

УДК 621.791.927

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ НАНЕСЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПОКРИТТІВ

Бережна¹ О.В., Кассов² В.Д., Грибков² Е.П., Бережний² М.О.

1 – Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ, Україна.

2 – Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, Україна

Анотація. Розглянуто процес формування покриття при електроконтактному наварюванні. Розроблено математичну модель формування покриття. Застосовано метод числового рекурентного вирішення кінцево-різницевої форми виділеного елементарного об'єму покриття в умовах статичної рівноваги.

Ключові слова: електроконтактне наварювання, математична модель, функціональні покриття.

Короткочасність термомеханічного впливу при електроконтактному наварюванні з одного боку дозволяє знизити термічний вплив на матеріал покриття і деталі, а з іншого боку – ускладнює забезпечення точності прогнозування якості одержуваного шару. Якісними показниками навареного шару є міцність зчеплення, структурна однорідність, геометричні параметри шару. Термін служби відновленого виробу безпосередньо залежить від міцності зчеплення покриття з деталлю. З метою підвищення міцності зчеплення привареного шару з поверхнею деталі застосовують такий традиційний технологічний захід, як нанесення рельєфу на поверхні деталі [1] або електродного матеріалу, що вимагає введення додаткової операції у технологічний процес відновлення [2]. Важливу роль у формуванні навареного шару та утворенні його міцного зчеплення з поверхнею деталі відіграє зварюваність матеріалів, визначення якої для різнорідних матеріалів на етапі проектування технологічного процесу відновлення дозволяє здійснити раціональний вибір додаткових технологічних прийомів [3]. В процесі експлуатації при низькій міцності зчеплення відбувається відшаровування навареного шару, що визначає пріоритетний напрямок при розробці технології електроконтактного наварювання, а також оптимальних режимів процесу з урахуванням відповідних технологічних рекомендацій. Таким чином, актуальною є задача розробки технологічних заходів щодо підвищення міцності зчеплення покриття з деталлю при одночасному забезпеченні необхідних експлуатаційних характеристик покриття.

Одним із широко відомих способів підвищення міцності зчеплення шару, що приварюється, з поверхнею деталі є інтенсифікація процесу наварювання за рахунок збільшення коефіцієнту тертя в зоні контакту деталі з електродним матеріалом за рахунок створення протилежно спрямованого моменту обертання при протіканні імпульсу струму [4]. Істотний вплив на зміну коефіцієнту тертя в зоні електроконтактного наварювання чинить асиметрія процесу за рахунок контрольованої зміни кінематичних, трибологічних та фізико-механічних параметрів. Найбільш керованим і ефективним з точки зору впливу на зміну коефіцієнту асиметрії є співвідношення лінійних швидкостей ролика-електроду та виробу, що при створенні кінематичної асиметрії дозволяє збільшити коефіцієнт тертя.

Для визначення раціональних технологічних режимів електроконтактного наварювання незалежно від властивостей та форми матеріалу [5, 6] необхідно дослідити характер впливу основних технологічних факторів на напружено-деформований стан матеріалу в осередку взаємодії. Математичну модель процесу електроконтактного наварювання деталей типу «вал» розроблено на основі числового рекурентного рішення кінцево-різницевої форми умов статичної рівноваги виділених елементарних об'ємів вздовж зони пластичної деформації, розділеної на скінчене число елементарних об'ємів.

Згідно зі специфікою умов реалізації досліджуваної технології необхідно відмітити, що колові швидкості обертання деталі і електродного матеріалу на виході з осередку пластичної деформації є рівними. Отже, на поверхні деталі присутня тільки зона

відставання. Напрямок дотичних контактних напружень співпадає з напрямком процесу наварювання в цій зоні. Колова швидкість ролика-електроду трохи нижча швидкості деталі згідно з припущеннями [7]. Окрім вказаних вище, було прийнято ще низку припущень, основними з яких є наступні:

- деформація електродного матеріалу є пласкою й усталеною у часі. Кінематика пластичної течії матеріалу підлягає гіпотезі пласких перетинів. Нормальні осьові напруження та показники подвійного опору зсуву змінюються тільки вздовж зони пластичного формозмінення;
- вздовж кожного виділеного елементарного об'єму, поточні значення товщин, нормальних контактних та дотичних контактних напружень змінюються лінійно;
- аналітичні описи дотичних контактних напружень підлягають закону пластичного тертя;
- наявність зони пружної деформації електродного матеріалу в перетинах на вході в осередок, а також наявність інерційних складових умови рівноваги, через їх незначний вплив не враховували.

З урахуванням характеру прийнятих допущень і кінцево-різницевої форми запису основних компонент напружено-деформованого стану, умова статичної рівноваги для обраного елементарного об'єму при проектуванні всіх зусиль на ось X має наступний вигляд:

$$\sigma_{xi2}h_{xi2} - \sigma_{xi1}h_{xi1} + (p_{xi1} + p_{xi2})(h_{xi1} - h_{xi2})/2 + \quad (1)$$

$$+ (2K_{xi1}\mu_{x1i1} + 2K_{xi2}\mu_{x1i2})\Delta x/2 + (2K_{xi1}\mu_{x2i1} + 2K_{xi2}\mu_{x2i2})\Delta x/2 = 0,$$

де σ_{xi2} , σ_{xi1} і p_{xi2} , p_{xi1} – позитивні значення нормальних компонент тензору напружень, які відповідають напруженням стискання;

Δx – величина кроку розбивки зони пластичної деформації;

h_{xi1} , h_{xi2} – поточне значення товщини електродного матеріалу на вході та на виході з термодформаційного осередку;

$2K_{xi1}$, $2K_{xi2}$ – поточні показники подвійного опору зсуву;

μ_{x1i1} , μ_{x2i1} , μ_{x2i2} , μ_{x1i2} – поточні значення коефіцієнту пластичного тертя.

Під час розрахунку локальних характеристик напружено-деформованого стану в рамках зон пластичного змінення електродного матеріалу шляхом числового інтегрування виконували визначення зусилля P і моментів M_1 , M_2 процесу електроконтактного наварювання:

$$P = \left[\sum_{i=1}^n (p_{xi1} + p_{xi2})\Delta x/2 \right] b; \quad (2)$$

$$M_1 = \left[\sum_{i=1}^n (p_{xi1}\mu_{x1i1} + p_{xi2}\mu_{x1i2})\Delta x/2 \right] bR_{b1}; \quad (3)$$

$$M_2 = \left[\sum_{i=1}^n (p_{xi1}\mu_{x2i1} + p_{xi2}\mu_{x2i2})\Delta x/2 \right] bR_{b2}. \quad (4)$$

Моделювання теплового стану електродного матеріалу в термодформаційному осередку при електроконтактному наварюванні проводили, представляючи електродний матеріал у вигляді необмеженої пластини [8]. Процес нагріву розраховано згідно з теорією теплопровідності. Електродний матеріал знаходиться в тепловій рівновазі з навколишнім середовищем, тобто температура електродного матеріалу дорівнює температурі навколишнього середовища T_0 . Теплообмін між поверхнями електродного матеріалу та поверхневого шару деталі в термодформаційній зоні відбувається за законом Ньютона. Вважаємо, що початок координат розташовано всередині електродного матеріалу. Тоді r – половина товщини електродного матеріалу, тобто $r = h_{xi1}/2$. Для визначення розподілу тепла в будь-який момент часу необхідно вирішити диференціальне рівняння теплопровідності Лапласу:

$$\frac{\partial T_m(y, t)}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T_m(y, t)}{\partial y^2}; \quad (5)$$

$$(t > 0; -r < y < r)$$

при початкових та граничних умовах:

$$T_m(y, 0) = T_0; \quad (6)$$

$$\frac{\partial T_m(0, t)}{\partial y} = 0. \quad (7)$$

$$-\lambda \frac{\partial T_m(r, t)}{\partial y} + \alpha [T(t) - T_m(y, t)] = 0, \quad (8)$$

де a – коефіцієнт температуропровідності;

λ – коефіцієнт теплопровідності;

α – коефіцієнт теплообміну.

Відносна температура у будь-якій точці електродного матеріалу в термодформаційному осередку є функцією безрозмірних величин критерія Фур'є Fo , критерія Біо Bi та співвідношення y/r [9]. На осі електродного матеріалу, тобто при $y = 0$, приймає вигляд:

$$\frac{\Delta T_m}{Pd} = Fo - 0,5 \left(1 + \frac{2}{Bi}\right) + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{A_n}{\mu_n^2} \exp(-\mu_n^2 Fo), \quad (9)$$

де A_n – початкові теплові амплітуди;

μ_n – прості корені характеристичного рівняння.

В цій точці температура електродного матеріалу мінімальна. Знаючи розподіл температурних полів вздовж електродного матеріалу в термодформаційному осередку, можна обчислити необхідну силу струму:

$$I = \sum_{i=1}^{\infty} \sqrt{\frac{T \pi^2 x_i h_{xi} \lambda c g}{r \delta t_i}}. \quad (10)$$

Представлена сукупність аналітичних описів склала повний алгоритм з числового одномірного математичного моделювання процесу електроконтактного наварювання деталей типу тіл обертання.

Список літератури:

1. Сатонін О.В. Спосіб електроконтактного наплавлення / О.В. Сатонін, О.В. Бережна, С.В. Малигіна // Патент №88576 України на винахід. МПК В23К 35/00 (2006.01). №у 2013 10799. Заявл. 09.09.2013. Опубл. 25.03.2014. Бюл.№6. 4с.
2. Бережна О.В. Спосіб відновлення поверхонь деталей типу вал / О.В. Бережна, П.А. Гавриш, В.Д. Кузнецов // Рішення про видачу деклараційного патенту України на корисну модель. МПК В23К11/00(2006.01), В22D19/00(2006.01), В22D19/06(2006.01). №у 2017 10242. Заявл. 23.10.2017.
3. Бережна О.В. Спосіб визначення зварюваності різномірних металів / О.В. Бережна, М.А. Турчанін, В.Д. Касов, П.А. Гавриш // Патент №106718 України на корисну модель. МПК В23К 31/12 (2006.01). №у 2015 08944. Заявл. 16.09.2015. Опубл. 10.05.2016. Бюл. №9. 4с.
4. Зезюля В.В. Спосіб електроконтактної наплавки / В.В. Зезюля, В.В. Бульчев // Патент №2466000 Росії. МПК В23К 11/06. Заявл. 30.12.2010. Опубл. 10.11.2012.
5. Бережная Е.В. Математическое моделирование формообразования слоя при электроконтактной наплавке проволокой деталей типа вал / Е.В. Бережная, Э.П. Грибков // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2014. – №6. – Ч.2. – С.93-96. – ISSN: 1998-7927 (Print).
6. Бережная Е.В. Математическое моделирование напряжений и деформаций при электроконтактной наплавке проволок цилиндрических деталей / Е.В. Бережная, С.Н. Грибкова // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні: збірник наукових праць. – 2013. – № 1 (14). – С. 206-213. – ISSN: 2218-1806 (Print).
7. Сатонин А.В. Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния при электроконтактной наплавке лент с использованием процессов прокатки / А.В. Сатонин, В.Д. Касов, Е.В. Бережная, В.А. Данилюк, К.Д. Махмудов // Обработка материалов давлением. – 2013. – №1 (34). – С.30-35. – ISSN: 2076-2151 (Print).
8. Воскресенский К.Д. Сборник расчетов и задач по теплопередаче / К.Д. Воскресенский // Рипол Классик. – 2013. – 342 с. – ISBN 5458353811.
9. Вейник А.И. Приближенный расчет процессов теплопроводности / А.И. Вейник // Рипол Классик. – 2013. – 190 с. – ISBN 5458570960.

УДК 621.787, 621.923

ВЫТЯЖКА С УТОНЕНИЕМ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТРУБЧАТЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (БТЭ) ИЗ РАЗНОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

Борис Р.С., Холявик О.В., Вишневский П.С.

КПИ им. Игоря Сикорского, г. Киев, Украина

***Аннотация.** Решено актуальную научно-практическую задачу повышения эффективности изготовления биметаллических трубчатых элементов в машиностроительном производстве за счет разработки и обоснования процесса вытяжки с утонением разнородных листовых металлов и сплавов. Выполнен аналитический и численный расчет процесса совместной вытяжки с утонением двух разнородных металлов с нагревом. Установлена взаимосвязь параметров НДС на граничной поверхности и степени деформации истончения слоев с исходными геометрическими параметрами заготовки, механическими свойствами отдельных слоев и геометрией рабочей поверхности матрицы. Экспериментально показано, что погрешность расчетов не превышает 7 ... 14%. Основываясь на обобщении теоретических и экспериментальных результатов полученных в работе предложена структурная схема расчета технологических параметров процесса вытяжки двухслойной заготовки с утонением, предложены новые перспективные технические решения и реализованы технологические рекомендации, которые необходимы для процесса изготовления БТЭ.*

***Ключевые слова:** биметаллический трубчатый элемент, граничная поверхность, центр деформаций, разнородные металлы, алгоритм решения, деформированное состояние, математическая модель.*

В машиностроении на современном этапе находят широкое применение слоистые металлические композиции трубчатой формы (биметаллические трубчатые элементы). БТЭ, как правило, используются для соединения трубопроводов из разнородных металлов в ответственных конструкциях аэрокосмической техники. Процессы пластического формоизменения двухслойных материалов на сегодня мало исследованы.

Традиционные методы (технологии) изготовления биметаллических деталей цилиндрической формы направлены на крупносерийное производство (металлургические технологии) [1, 2] или имеют высокую трудоемкость и специфику реализации (технологии с использованием энергии взрыва) [3]. Но в тоже время эти технологии экономически нецелесообразно использовать для изготовления единичных или малых серий БТЭ в условиях машиностроительных производств.

Таким образом, развитие теории пластического формоизменения двухслойных материалов приобретает высокую актуальность в машиностроительном производстве.

Авторами работы решена актуальная научно-практическая задача повышения эффективности изготовления биметаллических трубчатых элементов в машиностроительном производстве за счет разработки и обоснования процесса совместной вытяжки с утонением разнородных листовых металлов и сплавов. Научная идея состоит в реализации процесса изготовления биметаллических трубчатых элементов из отдельных слоев листовых заготовок разнородных металлов путем их вытяжки с утонением в нагретом состоянии, что обеспечивает условия для получения заданной формы изделия и соединения слоев [4].

Построена математическая модель процесса совместного деформирования двух разнородных металлов при вытяжке с утонением в нагретом состоянии на основе теории пластического течения, механики композиционных материалов при взаимодействии слоев из разнородных металлов на граничной поверхности, а также экстремальных энергетических принципов пластического формоизменения. Установлена взаимосвязь в виде аналитических зависимостей кинематики течения слоев, степени их деформации и параметров напряженно-деформированного состояния на граничной поверхности с исходными геометрическими параметрами заготовки, механическими свойствами отдельных слоев и геометрией рабочей поверхности матрицы [5, 6].

На основе численного моделирования в CAD/CAE ANSYS и DEFORM-2D дано подтверждение основным аналитическим результатам при угле конусности матрицы $4^\circ \dots 10^\circ$.

Показано, что на выходе из очага деформации на граничной поверхности составной заготовки возникают максимальные сжимающие напряжения и деформации сдвига вблизи поверхности, при этом разница осевых скоростей деформаций достигает нуля, что способствует взаимодействию слоев. Для увеличения зоны действия контактных напряжений и времени контакта слоев под нагрузкой предложено использование на конусной поверхности матрицы дополнительного угла $1^\circ \dots 2^\circ$ [7].

Экспериментальное исследование выполнено для различных сочетаний сплавов: АМГ5+ВТ1-0, АМГ5+12Х18Н10Т, АМГ5+Л63 и другие. Сравнение расчетных результатов и экспериментальных данных показало, что максимальная погрешность расчета энергосиловых параметров не превышает 7...10%, опережение слоя с меньшим пределом текучести не превышает 9...11%, деформации толщин слоев после вытяжки с утонением не превышает 10...14% для разных коэффициентов механической неоднородности металлов. Металлографический анализ показал, что при деформации утонения стенки 40...50% между слоями возникают металлические связи, которые формируют соединение слоев [8].

Разработаны технологические рекомендации по реализации процесса совместной вытяжки двух разнородных металлов, предложен алгоритм расчета технологических параметров процесса вытяжки двухслойной заготовки с утонением, которые необходимы для изготовления БТЭ. Получены новые перспективные технические решения, которые обеспечивают эффективность совместной вытяжки с утонением разнородных металлов.

Экспериментально отработан технологический процесс изготовления и получены опытные образцы БТЭ [9].

Список литературы

1. *Тітов В. А. Обґрунтування підстав для створення машинобудівної технології виготовлення біметалевих трубчастих елементів витягуванням* / В.А. Тітов, Т.М. Лабур, Р. С. Борис // Технологические системы. – 2007. – № 1. – С. 33–39
2. *Тітов В. А. Напрямки розвитку способів виготовлення біметалевих трубчастих елементів з різнорідних матеріалів витягуванням* / В.А. Тітов, Р.С. Борис, М.С. Тривайло // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». – Київ : НТУУ «КПІ», 2009. – № 56. – С. 154–159. – (Серія «Машинобудування»).
3. *Резниченко В. И. Экспериментальный промышленный комплекс сварки взрывом Государственного предприятия. Конструкторское бюро «Южное им. М.К. Янгеля»* / В.И. Резниченко, С.Н. Пахомов, С.Е. Мостипан // Авиационно-космическая техника и технология. – 2007. – № 11/47. – С. 102–108.
4. *Тітов В.А. Розрахунок напружено-деформованого стану при витягуванні з потоншенням двошарового металу* / В.А. Тітов, Р. С. Борис // Обработка материалов давлением : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2012. – № 1 (30). – С.45–52.
5. *Тітов В.А. Розрахунок напружено-деформованого стану витягування з потоншенням ідеальнопластичного двошарового металу* / Тітов В.А., Борис Р.С. // Обробка матеріалів тиском. – 2012. – №1 (30). – С. 45-52.
6. *Борис Р.С. Особливості врахування сил тертя при витягуванні з потоншенням двошарових заготовок* / Борис Р.С., Тітов В.А., Вишневский П.С. // Обработка материалов давлением. – 2012. – № 2 (31). - С. 22-29.
7. *Тітов В.А. Обґрунтування та реалізація дослідного процесу виготовлення біметалевих трубчастих елементів* / В.А. Тітов, Р.С. Борис, П. С. Вишневський, О. О. Лук'яненко // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». – Київ : НТУУ «КПІ», 2010. – №59. – С. 13–18. – (Серія «Машинобудування»)
8. *Тітов В.А. Влияние особенностей конструкции рабочей поверхности матрицы оснастки на параметры процесса вытяжки с утонением биметаллических трубчатых элементов* / В.А. Тітов, Р.С. Борис, Е.И. Богодист // Вісник національного технічного університету «ХПІ». – Харків : НТУ «ХПІ», 2011. – № 45. – С. 34–42.
9. *Тітов В.А. Особенности конструкций вытяжных матриц и их влияние на процесс вытяжки биметаллических трубчатых изделий* / Тітов В.А., Борис Р.С., Богодист Е.И. // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. Россия, Москва – 2012. – №9.

УДК 621.7-621. 983

АНАЛІЗ МЕТОДОМ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРОЦЕСУ БЕЗВІДХІДНОГО ВІДРІЗАННЯ ЗАГОТОВОК ІЗ КРУГЛОГО ПРОКАТУ ЗСУВОМ В ШТАМПІ НА ПРЕСІ

Калюжний В.Л., Русаков Р.Л., Касян Д.В.
КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

Анотація. Методом скінченних елементів створено математичну модель та проведений аналіз процесу неповністю відкритого відрізання заготовок із круглого прокату зсувом в штампі на пресі. Наведена і описана схема штампа для неповністю відкритого відрізання заготовок із круглого прокату за допомогою рухомого пластинчатого ножа в нерухомому втулочному ножі. Встановлені залежності осьового та поперечного зусиль відрізання на рухомому ножі від його переміщення. Визначено напружено-деформований стан в осередку деформації при відрізванні. По величині інтенсивності напружень виявлено напрямок розвитку в прутку тріщини від нерухомого до нерухомого ножа. Представлений розподіл питомих зусиль на ножах при максимальному зусиллі відрізання.

Ключові слова: відрізання заготовок, круглий прокат, метод скінченних елементів, зусилля відрізання, пластинчатий ніж, втулочний ніж, напруження, деформації.

Вихідні заготовки із круглого прокату під подальше формоутворення виробів процесами холодного об'ємного штампування в основному отримують способами відрізання на токарних верстатах та відрізанням зсувом в штампах на пресах. Процес відрізання зсувом в штампах на пресах характеризується високою продуктивністю та являється практично безвідхідним в порівнянні з отриманням заготовок на токарних верстатах [1].

Схема процесу неповністю відкритого відрізання заготовок із круглого прокату зсувом в штампі на пресі приведена на рис. 1. Пруток 1 діаметром d встановлюють для відрізання заготовок через нерухомий втулочний ніж 2, який розміщений в корпусі 3. Втулочний ніж має отвір діаметром d_n . Корпус 3 закріплений на нижній плиті штампа 4. Переміщення прутка обмежено упором 5, який визначає довжину заготовки l , що відрізається. Рухомий втулочний ніж 6 закріплений в корпусі 7, а корпус 7 зафіксований до верхньої плити 8 штампа. Обидва ножі мають ширину розміром b . Відрізання заготовки виконується при переміщенні верхньої плити 8 з ножом 6 вниз і отримана заготовка скочується по похилій конусній поверхні лотка 9. Між прутком 1 і нерухомим ножом 2 має місце поперечний зазор z_n . Рухомий і нерухомий ножі встановлені на плитах штампу з осьовим зазором z_{oc} між собою.

Метою роботи є використання метода скінченних елементів для встановлення параметрів

неповністю відкритого відрізання заготовок із круглого прутка в штампі на пресі.

Моделювання процесу відрізання виконували за допомогою метода скінченних елементів з використанням програми DEFORM. Розрахункова схема на початку відрізання зображена на рис. 2. Розрахункова схема на початку відрізання зображена на рис. 2. Пруток 1 діаметром $d=10$ мм із низьковуглецевої гарячекатаної сталі 10 встановлений в отворі нерухомого втулочного ножа 2. Відрізання виконується за допомогою рухомого пластинчатого ножа 3. Розміри ножів по ширині $b=12$ мм. Осьовий зазор між ножами має величину $z_{oc}=0,5$ мм. Діаметр отвору втулочного ножа $d_n=1,5$ мм, а пластинчатий ніж має проточку діаметром 10,5 мм (зазор $z_n=0,5$ мм). Заготовка, що відрізається, має ширину $l=10$ мм. Положення ножів при максимальному значенні зусилля відрізання та в кінці відрізання представлені на рис. 3. На рис. 3а наведене положення ножів при максимальному значенні зусилля відрізання. При цьому переміщення рухомого ножа склало 3 мм. Положення ножів в кінці відрізання зображене на рис. 3б. Проходить відокремлення заготовки з отриманням впадини на торці прутка.

Залежності зусиль, яке витримує рухомий ніж, при відрізанні представлені на рис. 4. На рис. 4а наведена залежність осевого зусилля P_o на рухомому ножі від його переміщення показана на рис. 4а. Зусилля спочатку зростає до моменту співпадіння розвитку тріщин, які

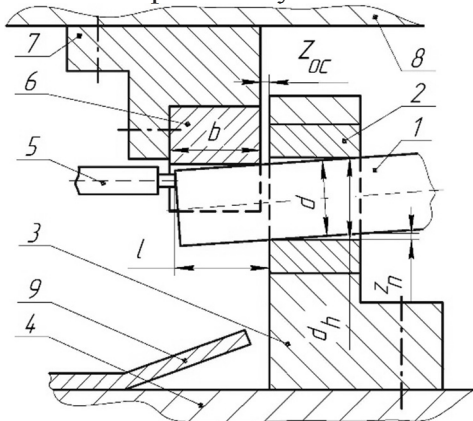


Рис. 1 - Схема процесу неповністю відкритого відрізання заготовок із круглого прокату зсувом в штампі

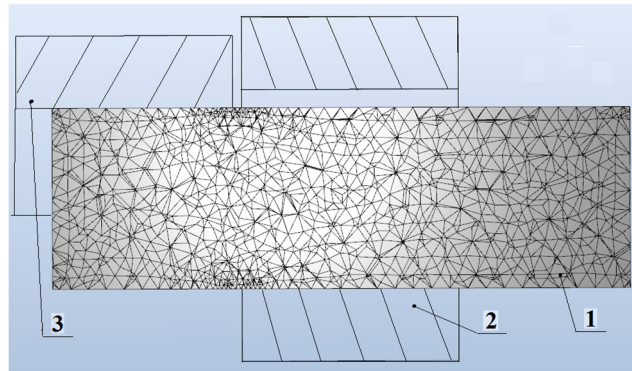
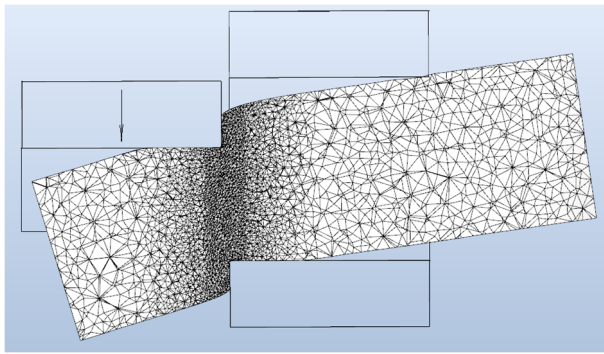
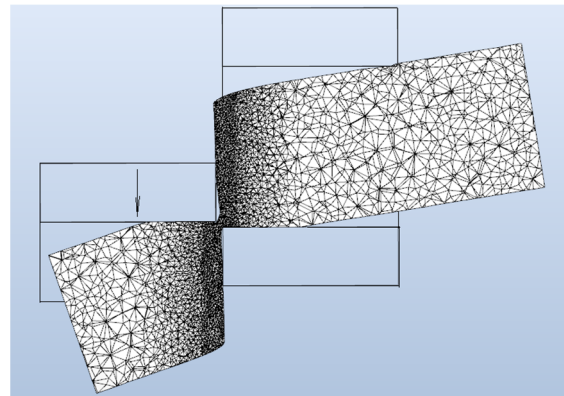


Рис. 2 – Розрахункова схема процесу неповністю відкритого відрізання заготовок із круглого прокату зсувом в штампі



а

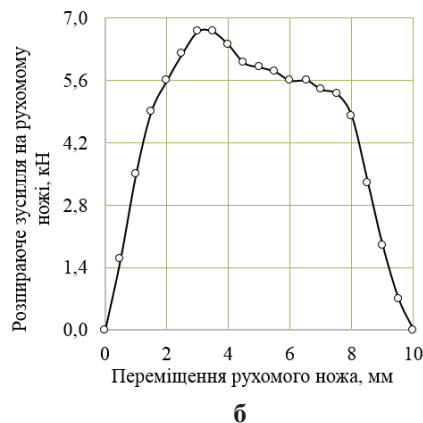


б

Рис. 3 - Положення ножів: а – при максимальному значенні зусилля відрізання, б – в кінці відрізання



а



б

Рис. 4 – Залежності зусиль, яке витримує рухомий ніж, при відрізанні: а – залежність осевого зусилля на рухомому ножі від його переміщення, б – залежність поперечного зусилля на рухомому ножі від його переміщення

розвиваються в прутку від рухомого ножа та нерухомого ножа в напрямку осі прутка. Далі зусилля зменшується до повного відокремлення заготовки від прутка. При відрізанні обидва ножі витримують зусилля в поперечному напрямку (розпіраюче зусилля P_p), яке необхідно враховувати при проектуванні штампового оснащення для відрізання. Залежність

поперечного зусилля від переміщенні рухомого ножа приведена на рис. 4б. Максимальне значення поперечного зусилля складає величину $P_p \approx 0,3P_0$, що відповідає даним джерела [1].

Розрахунковим шляхом встановлений напружено-деформований стан в осередку деформації, який виникає в прутку при відрізання. На рис. 5 наведений розподіл інтенсивності напружень σ_i , яка виникає при максимальному зусиллі відрізання. Розподіл показує розвиток тріщин від рухомого та нерухомого ножів в напрямку осі прутка при різанні.

Для проектування штампового оснащення необхідно знати розподіл величини питомих зусиль на ножах. Найбільші значення вказаних зусиль також виникають при максимальному зусиллі відрізання. Питомі зусилля можна оцінити по розподілу нормальних напружень σ_n , який наведений на рис. 6. Величини цих напружень в межах $\sigma_n = 1300 \div 1400$ МПа виникають на поверхні прутка в зоні торців рухомого та нерухомого ножів.

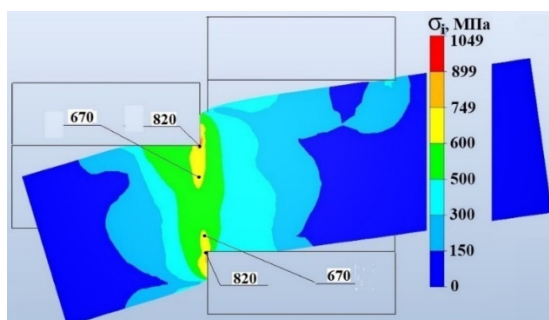


Рис. 5 – Розподіл інтенсивності напружень σ_i при максимальному зусиллі відрізання

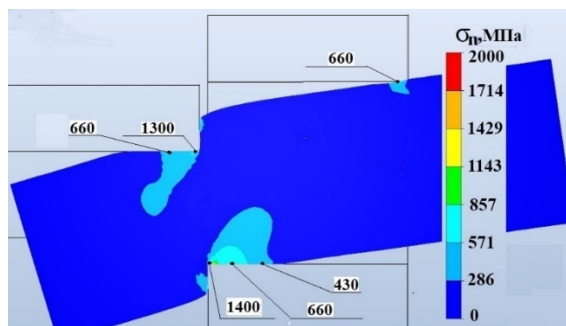


Рис. 6 – Розподіл нормальних напружень σ_n на ножах при максимальному зусиллі відрізання

Висновки. Моделюванням методом скінченних елементів встановлені параметри процесу неповністю відкритого відрізання в штампі заготовок з круглого гарячекатаного прокату із сталі 10. Моделюванням визначені осьове і поперечне зусилля відрізання, які витримує рухомий ніж на протязі відрізання, форма і розміри відрізаної заготовки, питомі зусилля на поверхнях рухомого і нерухомого ножів при максимальному зусиллі відрізання.

Список літератури:

1. Соловцов С.С. Бесотходная разрезка сортового проката в штампах / С.С.Соловцов // – М.: Машиностроение, 1985. – 176 с.