

Міністерство освіти і науки України
КПІ ім. Ігоря Сікорського
Механіко-машинобудівний інститут
Херсонський національний технічний університет (ХНТУ)
Інститут проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича НАН України
Донецький фізико-технічний інститут ім. О.О. Галкіна НАН України
Фізико-технологічний інститут металів і сплавів НАН України
ВАТ «Український науково-дослідний інститут авіаційної технології»
Гомельський державний технічний університет (Республіка Білорусь)
ТОВ «Інформаційні технології САПР»
ПП «Содіком-Дніпро»
Інформаційна підтримка:
Журнал «Mechanics and Advanced Technologies»

МАТЕРІАЛИ

XII МІЖНАРОДНОЇ
НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ
КОНФЕРЕНЦІЇ

**ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРАКТИЧНІ
ПРОБЛЕМИ В ОБРОБЦІ
МАТЕРІАЛІВ ТИСКОМ І ЯКОСТІ
ФАХОВОЇ ОСВІТИ,**

6 – 10 вересня 2021 р

ФОРУМ ПЛЕБЕРІВ МЕТАЛІВ

11

Київ, Україна

УДК 612.7

Міжнародна науково-технічна конференція "Теоретичні та практичні проблеми в обробці матеріалів тиском і якості фахової освіти", м. Київ, 6 – 10 вересня 2021 р.:
Матеріали конференції – Київ: 2021.

До збірника матеріалів конференції включено тези представлених доповідей, в яких наведені результати досліджень з ресурсозберігаючих процесів пластичної обробки матеріалів.

Збірник призначений для широкого кола науковців та спеціалістів, працюючих в галузі машинобудування, буде корисний викладачам, аспірантам та студентам технічних вищих навчальних закладів.

СЕКЦІЯ
ПРОЦЕСІВ
МАТЕРІАЛІВ

ТЕОРІЯ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИХ
ПЛАСТИЧНОЇ ОБРОБКИ

Зміст

Алієв І.С., Левченко В.М., Корденко М.Ю., Таган Л.В. БОКОВЕ ВИДАВЛЮВАННЯ СКЛАДНОПРОФІЛЬОВАНИХ ДЕТАЛЕЙ З ВІДРОСТКАМИ.....	390
Кравченко І.Ф., Кондратюк Е.В. ДП «ІВЧЕНКО-ПРОГРЕС» СТАН ТА РОЗВИТОК ПІДПРИЄМСТВА	395
Dobrov I.V., Semichev A.V., Morozenko E.P. MODELING OF THE MOVEMENT OF LAYERS OF WORKPIECE MATERIAL DURING DEFORMATION IN A SYMMETRIC STATIONARY DEFORMATION ZONE	399
Грудкіна Н.С., Левченко В.М., Корденко М.Ю. ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ПРОЦЕСІВ ХОЛОДНОГО ОБ'ЄМНОГО ШТАМПУВАННЯ ВИДАВЛЮВАННЯ НА ОСНОВІ ЕНЕРГЕТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ РОЗРАХУНКУ	402
Abhari P., Malii Kh., Tahan L., Panibratchenko I. FINITE ELEMENT SIMULATION TO ANALYZE FORMING CHARACTERISTICS IN SINGLE-ENDED RADIAL EXTRUSION PROCESS WITH MANDREL.....	406
Карнаух С.Г., Бахтин И.Д. РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ ШТАМПА ДЛЯ ОТРЕЗКИ СДВИГОМ С ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫМ ЗАЖИМОМ ПРОКАТА.....	409
Кинденко Н.И. ИЗМЕНЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПРОБИВНЫХ ПУАНСОНОВ ИЗ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ Р6М5 ПОСЛЕ ОБРАБОТКИ В ИМПУЛЬСНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ	412
Левченко В.Н., Алиева Л.И., Картамишев Д.А., Корденко М.Ю., Малий К.В. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОПЕРЕЧНО-ПРЯМОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ С ОТРОСТКАМИ МЕТОДОМ ВЕРХНЕЙ ОЦЕНКИ	415
Кулик Т. А., Чебуров Г. А. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ФАКТОРА НА ФОРМИРОВАНИЕ МИКРОРЕЛЬЕФА ПРОКАТА ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ТЕПЛОЙ ДРЕССИРОВКИ	418

Марков О.Е., Хващинський А.С., Мусорін А.В., Різак П.І., Маркова М.О. КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ДЕФОРМУВАННЯ ПРОФІЛЬОВАНИХ ЗАГОТОВОК ВІДПОВІДАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ	421
Тітов В.А., Корєва В.О. ПОДОВЖЕННЯ РЕСУРСУ ПЛАСТИЧНОСТІ АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ АМГ6 ТЕРМОМЕХАНІЧНОЮ ОБРОБКОЮ	424
Бейгельзимер Я.Е., Кулагин Р.Ю., Давиденко А.А. РАЗРУШЕНИЕ И ФРАГМЕНТАЦИЯ В СЛОИСТОМ КОМПОЗИТЕ ПРИ КРУЧЕНИИ ПОД ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ	428
Лавриненков А.Д., Иващенко М.В., Злочевская Н.К. МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ КОРОБЧАТОЙ ФОРМЫ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ DEFORM.....	432
Лавриненков А.Д., Иваница Т.В. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ШТАМПОВКИ ДЕТАЛИ «ШАТУН»	436
Тітов В.А., Злочевська Н.К., Лаврінєнков А.Д., Бондарь А.М. ПІДВИЩЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЛИВАРНОГО АЛЮМІНІЄВОГО СПЛАВУ.....	440

СЕКЦІЯ ПРИКЛАДНІ ПРОБЛЕМИ ПЛАСТИЧНОГО ФОРМОУТВОРЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ МАШИНОБУДУВАННЯ

Зміст

Орлюк М.В., Піманов В.В., Жуков В.О. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВАРІАНТІВ ШТАМПУВАННЯ ЗАГОТОВКИ ГІЛЬЗИ ГРАНАТОМЕТНОГО ПОСТРІЛУ 40X53	444
Аніщенко О.С., Гушин А.В., Кухар В.В., Присяжний А.Г. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРУЖИНЕННЯ ПРИ ГНУТТІ ВОЛЮТ	450
Калюжний В.Л., Бондарь А.М., Марчук К.Л. УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ХОЛОДНОГО ШТАМПУВАННЯ ІЗ МАЛОВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ ЗАГОТОВКИ ГІЛЬЗИ МАЛИХ РОЗМІРІВ	454
Лавриненков А.Д., Милещенко В.П. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ ГОЛОВКИ ЭНДОПРОТЕЗА ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА.....	459

Лавриненков А.Д., Милешенко В.П., Злочевская Н.К. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ШТАМПОВКИ НОЖКИ ЭНДОПРОТЕЗА ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА	463
Розов Ю.Г., Федорчук Д.Д., Сєліверстов І.А. ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ УМОВ ЗОВНІШНЬОГО ОБТИСНЕННЯ НА РОЗМІРНІ ПАРАМЕТРИ ОТРИМАНИХ ТРУБЧАСТИХ ВИРОБІВ З ПРОФІЛЬНИМИ ПОВЕРХНЯМИ	467
Калюжний В.Л., Ярмоленко О.С., Марчук К.Л., Бондарь А.М. ШТАМПУВАННЯ ФЛАНЦІВ НА ЗАГОТОВКАХ ГІЛЬЗ ІЗ СТВОРЕННЯМ НЕОБХІДНОЇ МАКРОСТРУКТУРИ	471
Калюжний В.Л., Ярмоленко О.С., Бондарь А.М. СИЛОВІ РЕЖИМИ ТА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН МЕТАЛУ ПРИ ХОЛОДНОМУ ВИТЯГУВАННІ З ПОТОНШЕННЯМ ЧЕРЕЗ ТРИ МАТРИЦІ ПОРОЖНИСТОГО ВИРОБУ ІЗ МАЛОВУГЛЕЦЕВОЇ СТАЛІ	475
Borys R., Kholyavik O. DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR THE MANUFACTURE OF SCIENCE-INTENSIVE ENGINEERING PRODUCTS FROM LAYERED METAL AND METAL-CERAMIC MATERIALS.....	479
Гожій С.П., Мироненко В.А., Кліско А.В. УНІВЕРСАЛЬНА ДОСЛІДНИЦЬКА УСТАНОВКА ДЛЯ ПРОКАТУВАННЯ	482
Гожій С.П., Мироненко В.А., Кліско А.В. АЛЬТЕРНАТИВНІ СХЕМИ ОБТИСКУ СТВОЛІВ СТРИЛЕЦЬКОЇ ЗБРОЇ З ПОЛІГОНАЛЬНИМ ВНУТРІШНІМ ПРОФІЛЕМ	485
Герасимова О.В., Тітов В.А., Злочевська Н.К. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ВЗАЄМОДІЇ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ІНСТРУМЕНТУ З ЗАГОТОВКОЮ ЗА НАЯВНІСТЮ ТВЕРДОГО ПРОМІЖНОГО СЕРЕДОВИЩА	489
Штерн М.Б., Кузьмов А.В., Коробко П. С. ВПЛИВ МІКРОСТРУКТУРИ НА ГРАНИЧНУ ПЛАСТИЧНІСТЬ КОМПОЗИЦІЙНИХ ТА ПОРУВАТИХ МАТЕРІАЛІВ АНАЛІТИЧНИЙ	495
Жирков А.Г., Усатый А.П., Авдеева Е.П., Торба Ю.И. ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ПОТОКА В МЕЖЛОПАТОЧНОМ КАНАЛЕ СОПЛОВОГО АППАРАТА С ПОВОРОТНОЙ ДИАФРАГМОЙ	500

УДК 621.777.4

Бокове видавлювання складнопрофільованих деталей з відростками**І.С. Алієв¹, В.М. Левченко², М.Ю. Корденко¹, Л.В. Таган¹**¹Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, Україна²Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України, м. Харків, Україна

Анотація: В роботі подано класифікацію кінематичних варіантів бокового видавлювання, в основі якої лежить кінематика відносного переміщення металу і інструменту. Методом скінчених елементів досліджено розподіл ступеня деформації і виконано оцінку стану деформованого металу в осередку інтенсивної деформації. Показано, що застосування двосторонньої схеми видавлювання дозволяє уникнути зміщення зони максимальної інтенсивності деформації до нижньої межі осередку деформації, високих градієнтів ступеня деформації та деформації зсуву. Наведено типові діаграми «тиск – шлях» для бокового видавлювання відростків різних діаметрів.

Ключові слова: бічне видавлювання, кінематичні варіанти, метод скінчених елементів, силовий режим, тиск деформування, деталі з відростками.

Процеси видавлювання демонструють стійку тенденцію до збільшення обсягів виробництва точних заготовок, розширенню номенклатури штампованих деталей і матеріалів, підкріпленню процесів формозміни новими способами деформування і конструкціями технологічної оснастки [1, 2].

Перспективним методом отримання складних деталей з бічними відростками і потовщеннями різних конфігурацій є поперечне бічне видавлювання, яке характеризується витіканням металу заготовки в поперечному напрямку і заповненні металом однієї або декількох канальних порожнин розрізної матриці [3, 4].

До чинників, які обмежують можливості способу бічного видавлювання, можна віднести крім високих питомих сил деформування та розкриття розрізних матриць нерівномірний напружено-деформований стан заготовок, обумовлений кінематикою несиметричної течії металу в бічну порожнину при об'ємному пластичному деформуванні. Останній може супроводжуватися руйнуванням заготовки по межах осередку інтенсивної деформації і викликати зниження експлуатаційних властивостей виробів, що виготовляються з бічними відростками [4, 5]. Цікавим є аналіз можливостей і силового режиму цього способу, який може бути альтернативою традиційним схемам штампування деталей з відростками. Для вивчення закономірностей формоутворення і впливу параметрів деталі на зміну силових параметрів процесу залучено метод скінчених елементів (МСЕ) і експериментальні методи.

Мета роботи – систематизація способів бокового видавлювання і експериментальне дослідження силового режиму процесу бокового видавлювання складнопрофільованих деталей з бічними відростками.

В ході дослідження розроблено класифікацію кінематичних варіантів бокового видавлювання за аналогією з радіальним видавлюванням [4], яку наведено на рис. 1. В основі класифікації лежить кінематика відносного переміщення металу і інструменту. Така класифікація дозволяє наочно представити можливості формозміни і суттєві відмінності в деформованому і напруженому станах заготовки. Для управління якістю штампованих деталей, підвищення граничного ступеня формозміни і зниження питомих та повних навантажень перспективними є схеми бічного видавлювання з регульованою кінематикою подачі металу в приймальну поперечну порожнину матриці, які можуть бути реалізовані в штампах з додатково рухомими інструментами (протипуансонами або матрицями).

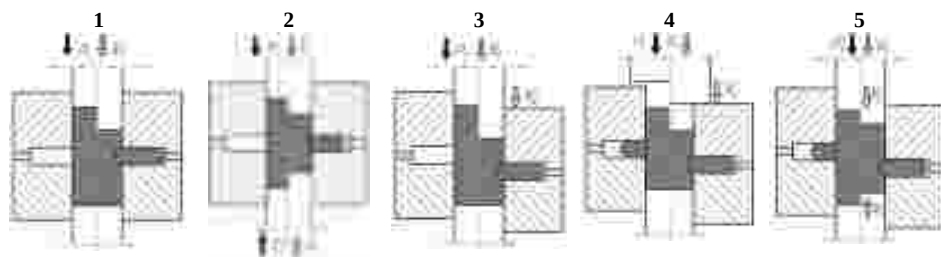


Рис. 1. Варіанти регулювання кінематики процесу бокового видавлювання деталей з відростками

Найбільш проста схема деформування передбачає односторонню подачу металу рухомих пуансоном в порожнину нерухомої матриці. Ця елементарна схема поперечного бокового видавлювання 1 з односторонньою подачею (див. рис. 1) з боковим витіканням спочатку використовувалася тільки при виробництві свинцевих труб і для накладення трубних оболонок на кабельні вироби. В останні роки ця схема знайшла застосування при виробництві деталей типу хрестовин, фітінгів і трійників, а також при бічному пресуванні проводів і тонкостінних труб.

Видавлювання з двосторонньої подачею металу в робочу порожнину матриці може бути здійснено на спеціалізованому пресовому обладнанні двома пуансонами, які рухаються назустріч один одному (схема 2).

Схема 3 за умовами двостороннього деформування аналогічна схемі 2, але відрізняється від неї тим, що двостороння подача металу в бічні канали досягається за рахунок примусового руху матриці в напрямку руху пуансона зі швидкістю, меншою (переважно в 2 рази) швидкості останнього [6]. Це дозволяє здійснити процес видавлювання з двосторонньою подачею і при односторонньому прикладенні навантаження на неспеціалізованому обладнанні, коли матриця приводиться в односпрямоване з пуансоном переміщення за допомогою важільних або гідравлічних вузлів [6]. У той же час для реалізації принципу двостороннього деформування в рухомій матриці розроблено спеціалізовані установки з приводом у вигляді важільних вузлів – пантиграфів [7]. Видавлювання з двосторонньої подачею металу в робочу порожнину нерухомої матриці і видавлювання з двосторонньої подачею металу в робочу порожнину матриці, що примусово переміщується, мають суттєві відмінності від схеми видавлювання з односторонньою подачею металу, як в силовому режимі, так і в величині нерівномірності розподілу деформації.

Іншим варіантом поперечного бокового видавлювання (схема 4) передбачено послідовно двосторонню подачу металу спочатку з верхньої, а потім з нижньої (від порожнини) частин заготовки. При послідовному двосторонньому видавлюванні (схема 4) спочатку подають в порожнину матриці метал з однієї частини заготовки, а на другій стадії – з протилежної частини заготовки. Така зміна напрямку подачі металу сприяє поліпшенню заповнення порожнини, особливо при діаметрах відростка, близьких до діаметрів вихідної заготовки.

Схема 5 об'єднує способи бокового видавлювання, які передбачають комбінацію видавлювання з двосторонньою і односторонньою подачею на послідовних стадіях процесу. При цьому двостороння подача металу при бічному видавлюванні може передувати односторонньої подачі або виконуватися після неї.

Фактор контактного тертя відіграє значну роль в силовому режимі. Але він також може бути використаний для управління формозміною заготовки та попередження появи дефектів форми деталей [8].

Методом скінченних елементів в програмному пакеті Deform 3D було досліджено розподіл ступеня деформації і виконано оцінку стану деформованого металу в осередку інтенсивної деформації. Для моделювання МСЕ процесу бокового видавлювання використовували параметри механічних властивостей алюмінієвого сплаву АД31.

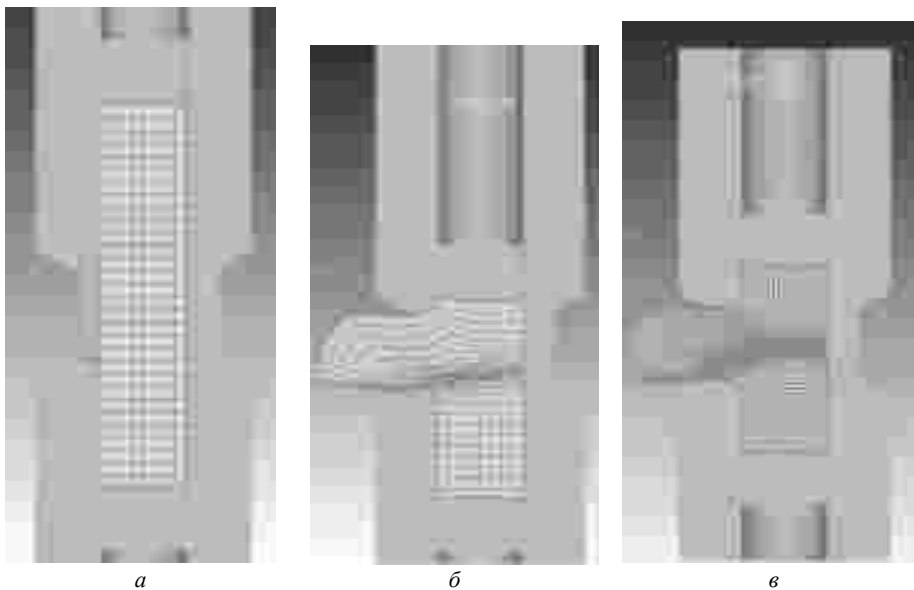


Рис. 2. Спотворення ділильної сітки (а) при бічному видавлюванні з односторонньою (б) і послідовною двосторонньою подачею металу (в) при величині ходу пуансона $S = 24$ мм

На рис. 2 показано якісні картини спотворення ділильної сітки і розподілу інтенсивності деформацій. При односторонній схемі видавлювання (див. рис. 2, б) зона максимальної інтенсивності деформацій зміщена до нижньої межі осередку деформації, на якій спостерігається різкий стрибок ступеня деформації і високий градієнт зсувних деформацій. Це викликає в ряді випадків появу тріщин уздовж цієї межі навіть при деформації високопластичних алюмінієвих сплавів і при гарячому деформуванні титанових сплавів.

Регулювання кінематики подачі допомагає керувати розташуванням зони максимальної деформації і зміцнення за висотою в осередку деформації. Для цього чергують в різній послідовності видавлювання з односторонньою і двосторонньою подачею металу (див. рис. 2, в) на різних етапах процесу.

При бічному видавлюванні тиск деформування за ходом пуансона безперервно зростає. Типові діаграми «тиск P – шлях S » наведено на рис. 3. Інтенсивне зростання тисків характерне для початкової та заключної стадій процесу.

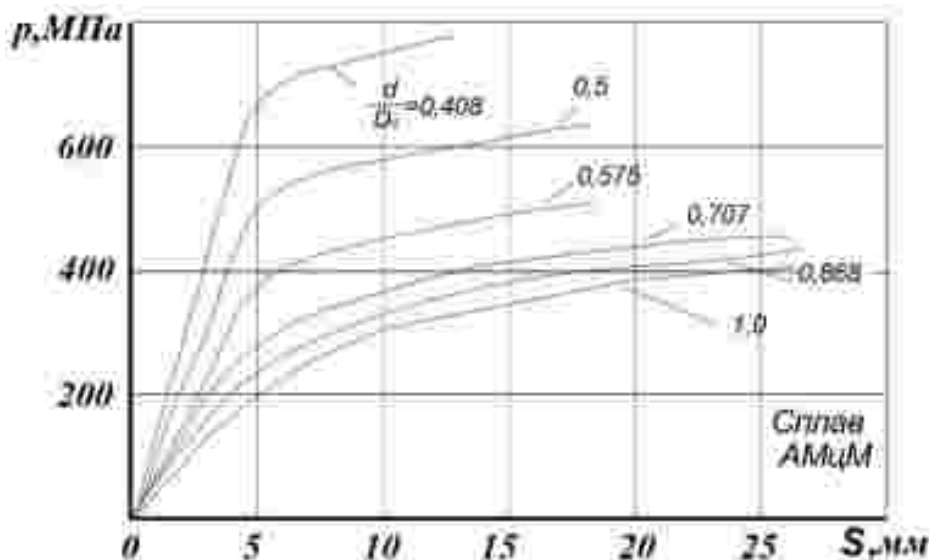


Рис. 3. Графік зміни тиску деформування від ходу пуансона при різних діаметрах бічних відростків

При зменшенні діаметра каналної порожнини потрібний тиск видавлювання значно зростає, що пояснюється збільшенням ступеня деформації. Зменшення значення параметра d/D_0 з 1,0 до 0,4 призводить до зростання тиску деформування на 50...75%. Істотний вплив на значення тиску деформування P мають схеми видавлювання та форма одержуваних деталей. Видавлювання з двосторонньою подачею вимагає менших (на 15...25%) значень приведенного тиску деформування ніж при односторонній подачі за рахунок зниження витрат енергії на інтенсивний зсув металу на нижній межі осередку деформації.

Висновки

Для підвищення граничного ступеня формозміни, управління якістю штампованих деталей і зниження навантажень перспективними є схеми бічного видавлювання з регульованою кінематикою подачі металу в приймальну поперечну порожнину матриці. Результати моделювання МСЕ показують, що при застосуванні двосторонньої схеми видавлювання практично відсутні різкий стрибок ступеня деформації та високий градієнт зсувних деформацій, що дозволяє уникнути браку. При зменшенні висоти кругової порожнини або діаметра каналної порожнини потрібний тиск видавлювання значно зростає, що пояснюється збільшенням ступеня деформації. Також розрахунки показали, що видавлювання з двосторонньою подачею вимагає менших значень приведенного тиску деформування, ніж при односторонній подачі.

Боковое выдавливание сложнопрофилированных деталей с отростками

И.С. Алиев¹, В.Н. Левченко², М.Ю. Корденко¹, Л.В. Таган¹

¹Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск, Украина

²Институт радиопизики и электроники им. А.Я. Усикова НАН Украины, г. Харьков, Украина

Аннотация: В работе представлена классификация кинематических вариантов бокового выдавливания, в основе которой лежит кинематика относительного перемещения металла и инструмента. Методом конечных элементов исследовано распределение степени деформации и выполнена оценка состояния деформируемого металла в очаге интенсивной деформации. Показано, что применение двухсторонней схемы выдавливания позволяет избежать смещения зоны максимальной интенсивности деформаций к нижней границе очага деформации, высоких градиентов степени деформации и сдвиговых деформаций. Приведены типовые диаграммы «давление – путь» для бокового выдавливания отрошков различных диаметров.

Ключевые слова: боковое выдавливание, кинематические варианты, метод конечных элементов, силовой режим, давление деформирования, детали с отрошками.

Lateral extrusion of complexly shaped parts with branch pieces

I.S. Aliiev¹, V.M. Levchenko², M.Y. Kordenko¹, L.V., Tahan¹

¹Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine

²O.Ya. Usikov Institute for Radiophysics and Electronics NAS of Ukraine, Kharkov, Ukraine

Abstract: The paper presents the classification of kinematic variants of lateral extrusion, which is based on the kinematics of the relative movement of metal and tool. The distribution of the deformation degree is investigated by the finite element method, and the state of the deformed metal in the zone of intensive deformation is estimated. It is shown that the use of the two-direction extrusion scheme makes it possible to avoid displacement of the zone of maximum deformation intensity to lower boundary of the deformation zone, high gradients of the degree of deformation and shear deformation. The typical pressure-stroke diagrams are shown for lateral extrusion processes for branch pieces with various diameters.

Keywords: lateral extrusion, kinematic variants, finite element method, force mode, deformation pressure, parts with branch pieces.

Список літератури

1. Дмитриев А. М., Воронцов А. Л. Технологияковки и объемной штамповки. Часть 1. Объемная штамповка выдавливанием: учебник для вузов. Москва : Машиностроение–1. 2005. 500 с.
2. Алиева Л. И., Жбанков Я. Г. *Перспективы развития процессов точной объемной штамповки*. Вісник ДДМА. Краматорськ. 2008. 1 (11). С. 13–19.
3. Алиева Л. И. Совершенствование процессов комбинированного выдавливания : монография. Краматорск: ООО «Тираж–51». 2018. 352 с.
4. Алиев И. С. Технологические процессы холодного поперечного выдавливания. *Кузнечно-штамповочное производство*. 1986. 6. С. 1–4.
5. Алиев И. С., Таган Л. В., Корденко М. Ю. Кинематические варианты процесса бокового выдавливания деталей с отрошками. *Сучасні технології промислового комплексу : базові процесні інновації–2018 : матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції*, 12 – 16 вересня 2018. Херсон. 2018. С. 46–50.
6. А.с. 662223 СССР. В21 J 5/00. Способ выдавливания металлических изделий. Алиев И. С. № 2016402/25–27. Заявлено 12.04.74. Открытия. Изобретения. 1979. №18.
7. Ishihara Y., Osakada K. Enclosed die forging using die set. 60 Excellent Inventions in Metal Forming. Berlin–Heidelberg: Springer–Verlag. 2015, pp. 307–312. ISBN 978–3–662–46311–6.
8. Пат. 138661 Україна, В21К 21/00. Спосіб виготовлення деталей з відростками. Алієва Л. І. Алієв І. С., Абхари Пейман, Левченко В.М., Корденко М.Ю. № 201904811, Заявл. 06.05.2019, Опубл. 10.12.2019, бюл. 23/2019.

**ДП «ІВЧЕНКО-ПРОГРЕС»
СТАН ТА РОЗВИТОК ПІДПРИЄМСТВА
Вересень 2021**

І.Ф. Кравченко, Е.В. Кондратюк

Запорізьке машинобудівне конструкторське бюро «Прогрес» ім. ак. О.Г.Івченка

5 травня 2021 року виповнилася 76-а річниця від дня заснування Державного підприємства «Запорізьке машинобудівне конструкторське бюро «Прогрес» імені академіка О.Г. Івченка (ДП «Івченко-Прогрес»).

5 травня 1945 року наказом № 193 Народного комісара авіаційної промисловості СРСР О.І. Шахуріна на Державному союзному заводі № 478 у м. Запоріжжі було створено дослідно-конструкторське бюро (ДКБ) з розробки нових і модернізації раніше створених авіаційних двигунів середньої і малої потужності для цивільної авіації.

20 серпня 1957 року наказом МАП ДКБ заводу № 478 було реорганізовано у самостійне Державне союзне дослідно-конструкторське бюро № 478. У 1966 році підприємство було перейменовано в "Запорізьке машинобудівне конструкторське бюро (ЗМКБ) "Прогрес". З 1994 р. підприємство носить ім'я першого Генерального конструктора академіка О.Г. Івченка, засновника ДКБ.

З 1998 року з ініціативи Генерального конструктора Ф.М. Муравченка наказом по підприємству № 77 від 10.02.1998 р. день створення підприємства стали відзначати щороку у кінці другої декади травня як «День підприємства».

Виятком став 2020 рік, рік 75-ї річниці від дня застосування нашого підприємства, коли через важку санітарно-епідеміологічну обстановку в країні було прийняте рішення «День підприємства» не відзначати.

Підприємством ДП «Івченко-Прогрес» зроблено вагомий внесок у розвиток світової авіації. Протягом 76-ти років на ДП «Івченко-Прогрес» створюються двигуни для багатьох типів літаків і вертольотів, а також приводи та спецобладнання індустріального застосування. За цей період двигунобудівними заводами світу виготовлено понад 80 000 авіаційних поршневих і газотурбінних двигунів, турбостартерів і приводів індустріального застосування, створених колективом підприємства. Авіадвигуни, розроблені ДП «Івченко-Прогрес», застосовуються на 66 типах і модифікаціях літальних апаратів. Серійно виготовлені двигуни експлуатуються у більш ніж 100 країнах світу. Загальний наробіток всього парку газотурбінних двигунів в експлуатації складає понад 300 млн годин. Підприємство має понад 230 ділових партнерів із різних країн світу. Право підприємства на проектування, виробництво, ремонт і модернізацію двигунів підтверджують більше 60 сертифікатів і доповнень, виданих Державною авіаційною адміністрацією України, Бюро Верітас Сертифікейшн України (BS EN ISO 9001:2015, EN 9100:2018), Європейським агентством з авіаційної безпеки (EASA), Головним управлінням цивільної авіації Китаю (CAAC), Авіаційним реєстром Міждержавного авіаційного комітету (AP MAK). З 2004 року ДП «Івченко-Прогрес» є дійсним членом «Східно-Європейської авіаційно-транспортної Асоціації (ЕЕАТА)» і має Сертифікат на відповідність вимогам цієї організації. Підприємство з 2007 року входить до складу корпорації «НВО «О. Івченко», а з 2011 р. – і до Державного концерну «Укроборонпром».

З 2016 року підприємство внесено до Державного реєстру наукових організацій, що підтверджується Свідоцтвом № 02253 від 13 грудня 2016 р.

Міністерства освіти і науки України. 31 травня 2019 року ДП «Івченко-Прогрес» видано Свідоцтво про підтвердження статусу наукової організації. Підприємство внесено до другої класифікаційної групи терміном на 3 роки до 31 травня 2022 року. Згідно з наказом

Міністерства освіти і науки України № 1714 від 28 грудня 2017 р. на підприємстві створена спеціалізована вчена рада з правом прийняття до розгляду і проведення захисту дисертацій і на цей час на підприємстві успішно пройшов захист шести дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

Слід відзначити успіхи підприємства протягом 2019-2021 рр. за багатьма тематичними напрямками.

Тривали роботи зі створення модифікованого двигуна Д-18Т серії 3М. На дослідному двигуні 18Т3М-01 проведені стендові випробування з перевіркою додаткових заходів для зменшення шуму, з тензометрування відмінних трубопроводів та вібрографування місць кріплення агрегатів системи автоматичного керування, з випробування модифікованої системи підготовки повітря літака, з тензометрування рухомого корпусу реверсивного пристрою, з випробування корпусу вентилятора з модифікованою проточною частиною, з перевірки емісії газоподібних шкідливих речовин, з відпрацювання програмного забезпечення агрегатів системи автоматичного керування.

На дослідному двигуні 18Т3М-02 проведено стендові випробування для налагодження системи автоматичного керування за участю представників підприємств UNIS (Чехія) та ТОВ «КБ КП» (м. Київ), а також завершені еквівалентно-циклічні випробування за ресурс 100 годин. Після еквівалентно-циклічних випробувань двигуна стан його деталей задовільний, про що оформлений відповідний технічний звіт.

На дослідному двигуні № 18Т25 проведено випробування із дослідженням міцності робочих лопаток 1...4 ступенів турбіни вентилятора.

Для забезпечення сертифікаційних випробувань літака Ан-124-100 з чотирма двигунами Д-18Т серії 3М виконано складання, випробування (з перевіркою емісії) та постачання на ДП «Антонов» двох дослідних двигунів, а також випробування інших двох дослідних двигунів, зібраних в АТ «МОТОР СІЧ».

Тривали роботи по супроводу у виробництві, експлуатації та ремонту двигунів Д-18Т серії 3. Для експлуатуючих організацій відремонтовано 30 двигунів Д-18Т серії 3.

Виконувалось конструкторське супроводження експлуатації двигунів Д-436-148 на літаках Ан-148 і Ан-158, двигунів Д-436ТП на літаку Бе-200 та льотних випробувань двигунів Д-436-148ФМ на транспортному літаку Ан-178. На 01 травня 2021 року сумарний наробіток парку двигунів Д-436-148 з початку експлуатації склав 474347 годин (260675 циклів), двигунів Д-436ТП – 42325 год (26325 циклів), двигунів Д-436-148ФМ – 407 год (506 циклів). Двигун Д-436-148ФМ пройшов спеціальні сертифікаційні випробування на відповідність європейським нормам і зараз готується до тривалих сертифікаційних випробувань.

У 2021 році отримано державне замовлення на три літаки Ан-178 для Міністерства оборони України з двигунами Д-436-148ФМ-1, які є модифікацією двигуна Д-436-148ФМ.

Виконані роботи з чергового етапу збільшення ресурсів двигунів сімейства AI-450, за результатами яких ДАСУ і АР МАК внесли збільшені значення ресурсів до Карти даних Сертифікатів типу турбовальних двигунів AI-450М/М1/М-Б/М-П/М1-П і турбогвинтових двигунів AI-450С/СД/СМ/СР.

Проведені роботи з сертифікації згідно з АП-33 турбогвинтових двигунів, розроблених на базі двигуна AI-450С. У серпні 2019 р. АР МАК видав Схвалення Головних Змін № СТ350-АМД/ОГИ-03 про сертифікацію 4-х турбогвинтових двигунів AI-450С-1; AI-450СМ-1; AI-450СД-1; AI-450СР-1.

Забезпечено виконання контракту з турецькою компанією «Baykar Makina Sanayi ve Ticaret A.S.» на виготовлення і постачання партії двигунів AI-450Т, а також авторське конструкторське супроводження адаптації двигунів на літальному апараті, який 06.12.2019 р. виконав перший політ і розпочав льотні випробування. Розроблена доказова документація по двигуну AI-450Т, необхідна для його сертифікації. Проведені ресурсні випробування двигуна

AI-450C №451004 за ресурс 1500 годин до першого капітального ремонту для найбільш навантаженої моделі AI-450CP.

Завершений комплекс спеціальних стендових випробувань для забезпечення початку льотних випробувань двигуна AI-450CP-2 у складі літака TA-20. Проведені еквівалентно-циклічні випробування двигуна AI-450CP-2 №4526002 за початковий ресурс 300 годин. Поставлено за контрактом з компанією “Wuhu Zhongke” (КНР) перший двигун AI-450CP-2 №4526001 для проведення наземних і льотних випробувань у складі літака TA-20. Другий двигун AI-450CP-2 №4526004 успішно пройшов приймально-здавальні випробування та підготовлений до передачі замовникові для льотних випробувань літака. У відповідності з контрактом поставлений компанії “Wuhu Zhongke” комплект конструкторської документації для забезпечення складання й випробувань двигуна AI-450CP-2.

Двигуни AI-222K-25Ф у складі літака L-15 забезпечили політ літального апарату з надзвуковою швидкістю. Це перше досягнення надзвукової швидкості на двигунах розробки ДП «Івченко-Прогрес».

Здійснюється виконання договірних робіт щодо поставки Інозамовнику двигунів AI-322Ф. На АТ “МОТОР СІЧ” розпочата підготовка виробництва до виготовлення матчастини для поставних двигунів AI-322ФК. Завершено етап робочого проектування та випуск робочої КД для виготовлення двигунів AI-322-30.

Тривають науково-дослідні роботи зі створення ПВРД.

Виконуються роботи по модернізації термобарокамери в ЕДК для забезпечення перевірки характеристик ТРД при імітації висоти польоту 8000 м та швидкості польоту $M=0,9$.

Відправлено замовнику випробувальний стенд для перевірки запуску та роботоздатності малорозмірних двигунів.

Виконане відправлення Інозамовнику двох малорозмірних двигунів для БПЛА.

Розпочаті випробування з перевірки відповідності двигуна вимогам міжнародних стандартів і підтвердження висотно-швидкісних характеристик у ТБК ДП «Івченко-Прогрес». Виготовляються двигуни для льотно-конструкторських випробувань у замовника.

Розпочата розробка перспективної допоміжної силової установки для літаків і вертольотів.

Головний редуктор ВР-17МС, розроблений для модернізації вертольотів типу Мі-8 /Мі-17, пройшов тривалі випробування, комплекс спеціальних перевірок та одержав дозвіл на початок льотно-конструкторських випробувань з початковим ресурсом 50 годин у складі модернізованого вертольота. Тривають стендові випробування редуктора для подальшого збільшення його ресурсу.

Виконуються роботи по виготовленню запчастин і ремонту матеріальної частини для авіаремонтних підприємств України з метою підтримки льотної придатності техніки, яка експлуатується у державній авіації.

Виконана технологічна підготовка виробництва для виготовлення деталей і складових одиниць двигуна AI-28, виконується підготовка випробувального стенду №15 для випробувань газогенератора. Йде відпрацювання конструкції робочої лопатки вентилятора із композиційного матеріалу і технології її виготовлення. ВГМет відпрацьовує методику проведення випробувань замкової частини композитної лопатки.

Продовжується відпрацювання технології зварювання матеріалів INCONEL 718 з M50NiL для виготовлення цапфи задньої опори ротора ТВТ.

Сьогодні ідуть роботи по впровадженню технології виготовлення робочих і соплових лопаток турбіни із застосуванням електроерозійного прошивного верстату Sagix, що дозволить отримати отвори різноманітної конфігурації на криволінійній поверхні деталей з жароміцних сплавів, розширити конструкторські можливості підвищення ефективності охолодження

лопаток, та сприятиме підвищенню коефіцієнту корисної дії двигуна і зниженню витрат палива.

Одержала розвиток лазерная технологія. Лазерний верстат Acdis дозволив виконувати різання на збільшених швидкостях товщин до 4 мм, що значно скоротило терміни виготовлення деталей, на сьогодні успішно впроваджено лазерне зварювання, як раніш освоєних тонкостінних деталей, так зварювання більших товщин (до 2 мм). Ведуться роботи з використання процесу лазерного наплавлення, як методу ремонту деталей і відновлення складних криволінійних поверхонь деталей ГТД. Успішно виконане відновлення дротом ($\varnothing$ 0,5 мм) поверхонь гребінців зразка диску ущільнювального заднього з нікелевого сплаву (матеріал з низькою зварюваністю), також успішно виконано наплавку мідного дроту на торці лопаток, в якості прироблюваного матеріалу.

У рамках виконання завдань у науково-дослідницькому проєкті АМВЕС фахівцями відділів КНДК розроблені кресленики тестової установки для проведення досліджень камери підшипника (турбіни) в умовах гарячого навколишнього середовища.

У квітні 2021 року у ЕДК відбувся успішний запуск установки та проведені контрольні випробування камери підшипника.

Виконано науково-дослідні роботи з модернізації двигуна для іноземного замовника.

ДП «Івченко-Прогрес» розробив і виготовив тягучий п'ятилопатевиий повітряний гвинт AI-P500V5 флюгерно-реверсивного типу автоматично змінюваного кроку з лопатями з полімерно-композиційного матеріалу для турбогвинтового двигуна AI-450T потужністю 500 к.с. Розпочаті випробування зазначеного повітряного гвинта. Попередні випробування показали, що тягові характеристики повітряного гвинта AI-P500V5 в умовах стенда на не менш 25 кгс перевершують тягові характеристики аналогічного повітряного гвинта MTV-5-E-C-F-R(M)/CFR210-56 фірми «MT-Propeller».

Розроблені і випробувані ідеї, технології і матеріали, які ДП «Івченко-Прогрес» впроваджує не тільки в нових перспективних двигунах, але і при модифікації існуючих серійних газотурбінних двигунів, що забезпечує нові можливості і якісне покращення характеристик літальних апаратів. Постійно ведуться роботи з покращення споживчих характеристик, подальшого збільшення ресурсу і надійності серійних двигунів. У рамках робіт за двигунами AI-25TLT і AI-25C відпрацьований електричний запуск цих двигунів.

Всі свої проєкти ДП «Івченко-Прогрес» успішно реалізує в тісній кооперації з ДП «Антонов», АТ «МОТОР СІЧ», АТ «ФЕД», НТ СКБ «ПОЛІСВІТ», АТ «Елемент», ДП ХАКБ, ДП «ХМЗ «ФЕД», з науково-дослідними інститутами НАН України і вищими навчальними закладами.

Підприємство має великий багаторічний досвід у створенні газотурбінних двигунів різного застосування, сучасну наукову і виробничу бази, один із найкрупніших в Європі експериментально-дослідний комплекс. ДП «Івченко-Прогрес» занесено до Реєстру наукових організацій України, воно має безліч міжнародних і державних нагород і по праву є підприємством світового рівня в авіаційному секторі. В архіві підприємства більше 35 нагород міжнародного суспільного визнання, серед яких дипломи та нагороди за якість продукції і послуг.

UDC 531/534

MODELING OF THE MOVEMENT OF LAYERS OF WORKPIECE MATERIAL DURING DEFORMATION IN A SYMMETRIC STATIONARY DEFORMATION ZONE

I.V. Dobrov¹, A.V. Semichev¹, E.P. Morozenko^{1*}

1 - National Metallurgical Academy of Ukraine.

Abstract. It is developed the new method and device for modeling the kinematics of the workpiece material in a stationary deformation zone during drawing and pressing of an axially symmetric product based on the study of the motion of liquid layers during the modeling geometrically similar deformation zone. The method makes it possible to draw the trajectories of the fluid layers in the modeling deformation zone in online mode using a digital camera and a personal computer. It is possible to analyze fragments of the motion of liquid layers at each point of the deformation zone to determine the rational profile of the deformation zone in production conditions.

Keywords: physical modeling, deformation zone, geometric parameters, flowing fluid, rational profile.

The intensification of production processes of deformation of a workpiece in a stationary deformation zone during drawing and pressing is connected with a change in mechanical properties in the axial section of a deformed product, primarily due to uneven deformation (movement) of the workpiece material in the deformation zone. In this regard, the existing methods of studying the movement of layers of the workpiece material in the deformation zone by means of mathematical or physical modeling, and the improvement of these methods for studying the kinematics of the workpiece material in the deformation zone with various methods of material pressure treatment (MPT) are in demand [].

It is analyzed the influence of a change in the distribution of the material layers of the workpiece at the exit from the deformation zone depending on the external conditions of deformation. This distribution determines the movement of the material layers inside the deformation zone during physical modeling of the movement of the fluid in a geometrically similar axial section of the deformation zone.

The device (Fig. 1) for modeling the movement of workpiece material in the deformation

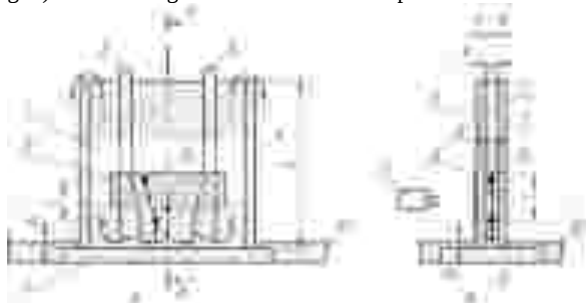


Fig. 1. Schematic diagram of the device for modeling the movement of layers of the workpiece material in the deformation zone: a - the main view of the device; b - section along the axis of symmetry (side view)

* The device is developed with the help of teaching master Patoka V.G. working on Applied Mech. Dep.

zone is represented by the two vertical communicating volumes of liquid (internal - I and external - II), which are formed by transparent side walls 1 with a coordinate grid 2 ; a common base 3 and replaceable covers 4 for the external volume of the liquid located at the height h . Between each other, these volumes I and II for liquids are partially delimited by symmetric walls 5 , the contour of which in a certain section of the volume I represents a shape geometrically similar to the shape of the investigated axial section of the deformation zone along the length L . It is the gap δ between the shapes and the base 3 .

In this case, the liquid, which in the process of research constantly enters into the internal container I of the device and flows through the simulated section of the deformation zone (the direction of movement of the liquid in Fig. 1, a is shown by the corresponding arrows). Then the liquid through the gap δ enters the external volume of the liquid II , where it rises up to a height h and is drained through the covers 4 into the box K for the spent liquid. This method of fluid movement in the simulated deformation zone provides a stationary process of fluid movement, regardless of the initial rate of fluid flow in the deformation zone.

It is possible to change the external (static) pressure of the incoming liquid into the simulated deformation zone by changing the height of the removable side covers of the external volume of the liquid, while the value of the static pressure does not depend on the fluid velocity in the deformation zone model.

To study the kinematics of elementary fluid layers in the section of the simulated deformation zone at the entrance to the deformation zone, a ball 6 is installed. This ball has the zero buoyancy and the diameter d , which represents the elementary volume of liquid in the simulated deformation zone, when the diameter of the ball is much smaller than the geometric dimensions of the simulated deformation zone. In this case, the diameter d of the ball 6 is slightly less than the distance b (Fig. 1, b) between the transparent side walls 1 , which form the elementary axial section of the simulated deformation zone. To track the trajectory of the ball in the fluid flow passing through the model of the deformation zone, a digital film camera 7 (Fig. 1, b) is used, which records the motion of the ball through the transparent side wall 1 with the coordinate grid 2 .

By changing the position of the ball at the entrance to the simulated deformation zone, it is possible to track the movements of various layers of the workpiece material in the deformation zone on-line using a personal computer and digital camera. The example of the trajectory of the ball in the deformation zone in Fig. 1 reflects the main dash-dotted line with arrows. At the same time, using the coordinate grid 2 on the transparent wall 1 of the simulated deformation zone and the current time recorded by a digital camera 7 when the ball 6 moves, it is possible to determine the kinematic parameters of the "elementary" liquid layer in the deformation zone. These parameters depend on the geometry of the deformation zone and the initial velocity of movement of the material layers on the entrance to the deformation zone.

Conclusions. The developed method and device for modeling the movement of layers of the workpiece material in the deformation zone during drawing and pressing provide the possibility of expanding the understanding of the mechanics of the deformation process of the workpiece material in a stationary axis of the symmetric deformation zone.

Моделювання руху шарів матеріалу заготовки при деформації в симетричному стаціонарному осередку деформації

Добров І.В., Сьомічев А.В., Морозенко О.П.

Анотація: Розроблено новий спосіб і пристрій для моделювання кінематики матеріалу заготовки в стаціонарному осередку деформації при волочінні і пресуванні осісиметричного виробу на підставі дослідження руху шарів рідини геометрично подібному осередку деформації, що моделюється. Метод дозволяє

відстежувати траєкторії руху шарів рідини осередку деформації, що моделюється як в режимі он-лайн з використанням цифрової кінокамери і персонального комп'ютера, так і аналізувати фрагменти руху шарів рідини в кожній точці осередку деформації для визначення раціонального профілю осередку деформації в виробничих умовах.

Ключові слова: прикладна механіка; вільні коливання; неоднорідне рівняння коливань.

Моделирование движения слоев материала заготовки при деформации в симметричном стационарном очаге деформации

Добров И.В., Семичев А.В., Морозенко Е.П.

Аннотация. Разработан новый способ и устройство для моделирования кинематики материала заготовки в стационарном очаге деформации при волочении и прессовании осесимметричного изделия на основании исследования движения слоев жидкости в моделируемом геометрически подобном очаге деформации. Метод позволяет отслеживать траектории движения слоев жидкости в моделируемом очаге деформации как в режиме он-лайн с использованием цифровой кинокамеры и персонального компьютера, так и анализировать фрагменты движения слоев жидкости в каждой точке очага деформации для определения рационального профиля очага деформации в производственных условиях.

Ключевые слова: физическое моделирование, очаг деформации, геометрические параметры, текущая жидкость, рациональный профиль.

References

1. Markov O.E. Resource-saving technological processes for forging large forgings from ingots: monograph / O.E. Markov, Y.S. Alyev. – Kramatorsk: DGMA, 2012. – 324 p.
2. Titov V.A. Features of metal flow in a cylindrical channel of a matrix during pressing with stirring / V.A. Titov, L.V. Shmeleva // Bulletin of NTU “KPI”. Mechanical engineering. - 2013. - No. 67. - P. 214–224.
3. Dobrov I.V. On Kinematics - of Stock Deformation Process during Drawing / I.V. Dobrov // Procedia Engineering. - 2017. - Vol. 206. - pp. 760-770.
4. Dobrov I.V. Investigation of the kinematics of the deformation center of symmetric stock during the forging by flat tool / I.V. Dobrov // Processing of materials by pressure. - 2013. - No. 4 (37). - pp.8-15.
5. I.V. Dobrov, A.V. Semichev, E.P. Morozenko, A.V. Koptilyy. Optical method of physical simulation of local deformation during strip drawing using monolithic tool, Working of materials by pressure, Kramatorsk: DGMA, 2018, 2, 26-30.
6. Dobrov I.V. Development of a new method for physical modeling of the process of drawing a workpiece in a monolithic die / I.V. Dobrov, A.V. Semichev, A.V. Koptilyy // Proceedings of the International Conference "Innovative Technologies in Science and Education. European experience" V2. - 2017. c. Vienna - pp.127-129.
7. Pat. 108897 Ukraine, IPC G01B11 / 16. Method for determining the kinematics of the plastic deformation process / I.V. Dobrov, A.V. Semichev, I.I. Getman (Ukraine). - No. 201511782; declared 11/30/2015; publ. 08/10/2016, Bul. No. 15 - 2 p.
8. Patent №118653, Ukraine, A method for modeling the kinematics of local plastic deformation, I.V. Dobrov, A.V. Semichev, I.I. Getman, 2017, Bull. 16, (in Ukrainian).

УДК 621.777.4

Особливості проектування процесів холодного об'ємного штампування видавлюванням на основі енергетичних моделей розрахунку

Н.С. Грудкіна¹, В.М. Левченко², М.Ю. Корденко¹

¹Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, Україна

²Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України, м. Харків, Україна

Анотація: В даній роботі продемонстровано можливості ефективного застосування енергетичного методу балансу потужностей при проектуванні різних процесів холодного об'ємного штампування видавлюванням. Також в роботі наведено класифікацію кінематичних модулів згідно основних характеристик. Це буде сприяти їх оперативному використанню на етапі побудови розрахункових схем процесів. В роботі надано рекомендації щодо раціонального використання кінематичних модулів за можливістю варіювання форми межі та жорсткості комбінування із суміжними кінематичними модулями та розташуванням відповідно осі симетрії.

Ключові слова: кінематичний модуль, холодне об'ємне штампування видавлюванням, проектування, енергетичний метод балансу потужностей.

Процеси холодного комбінованого видавлювання з кількома ступенями або одним ступенем свободи течії на даний момент відносять до перспективних ресурсозберігаючих технологій, у зв'язку з неперервним розширенням номенклатури штампованих деталей та матеріалів і збільшенням обсягів виробництва точних заготовок [1, 2]. Але впровадження процесів комбінованого видавлювання з кількома ступенями свободи течії на виробництві потребує наявності попередньої точної оцінки силового режиму, деформівності, граничного та поетапного формоутворення напівфабрикату. Одним з ефективних теоретичних методів дослідження багатьох процесів холодного об'ємного штампування видавлюванням являється енергетичний метод балансу потужностей [3–7]. Тому розробка технологічних процесів холодного видавлювання в даному контексті спирається на систему моделей, які необхідні для успішної реалізації основних етапів проектування із застосуванням систем автоматизованого проектування (САПР). Саме тому актуальним питанням є створення класифікації за основними властивостями та характеристиками кінематичних модулів, що являються складовими розрахункової схеми процесу, та розробка відповідних рекомендацій відносно раціональності їх застосування.

Метою даної роботи являється пошук особливостей проектування процесів холодного об'ємного штампування видавлюванням із використанням енергетичних моделей розрахунку разом з розробкою рекомендацій щодо раціональності їх застосування.

Дуже важливим етапом ефективного застосування енергетичного методу є побудова самої розрахункової схеми процесу деформування, який досліджується, як сукупності кінематичних модулів з врахуванням протікання процесу деформування та особливостей конфігурації інструменту [4–7]. З точки зору подальшого застосування визначальними характеристиками кінематичних модулів, на нашу думку, слід вважати форму (найпростіша прямокутна або більш складна: трапецієвидна, трикутна), ступінь свободи течії ((I) одна, (II) дві, (III) три чи більше), розташування в межах розрахункової схеми ((A) осьові, (I) внутрішні та такі, які описують похилу границю межування інструменту (Т) із заготовкою), можливості варіювання (за параметром обраної кривої або кутом нахилу або формою кривої похилої межі) та жорсткості межування із суміжними кінематичними модулями (НМ – жорсткий суміжний модуль або (АМ) – довільний суміжний модуль) (рис. 1).

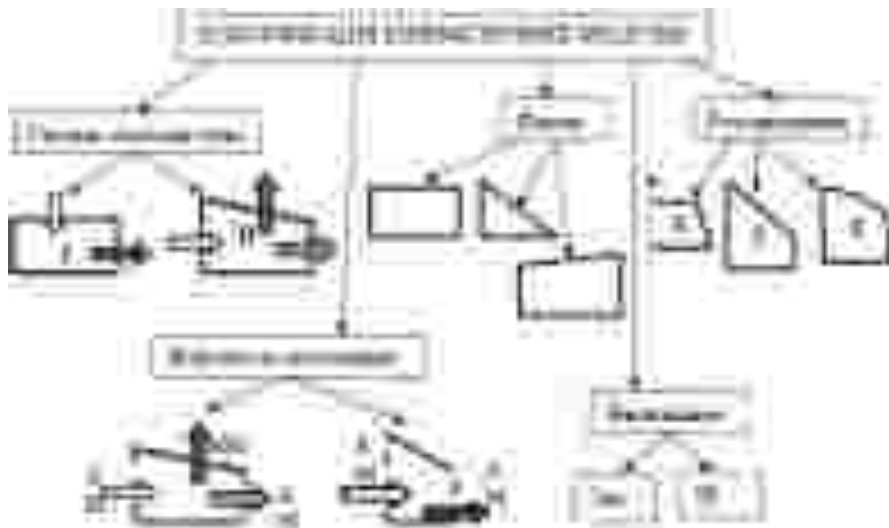


Рис. 1. Класифікація кінематичних модулів [8].

На даний момент розширена база кінематичних модулів складної конфігурації трапецієвидної та трикутної форми, в тому числі із наявністю похилих криволінійних меж [4-7, 9]. Кожен клас кінематичних модулів має певні особливості використання при вбудовуваності у розрахункові схеми та потребує порівняльного аналізу та дослідження раціональності використання в порівнянні із кінематичними модулями найпростішої форми.

Узагальнення результатів проведених досліджень з врахуванням створених розрахункових схем моделювання процесів комбінованого видавлювання та розробленої класифікації представлено у вигляді розробленого нами програмного продукту. Дана програма «EXTRUSION» створена в середовищі розробки «Delphi Community Edition» і використовується в навчальному процесі, на виробництві та в науково-дослідних цілях [8, 9]. Вона містить такі модулі: розрахунку та властивостей кінематичних модулів Modules.exe, «дефектоутворення» Points2.exe та розрахунку «Радіально-зворотного видавлювання» extrude_eng.exe. В межах використання Modules.exe згідно бази даних, користувач самостійно має можливість змінювати дерево модулів, змінюючи та поповнюючи наведену базу новими розробками кінематичних модулів або рекомендаціями чи властивостями (рис. 2.). Даний програмний модуль носить ознайомчий характер і використовується для відображення бази уніфікованих кінематичних модулів, що включає урахування особливостей конфігурації інструменту, який є актуальним з огляду на необхідність забезпечення можливостей ефективного управління формоутворенням в процесах комбінованого видавлювання із кількома ступенями свободи течії. Заради іще більшої інформативності нами запропоновано спрощення самої схеми кінематичного модуля відповідно до позначень:

- 1) для меж модуля: так пунктирна показує на можливості з'єднання з суміжними кінематичними модулями різноманітної форми, суцільна лінія визначає межу з інструментом;
- 2) швидкості на поверхні виходу та входу позначаються індексами $i+1$ та i ;

3) знаки «-» та «+», що знаходяться на межах поєднання з суміжними кінематичними модулями застосовують для можливості використання повної величини приведенного тиску потужності сил зрізу.



Рис. 2. База кінематичних модулів в модулі Modules.exe.

Інший модуль вміщує створені розрахункові схеми самих процесів комбінованого суміщеного та послідовного видавлювання для транзитного або об'єднаного осередків деформації, а також окремо для випадку, який відбувається із дефектоутворенням у вигляді утягнення. Модуль «Дефектоутворення» Points2.exe дає можливість оцінити можливості дефектоутворення відповідно введенню геометричних співвідношень, що використовуються для аналізу процесу комбінованого радіально-зворотного видавлювання порожнистих деталей з фланцем.

Висновки

В результаті в роботі продемонстровано ефективність використання енергетичного методу для проектування процесів холодного об'ємного штампування видавлюванням. Запропонована нами класифікація кінематичних модулів допоможе їх раціональному та обґрунтованому використанню на етапі побудови розрахункових схем різноманітних процесів. Розроблений нами програмний продукт «EXTRUSION» включає рекомендації для використання кінематичних модулів та розрахунки, а також розрахункові енергетичні моделі різних процесів з можливістю прогнозування дефектоутворення у вигляді утягнення. Це сприятиме розробці відповідних конструкторсько-технологічних рекомендацій та визначенню оптимальних параметрів форми інструмента.

Особенности проектирования процессов холодной объемной штамповки выдавливанием на основе энергетических моделей расчета

Н.С. Грудкина¹, В.Н. Левченко², М.Ю. Корденко¹

¹Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск, Украина

²Институт радиифизики и электроники им. А.Я. Усикова НАН Украины, г. Харьков, Украина

Аннотация: В данной работе продемонстрированы возможности эффективного применения энергетического метода баланса мощностей при проектировании различных процессов холодной объемной штамповки выдавливанием. Также в работе приведена классификация кинематических модулей по основным характеристикам. Это будет способствовать их оперативному использованию на этапе построения расчетных схем процессов. В работе даны рекомендации по рациональному использованию кинематических модулей согласно возможности изменения формы границы и жесткости комбинирования со смежными кинематическими модулями и расположения соответственно оси симметрии.

Ключевые слова: кинематический модуль, холодная объемная штамповка выдавливанием, проектирование, энергетический метод баланса мощностей.

Features of the design of processes of cold die forging by extrusion based on energy calculation models

N.S. Hrudkina¹, V.M. Levchenko², M.Y. Kordenko¹

¹Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine

²O.Ya. Usikov Institute for Radiophysics and Electronics NAS of Ukraine, Kharkov, Ukraine

Abstract: The paper demonstrates the possibilities of effective application of the power balance method in the design of processes of cold die forging by extrusion. The classification of the kinematic modules according to the main characteristics has been carried out, which will facilitate their operational use at the stage of constructing the calculation schemes of the processes. Recommendations are given for the rational use of kinematic modules in terms of the rigidity of combination with adjacent kinematic modules and the possibility of varying the shape of the boundary and the location of the axis of symmetry, respectively.

Keywords: cold die forging by extrusion, kinematic module, power balance method, design.

Список літератури

1. Noh J., Hwang B.B., Le H.Y. Influence of Punch Face Angle and Reduction on Flow Mode in Backward and Combined Radial Backward Extrusion Process. *Metals and Materials International*. 2015, 21, 6, pp.1091–1100. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12540-015-5276-y>
2. Zhang S. H. Some new features in the development of metal forming technology / S. H. Zhang, Z. R. Wang // J. Mater. Process. Technol. 2004. № 1. P. 39–47.
3. Hrudkina N., Aliieva L., Abhari P., Kuznetsov M., Shevtsov S. Derivation of engineering formulas in order to calculate energy-power parameters and a shape change in a semi-finished product in the process of combined extrusion. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019, 2, N 7 (98), pp. 49–57. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.160585. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.160585>
4. Степанский Л.Г. Расчеты процессов обработки металлов давлением. Москва: Машиностроение. 1979. 215 с.
5. Hrudkina N., Aliieva L., Abhari P., Markov O., Sukhovirska L. Investigating the process of shrinkage depression formation at the combined radial-backward extrusion of parts with a flange. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019, 2, 5/1 (101), pp. 49–57. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.179232>
6. Hrudkina N. S., Aliieva L. I. Modeling of cold extrusion processes using kinematic trapezoidal modules. *FME Transactions*. 2020. 48. 2. P. 357–363. doi:10.5937/fme2002357H
7. Грудкіна Н. С. Верхня оцінка приведенного тиску деформування осьового трапецеїдального кінематичного модуля з нижньою похилою межею. *Вісник ДДМА*. 2019. 3 (47). С. 21–27.
8. Алиева Л. И., Грудкина Н.С. Особенности проектирования процессов холодного выдавливания на основе развития модульного подхода в рамках энергетического метода. *Вісник НТУ «ХПІ»*. Харків. 2015. 24 (1133). С. 21–32. Aliieva L., Hrudkina N., Aliiev I., Zbankov I., Markov O. Effect of the tool geometry on the force mode of the combined radial-direct extrusion with compression. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. 2/1 (104). P. 15–22. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.198433>

UDC 621.771

FINITE ELEMENT SIMULATION TO ANALYZE FORMING CHARACTERISTICS IN SINGLE-ENDED RADIAL EXTRUSION PROCESS WITH MANDREL

Abhari P., Malii Kh., Tahan L., Panibratchenko I.
Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine

Abstract: The single-ended radial extrusion process with mandrel by the rigid-plastic finite element method (FEM) to investigate the forming characteristics is considered. It is seemed that the tubular billet is rigid-plastic body and various tool parts are all rigid bodies and tubular billet and die tools temperatures are room temperature. The billet material has been used for the simulation is AA 6060 aluminum alloy. Based on the finite element simulations by using two-dimensional QForm software, deformation patterns (gridlines distortion), distributions of effective strain and stress, and the relative pressure on the punch vs. chamfer angle on the tool with different relationships such as R/t and h/t have been investigated.

Keywords: radial extrusion, finite element method, material Flow, relative pressure, effective strain and stress

In the manufacturing of high volume parts with different and complex geometrical parameters, extrusion process especially cold state provides better economical and technical results than compared to other various manufacturing process. Some of these results are precision parts, near net shape quality, excellent surface finished, and reduce the cost and time of process design. In the cold extrusion process is used different theoretical method such as energy method of power balance, upper bound method and finite element method. In recent years, to design and analysis of cold extrusion process finite element method has more application in manufacturing industries and also this method is used a direct iteration and Newton-Raphson methods to solve the nonlinear equations. In the cold extrusion process, the cylindrical solid or tubular billet is located in the die cavity and is squeezed by multiple rams. The billet is compressed with one or two opposite rams movement and the billet material fills the die cavity.

In this paper, based on the finite element simulation by using QForm 2D software to analyze, forming characteristics such as deformation patterns (gridlines distortion), distributions of effective strain and stress and power mode of deformation in single-ended scheme of radial extrusion process with mandrel during the forming process have been investigated [1, 2, 3].

The die scheme with axisymmetric tubular billet and finite element simulation for single-ended radial extrusion process are shown in Fig. 1. The die geometry parameters, axisymmetric tubular billet dimensions and power mode parameters are as follows: R_0 – the outer radius of tubular billet ($R_0 = 27\text{mm}$), R_1 – the inner radius of tubular billet or the radius of mandrel ($R_1 = 9\text{mm}$), R – the outer radius of flange or formed part ($R = 45\text{mm}$), R_i – the intermediate flange radius, L – the billet height ($L = 100\text{mm}$), h – the flange height ($h = 11.7\text{mm}$), $t = R_0 - R_1$, h/t – the relative flange height, α – chamfer angle on the tool, V – punch velocity ($V = 1\text{mm/s}$), P – punch load, μ – The friction factors between the billet and tools are constant (Zibel's law, $\mu = 0.08$). The billet material has been used for the simulation is AA 6060 aluminum alloy.

During the simulations by commercial software for plastic deformation such as QForm2D, it is seemed that the tubular billet is rigid-plastic body and various tool parts are all rigid bodies. In the radial extrusion processes with mandrel, tubular billet and tooling temperatures are room temperature.

The material flow behavior and the influence of various factors in radial extrusion processes with mandrel were explored. Deformation patterns (gridlines distortion), distributions of effective strain and stress in single-ended radial extrusion process with mandrel (Fig. 1) by using relationship $h/t = 0.65$ are shown. It can be seen that the effective strain and stress of the billet were symmetrical

distributed in the processes. It is observed in these figures that the maximum effective strain and stress in a relationship $R_i/t=2.25$ are calculated as follows: $\epsilon_{i \max} = 1.0$, $\sigma_{i \max} = 200\text{MPa}$ in single-ended radial extrusion process with mandrel (Fig. 1).

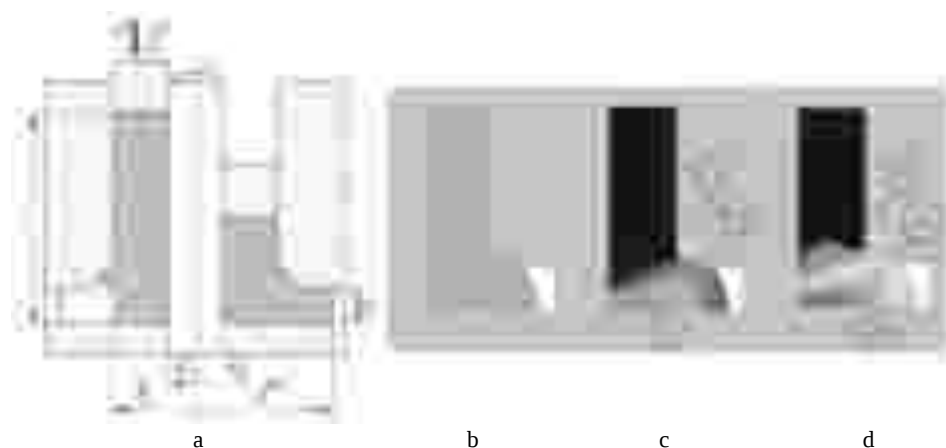


Fig. 1 – Single-ended radial extrusion process with mandrel: a – die scheme, b – deformation patterns or gridlines distortion, c – distributions of effective strain, d – distributions of effective stress

The relative pressure on the punch vs. chamfer angle on the tool with different relationships such as R_i/t and h/t in single-ended radial extrusion process with mandrel has been investigated by finite element simulation. The determined results have been shown in figure 2.

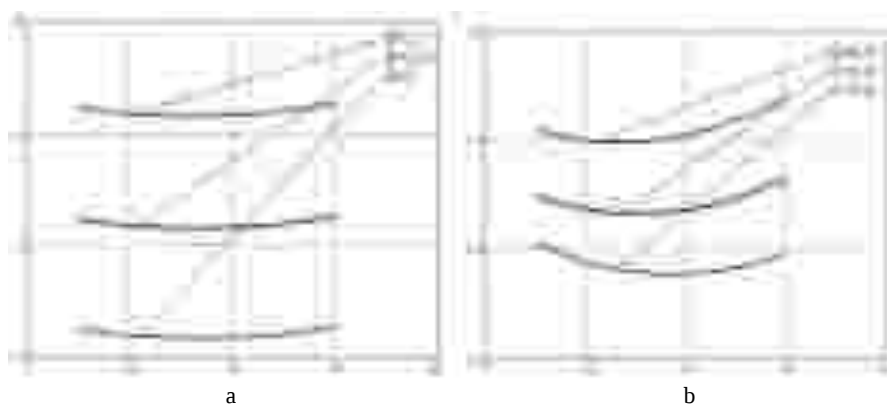


Fig.2 – The relative pressure vs. chamfer angle on the tool in single-ended radial extrusion process with mandrel by different relationships: a – R_i/t , b – h/t

The comparison of relative pressures between different relationships, R_i/t and h/t in figure 2 show that for a constant value of chamfer angle on the tool relative pressure will be increase for increasing R_i/t and for decreasing h/t . This is because the material flows in die cavity filling occur hardly.

АНАЛІЗ ФОРМОУТВОРЮЮЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕСУ РАДІАЛЬНОГО ВИДАВЛЮВАННЯ НА ОПРАВЦІ З ОДНОСТОРОННЮЮ ПОДАЧЕЮ НА ОСНОВІ СКІНЧЕННО-ЕЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Абхари П. Б., Малій Х. В., Таган Л. В., Панибратченко Ю.А.
Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ

Анотація: Розглянуто радіальне видавлювання на оправці з односторонньою подачею методом скінченних елементів (МСЕ) для дослідження характеристик формоутворення. Трубчаста заготовка являє собою жорстко-пластичне тіло, різні частини інструменту є твердими тілами, температура трубчастої заготовки і штамп відповідає кімнатній температурі. Матеріал заготовки, використаний при моделюванні, алюмінієвий сплав АА 6060. На основі моделювання методом скінченних елементів з використанням двовимірного програмного забезпечення QFort, були досліджені моделі деформацій (викривлення ділильної сітки), розподіл інтенсивності деформацій ϵ , розподіл інтенсивності напружень σ , а також зміна приведенного тиску на пуансоні в залежності від кута фаски на інструменті з різними геометричними співвідношеннями, такими як R/t та h/t .

Ключові слова: радіальне видавлювання, метод скінченних елементів, течія матеріалу, приведений тиск, інтенсивність напружень і деформацій

АНАЛИЗ ФОРМОИЗМЕНЯЮЩИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА РАДИАЛЬНОГО ВЫДАВЛИВАНИЯ НА ОПРАВКЕ С ОДНОСТОРОННЕЙ ПОДАЧЕЙ НА ОСНОВЕ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Абхари П. Б., Малый К. В., Таган Л. В., Панибратченко Ю.А.
Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск

Аннотация: Рассмотрено радиальное выдавливание на оправке с односторонней подачей методом конечных элементов (МКЭ) для исследования характеристик формования. Трубчатая заготовка представляет собой жестко-пластическое тело, различные части инструмента представляют собой твердые тела, температура трубной заготовки и штампа соответствует комнатной температуре. Материал заготовки, использованный при моделировании, алюминиевый сплав АА 6060. На основе моделирования методом конечных элементов с использованием двумерного программного обеспечения QFort, были исследованы модели деформаций (искажение делительной сетки), распределение интенсивности деформаций ϵ , распределение интенсивности напряжений σ , а также изменение приведенного давления на пуансоне в зависимости от угла фаски на инструменте с различными геометрическими соотношениями, такими как R/t и h/t .

Ключевые слова: радиальное выдавливание, метод конечных элементов, течение материала, приведенное давление, интенсивность напряжений и деформаций

References

1. Abhari Payman Computer-aided simulation to investigate material flow in combined-radial extrusion / Payman Abhari // International Journal of Engineering Research and Advanced Technology. 2018. Vol. 4. – Issue 2. – P. 24–28.
2. Investigating the process of shrinkage depression formation at the combined radial-backward extrusion of parts with a flange / N. Hrudkina, L. Aliieva, P. Abhari, O. Markov, L. Sukhovirskaya // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. Vol. 2, N 5/1 (101), - p. 49–57.
3. Predicting the shape formation of hollow parts with a flange in the process of combined radial-reverse extrusion / N. Hrudkina, L. Aliieva, O. Markov, I. Marchenko, A. Shapoval, P. Abhari, M. Kordenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Engineering technological systems. 2020. Vol. 4, No 1 (106), p. 55-62.

УДК 621.961.2

Разработка и внедрение штампа для отрезки сдвигом с дифференцированным зажимом проката

С.Г. Карнаух, И.Д. Бахтин
ДГМА, г. Краматорск, Украина

Анотация: В работе предложена и исследована новая конструкция штампа с дифференцированным зажимом проката. Разработаны рекомендации по расчетам геометрических и силовых характеристик штампов с дифференцированным зажимом. Результаты внедрения штампа на Одесском ПО «Стройгидравлика» показывают, что: штампы работоспособны и надежны в эксплуатации; качество отрезанных заготовок соответствует показателям качества заготовок, отрезанных на современном аналогичном оборудовании.

Ключевые слова: штамп с дифференцированным зажимом, отрезка сдвигом, сила, клин, сортовой прокат, заготовка, качество.

Из известных схем разделения проката отрезкой сдвигом с активным поперечным зажимом, наиболее перспективной является схема отрезки с «дифференцированным зажимом» [1]. Принципиальное отличие таких схем отрезки состоит в том, что в них сила зажима проката в ножах непостоянна по значению, а изменяется пропорционально силе отрезки. В момент образования скалывающихся трещин сила отрезки снижается до минимума и, следовательно, убывает пропорциональная ей сила поперечного зажима. Заготовка получает возможность отойти в осевом направлении от прутка, что предотвращает образование дефектов на торцах.

Цель работы – разработка и исследование штампов с дифференцированным зажимом проката для отрезки сортового проката сдвигом.

На кафедре основ проектирования машин (ОПМ) Донбасской государственной машиностроительной академии (ДГМА) разработаны, исследованы и внедрены в производство различные конструкции штампов с дифференцированным зажимом для отрезки проката диаметром до 50 мм [2-4].

На основании анализа проведенного литературного и патентного поисков была выбрана схема штамповой оснастки с дифференцированным зажимом по обе стороны от плоскости реза, в конструкции штампа применены клиновые механизмы для зажима и отрезки проката, как имеющие более высокую жесткость (рис. 1).

Высокие технико-экономические показатели штампа (конструкции ДГМА) подтверждаются экспериментальными исследованиями, проведенными на производственном участке Одесского ПО «Стройгидравлика» при внедрении штампа, рассмотренной выше конструкции [2,3].

Фото заготовок из стали 40Х, отрезанных в штампе конструкции ДГМА (рис. 2).

Моделирование процесса разделения сортового проката по схеме полностью закрытой отрезки с дифференцированным зажимом производили с использованием специализированного программного комплекса DEFORM 3D.

Расчеты проводили для проката диаметром $d = 28$ мм, длиной $l = 75 \pm 0,5$ мм из стали 40Х. Поскольку в DEFORM не предусмотрено использование марок сталей, применяемых в производстве на Украине, то выбирали наиболее подходящие из имеющихся сталей в базе данных самой программы: 37Cr4 (ISO).

Добавлено примечание (IKSG1):



Рис. 1 – Фото штампа с дифференцированным зажимом проката



Рис. 2 – Фото заготовок из стали 40X, отрезанные в штампе конструкции ДГМА

Для моделирования процесса отрезки задавали следующие параметры: скорость перемещения ножа – 0,65 м/с; температура – 20°C; критерий разрушения – Normalized C&L. Результаты расчетов представлены на рис. 3, 4.

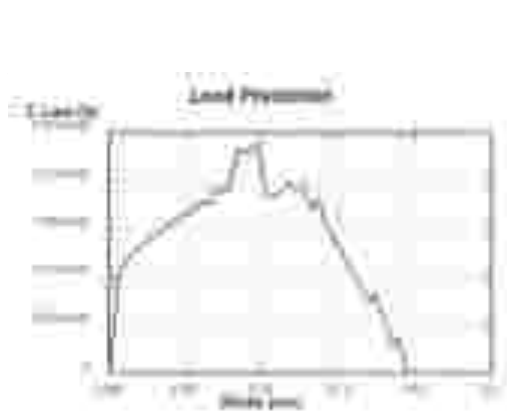


Рис. 3 – Изменение силы отрезки от хода ножа

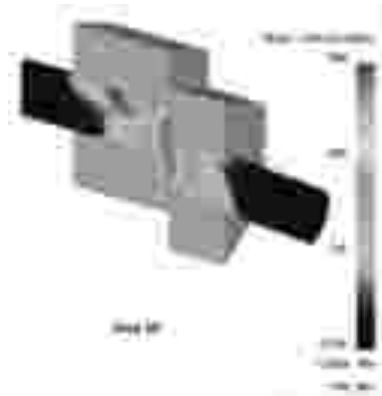


Рис. 4 – Распределение напряжений по сечению заготовки из стали 40X

Добавлено примечание ([KSG2]):

Выводы.

По своим технико-экономическим показателям эти штампы не уступают современным образцам аналогичной штамповой оснастки. При этом, в процессе разделения в вертикальной плоскости обеспечивается неизменное положение оси проката. Исключается передача силы на

затиск через прокат. Конструкція штампа забезпечує його достатньо високою жорсткістю і відносно невеликими габаритними розмірами.

Розроблені рекомендації к проектуванню штампов з диференційованим затиском. При кутах передачі сили на затиск і отримку прокату відповідно 27° і 33° забезпечується мінімальне значення вертикального ходу преса, що передбачає оптимальні габаритні розміри штампа. Для зменшення потрібної сили преса необхідно знизити коефіцієнт тертя ковзання, за рахунок використання антифрикційних матеріалів на контактних поверхнях і забезпечення хороших умов смазки.

Результати впровадження штампа на Одеському ПО «Стройгидравлика» показують, що: штампу роботова спроможна і надійна в експлуатації; якість отриманих заготовок відповідає показателям якості заготовок, отриманих на сучасному аналогічному обладнанні.

Development and implementation of a die for shear cutting with a differentiated clamping of rolled products

S.G. Karnaukh, I. D. Bakhtin

Abstract: In this work, a new design of a stamp with a differentiated clamping of rolled products is proposed and investigated. Recommendations have been developed for calculating the geometric and power characteristics of dies with differential clamping. The results of the introduction of the stamp at the Odessa Production Association "Construction hydraulics" show that: stamps are efficient and reliable in operation; the quality of the cut blanks corresponds to the quality indicators of the blanks cut on modern similar equipment.

Key words: stamp with differential clamping, shear cut, force, wedge, rolled sections, billet, quality.

Розробка і впровадження штампа для відрізки зсувом з диференційним затиском прокату

С.Г. Карнаух, І.Д. Бахтін

Анотація: У роботі запропонована і досліджена нова конструкція штампа з диференційним затиском прокату. Розроблено рекомендації щодо розрахунків геометричних і силових характеристик штампів з диференційним затиском. Результати впровадження штампа на Одеському ВО «Будгидравліка» показують, що: штампу працездатний і надійний в експлуатації; якість відрізнаних заготовок відповідає показникам якості заготовок, відрізнаних на сучасному аналогічному обладнанні.

Ключові слова: штамп з диференційним затиском, відрізка зсувом, сила, клин, сортовий прокат, заготовка, якість.

Література

1. Карнаух С.Г. Совершенствование безотходных способов разделения сортового проката и оборудования для получения заготовок высокого качества : монография, Краматорск: ДГМА, 2010. – 196 с.
2. Карнаух С. Г. Разработка штампов для отрезки проката с дифференцированным зажимом / С. Г. Карнаух // Кузнечно-штамповочное производство. – 2000. – Вып. № 4. – С. 19–22.
3. Карнаух С. Г. Розробка штампів для точного відрізання зсувом / С. Г. Карнаух // Машинознавство. – 1998. – Вип. № 3. – С. 34–36.
4. Пат. 25552 А Україна, МКИ В23Д23/00. Штамп для відрізки прокату з диференційованим затиском / Роганов Л.Л., Тарасов О.Ф., Карнаух С.Г. – Заявл. 3.06.97, Опубл. 30.10.98. – 4 с.

УДК 621.9.02

Изменение эксплуатационных свойств пробивных пуансонов из быстрорежущей стали Р6М5 после обработки в импульсном магнитном поле

Н.И. Кинденко

ДГМА, г. Краматорск, Украина

Аннотация: Данная работа посвящена исследованию вопросов, которые связаны с повышением эксплуатационных свойств инструментов из быстрорежущих сталей с помощью магнитно-импульсной обработки. Нами установлено, что в результате влияния импульсного магнитного поля происходит изменение физико-механических характеристик быстрорежущих сталей, а также увеличивается горячая и холодная твердость, а инструментальный материал становится более однородным по структуре. В работе отмечено, что первопричиной такого улучшения эксплуатационных характеристик инструмента, который подвергнут магнитной обработке, является изменение характеристик инструментального материала, которое происходит благодаря магнитоупрочнению быстрорежущей стали.

Ключевые слова: пробивной пуансон, быстрорежущая сталь, магнитная обработка, теплоемкость, напряженность, магнитоупрочнение, твердость.

Причиной отказов инструментов чаще всего является не их поломка, а утрата ими первоначальной поверхностной конфигурации благодаря сколам, износу, растрескиванию, смятию, т.е. в связи с деформацией или разрушением тонких поверхностных слоев металла инструмента [1].

Проблема долговечности и износостойкости инструмента приобрела в машиностроении очень важное значение. Актуальность долговечности и износостойкости инструмента увеличивается в современных условиях, когда в машиностроении важную роль призвано сыграть качество инструментов, в том числе пробивных и высадочных на холодновысадочных автоматах, которые определяют во многом производительность оборудования, надежность процессов и себестоимость обработки в целом [2].

Но с другой стороны, если основываться на изменении физических и механических свойств инструментального материала как главной причины увеличения стойкости инструмента, то нужно сравнить конкретные характеристики быстрорежущих сталей до обработки и после неё. В первую очередь, свойства, которые определяют стойкость инструмента [3].

Цель работы - это изучение изменения эксплуатационных свойств пробивных пуансонов для обесечных матриц, которые изготавливаются из быстрорежущей стали Р6М5 после обработки с помощью импульсного магнитного поля.

Одно из основных направлений физической технологии упрочнения – это магнитная обработка материалов. Технологические направления изучения в области технологий магнитной обработки инструмента в импульсных магнитных полях часто связаны с влиянием магнитной обработки на стойкостные зависимости инструмента.

Вещество инструмента изменяет свои механические и физические свойства при магнитном воздействии.

Инструментальная сталь также, как и любое твердое тело обладает внутренним упругим полем, которое обусловлено реальной дислокационной структурой. При наложении магнитного поля на материал на данное собственное упругое поле накладывается упругое поле, которое вызвано магнитно-стрикционной деформацией.

На рис. 1. показаны результаты выполненных нами экспериментов. В результате исследования показано, что относительно слабые магнитные поля не приводят к изменению значений теплостойкости и твердости. Зависимости $HRC_T=f(H)$ и $HRC=f(H)$ имеют максимум при напряженности поля $H \approx 1,2 \cdot 10^5$ А/м. Последующее увеличение напряженности поля приводит к снижению теплостойкости и твердости и при $H=1,6 \cdot 10^5$ А/м все эти параметры практически не отличаются от теплостойкости и твердости образцов в исходном положении.

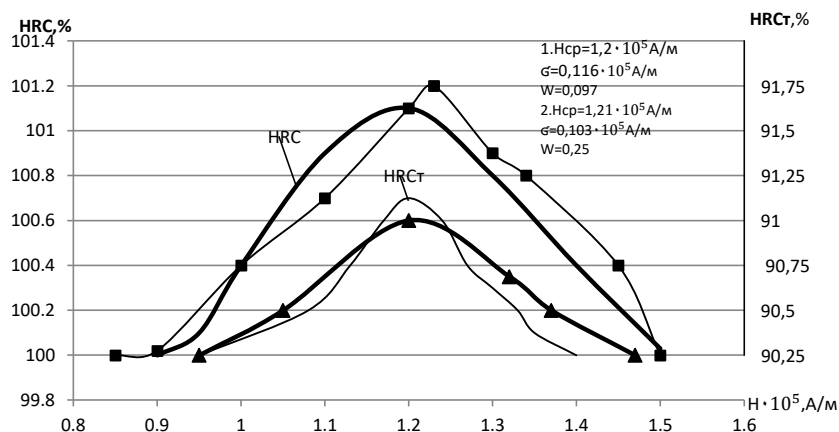


Рис. 1. Зависимость изменения теплостойкости и твердости стали Р6М5 от напряженности магнитного поля после 24-часовой выдержки инструмента

Взаимодействие упругого поля, которое обусловлено магнитоупругостью стали, с упругим полем реальной дислокационной структурой стали приводит к появлению локальных перенапряжений.

Одной из причин улучшения эксплуатационных характеристик инструмента, который подвергнут магнитной обработке, является изменение характеристик инструментального материала.

Увеличение количества карбидов, а также уменьшение их способности к коагуляции при увеличении температуры в зоне обработки, выражается в росте теплостойкости быстрорежущей стали.

В то же время обработка магнитным полем приводит к росту холодной твердости быстрорежущей стали, но более равномерная структура материала инструмента уменьшает диапазон значений твердости в объеме одного и того же инструмента.

Также установлено, что наибольшее повышение значений твердости и теплостойкости и повышение стойкости магнитнообработанного инструмента были получены при одних и тех же значениях рабочего поля ($H=1,2 \cdot 10^5$ А/м).

Повышение характеристик пробивных пуансонов для обесечных матриц из стали Р6М5, которые подверглись магнитно-импульсной обработке, достигается за счёт направленной ориентации свободных электронов материала внешним полем, благодаря чему растет электро- и теплопроводимость материала.

Установлено, что в местах концентрации усталостных или остаточных напряжений, которые связаны с технологией производства, эксплуатации или обработки инструмента, наведенная теплота вихревыми токами, частично снижает избыточную энергию

составляющих зёрен и кристаллитов структуры особенно именно в зоне контакта напряженных участков.

Более однородную структуру материала позволяет получить процесс магнитно-дисперсионного твердения стали в результате воздействия магнитного поля.

Выводы

В результате такого воздействия импульсного магнитного поля происходит изменение физико-механических характеристик быстрорежущей стали Р6М5, возрастает горячая и холодная твёрдость, а инструментальный материал становится более однородным по структуре.

Быстрорежущая сталь Р6М5 подвергается объёмному упрочнению, дисперсионному твердению. Сталь Р6М5 улучшает свои физико-механические свойства и становится более однородной по структуре, что приводит к улучшению эксплуатационных характеристик пробивных пуансонов для обесечных матриц.

Change of operating properties of aggressive punchons from quickly-cutting steel of R6M5 after treatment in the impulsive magnetic field

N.I. Kindenko

Abstract: The real work is devoted research of questions, related to the increase of operating properties of instruments from bystrorezhushchikh staley by magnetic-impulsive treatment. It is set that as a result of influence of the impulsive magnetic field there is a change of fiziko-mechanical properties of bystrorezhushchikh staley, cold and hot hardness and instrumental material increases becomes more homogeneous on a structure. It is marked that primary cause of improvement of operating descriptions of instrument, exposed to magnetic treatment, is a change of properties of instrumental material, which takes place due to the magnetostriction work-hardening of high-speed steel.

Key words: high-speed steel, aggressive puncheon, tension, magnetic treatment, heat capacity, magnetostriction, hardness.

Зміна експлуатаційних властивостей пробивних пуансонів з швидкорізальної сталі Р6М5 після обробки в імпульсному магнітному полі

M.I. Кінденко

Анотація: Дана робота присвячена дослідженню питань, які пов'язані з підвищенням експлуатаційних властивостей інструментів з швидкорізальних сталей за допомогою магнітно-імпульсної обробки. Нами встановлено, що в результаті впливу імпульсного магнітного поля відбувається зміна фізико-механічних характеристик швидкорізальних сталей, а також збільшується гаряча і холодна твердість, а інструментальний матеріал стає більш однорідним за структурою. У роботі відзначено, що першопричиною такого поліпшення експлуатаційних характеристик інструменту, який піддається магнітній обробці, є зміна характеристик інструментального матеріалу, яка відбувається завдяки магнітострикційному зміцненню швидкорізальної сталі.

Ключові слова: швидкорізальна сталь, пробивний пуансон, напруженість, магнітна обробка, теплоємність, магнітострикція, твердість.

Литература

1. Евстратов В. А. Основы технологии выдавливания и конструирования штампов / В. А. Евстратов. – Харьков: Вища школа. Изд-во при Харьк. Ун-те, 1987. – 144 с.
2. Кинденко Н. И. О физической сущности процесса магнитной обработки осевого инструмента из быстрорежущей стали // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. - Краматорськ, 2010. - Вип. 26. - С. 203-208.
3. Кинденко Н. И. Повышение надежности быстрорежущего инструмента, подвергнутого комплексному упрочнению // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. - Краматорськ, 2011. - № 2 (23). - С. 168-173.

УДК 621.777.4

Моделирование процесса поперечно-прямого выдавливания деталей с отроостками методом верхней оценки

В.Н. Левченко¹, Л.И. Алиева², Д.А. Картамишев², М.Ю. Корденко², К.В. Малий²

¹Институт радиофизики и электроники им. А.Я. Усикова НАН Украины, г. Харьков, Украина

²Донецкая государственная машиностроительная академия, г. Краматорск, Украина

Аннотация: В работе приведены результаты моделирования процесса последовательного прямого выдавливания комбинированного с раздачей с помощью метода верхней оценки. Получено отдельное решение для зоны разворота на основе построения разрывного поля и годографа скоростей, а также зависимость приведенного давления деформирования для углового модуля. Анализ зависимости давления деформирования в угловом модуле от геометрических факторов показал, что на силовой режим больше всего влияет параметр относительной толщины отроостка – увеличение значения этого параметра с 1,0 до 2,0 приводит к росту давления деформирования на 30–40%.

Ключевые слова: поперечно-прямое выдавливание, метод верхней оценки, приведенное давление, годограф скоростей, коэффициент трения.

Разновидностью поперечно-прямого выдавливания с элементами радиального течения металла является способ последовательного прямого выдавливания комбинированного с раздачей, использование которого может привести к снижению сил деформирования на пуансоне и повышение его устойчивости [1–3]. Представляет интерес анализ силового режима этого способа, который может быть альтернативой традиционным схемам выдавливания полых деталей с глухим отверстием. Оперативный и приближенный анализ закономерностей влияния параметров процесса на силовой режим можно обеспечить с помощью метода верхней оценки (МВО).

Цель исследования – создание математической модели процесса последовательного прямого выдавливания комбинированного с раздачей и определения влияния геометрии инструмента на величину удельного давления.

Расчетная схема процесса содержит модули для анализа течения металла в характерных зонах детали: в центральной зоне, где происходит сжатие и поперечное выдавливание металла, и в переходной, где наклонном участке (фаске) матрицы металл подвергается обжатию и разворота (рис. 1). Основные параметры процесса: высота центральной зоны h , углы наклона отроостка γ и наклона матрицы β , а также толщина отроостка (или толщина стенки изделия) s . Решение отдельно для зоны разворота получено методом верхней оценки путем построения разрывного поля и годографа скоростей. Годограф скоростей для треугольной зоны построен из условия подобия фигур поля и годографа по известным правилам [4, 5]. Считали, что трение полуфабриката по инструменту происходит по поверхности, разделяющей центральную и переходную зоны, и по нижней плоскости выдавливаемого отроостка. Трением по верхней плоскости отроостка пренебрегали.

Для углового модуля получена зависимость для приведенного давления деформирования. Графический анализ полученной зависимости для давления деформирования в угловом модуле показал, что на силовой режим больше всего влияет параметр h/s (относительная высота центральной зоны), от которого зависит степень деформации металла при прохождении через данный модуль. Увеличение значения параметра h/s в два раза с 1,0 до 2,0 приводит к росту давления деформирования на 30–40% (рис. 2, а). При этом больший прирост соответствует большим величинам угла γ . В то же время установлено наличие устойчивого минимума значений приведенного давления независимо от

условий трения при оптимальных значениях параметра h/s , приближенных к 1,0. Влияние угла γ немного меньше: рост γ с 5° до 25° сопровождается снижением давления деформирования на 30% при $h/s = 1,0$ и 15% при $h/s = 2,0$ (см. рис. 2, а). Рост значений коэффициента трения μ ведет к соответствующему росту давления деформирования: с 0,08 до 0,16 – на 15%, и с 0,08 до 0,25 – на 30% (рис. 2, б).



Рис. 1. Схемы процессов комбинированного прямого выдавливания с раздачей (а) и поперечно-прямого выдавливания металла с формированием отrostка под углом γ (б)

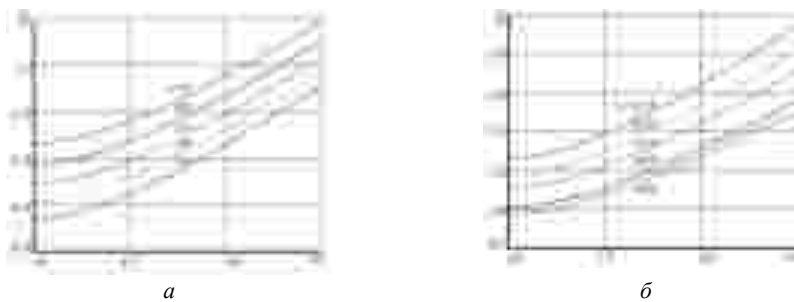


Рис. 2. Графики зависимости приведенного давления от параметра h/s при различных углах наклона отrostка для $\mu_s = 0,08$ (а) и при различных условиях трения для $\gamma = 10^\circ$ (б)

Выводы

Методом верхней оценки разработана модель силового режима для процесса последовательного прямого выдавливания комбинированного с раздачей полых деталей типа стакан. Установлены зависимости, позволяющие оценить влияние относительной толщины отrostка h/s и угла его наклона γ на удельное давление.

Модельовання процесу поперечно-прямого видавлювання деталей з відростками методом верхньої оцінки

В.М. Левченко¹, Л.І. Алієва², Д.О. Картамішев², М.Ю. Корденко², Х.В. Малій²

¹Інститут радіофізики та електроніки ім. О.Я. Усикова НАН України, м. Харків, Україна

²Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, Україна

Анотація: В роботі наведено результати моделювання процесу послідовного прямого видавлювання комбінованого з роздачею за допомогою методу верхньої оцінки. Отримано окреме рішення для зони розвороту на основі побудови розривного поля і годографа швидкостей, а також залежність приведенного тиску деформування для кутового модулю. Аналіз тиску деформування в кутовому модулі від геометричних чинників показав, що на силовий режим найбільше впливає параметр відносної товщини відростку – збільшення значення цього параметру з 1,0 до 2,0 призводить до зростання тиску деформування на 30–40%.

Ключові слова: поперечно-пряме видавлювання, метод верхньої оцінки, приведений тиск, годограф швидкостей, коефіцієнт тертя.

Simulation of the process of cross side-direct extrusion for parts with branch pieces using the upper bound method

V.M. Levchenko¹, L.I. Aliieva², D.O. Kartamyshev², M.Y. Kordenko², K.V. Malii²

¹O.Ya. Usikov Institute for Radiophysics and Electronics NAS of Ukraine, Kharkov, Ukraine

²Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk, Ukraine

Abstract: The paper presents the results of simulating the process of sequential direct extrusion combined with expansion using the upper bound method. The separate solution for the turn zone based on the discontinuous field and the velocity hodograph building, as well as the dependence of the unit deformation pressure for the angular modulus were obtained. The analysis of the deformation pressure in the angular module from geometric factors showed that the parameter of the relative thickness of the branches pieces most of all affects the power mode – increasing the value of this parameter from 1.0 to 2.0 leads to increasing the deformation pressure by 30–40%.

Список литературы

1. Дмитриев А. М., Воронцов А. Л. Технологияковки и объемной штамповки. Часть 1. Объемная штамповка выдавливанием: учебник для вузов. Москва : Машиностроение–1. 2005. 500 с.
2. Алиева Л. И. Совершенствование процессов комбинированного выдавливания : монография. Краматорск: ООО «Тираж-51». 2018. 352 с.
3. Алиева Л. И. Процессы комбинированного деформирования и выдавливания. Обработка материалов давлением. Краматорск : ДГМА. 2016. 1 (42). С. 100–108.
4. Унков Е. П., Джонсон У., Колмогоров В. Л., Огородников В. А. и др. Теорияковки и штамповки. Под ред. Ункова Е. П., Овчинникова А. Г. Москва: Машиностроение. 1999. 598 с.
5. Алюшин Ю. А., Еленев С. А. Теоретические основы энергетических методов расчета процессов ОМД: Учебное пособие. Ростов н/Д : РИСХМ. 1987. 106 с.

УДК 621.77.01

Экспериментальное исследование влияния температурного фактора на формирование микрорельефа проката при реализации процесса тепловой дрессировки

Т. А. Кулик, Г. А. Чебуров
ДГМА, г. Краматорск, Украина

Аннотация: В работе путем физического моделирования внедрения единичной микронеровности в заготовку исследовано влияние температурного фактора на механизм формирования микронеровности проката, в частности на коэффициент отпечатываемости. Полученные экспериментальные зависимости позволили оценить влияние температуры, материала, формы индентора и ряда других факторов на результирующие показатели шероховатости поверхности проката при реализации процесса тепловой дрессировки.

Ключевые слова: прокат, дрессировка, поверхность, качество, микрорельеф, индентор, температура, экспериментальное исследование.

В современных условиях качество продукции имеет чрезвычайно важное значение, ведь оно определяет развитие производственных процессов и их эффективность. Уровень качества проката определяется, кроме всего прочего, состоянием поверхности, ведь именно микрорельеф определяет технологические особенности дальнейшей обработки и эксплуатации, а также товарный вид продукции [1]. В частности, микрогеометрия поверхности полос листовой стали существенно влияет на качество и прочность лакокрасочных покрытий, предельную степень вытяжки при штамповке, отражательную способность металла и т.п. [2]. Теоретические и экспериментальные исследования показали, что в процессе дрессировки, как на финальной стадии процесса, при определенных условиях шероховатость валков почти полностью переносится на полосу, то есть отпечатывается и в последнее время эту особенность все шире используют для придания полосе нужного микрорельефа.

Целью данной работы является исследование факторов, влияющих на коэффициент отпечатываемости (рис. 1), для повышения качества продукции при реализации процесса тепловой дрессировки.

Экспериментальные исследования механизма формирования шероховатости поверхности и факторов, которые на нее влияют, был проведен с использованием специального устройства (рис. 2), обеспечивающего физическое моделирование процесса теплового внедрения сложного профиля индентора в заготовку [3].

Конструктивно данная установка включала в себя нижний неподвижный 1 и верхний подвижный 2 пуансоны, связанные между собой направляющей втулкой 3. В верхнем подвижном пуансоне 2 был размещен сложного профиля индентор 4, который внедряли в заготовку 5. При этом, всего было изготовлено 12 инденторов разных типоразмеров и видов (рис. 3), имеющих различную конфигурацию деформирующей поверхности. С помощью рычага 6 верхний подвижный пуансон 2 был связан с датчиком линейных перемещений 7 реостатного типа.

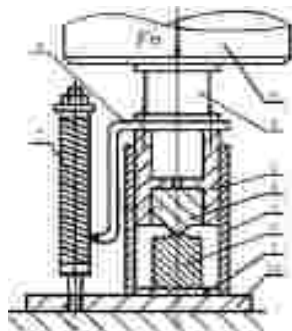
Силу внедрения F_n фиксировали с помощью мессдозы 8, связанной торцевыми поверхностями своего кольцевого элемента с верхним подвижным пуансоном 2 рассматриваемого устройства и силовым пуансоном 9 гидравлического пресса ГП 70-5278, который обеспечивал перемещение верхнего пуансона 2 и создание этой силы.



Рис. 1 – Модель отпечатываемости микрорельефа вала (1) на полосе (2)



а)



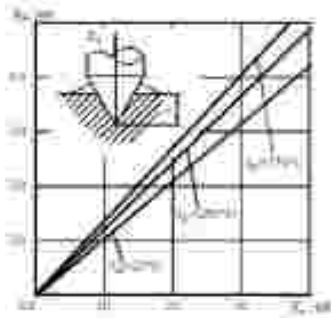
б)

Рис. 2 – Внешний вид (а) и принципиальная схема (б) устройства для экспериментального исследования процесса теплового внедрения сложногопрофильного индентора в заготовку

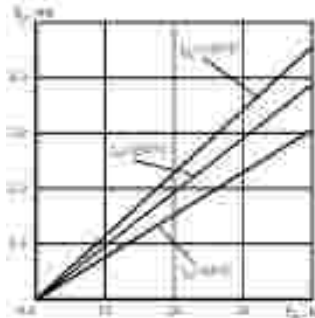
Вся установка была размещена на единой подставке 10, которую в ходе эксперимента устанавливали в рабочее пространство упомянутого гидравлического пресса. Нагрев заготовок 5 до необходимых температур проходило в сушильном шкафу непосредственно перед их теплым пластическим деформированием. Полученные результаты для плоских заготовок из стали 20 и стали 45 представлены на рис. 4.



Рис. 3 – Внешний вид и модель инденторов различных видов



а) сталь 20



б) сталь 45

Рис. 4 – Эмпирические распределения глубины h_n в зависимости от силы внедрения F_n пирамидального индентора в плоскую заготовку из стали 20 (а) и стали 45 (б), предварительно нагретую до температуры t_{n0}

В качестве аргумента в этом случае рассматривали силу процесса внедрения $\ddot{e}$, которую создает гидравлический пресс через силовой пуансон 9, а в качестве функции была принята глубина внедрения h_n , которую измеряли датчиком линейных перемещений 7 реостатного типа.

Результаты показали, что с увеличением силы F_n глубина внедрения индентора h_n растет практически линейно. Увеличение при прочих равных условиях имеет место в случае

повышения температур нагрева исходной заготовки. В частности, при силе $F_n = 30$ кН и увеличении температур с 20°C до 350°C глубина внедрения конического индентора растет с 3,13 мм до 4,05 мм, то есть на 29% для заготовок из стали 20 и с 2,26 мм до 3,48 мм, то есть на 54% для стали.

Выводы

Экспериментальное исследование влияния температуры на коэффициент отпечатываемости было проведено путем физического моделирования внедрения единичной микронеровности. Результаты показали, что с увеличением силы глубина внедрения индентора растет практически линейно в случае повышения температур нагрева исходной заготовки. Указанное подтверждает возможность использования температурного фактора с точки зрения регулирования коэффициента отпечатываемости шероховатости рабочих валков, то есть с точки зрения регулирования результирующих показателей шероховатости поверхности проката при реализации процесса теплой дрессировки.

Experimental research of the influence of the temperature factor on the formation of the rolled sheet's microrelief during the implementation of the warm temper rolling process

T. Kulik, G. Cheburov

Abstract: In this paper, the influence of the temperature factor on the mechanism of formation of the rolled sheet's microrelief, in particular on the imprintability coefficient, is studied by physical modeling of the introduction of a single micro-roughness into the workpiece. The obtained experimental dependences allowed us to evaluate the influence of temperature, material, indenter shape and a number of other factors on the resulting indicators of the roughness of the rolled surface during the implementation of warm temper rolling process.

Keywords: rolling, temper rolling, surface, quality, microrelief, indenter, temperature, experimental research.

Експериментальне дослідження впливу температурного фактора на формування мікрорельєфу прокату при реалізації процесу теплої дресування

Т. О. Кулік, Г. О. Чебуров

Анотация: У роботі шляхом фізичного моделювання впровадження одиничної мікронерівності у заготовку досліджено вплив температурного чинника на механізм формування мікронерівності прокату, зокрема на коефіцієнт відбиття. Отримані експериментальні залежності дозволили оцінити вплив температури, матеріалу, форми індентору і ряду інших чинників на результируючі показники шорсткості поверхні прокату при реалізації процесу теплої дресування.

Ключові слова: прокат, дресування, поверхня, якість, мікрорельєф, індентор, температура, експериментальне дослідження.

Литература

1. Левченко Г. В. Технология качества и сертификация для студентов специальности Обработка металлов давлением / Г. В. Левченко, В. М. Самохвал. - Днепропетровск, ДГТУ, 2009. - 117 с.
2. Ogarkov N. N. Theoretical analysis of formation of automobile sheet roughness during temper rolling in shot-blasted rolls. / Ogarkov N. N., Zvyagina E. Yu., Ismagilov R. R. // Izvestiya. Ferrous Metallurgy. - 2019; 62 (8). - P. 600-605.
3. Кулик Т. А. Математическое моделирование механизмов формирования шероховатости поверхности при дрессировке в режиме теплового деформирования / Т. А. Кулик, Н. А. Кулик // Совершенствование процессов и оборудования обработки давлением в металлургии и машиностроении - ДГМА, Краматорск, 2007. - С. 102-107.

УДК 621.321

Комп’ютерне моделювання процесу деформування профільованих заготовок відповідального призначення

О.Є. Марков, А.С. Хващинський, А.В. Мусорін, П.І. Різак, М.О. Маркова
Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ, Україна

Анотація: У нашій роботі було досліджено спосіб осадки масивних злитків. На базі скінчено-елементного моделювання було встановлено розподіл інтенсивності деформацій у меридіональному перерізі після осадки чотирьохпроменевих заготовок. Дане теоретичне дослідження дозволило нам встановити розподіл деформацій в об’ємі всієї поковки при осадці чотирьохпроменевих заготовок. Проведене скінчено-елементне дослідження дозволило нам встановити, що раціональна висота граней має складати 15% від діаметру заготовки. При подібній висоті граней відбувається максимальне заковування внутрішнього отвору поковки.

Ключові слова: увігнуті грані, осадження, кування, внутрішній дефект, МСЕ, чотирьохпроменева заготовка, тискаючі напруження, параметр напруженого стану.

Проектування та розробка різноманітних технологічних процесів виготовлення масивних поковок, як правило, спрямовані на пошук найбільш раціональних способів осадки для підвищення подрібнення структури металу. В масивних злитках основна локалізація усадочних дефектів концентрується в осевій зоні. Це викликано відповідним напружено-деформованим станом (НДС) при подібному деформуванні. Використання операцій протягування і осадки підвищує рівномірність механічних властивостей по об’єму, але при цьому підвищується енергоємність та трудомісткість процесу кування [1, 2].

Метою даної роботи являється підвищення якості деталей відповідального призначення за допомогою заварювання внутрішніх дефектів на базі вдосконалення операції осадки чотирьохпроменевих злитків.

Чисельне моделювання процесу осадки профільованих на чотирьохпроменевий переріз заготовок виконувалося методом скінчених елементів (МСЕ). В результаті моделювання була встановлена формозміна осевого дефекту та розподіл НДС поковки після осадки (рис. 1.). Всі заготовки осаджувалися на 50 % після профілювання. Рівняння зв’язку швидкостей деформацій та компонент напружень:



Рис. 1. 3D-модель спрофільованої заготовки на чотирьохпроменевий переріз.

$$S_{ij} = \frac{2\bar{\sigma}}{3\dot{\varepsilon}} \dot{\varepsilon}_{ij},$$

де σ_{ij} , $\dot{\varepsilon}_{ij}$ – це компоненти напружень та швидкостей деформацій;

S_{ij} – це компоненти девіатора напружень.

Крива течії матеріалу задається рівнянням $\bar{\sigma} = \sigma(\bar{\varepsilon}, \dot{\varepsilon}, T)$,

де $\dot{\varepsilon}$, $\bar{\varepsilon}$ – це швидкість деформацій та інтенсивність деформацій;

а T – температура.

Заготовки для скінчено-елементного моделювання мали розміри, що показані на рис. 1.: зовнішній діаметр заготовки $D = 1,5$ м, кут граней заготовки становив 150° , діаметр отвору дефекту встановлювався у розмірі 10 % від зовнішнього діаметру заготовки (0,15 м), висота заготовки $H = 3,75$ м. Глибина увігнутих граней ($h = d/D$) досліджувалася в інтервалі 15 %, 20 % і 25 % від діаметру заготовки.

Матеріалом заготовки обрано сталь 70ХЗГНМФ, температура нагрівання заготовки дорівнює 1150°C , сітка містить 75 000 елементів, коефіцієнт тертя рівний 0,45, швидкість деформування 35 мм / с, температура інструменту становить 20°C ,

На заковування дефектів у процесі осадження чотирьохпроменевої заготовки впливає глибина увігнутих граней. У нашому дослідженні використовувалися увігнуті грані з кутом 150° та відносною глибиною d/D , що становила 25%; 20% та 15%. Ступінь заковування отвору після осадки спрофільованих чотирьохпроменевих заготовок на 50 % показано на рис. 2. В результаті моделювання нами було виявлено, що для вказаних параметрів глибин граней відбувається заковування отвору в середній частині поковки. Для зразків з відносною глибиною граней 15% ступінь заковування отвору більше. Заготовки, які спрофільовані на глибину 25%, показали значно гірші результати по закриттю осьового дефекту. Ретельний аналіз отриманих результатів дозволив встановити, що відносна глибина граней більше ніж 15 % не призводить до збільшення ступеню заковування дефекту. Після осадження чотирьохпроменевих заготовок з відносним діаметром $d/D=15\%$ на 50 % відбувається заковування діаметру дефекту також на 50 %, що показано на рис. 2.

На рис. 3. показано розподіл логарифмічних деформацій у меридіональному перерізі заготовки вже після деформації на 50%. В центральній частині поковки можна спостерігати

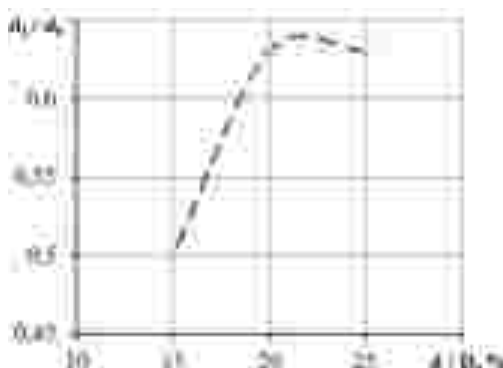


Рис. 2. Залежність відносного діаметру отвору в процесі осадки чотирьохпроменевих моделей з різною відносною глибиною граней заготовки



Рис. 3. Розподіл логарифмічних деформацій в процесі осадження чотирьохпроменевих заготовок ($d/D = 0,15$)

деформації максимальної величини, а деформації мінімальної величини сконцентровані на плоских торцях поковки. При дослідженні заготовок з чотирьохпроменевим перерізом з різними параметрами знайдений розподіл деформацій має схожі результати. Але при осадці чотирьохпроменевих заготовок з глибиною граней $d/D = 15\%$ площа деформацій з максимальною величиною є більшою на 35...45 % в порівнянні з іншими параметрами заготовок, що показано на рис. 3.

Висновки

В роботі встановлено вплив кута граней чотирьохпроменевих заготовок 150° на розподіл напружень, деформацій та заварювання внутрішніх дефектів після осадки. Заковування отвору починається тільки при деформації 10%. Після осадження заготовки на 65% при відносній глибині її граней 15...20% від діаметру заготовки відбувається максимальне заковування центрального отвору. Увігнуті грані глибиною 15% від діаметру заготовки вже після осадки на 55% призводять до утворення в тілі заготовки стискаючих напружень. В роботі розроблено новий науково-обґрунтований спосіб осадки чотирьохпроменевих заготовок, що значно підвищує якість масивних поковок. На базі проведених комплексних теоретичних досліджень в роботі розроблені рекомендації для проектування технологічних процесів кування за новими схемами деформування.

Компьютерное моделирование процесса деформирования профилированных заготовок ответственного назначения

О.Е. Марков, А.С. Хвашинский, А.В. Мусорин, П.И. Ризак, М.А. Маркова

Аннотация: В нашей работе был исследован способ осадки массивных слитков. На базе конечно-элементного моделирования было определено распределение интенсивности деформаций в меридиональном сечении после осадки четырёхлучевых заготовок. Данное теоретическое исследование позволило нам определить распределение деформаций в объеме всей поковки при осадке четырёхлучевых заготовок. Проведенное конечно-элементное исследование позволило нам определить, что рациональная высота граней должна составлять 15% от диаметра заготовки. При подобной высоте граней происходит максимальное заковывание внутреннего отверстия поковки.

Ключевые слова: осадка, ковка, четырёхлучевая заготовка, внутренний дефект, МКЭ, вогнутые грани, сжимающие напряжения, параметр напряженного состояния.

Computer model for deformation process of profiled workpieces with responsible destination

O. Markov, A. Khvashchynskyi, A. Musorin, P. Rizak, M. Markova

Abstract: In our work, the method of upsetting massive ingots was investigated. On the basis of finite element modeling, the distribution of the intensity of deformations in the meridional section after the upsetting of four-beam blanks was determined. This theoretical study allowed us to determine the distribution of deformations in the volume of the entire forging during the upsetting of four-beam billets. The conducted finite element study allowed us to determine that the rational height of the edges should be 15% of the diameter of the workpiece. Occurs the closing of the internal defect with a similar height of the edges.

Keywords: internal defect, forging, upsetting, concave faces, four-beam workpiece, compressive stresses, FEM.

Список літератури

1. Markov, O.E. (2012). Forging of Large Pieces by Tapered Faces. *Steel in Translation*, 42 (12), 808 – 810. <https://doi.org/10.3103/S0967091212120054>
2. Markov, O.E., Perig, A.V., Markova, M.A., Zlygoriev, V.N. (2016). Development of a new process for forging plates using intensive plastic deformation. *Int J Adv Manuf Technol.*, 83(9-12), 2159–2174. <http://doi.org/10.1007/s00170-015-8217-5>