity. In the course of work punches are exposed to high power loading therefore they are made of wear-resistant steel with the increased durability and hardenability. But like any tool with a long load, the punch and die are almost always accompanied by the combined action of two destructive processes - wear and fatigue, and the service life is limited by the number of strokes. The influence of the properties of the punch material by the finite element method for punching a hole made of sheet material on the stamps of cold sheet stamping is investigated in the work. The study was performed fifteen times for five different materials. The punch was subjected to a load from changes in sheet thickness where the maximum stresses of possible displacements as well as deformations were monitored. Having the character of influence on stability of the tool. During long-term operation of the stamp there is a large concentration of stresses in the weakest zone of the punch, which causes the lower part to wrinkle, which creates forces acting on the axis of the punch. Such deformations usually lead to a reduction on one side of the gap between the punch and the die and encourage an increase in friction forces. The gaps that depend on the mechanical properties and thickness of the material, as well as the mode of operation of the press - the number of double strokes of the slider per minute. The dependence of the influence of the material of the punch and the gap between the punch and the matrix on the quality of parts and the performance of the stamp is considered. The maximum possible number of punches was determined, the calculation and analytical analysis of the tool stability from material change to sheet thickness was performed. As well as stability depending on the hardness of the tool material. The obtained research results were analyzed, substantiated and described in this article, as well as recommended to use the influence of the properties of the material of the punch in the design of dies.

Keywords: die; punch; part quality; productivity; stress-strain state; stability; finite element method.

Вступ

У виробничому процесі холодне листове штампування (ХЛШ) – один з найбільш прогресивних і розповсюджених технологічних процесів, що дозволяє виготовляти з листового матеріалу найрізноманітніші за формою та розмірами деталі в короткий термін із мінімальними витратами та відходами. Таким чином, штамп ХЛШ та виготовлені за допомогою них вироби потрібні усім галузям виробництва - від важкого машинобудування до галузей легкої та харчової промисловості.

У технічному відношенні холодне штампування дозволяє [1, 2]:

- одержувати деталі досить складних форм, виготовити які іншими методами обробки неможливо або важко;
- створювати міцні і жорсткі, але легкі за вагою конструкції деталей при невеликій витраті матеріалу;
- отримувати взаємозамінні деталі з досить високою точністю розмірів переважно без подальшої механічної обробки.

В економічному відношенні холодне штампування має такі переваги [1, 2]:

- економічне використання матеріалу через порівняно невелику кількість відходів виробництва;

– досить висока продуктивність обладнання із застосуванням механізації і автоматизації виробничих процесів;

– масовий випуск із низькою вартістю виготовлених виробів.

Сучасний розвиток ХЛШ здійснюється за такими напрямками [12]:

- заміна литих кованих деталей на штамповані або штампозварні;
- поліпшення існуючих і створення нових технологічних процесів;
- застосування штампування в дрібносерійному виробництві з використанням універсальних штампів і поелементного штампування;
- зниження витрати металу за рахунок впровадження безвідходного і маловідходного розкрою, підвищення точності розрахунку заготовок тощо;
- підвищення точності деталей;
- підвищення продуктивності за рахунок механізації і автоматизації процесів штампування;
- підвищення стійкості штампів за рахунок впровадження твердих сплавів, збільшення зносостійкості сталей і нормалізації деталей штампів.

Пуансон – одна з основних деталей будь-якого штамп [13]. Під час штампування пуан-

сон безпосередньо чинить тиск на матеріал заготовки [10]. Він передає тиск на листову заготовку, вирубує і проштовхує готовий виріб через матрицю. Пуансон відіграє важливу роль у процесі штампування або нанесення маркувальних даних на поверхню деталі та є одним з основних елементів технологічного оснащення будь-якого штампу [2, 3, 5, 8].

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Штампування широко застосовують у багатьох галузях машинобудування. Однак, руйнування робочих деталей штампа в серійному або в масовому виробництві суттєво впливає на продуктивність цього процесу. Останні дослідження вчених, таких як [13] Бойко М. В., Велика О. Т., Лясковська С. Є. та інші, у більшості своїй зосереджені на вдосконаленні геометричних параметрів інструменту, а не на поліпшенні його конструкційного. Проте матеріал є одним із елементів впливу на стійкість робочих деталей та, відповідно, продуктивність процесу штампування. Тому описане в статті дослідження є актуальним і своєчасним.

Постановка проблеми

Під час роботи пуансони піддаються впливу високих силових навантажень, тому їх виготовляють зі зносостійкої сталі підвищеної міцності та прогартованості. Але, як будь-який інструмент з довготривалим навантаженням, пуансон і матриця, практично завжди піддаються сумісній дії двох руйнівних процесів - зношування та втомного руйнування, а термін їх експлуатації обмежений кількістю ударів пуансона до поверхні оброблюваної деталі.

Зі зміною умов експлуатації штампу змінюються навантаження на його деталі. Так, зростання залишкових напружень у процесі штампування знижує стійкість інструменту, а мікротріщини, що виникають у слабких його зонах, призводять до руйнування.

Мета і завдання досліджень – дослідити методом скінчених елементів вплив властивостей матеріалу пуансона на стійкість штампа холодного листового штампування під час пробивання отвору дверного замка із листового матеріалу. Для цього слід визначити зміну максимальних напружень, переміщень, деформацій від зміни товщини листа деталі та властивостей матеріалу пуансона. Оцінити важливість правильного вибору параметрів зазору та встановити його вплив на інструмент з різних матеріалів. Обґрунтувати вплив властивостей матеріалу інструменту на працездатність і продук-

тивність роботи останнього. Визначити максимальну можливу кількість ударів пуансона, провести розрахунково-аналітичний аналіз стійкості інструменту від зміни матеріалу до товщини листа, а також стійкість в залежності від твердості матеріалу інструменту.

Викладення основного матеріалу

Вплив властивостей матеріалу пуансона при зміні навантажень досліджено за методом скінчено-елементного аналізу в середовищі SolidWorks у інженерному модулі Simulation. З інженерних конструктивних міркувань було спроектовано конструкцію пуансона для пробивання отвору дверного замка (рис. 1) і виконано просторово-параметричну 3D модель, яка закріплюється з накладанням обмежувальних зав'язків, імітуючи реальне точне розташування у просторі відносно положення штампа. По осі координат пуансона накладаються зусилля, що виникають під час роботи штампа. Необхідне зусилля для пробивання отвору залежить від товщини та матеріалу заготовки. В нашому випадку матеріал смуги – сталь Ст3. Прийняті зусилля при товщині смуги складають:

- 1 мм \approx 40 000 Н;
- 1,5 мм \approx 60 000 Н;
- 2 мм \approx 80 000 Н.

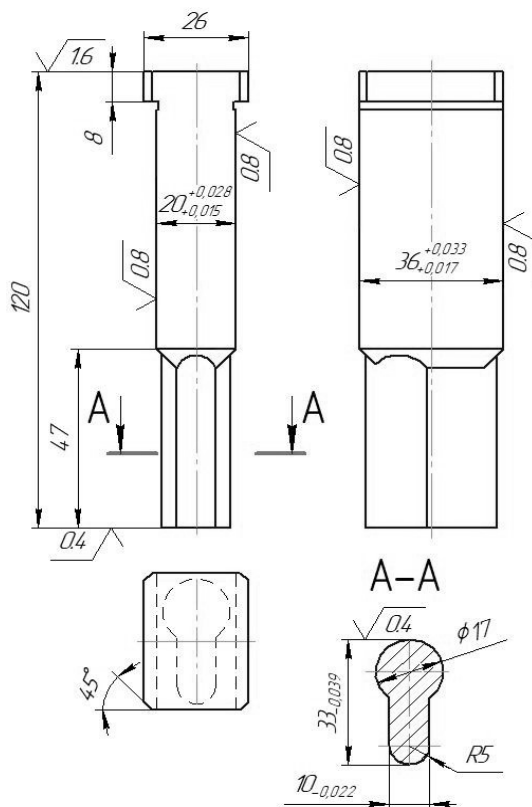


Рисунок 1 – Ескіз пуансона для пробивання фігурного отвору для вставлення дверного замка

Таблиця 1 – Результати дослідження напружено-деформованого стану пуансона

Матеріал пуансона	Зусилля, кН	Максимальні напруження, МПа	Максимальні переміщення, мм	Максимальні деформації
У7	40	251	0,052	0,001
	60	388	0,077	0,002
	80	519	0,103	0,002
У8А	40	252	0,052	0,001
	60	390	0,078	0,002
	80	520	0,104	0,002
У12А	40	255	0,053	0,001
	60	396	0,079	0,002
	80	522	0,105	0,002
ШХ15СГ	40	231	0,050	0,001
	60	371	0,075	0,002
	80	509	0,101	0,002
Х12МФ	40	229	0,050	0,001
	60	368	0,075	0,002
	80	498	0,100	0,002

Щоб перевірити вплив матеріалу від зміни навантажень, використовуємо відмінні за механічними та хімічними властивостями матеріали [10, 11], а саме:

– інструментально вуглецеву сталь з вмістом масової частки основних хімічних елементів в середньому 0,7-1,2% вуглецю, 0,17-0,33% кремнію та 0,17-0,33% марганцю. Перевагою сталі є порівняно невисока вартість цього інструментального матеріалу при достатньо високій твердості (HRC 60...62), а недоліком – низька зносостійкість;

– інструментально легована сталь з масовою часткою основних хімічних елементів: вуглець – 1,4-1,6%, кремній – 0,1-0,4%, марганець – 0,1-0,4%, хром – 11-12%, ванадій – 0,1-0,3%, молібден – 0,4-0,6%. Її перевагою є підвищена прогартованість і покращена різальна здатність через наявність у хімічному складі легуючих елементів. Твердість після термічної обробки HRC – 62...64 кгс/мм²;

– конструкційна підшипникова легована сталь, основна масова частка хімічних елементів якої становить: 0,9-1,0% вуглецю, 0,1-0,3% кремнію, 0,2-0,4% марганцю, 1,3-1,6% хрому. Перевагами такої сталі є робота під впливом зосередженого навантаження і змінних напружень, що виникають у зоні контакту.

Для більш якісних результатів проводили серію випробовувань (табл. 1) для п'яти різних матеріалів. Пуансон піддавався навантаженням від зміни товщини листа, де відстежувалися максимальні напруження (рис. 2, а), можливі переміщення (рис. 2, б), а також деформації (рис. 2, в) зі стандартними параметрами сітки

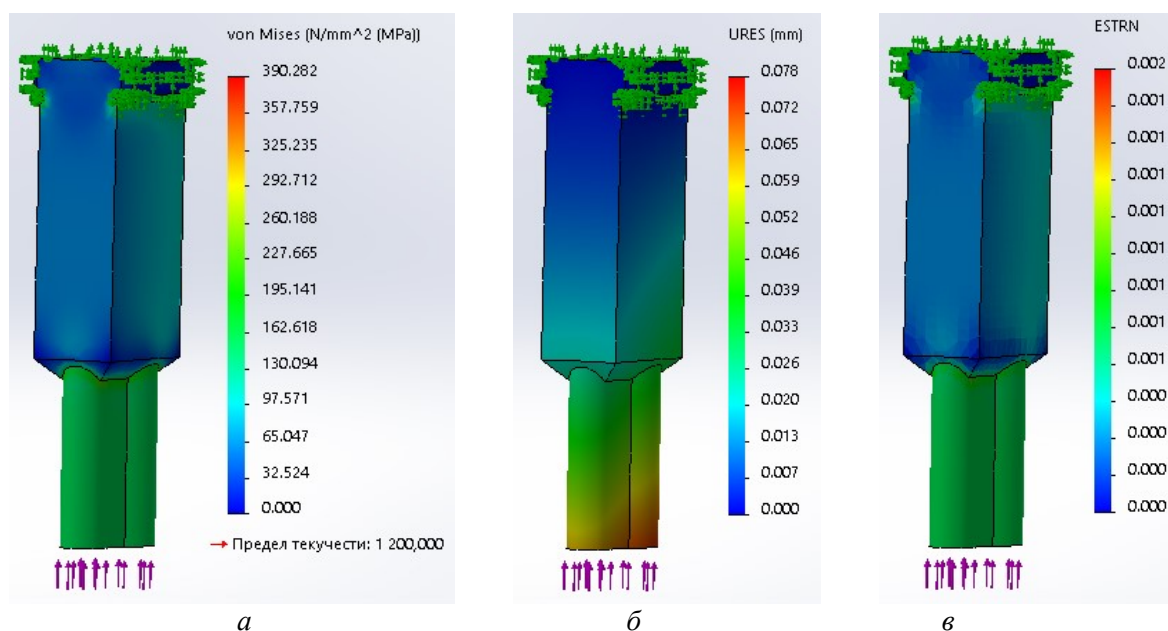
та високою густиною в 2 мм, що мають свій характер впливу на стійкість інструменту.

Стійкість – це здатність пуансона не піддаватися зношуванню та руйнації під дією зовнішніх впливів [4, 7, 9, 14]. Концентрація напружень з плином часу призводить до переміщень, деформацій і виникнення мікротріщин, що суттєво знижує стійкість інструменту. Під тривалим навантаженням розподіл напружень суттєво залежить від властивостей матеріалу та способів виготовлення інструменту, а також від умов його роботи.

Властивості матеріалу інструменту визначають мету його застосування. Розрізняють нелеговані сталі з максимальним вмістом вуглецю 1,7 % і леговані сталі з домішками таких елементів, як хром, марганець, ванадій, молібден тощо, які привносять в той чи інший сорт сталі свої власні якості [10]:

– вуглець є найважливішим елементом у складі сталі. При вмісті вуглецю, починаючи з 0,4 %, сталь вже піддається загартуванню. Зі зростанням вмісту вуглецю підвищується твердість, а також збільшується карбідна місткість. Карбіди – це тверді речовини, які утворюються в результаті хімічних реакцій між надлишками вуглецю з іншими компонентами сплаву (наприклад, хромом або ванадієм). Чим більше в сталі карбідів, тим краще вона тримає заточку, але заточувати її при цьому важче;

– хром, якщо він присутній у достатній кількості, забезпечує корозійну стійкість сталі. При вмісті хрому 13,4% сталь вважається нержавіючою. Більшість сортів сталі інертні по відношенню до корозії і в залежності від умов



а – напруження за Мізесом $\text{max } 390 \text{ МПа}$; *б* – переміщення $\text{max } 0,078 \text{ мм}$; *в* – деформації $\text{max } 0,002$

Рисунок 2 – Напружено-деформований стан пуансона із сталі У8А за прикладеного зусилля 60кН

навколишнього середовища і часу, протягом якого вони піддаються зовнішнім впливам, завжди починають іржавіти. Зі збільшенням вмісту хрому в структурі металу також утворюються дуже тверді хром-карбіди;

- молібден вважається елементом, який облагороджує сталь: він підвищує корозійну стійкість і гнучкість сталі, оскільки забезпечує рівномірний розподіл хрому в структурі металу, а також сприяє рівномірній твердості по всій товщині сталевих деталей;

- ванадій сприяє утворенню карбідів і дрібнозернистої структури, завдяки чому сталь стає термостійкою і дуже добре тримає заточку;

- марганець також підвищує гнучкість сталі і покращує її механічні якості;

- кремній підвищує міцність сталі, проте його надлишок робить метал крихким.

Дослідивши напружено-деформований стан пуансона виявлено, що зі зростанням сили, яка діє на пуансон, зростають максимальні напруження, що зумовлюють зріст переміщення і деформацій.

При довготривалій роботі штампа в зоні контакту пуансона виникає велика концентрація напружень, яка призводить до зминання, і створює сили, які діють у напрямку до осі пуансона. Такі деформації зазвичай стають причиною перекосу між пуансоном і матрицею, що збільшує сили тертя. Величина зазору залежить від механічних властивостей і товщини матеріалу, а також режиму роботи преса, а саме числа подвійних ходів повзуна на хвилину.

Залежно від роду і товщини матеріалу величина зазору (для товщини від 0,5 до 10-12 мм) коливається в межах 4-16% товщини матеріалу. При виборі зазору прагнуть до встановлення оптимальної його величини, при якій задовольняються основні чотири умови якісної вирубку, а саме: найменше зусилля вирубку, висока якість поверхні зрізу виробу, найбільша точність штампування і, як наслідок, найбільш висока стійкість штампа.

При використанні матеріалу більшої товщини діапазон оптимальних зазорів буде більшим, ніж тонкого. Це пов'язано з меншим впливом затуплення різальних поверхонь інструменту під час його роботи на утворення задирок при вирубку матеріалів значної товщини. При порівняно гострих різальних поверхнях штампа тонкий матеріал також може бути застосований на певних інтервалах величини зазору. Таким чином, вирубку високої якості можливе в деякому інтервалі зазорів інструменту і для будь-якої товщини заготовок. Тому доцільно встановити такі поняття:

- мінімальне значення оптимального зазору (для кожного матеріалу і товщини) Z_{min} , при якому торцева кромка зрізу стає майже перпендикулярною до площини деталі без помітного утворення задирок;

- максимальне значення оптимального зазору Z_{max} , при якому поверхня зрізу залишається задовільною, хоча і не є вертикальною.

Таблиця 2 – Зазори та осьове зміщення між пуансоном і матрицею

Матеріал пуансона	Товщина листа S, мм	Зусилля, кН	Зазор, мм		Осьове зміщення, a_{max} , мм
			Zmin	Zmax	
У7	1	40	0,050	0,100	0,010
	1,5	60	0,090	0,165	0,025
	2	80	0,120	0,220	0,041
У8А	1	40	0,050	0,100	0,009
	1,5	60	0,090	0,165	0,024
	2	80	0,120	0,220	0,041
У12А	1	40	0,050	0,100	0,010
	1,5	60	0,090	0,165	0,025
	2	80	0,120	0,220	0,041
ШХ15СГ	1	40	0,050	0,100	0,008
	1,5	60	0,090	0,165	0,015
	2	80	0,120	0,220	0,032
Х12МФ	1	40	0,050	0,100	0,007
	1,5	60	0,090	0,165	0,015
	2	80	0,120	0,220	0,030

Оскільки у міру спрацювання штампа зазор між матрицею і пуансоном збільшується, то для продовження роботи зі штампом слід відкоригувати зазор встановивши його близьким до мінімального (Z_{min}). Зазори задають в залежності від роду і товщини матеріалу. Зі збільшенням твердості і товщини матеріалу величина зазору в процентному співвідношенні до товщини матеріалу збільшується.

Величину зазору визначали за залежністю [3, 8]

$$z = m \times s, \quad (1)$$

де m – змінний коефіцієнт, що враховує походження і товщину матеріалу.

Оптимальна величина зазорів Z_{min} в пришвидшеному темпі вирубування (число подвійних ходів преса $n = 140$ об / хв) повинна бути збільшена в порівнянні з табличними даними в 1,5-2,0 рази. Так, для вуглецевої сталі товщиною до 2 мм оптимальний зазор становить 15-20% від товщини матеріалу. Збільшення Z_{min} забезпечує нормальний процес пробивання отвору на підвищених швидкостях, однак неврахування цієї вимоги призводить до «заїдання» пуансона в матриці оскільки, розігріваючись, ці деталі нерівномірно збільшуються в розмірах, що призводить до виникнення скосів і дисбалансу сил при вирубуванні і пробиванні.

Аналіз пуансона показав незначні зміщення від осі (табл. 2), які виникають при тривалій роботі штампа. Зміщення зумовлюються зминанням нижньої частини пуансона з температурним розширенням, що утворює незначний кут, через який створюється дисбаланс сил (рис. 3).

Будь-які деформації пуансона або матриці впливають на якість деталей. Так, через збільшення осьового зміщення і зминання нижньої частини пуансона на деталі утворюються задирки, що суттєво погіршує її якість і точність, а в гіршому випадку деформування можуть призводити до заклинювання і руйнування пуансона. Значний вплив на осьове зміщення має і матеріал пуансона. Найменше осьове зміщення виявлено в пуансоні з матеріалу Х12МФ, а найбільше – в марках У7, та У12А.

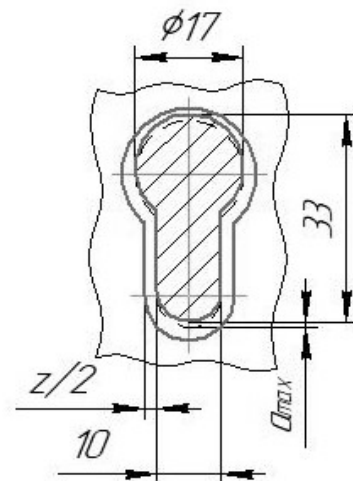


Рисунок 3 – Осьове зміщення та зазор між пуансоном і матрицею

Для багатосерійного і масового виробництва робочі частини штамів повинні бути загартовані, незалежно від якості і товщини штампованого матеріалу, а їх твердість залежить від умов роботи преса. Твердість пуансонів вста-

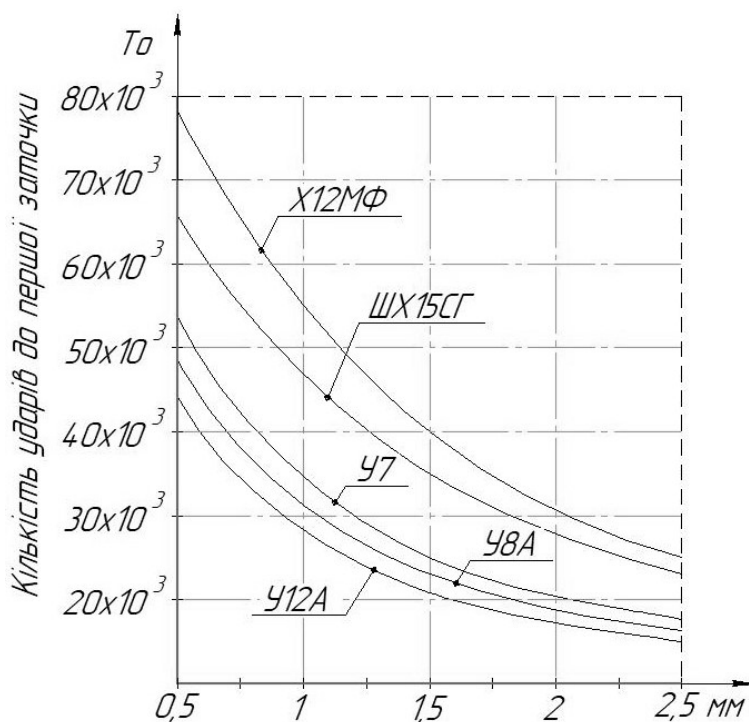


Рисунок 4 – Залежність стійкості матеріалу пуансона від товщини смуги

новлюється меншою твердістю матриць через специфіку їх роботи. Пуансон є часто рухомою робочою частиною, що робить його більш схильним до руйнування (порівняно з нерухомою матрицею). Крім того, при несумісності різальних поверхонь через неточності виготовлення штамп пуансон сприймає зсувні навантаження.

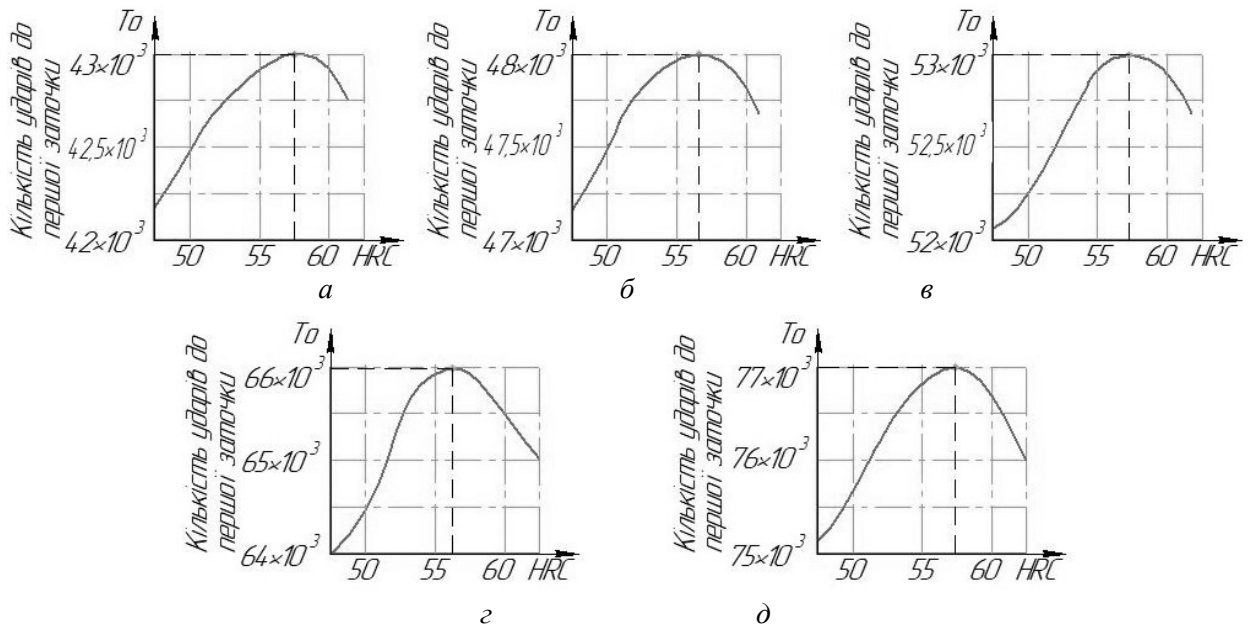
Стійкість пуансона характеризується кількістю можливих ударів. Щоб визначити максимальну можливу кількість ударів пуансона до першого пере заточування, проведено розрахунково-аналітичний аналіз стійкості інструменту від зміни матеріалу до товщини листа. Виявлено, що зі збільшенням товщини деталі зменшується можлива кількість ударів (рис. 4), зумовлена зростанням сили, що впливає на інструмент і зменшує його стійкість. Зміною матеріалу пуансона можна домогтися зростання кількості можливих ударів (рис. 4), однак підвищення стійкості можливе і при зміні твердості пуансона.

Твердість поверхонь робочих частин штампів можна підвищити хіміко-термічною обробкою, поверхневим пластичним деформуванням, електроерозійним легуванням, лазерною термообробкою, а також нанесенням різних зносостійких покриттів [9,13].

Методи хіміко-термічної обробки дозволяють отримати дифузійні покриття товщиною до 40 мкм і дають можливість збільшити стійкість робочих поверхонь: при азотуванні – в

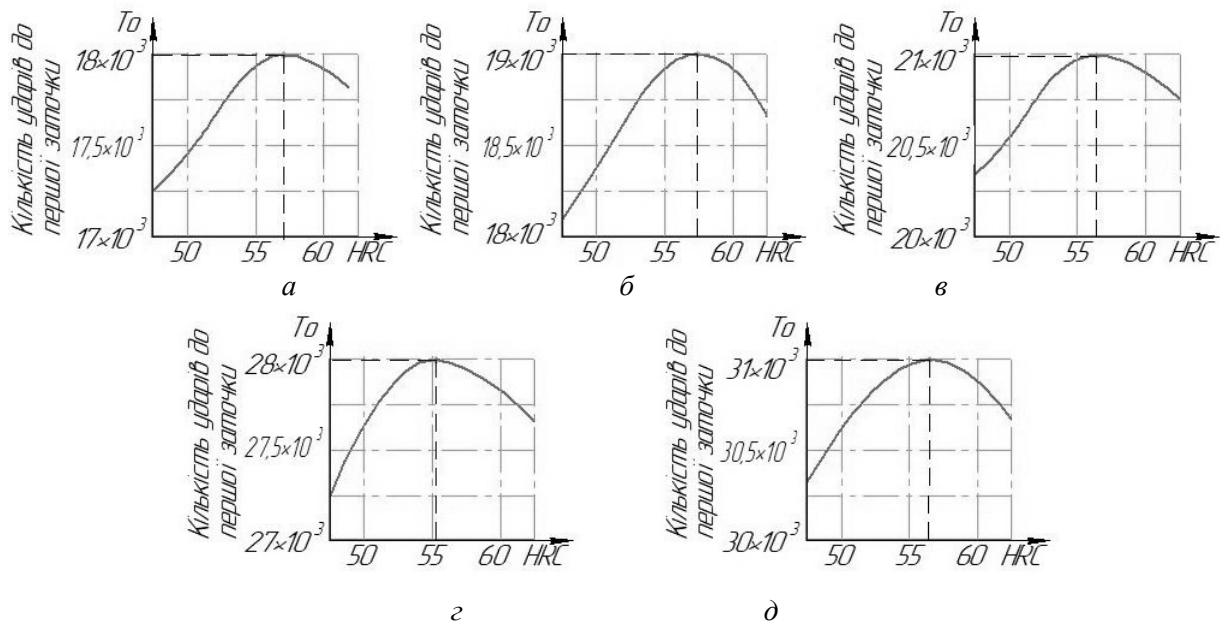
1,7-3,0 рази; боруванням – в 1,5-3,0 рази; карбонітрацією – в 2-4 рази. Останнім часом набув поширення спосіб фізичного осадження покриттів. Можливість широкої зміни температури в зоні нанесення покриття дає змогу застосовувати цей метод як універсальний для нанесення покриттів на тверді сплави, леговані сталі, а також деякі інструментальні леговані сталі. Для цього методу є важливим початковий стан робочих частин штампа. При застосуванні зносостійких покриттів змінюється характер зносу різальних поверхонь робочих частин (рис. 4). Найбільш значне підвищення стійкості спостерігалось в штампах, робочі деталі яких піддавалися інтенсивному адгезійному зношуванню. Так, застосування покриття з TiN підвищує стійкість в 3-7 разів [9,13].

При зміні твердості пуансона його стійкість суттєво змінюється. Так, під час пробивання отвору для вставлення дверного замка в листі товщиною 0,5 мм пуансоном зі сталі У12А максимальна стійкість 43000 досягається при твердості 58 HRC. При використанні сталі ШХ15СГ максимальна стійкість 66000 при твердості 56 HRC, а для сталі Х12МФ максимум 77000 досягається, коли твердість становить 57 HRC (рис. 5). Для товщини листа, що відрізняється на 2 мм, максимальні показники стійкості досягаються вже при інших одиницях твердості. Так, для сталі У12А максимум досягається при нижчій твердості – 57 HRC, а сталь Х12МФ отримує максимальну стійкість при



а - У12А; б - У8А; в - У7; г - ШХ15СГ; д - Х12МФ.

Рисунок 5 – Залежність стійкості пуансона від твердості його матеріалу під час пробивання отвору у листі товщиною 0,5 мм



а - У12А; б - У8А; в - У7; г - ШХ15СГ; д - Х12МФ

Рисунок 6 – Залежність стійкості пуансона від твердості його матеріалу під час пробивання отвору у листі товщиною 2 мм

твердості 56 HRC (рис. 6). Якщо знизити твердість максимальної стійкості, то стійкість знижується через меншу м'якість матеріалу пуансона, що призводить до пластичної деформації. Якщо збільшити твердість, то стійкість також знижується через те, що збільшується крихкість інструменту, яка призводить до відколювання крайніх кромek інструменту.

Висновки

Проведені методом скінченних елементів дослідження показали, що зі зростанням діючої на пуансон сили зростають максимальні напруження, які і зумовлюють зріст переміщення і деформацій. Під дією максимального зусилля 80 кН мінімальні напруження 498 МПа виявлено в легованій сталі марки Х12МФ, а максимальні – 522 МПа – в інструментально вуглецевій сталі марки У12А.

Визначено зазори, що залежать від механічних властивостей і товщини матеріалу, а також режиму роботи преса, а саме числа подвійних ходів повзуна на хвилину. Отримані залежності впливу матеріалів пуансона і зазору між пуансоном і матрицею показали найменші осьові зміщення, що виникають у сталі Х12МФ зі зміною товщини листа, а максимальні – у сталі У7, що впливає на якість деталей і продуктивність роботи штампа.

Постійні навантаження та властивості матеріалу пуансона впливають на стійкість інструменту. В нашому випадку спостерігається мінімальна стійкість інструментальної вуглецевої сталі марки У12А при роботі з товщиною листа 1,5 мм – 21 000 ударів, а максимальна стійкість в інструментально легованій сталі марки Х12МФ за тієї ж товщини становить 40 000 ударів (рис. 4). Також спостерігається залежність стійкості пуансона від твердості матеріалу при зміні товщини листа.

Отже, правильний вибір матеріалу пуансона суттєво впливає на працездатність штампа та продуктивність його роботи. Описане обґрунтування впливів властивостей матеріалу пуансона може бути використане в подальшому при проектуванні штамів для холодного листового штампування.

Література

1. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1979. 520 с.
2. Карпик Р. Т., Костюк Н. О. Основы проектирования та виготовлення штамів і пресформи. Частина III. Проектування штамів для холоднолистового штампування: навчальний посібник. Івано-Франківськ. ІФНТУНГ, 2019. 271 с.
3. Боков В. М. Конструювання та виготовлення штамів. Штамп як об'єкт проектування. Кіровоград: Поліграфічно-видавничий ТОВ «Імекс ЛТД», 2005. 216 с.
4. Зубцов М. Е. Листовая штамповка: Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Машины и технология обработки металлов давлением». Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1980. 432 с.
5. Кухтаров В. И. Холодная штамповка. М.: Машгиз, 1962. 403 с.
6. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка / Под общ. ред. Л. И. Рудмана. М.: Машиностроение. 1988. 496 с.
7. Зубцов М. Е. Стойкость штампов. М.: Машиностроение, 1971. 200 с.

8. РТМ 34-65. Штампы для холодной листовой штамповки. Расчеты и конструирование. М.: Изд-во стандартов, 1966. 270 с.

9. Тополянский П. А., Ермаков С. А. Многократное повышение стойкости вырубных штампов. *Мат. науч.-техн. семинара «Инструмент и технологическая оснастка: методы повышения эффективности»* (Санкт-Петербург, 26–28 марта 2002 г). Санкт-Петербург, 2002. С. 24–28.

10. Третьяков А. В., Зюзин В. И. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением. М.: Metallurgiya, 1973. 224 с.

11. Пітулей Л. Д., Карпик Р. Т. Технологічні фактори впливу на теплофізичні процеси формоутворення композиційних зубків бурового інструменту. *Perspective of science and education: Proceedings of the 8th International youth conference. SLOWO\WORD, New York, USA, 2019. P. 12-17*

12. Юдин Л. Г. Холодная штамповка: Конспект лекций. Машины и технология обработка металлов давлением очной формы обучения. Тула: Тульский государственный университет, 2005. 210с.

13. Бойко М. В., Велика О. Т., Лясковська С. Є., Великий Н. Дослідження напружено-деформованого стану та оптимізація геометричних параметрів вирубного пуансона. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2018, Т. 28, № 5. С. 101–105.

14. Бурыкин В. В. Технологические методы повышения долговечности штамповочной оснастки. *Процеси механічної обробки в машинобудуванні*. 2009. Вип. 7. С. 26 – 36.

References

1. Romanovskiy V. P. Spravochnik po holodnoy shtampovke. L.: Mashinostroenie, Leningr. otd-nie, 1979. 520 p. [in Russian]
2. Karpuk R. T., Kostiuk N. O. Osnovy proektuvannia ta vyhotovlennia shtampiv i presformy. Chastyna III. Proektuvannia shtampiv dlia kholodnolistovoho shtampuvannia: navchalnyi posibnyk. Ivano-Frankivsk. IFNTUNH, 2019. 271 p. [in Ukrainian]
3. Bokov V. M. Konstruiuvannia ta vyhotovlennia shtampiv. Shtamp yak obiekt proektuvannia. Kirovohrad: Polihrafichno-vydavnychiy TOV «Imeks LTD», 2005. 216 p. [in Ukrainian]
4. Zubtsov M. E. Listovaya shtampovka: Uchebnik dlya studentov vuzov, obuchayuschihya po spetsialnosti «Mashiny i tehnologiya obrabotki metallov davleniem». L.: Mashinostroenie, Leningr. otd-nie, 1980. 432 p. [in Russian]

5. Kuhtarov V. I. Holodnaya shtampovka. M.: Mashgiz, 1962. 403 p. [in Russian]
6. Spravochnik konstruktora shtampov: Listovaya shtampovka / Pod obsch. red. L. I. Rudmana. M.: Mashinostroenie. 1988. 496 p. [in Russian]
7. Zubtsov M. E. Stoykost shtampov. M.: Mashinostroenie, 1971. 200 p. [in Russian]
8. RTM 34-65. Shtampyi dlya holodnoy listovoy shtampovki. Raschety i konstruirovaniye. M.: Izd-vo standartov, 1966. 270 p. [in Russian]
9. Topolyanskiy P. A., Ermakov S. A. Mnogokratnoye povysheniye stoykosti vyirubnyih shtampov. *Mat. nauch.-tehn. seminara «Instrument i tehnologicheskaya osnastka: metody povyshe-niya effektivnosti»* (Sankt-Peterburg, 26–28 marta 2002). Sankt-Peterburg, 2002. P. 24–28. [in Russian]
10. Tretyakov A. V., Zyuzin V. I. Mehani-cheskie svoystva metallov i splavov pri obrabotke davleniem. M.: Metallurgiya, 1973. 224 p. [in Russian]
11. Pitulei L. D., Karpyk R. T. Tekhnolohichni faktory vplyvu na teplofizychni protsesy formout-vorennia kompozytsiinykh zubkiv burovoho in-strumentu. *Perspective of science and education. Proceedings of the 8th International youth confe-rence. SLOWWORD*, New York, USA, 2019. P. 12-17. [in Ukrainian]
12. Yudin L. G. Holodnaya shtampovka: Konspekt lektsiy. Mashyny i tehnologiya obrabotka metallov davleniem ochnoy formy obucheniya. Tula: Tulskiy gosudarstvenniy uni-versitet, 2005. 210 p. [in Russian]
13. Boiko M. V., Velyka O. T., Liaskovska S. Ye., Velykyi N. Doslidzhennia napruzhenodeformovanoho stanu ta optymizatsiia heometry-chnykh parametrov vyrubnoho puansona. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*. 2018, T. 28, No 5. P. 101–105. [in Ukrainian]
14. Buryikin V. V. Tehnologicheskie metody povysheniya dolgovechnosti shtampovochnoy osnastki. Protsey mehanichnoyi obrobki v mashi-nobuduvanni. 2009. Vol. 7. P. 26–36. [in Russian]