

ВЕСТНИК НАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА "ХПИ"

Сборник научных трудов

32'2009

Тематический выпуск "Новые решения в современных технологиях"

Издание основано Национальным техническим университетом «ХПИ» в 2001 году

Госиздание

Свидетельство Госкомитета по информационной политике

Украины КВ №5256 от 02.07.2001 г

КООРДИНАЦИОННЫЙ СОВЕТ

Председатель

Л.Л.Товажнянский, д-р техн.наук, проф.

Координационный совет

А.П. Марченко, д-р техн. наук, проф.

Е.И. Сокол, д-р техн. наук, проф.

К.А. Горбунов, канд. техн. наук, доц.

Е.Е. Александров, д-р техн. наук, проф.

Л.М. Бесов, д-р техн. наук, проф.

Б.Т. Бойко, д-р техн. наук, проф.

Ф. Ф. Гладкий, д-р техн. наук, проф.

М.Д. Годлевский, д-р техн. наук, проф.

А.И. Грабченко, д-р техн. наук, проф.

В. Г. Данько, д-р техн. наук, проф.

В.Д. Дмитриенко, д-р техн. наук, проф.

И.Ф. Домнин, д-р техн. наук, проф.

В.В. Елифанов, д-р техн. наук, проф.

О.П. Качанов, д-р техн. наук, проф.

В.Б. Клепиков, д-р техн. наук, проф.

С. И. Кондрашов, д-р техн. наук, проф.

В.М. Кошельник, д-р техн. наук, проф.

В.И. Кравченко, д-р техн. наук, проф.

Г.В. Лисачук, д-р техн. наук, проф.

В.С. Луников, д-р техн. наук, проф.

О.К. Морачковский, д-р техн. наук, проф.

В.И. Николаенко, проф.

П.Г. Перерва, д-р экон. наук, проф.

В.А. Пуляев, д-р техн. наук, проф.

М.И. Рыщенко, д-р техн. наук, проф.

В.Б. Самородов, д-р техн. наук, проф.

Г.М. Сучков, д-р техн. наук, проф.

Ю.В. Тимофеев, д-р техн. наук, проф.

Н.А. Ткачук, д-р техн. наук, проф.

В.И. Кравченко, д-р техн. наук, проф.

О.К.Морачковский, д-р техн. наук, проф.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Ответственный редактор

Е.И. Сокол, д-р техн. наук, проф.

Ответственный секретарь

О.В. Саввова, канд. техн. наук

Г.И. Львов, д-р техн.наук, проф.

А.С. Куценко, д-р техн. наук, проф.

И.В. Кононенко, д-р техн. наук, проф.

Л.Г. Раскин, д-р техн. наук, проф.

В.Я. Заруба, д-р техн. наук, проф.

В.Я. Терзиян, д-р техн. наук, проф.

М.Д. Узунян, д-р техн. наук, проф.

Л.Л. Брагина, д-р техн. наук, проф.

В.И. Шустиков, д-р техн. наук, проф.

В.И. Тошинский, д-р техн. наук, проф.

Р.Д. Сытник, д-р техн. наук, проф.

В.Г. Данько, д-р техн. наук, проф.

В.Б. Клепиков, д-р техн. наук, проф.

Б.В. Клименко, д-р техн. наук, проф.

Г.Г. Жемеров, д-р техн. наук, проф.

В.Т. Долбня, д-р техн. наук, проф.

Н.Н. Александров, д-р техн. наук, проф.

П.Г. Перерва, д-р экон. наук, проф.

Н.И. Погорелов, канд. экон. наук, проф.

АДРЕС РЕДКОЛЛЕГИИ

61002, Харьков, ул. Фрунзе. 21 НТУ
«ХПИ», СМУС Тел. (057) 707-60-40

Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Збірник наукових праць.
Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях.- Харків: НТУ „ХПІ”-
2009. -№32 - 144 с.

В сборнике представлены теоретические и практические результаты научных исследований и разработок, которые выполнены преподавателями высшей школы, аспирантами, научными сотрудниками, специалистами различных организаций и предприятий

Для научных работников, преподавателей, аспирантов, специалистов

У збірнику представлені теоретичні та практичні результати наукових досліджень та розробок, що виконані викладачами вищої школи, аспірантами, науковими співробітниками, спеціалістами різних організацій та підприємств Для наукових співробітників, викладачів, аспірантів, спеціалістів

Друкується за рішенням Вченої ради НТУ „ХПІ”, Протокол № 11 від 30.10.2009

Національний технічний університет „ХПІ” 2009

ПЕРЕДМОВА
ПРО ІСТОРІЮ ДІЯЛЬНОСТІ КАФЕДРИ
ОБРОБКИ МЕТАЛІВ ТИСКОМ

Кафедра заснована у 1929 році. Кафедра готує бакалаврів, спеціалістів, та магістрів зі спеціальності 8.090206 – Технологія і обладнання для обробки металів тиском.

Обробка металів тиском (ОМТ) – це один з видів виготовлення деталей, який забезпечує матеріало- та енергозбереження. В усіх промислово розвинених державах ОМТ посідає одне з основних місць для виготовлення складних відповідальних деталей. Сьогодні ОМТ використовують для виготовлення найрізноманітніших деталей. Без ОМТ неможливо виготовлення літаків, танків, різноманітної зброї та набоїв, супутників та космічних станцій, комбайнів та тракторів, автомобілів та тролейбусів, тепловозів та вагонів, газових плит та холодильників, телевізорів, електронних обчислювальних машин, годинників, різноманітних ручок та механічних олівців, канцелярських скріпок та кнопок, багато-багато чого іншого. Рівень технології ОМТ безпосередньо впливає на рівень економіки держави. Це визначається наступним.

По-перше, технологічні процеси ОМТ дозволяють значно підвищити міцність деталей, особливо циклічну. Саме тому такі важко навантажені і відповідальні деталі як лопатки парових та газових турбін, толоки, гонки, корбові вали та клапани двигунів внутрішнього згоряння, ресори та пружини транспортних засобів, колісні пари вагонів та локомотивів, зубчасті колеса та вали редукторів, кулькові та роликові вальниці, багато інших деталей виготовляють виключно методами обробки металів тиском. Саме технологічні процеси ОМТ дозволяють отримати наноструктури і забезпечити якісні зміни властивостей матеріалів, застосувати нанотехнології.

По-друге, технологічні процеси ОМТ дозволяють отримати високі коефіцієнти використання металу, аж до 95...99%. Наприклад, виготовлення такої поширеної деталі, як прогонич, методами різання (з утворенням стружки) характеризується коефіцієнтом використання металу лише до 35%, в той час, як виготовлення того ж прогонича методами пластичної деформації (ОМТ) на холодновисаджувальному комбайні дозволяє підвищити коефіцієнт використання металу аж до 98%.

По-третє, технологічні процеси ОМТ характеризуються надзвичайно високою продуктивністю праці. Наприклад, виготовлення прогонича М12 на холодновисаджувальному комбайні дозволяє отримати до 120 деталей за одну хвилину. Це не йде ні в яке порівняння з виготовленням деталей будь-яким іншим способом.

На початку 20-х років у рамках кафедри «Паровозостроение» професор П.М.МУХАЧОВ почав щорічно випускати по 2...3 фахівця з ОМТ. Це було пов'язане з тим, що наукові інтереси Петра Матвійовича стосувалися не тільки паровозів, він був також знаним фахівцем в галузі обладнання для ОМТ, а його праці "Молоты и ковочные прессы" та "Прокатные станы" не втрачали актуальності багато десятиліть.

Кафедру обробки металів тиском як самостійний підрозділ заснував 1929 року її перший завідувач кандидат технічних наук доцент ФЕЛЬДМАН Ілля Йосипович (рис. 1). В СРСР він був одним із провідних спеціалістів в галузі проектування пароповітряних молотів. Разом з І.З. Табачниковим та М.А. Димшицем він видав фундаментальну монографію «Модернизация кузнечно-прессового оборудования». На Харківському турбінному заводі виконав модернізацію кувального молота, що забезпечило можливість обробляти на ньому леговані сталі та заощаджувати теплову

енергію. Він доклав багато сил до виховання багаточисельних інженерів-іноземців, особливо з Китаю, Німеччини, В'єтнаму. Підготував двох кандидатів технічних наук: С.М. Хмару та В.П. Смолянінова, які згодом стали завідувачами кафедри.



Рис. 1 - Фельдман І. Й.

За часів його завідування кафедра готувала спеціалістів з трьох спеціальностей: «Обробка металів тиском», «Механічне обладнання металургійних заводів», «Прокатне виробництво».

Склад кафедри в той час був достатньо різноманітним. Напрямок обробки металів тиском представляли доценти І.Й. Фельдман, Д.Л.Ходоско, О.М. Хмара, Л.І. Живов, ас. В.О. Євстратов; напрям механічного обладнання – доцент М.В. Римкевич, ст. викл. К.В. Левченко, ас. О.А.Коломойцев; напрям прокатного виробництва – доценти І.С. Дубко, Л.Г. Костін, ас. А.С. Шухов.

Ілля Йосипович незмінно очолював кафедру до 1961 року.

Після І.Й. Фельдмана кафедрою завідував кандидат технічних наук доцент ХМАРА Самуїл Мойсейович (1961...1974) (рис. 2). Він створював ХТЗ. Їздив у відрядження до Америки, де закуповував нові види технології гарячого штампування і обладнання для ХТЗ. У довоєнний час працював заступником начальника ковальського цеху ХТЗ. Під час війни працював начальником ковальського цеху Барнаульського машинобудівного заводу. За значні досягнення у виготовленні найкращих у світі танків Т-34 був нагороджений Орденом Трудового Червоного Прапора. С.М.Хмара створив першу і єдину в Україні галузеву лабораторію Міністерства верстатостроительної промисловості "Твердосплавні штампи". Разом із колегами кафедри К.С. Герасименком, В.П. Смоляніновим, В.І.Рудем та працівниками харківських заводів С.М. Хмара видав дві монографії з конструювання та використання у виробництві твердосплавних штамів, основні робочі деталі яких виготовляли з твердих сплавів ВК8, ВК15, ВК20. Це забезпечувало підвищення стійкості штамів у сотні разів. Результати цих робіт були запроваджені в першу чергу на харківських заводах: ХЕМЗ, ХЕЛЗ, Електроважмаш, 8ГПЗ, Технологічної оснастки, Штамів та пресформ тощо. Накопичення нових наукових знань та практичного досвіду дали можливість підвищити рівень навчального процесу та розширити тематику науково-дослідних робіт, залучити до науково-дослідної роботи (з оплатою!) кращих студентів кафедри, які навчались на різних курсах.



Рис. 2 – Хмара С. М.

Саме в цей час (за завідування С.М. Хмари) на кафедрі відбулася зміна поколінь: старші за віком викладачі, які пройшли нелегкий воєнний шлях, мали значний виробничий досвід, стали доцентами, перейшли на іншу роботу або вийшли на пенсію. Натомість прийшли молоді здібні викладачі – повоєнні випускники кафедри ОМТ, які проявили схильність до наукової та викладацької роботи (О.А. Коломойцев, В.О. Євстратов, Г.І. Кирилов, В.І. Рудь, В.Я. Даниленко). С.М. Хмара підготував шістьох кандидатів технічних наук.

Під безпосереднім керівництвом С.М. Хмари на кафедрі була створена конструкторсько-технологічна група, яку очолювала старший науковий співробітник Н.В. Бобкова. До складу групи входили ст. наукові співробітники К.С. Герасименко, та С.І Спірна, інженери О.І. Солдатенков та Є.І. Токарчук, робітник вищої кваліфікації І.В. Дробот. Ця група проводила дослідження, проектувала високостійкі твердосплавні штампи, виготовляла твердосплавні робочі деталі, запроваджувала ці штампи у виробництво. Це був дуже важливий крок в удосконаленні конструкцій штамсів та підвищенні їх стійкості у десятки та сотні разів.

За часів завідування С.М. Хмари кафедра почала готувати спеціалістів лише з однієї спеціальності: «Обробка металів тиском», але по дві групи. Підготовка спеціалістів інших спеціальностей була передана до Дніпропетровського металургійного інституту.

На протязі майже 10 років (1974-1985) завідував кафедрою кандидат технічних наук доцент СМОЛЯНІНОВ Володимир Порфирійович (рис. 3). Він був чудовим організатором і методистом. Це були роки, коли у навчальний процес вузів запроваджувались методи програмованого навчання. Володимир Порфирійович був ентузіастом цієї справи и багато зробив для програмованого контролю як на кафедрі, так і в ХПІ. В Університеті він очолював методичну комісію НТУ з контролю якості навчання, зробив у цю справу значний внесок. За його ініціативи на кафедрі усіма викладачами були створені картки для швидкого опитування студентів. Ці картки дозволяли з'ясувати, наскільки глибоко студенти засвоїли попередній матеріал. Такі швидкі опитування дисциплінували студентів, забезпечували високу явку на лекції. Володимир Порфирійович багато сил докладав підготуванню кадрів вищої кваліфікації. Він підготував трьох кандидатів наук, на протязі 5 років був ученим секретарем спеціалізованої ради по захисту кандидатських дисертацій.



Рис. 3 – Смолянінов В. П.

Під час завідування кафедрою В.П.Смолянінова дуже важливу роль у запровадженні програмованого контролю відіграв старший викладач кафедри ЛЕВЧЕНКО Костянтин Володимирович. Він викладав кілька дисциплін, в тому числі й обладнання для оброблення металів тиском. На протязі багатьох років він фактично був неформальним лідером кафедри. Треба зазначити, що К.В. Левченко був вихователем за покликанням: він виховував не тільки студентів, але й молодих викладачів, зокрема О.А. Коломойцева, В.О. Євстратова, Г.І. Кирилова, В.І. Рудя та інших. Він був висококваліфікованим знавцем усіх видів обладнання. Завдяки цьому його запросили рецензувати підручник Л.І. Живова та А.Г. Овчинникова (Москва) з обладнання ковальсько-штампувальних цехів. К.В. Левченко був не тільки теоретиком, він мав також глибокі практичні знання. Завдяки цьому він одноосібно сконструював діючий штампувальний молот (єдиний в усьому колишньому Радянському Союзі!), який був виготовлений силами колективу галузевої лабораторії кафедри (під керівництвом і наглядом К.В. Левченка) на якому ще й дотепер студенти виконують лабораторні роботи з обладнання та технології об'ємного штампування.

На протязі 20 років (1985...2005) кафедру очолював доктор технічних наук професор ЄВСТРАТОВ Віталій Олексійович, дійсний член Української академії наук за напрямком машинобудування (рис. 4). На посаді заступника голови методичної ради університету він плідно працював в галузі змісту вищої технічної освіти. За його безпосередньої участі в ХІІ було створено п'ять поколінь навчальних планів з ОМТ та два покоління навчальних планів усіх машинобудівних спеціальностей. Він підготував 5 стандартів вузу, прийняв участь у розробленні концепції перебудови університетської освіти, розробив концепції фундаментальної та комп'ютерної підготовки, програму навчально-виховної роботи в університеті; створив нову структуру, призначену для підвищення рівня навчально-виховної роботи – «Навчально-методичне об'єднання спеціальності». Багато уваги приділяв підготовці наукових кадрів: був членом трьох спеціалізованих докторських рад (в ХІІ, ХАІ та ДДМА – Краматорськ), членом експертної ради ВАК України. Систематично виступав як офіційний опонент по кандидатських та докторських дисертаціях. Багато часу і уваги приділяв підготовці наукових кадрів: підготував 21 кандидата технічних наук. Зараз кафедра ОМТ майже цілком складається з його колишніх учнів-аспірантів.



Рис. 4 – Євстратов В. О.

Наукову, навчально-методичну і виховну роботу проф. В.О. Євстратов присвятив головній справі вищої школи – формуванню нашої національно свідомої інтелігенції. Завдяки цьому його ім'я внесено до Харківського біографічного словника «Выдающиеся педагоги высшей школы г.Харькова: Биографический словарь». Він володіє трьома мовами й залучає студентів до багатомовності, навчаючи їх українською, російською та англійською мовами.

Проф. В.О.Євстратов як відомий учений і педагог був неодноразово запрошений до закордонних університетів та наукових інститутів. Перебуваючи в 1994 році в Канаді, він приймав участь в широкомасштабній програмі "Project of Industrial Cooperation between Canada and Ukraine", яка виконувалась у двох провідних університетах в Торонто та Гамілтоні.

За значний внесок у науково-дослідну, методичну та навчально-виховну роботу проф. В.О. Євстратов нагороджений Орденом Дружби Народів, Почесною Грамотою Президії Верховної Ради України. Він обраний почесним професором Донецької державної машинобудівної академії (Краматорськ).

За часів завідування кафедрою В.О. Євстратова на кафедрі був створений потужний обчислювальний центр з виходом на Інтернет. У його створення значний внесок вклали також доценти ЧЕГРИНЕЦЬ Олег Олексійович та ТОРЯНИК Василь Володимирович. Вони вперше на кафедрі захистили кандидатські дисертації, теоретичні частини яких були засновані на використанні оригінальних програмних продуктах, які розробили самостійно.

З 2005 року завідує кафедрою кандидат технічних наук, виконуючий обов'язки професора ПЛЄСНЕЦОВ Юрій Олександрович (рис. 5). Він є провідним спеціалістом у галузі виробництва гнутих профілів. Видав монографію, що присвячена дослідженню та виробництву гнутих профілів. Як науковий керівник виконав та впровадив у виробництво більш ніж 20 науково-дослідних робіт за програмами державного комітету з науково-технічного розвитку із загальним економічним ефектом понад 15 млн. крб., що дозволило впровадити у виробництво більш як 20 видів складних гнутих профілів на багатьох заводах колишнього Радянського Союзу, зокрема на «Запоріжсталі» та Магнітогорському металургійному комбінаті. На кафедрі він започаткував читання такої важливої дисципліни, як «Сертифікація продукції у ковальсько-штампувальному виробництві».



Рис. 5 – Плеснецов Ю. О.

У різні роки на кафедрі працювали знані вчені й педагоги, керівники виробництва високого рівня.

Доктор технічних наук професор ЖИВОВ Лев Іванович (1953...1964) – автор трьох підручників з ковальського обладнання (рис. 6). Він був випускником МВТУ ім. Баумана, знаним у СРСР теоретиком. Традиції теоретичних підходів до досліджень він заклав у наукові дослідження кафедри ОМТ ХПІ, зокрема він залишив по собі методику побудови полів швидкостей та сіток ліній ковзання. Після від'їзду з Харкова він очолював кафедри ОМТ у Запорізькому й Московському машинобудівельному інститутах.



Рис. 6 – Живов Л. І.

Доктор технічних наук професор КОСТІН Леонід Григорович (1953...1966) – автор довідника з ОМТ (рис. 7). Він був випускником Томського політехнічного інституту, багато і плідно працював в галузі досліджень особливостей формозміни та застосування координатних сіток. Згодом завідувач кафедри ОМТ УЗПІ, а потім і проректор з наукової роботи цього навчального закладу.



Рис. 7 – Костін Л. Г.

Доцент ХОДОСКО Дмитро Лукич (1946...1961) – випускник кафедри ОМТ ХПІ, будівничий, а потім і перший начальник ковальського цеху ХТЗ (рис. 8). У період війни начальник ковальського цеху ЧТЗ, потім ковальського цеху заводу ім. Малишева. За виготовлення у великих кількостях найкращих танків Другої світової війни Т-34 був нагороджений Орденом Леніна. Завдяки його високому професіоналізму у 1944 році було виготовлено багато понадпланових танків. Це послугувало базою для виграшу Курської битви. У повоєнні роки Д.Л. Ходоско плідно працював доцентом кафедри, а також деканом механіко-металургійного факультету. Був блискучим лектором, дуже вміло передавав свій надзвичайно багатий виробничий досвід своїм учням. Він накопичив величезний обсяг статистичних даних з технології гарячого штампування, зокрема, витрат інструментальних сталей для виготовлення штампів, з якими радо ділився зі студентами.



Рис. 8 – Ходоско Д. Л.

Доктор технічних наук професор ЛОБАНОВ Віктор Костянтинович (1977 по сьогодні) – випускник кафедри ОМТ ХПІ, заступник начальника Центральної заводської лабораторії заводу ім. Малишева, заслужений винахідник СРСР, Лауреат Державної премії України, Академік Української академії наук (рис. 9). Він започатковував новий в СРСР спосіб виготовлення покованок без штампувальних нахилів. За цією темою 1986 р. у Ленінграді захистив докторську дисертацію. Впровадив у виробництво багато технологічних процесів штампування з наступним обтиском штампувальних нахилів.



Рис. 9 – Лобанів В. К.

Доктор технічних наук професор ТРИШЕВСЬКИЙ (2003 по сьогодні) – випускник кафедри ОМТ ХП, провідний спеціаліст в галузі виробництва гнутих профілів (рис. 10). Він є співавтором монографії з профілювання стрічкових матеріалів.



Рис. 10 – Тришевський О. І.

Кандидат технічних наук професор БОСІН Євген Євгенович (1983...2007) – випускник кафедри ОМТ ХП, директор ХНТК, Академік Української академії наук (рис. 11). Багато енергії вклав у створення філіалу кафедри на заводі ім. Малишева. Був ініціатором кадрового супроводження науково-дослідних робіт, які виконувала кафедра для ХНТК.



Рис. 11 – Босін Є. Є.

Зараз на кафедрі працюють три професора, доктора технічних наук, (з яких два – академіки Української академії наук), п'ять доцентів, кандидатів технічних наук, викладач-стажист, навчаються три аспіранти.

Кафедра має солідну матеріальну базу, загальною площею 554 кв. метрів, у тому числі сучасний обчислювальний центр, який має вихід на Internet.

Кафедра забезпечує читання більш як 50 дисциплін, у числі яких:

- Теорія пластичної деформації;
- Теорія технічних систем;
- Технологія об'ємного штампування;
- Технологія **листового** штампування;
- **Обладнання** ковальських і листоштампувальних цехів;
- Автоматизація й механізація технологічних процесів ОМТ;
- Системи автоматизованого проектування;
- Математичне моделювання й оптимізація в ОМТ тощо.

Кафедра **готує фахівців** широкого профілю в галузі технології оброблення металів тиском, проектування штампів та технологічного оснащення для ОМТ, конструювання та експлуатації обладнання для будь-яких галузей народного господарства: верстатобудування, електроніки та електротехніки, хімічної та медичної промисловості, виробництва товарів народного споживання й інших галузей у рамках спеціальності 7.090206 – обладнання для обробки металів тиском, у тому числі за спеціалізаціями: 1) Машини і технологія обробки металів тиском; 2) Системи автоматизованого проектування в ОМТ.

У цей час кафедра випускає по дві групи фахівців у кількості до 40 чоловік за денною формою навчання. Крім того, кафедра готує групу студентів заочного навчання. При кафедрі є аспірантура й докторантура.

Кафедра в особі завідувача проф. В.О. Євстратова та усього викладацького складу запровадила на факультеті нові технології навчання у вигляді навчально-методичного об'єднання спеціальності (НаМОС). Ця структура покликана створити науково обґрунтований стандарт освіти, сформулювати так звані «ядро знань спеціальності» та «ядро знань кожної дисципліни», визначення її місця у всьому циклі навчання студента. Одне з важливих завдань НаМОС – зниження міждисциплінарних бар'єрів, забезпечення запитаності загальних дисциплін, введення предметної області «Обладнання для оброблення металів тиском» до тематики лекцій, практичних та лабораторних занять, домашніх завдань, курсових робіт та проектів з наукових та загально інженерних дисциплін. Крім того, передбачається створення навчально-методичних комплексів (підручник – задачник – лабораторний практикум – методичні вказівки до самостійної роботи) а також навчально-методичної літератури зі спеціальних дисциплін. З дисципліни «Теорія оброблення металів тиском» такий комплекс у складі підручник, задачник та методичні посібники вже створений (автори – проф. В.О. Євстратов та доц. В.М. Левченко). Крім того, видано навчально-методичний посібник з дисципліни «Листове штампування» (автор – доц. О.А. Юрченко), підготовані до друку навчальні посібники з дисциплін «Підвищення стійкості штампів», «Теорія технічних систем» (автор – проф. В.О. Євстратов), «Математичні методи в обробленні металів тиском» (автор – доц. В.М. Левченко), «Енергетичний розрахунок корбового обладнання» (автор – завідувач кафедри Ю.О. Плєснецов), готується лабораторний практикум з дисципліни «Теорія пластичної деформації». В рамках НаМОСу заплановано створення системи критеріально орієнтованих тестів для оцінювання рівня шкільної підготовки студентів 1 курсу та рівня так званих «залишкових знань» студентів після кожного курсу навчання, а також розробка

запитань та завдань для Державного іспиту зі спеціальності. Для цього на кафедрі створюється спеціальна програма контролю, орієнтована на ЕОМ. Тут треба зазначити, що складання оригінальних програмних продуктів здійснюють системний програміст Я.В. Кутецький, а також студенти старших курсів спеціальності ОМТ. Важлива складова діяльності НаМОСу – формулювання мети, тактики та стратегії виховної роботи, розвиток ідей «Резонансного виховання» та «Педагогічного проектування», реалізація принципу «Культура виховується культурою», а також створення атмосфери «педагогіки співпраці» з високим потенціалом культури професійного мислення й діяльності (культури мови, логічних міркувань, обчислень, роботи на комп'ютері, оформлення звітів та пояснювальних записок, користування літературою, довідково-інформаційними матеріалами, в тому числі й Інтернетом, тощо).

У числі випускників кафедри багато директорів підприємств (Ю.І. Бать, А.С. Шухов, А.Н. Марченко, Є.Є. Босін, В.Я. Даниленко, О.А. Чегринець, Д.В. Сталінський і ін.). Є знані науковці, лауреати Державних премій, підприємці, працівники космічного й військового відомства (В.К. Лобанов, В.М. Пилипенко, Г.В. Коган). Багато випускників кафедри працюють за кордоном на високих посадах (І.А. Нікітін, Ву-зуй Тхоай, В. Костов та інші).

У науково-дослідній діяльності кафедри можна виділити чотири періоди.

Перший період був пов'язаний з пошуком і становленням НДР на кафедрі. Він тривав з 1929 по 1959 рік. У цей період під керівництвом першого завідувача кафедрою доц. І.Й. Фельдмана на кафедрі виконувалися роботи з різних напрямків ОМТ: дослідження технологічних процесів кування й штампування, вальцювання й пресування, а також нагрівання заготовок; дослідження й удосконалювання конструкцій пароповітряних штампувальних молотів, пресів, нагрівальних пристроїв і ін. У роботі з кожного напрямку брало участь не більше двох фахівців. Тому ефективність робіт була відносно невисокою.

З 1959 року почався другий, принципово новий період. І.Й. Фельдман пересвідчився у тому, що для досягнення суттєвих результатів треба створювати потужні науково-технічні колективи. Саме в цей час у промисловості СРСР усе гостріше стала відчуватись криза, пов'язана зі стійкістю штамів. Тоді доц. С.М. Хмара організував при кафедрі потужну галузеву науково-дослідну лабораторію Міністерства верстатобудівної промисловості "Твердосплавні штампи" (НДЛ ТШ) і став її науковим керівником. НДЛ ТШ була єдиною лабораторією такого роду в Україні. У ній на держбюджетному й господарсько-договірному фінансуванні працювало до 50 штатних наукових і інженерно-технічних співробітників, робітників високої кваліфікації, сумісників-викладачів, студентів старших курсів (рис. 12). Викладання спеціальних курсів вели 8 викладачів (рис. 13), які передавали студентам знання з перших рук. У НДЛ ТШ було забезпечене виконання повного циклу науково-дослідних робіт (рис. 14), дослідно-конструкторських робіт, виготовлення дослідних зразків твердосплавних штамів, проведення їх стійкісних випробувань, широке впровадження у різні галузі виробництва. Це дозволило розробити нові конструкції високостійких твердосплавних штамів і впровадити їх на десятках заводів Харкова, Мінська, Таллінна, Вільнюса, Риги, Горького й багатьох інших міст, де було зосереджено масове виробництво інструмента, машинобудівних і електротехнічних виробів. Ці роботи мали велике значення у підвищенні рівня викладання спеціальних дисциплін. По-перше, для проведення науково-дослідної роботи кафедра отримувала значні кошти. Це дозволило придбати та ввести в дію багато нового обладнання, на якому проводили лабораторні заняття (рис. 15). За результатами НДР і ДКР було опубліковано 2 монографії, більш як 50 статей. С.М. Хмара став засновником потужної наукової школи. Під його

керівництвом у цьому напрямі захистили дисертації доц. О.А. Коломойцев, доц. В.І. Рудь, ст.н.с. Н.В. Бобкова; успішно працювали доц. В.П. Смолянинов, ст.н.с. С.І. Спірина, ст.н.с. К.С. Герасименко, ст.н.с. А.І. Конєв і інші.



Склад інженерно-технічної частини лабораторії НДЛ ТШ



Рис. 13 – Склад викладачів кафедри ОМТ у 60-роки



Рис. 14 – Старший викладач кафедри О.А. Коломойцев та інженер П.Полуектов досліджують навантаження на твердосплавний штамп для виготовлення ротор-статорів електричних двигунів

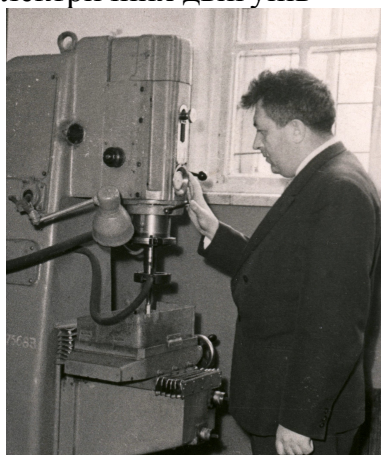


Рис. 15 - Старший викладач кафедри О.А. Коломойцев налагоджує електроерозійний верстат, призначений для виготовлення отворів у твердосплавних деталях

За результатами цієї роботи було видано дві монографії.

1. Хмара С.М., Смолянінов В.П., Герасименко К.С. Твердосплавные штампы. – Харьков: Прапор, 1971;

2. Хмара С.М., Коломойцев А.А., Рудь В.І. Конструирование твердосплавных штампов. – Харьков, Прапор, 1975.

Цей напрямок успішно розвивався аж до 1988 року, коли масштаби виробництва в СРСР різко зменшилися, і проблема стійкості перестала бути актуальною.

У 1964 році почався третій період. В цей час майже одночасно на трьох харківських заводах "Поршень", "Серп і молот" і "Велозавод" велися безуспішні спроби впровадження нового по тих часах процесу холодного видавлювання толокових пальців, штовхачів клапана й складних деталей велосипеда. Процес холодного видавлювання має багато незаперечних переваг (майже безвідхідне й високопродуктивне, повністю автоматизоване виробництво), але також один суттєвий недолік – вимагає комплексного рішення задачі проектування системи процес – штамп – обладнання. Якщо недотримуватися комплексного рішення, то можна отримати низьку стійкість інструмента, яка обумовлена надвисокими навантаженнями на пуансони та матриці. З ініціативи завідувача кафедрою С.М. Хмари на кафедрі під керівництвом доц. В.О. Євстратова була утворена група викладачів і наукових співробітників, що почали розвивати новий напрям «Розроблення технологічних

процесів холодного видавлювання та конструювання високостійких штампів». Концентрація наукових сил і залучення до НДР на госпдоговірній основі працівників інших кафедр ХПІ (зокрема кафедр опору матеріалів та математики) дозволили виконати кілька фундаментальних піонерських науково-дослідних робіт у цьому напрямку, здобути авторитет у масштабах усього колишнього Радянського Союзу. При кафедрі була утворена галузева лабораторія Міністерства верстатостроительної промисловості НДЛ ХВ, що стала науковим центром з видавлювання, а Харків став центром проведення всесоюзних науково-технічних конференцій. На базі НДЛ ХВ ХПІ у 1972 р. була створена Всесоюзна науково-технічна секція НТО МАШПРОМ «Холодне й напівгаряче видавлювання», а її керівником було обрано доц. В.О. Євстратов. Саме в НДЛ ХВ уперше в СРСР було системно вирішені проблеми стійкості штампів для видавлювання. Були створені принципово нові процеси видавлювання (наприклад, деталей типу накидних гайок з різьбленням), конструкції високостійких штампів для їхньої реалізації. Вони були впроваджені на десятках заводів Харкова, Таллінна, Казані, Вільнюса, Шахт, Каменськ-Уральська й багатьох інших міст, де було зосереджено масове виробництво дуже складних виробів інструментальної, автотракторної й електронної промисловості.

За результатами НДР і ДКР у цьому напрямку було опубліковано 5 монографій, більше 80 статей, отримано більш як 50 авторських свідоцтв. В.О. Євстратов 1988 р. у МВТУ ім. Баумана (Москва) захистив докторську дисертацію й став засновником наукової школи з видавлювання. Під його керівництвом 21 аспірант захистив кандидатські дисертації й успішно працює на кафедрі та промислових підприємствах. В їхньому числі доценти Г.І. Кирилов, В.Я. Даниленко, Г.І. Афанасьєва, В.І. Єремін, В.І. Кузьменко, Х.Д. Огбонна, О.О. Чегринєць, В.В. Торяник, С.Д. Нестеров, О.А. Юрченко, В.М. Левченко та інші.

Роботи у цьому напрямку неодноразово демонструвались на ВДНХ СРСР та були удостоєні золотої та бронзової медалі (рис. 16). Завідувач кафедри ОМТ проф. В.О. Євстратов широко пропагував новий прогресивний метод виготовлення деталей холодним видавлюванням. Він виступав на телебаченні (рис. 17), публікував чисельні статті у харківських та центральних газетах, про роботи у цьому напрямі кілька разів писала газета ХПІ «Політехнік».



Рис. 16 – Доц. В.О. Євстратов та кандидат технічних наук В.Я. Даниленко на ВДНХ СРСР разом із своїми експонатами деталей, що виготовлені холодним видавлюванням

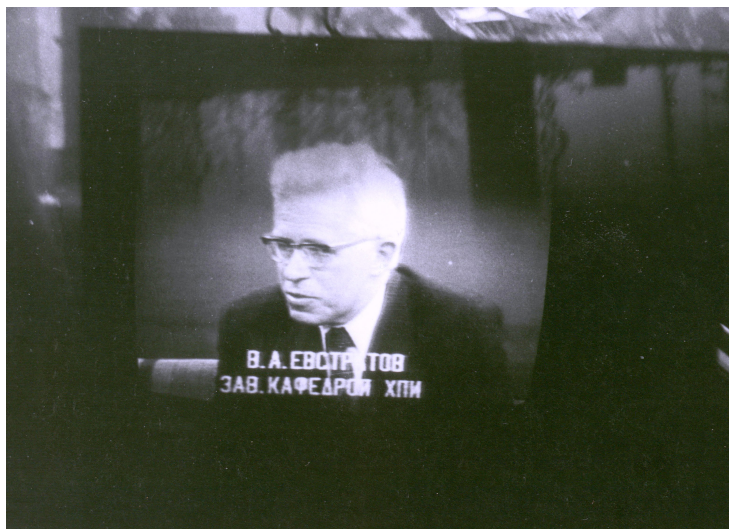


Рис. 17 – Завідувач кафедри ОМТ проф. В.О. Євстратов виступає по харківському телебаченню

За результатами цієї роботи було видано п'ять монографій:

1. Холодная и полугорячая штамповка на пресах: Методические рекомендации / Евстратов В.А., Иванов О.М., Кузьменко В.И. и др. – Москва: НИИ, 1981.
2. Расчет и совершенствование конструкций штампов для холодного выдавливания / О.А.Ганаго, В.А.Евстратов, Т.Л.Евстратова, В.Л.Марченко. – Москва: Машиностроение, 1987.
3. Евстратов В.А. Основы технологии выдавливания и конструирования штампов. – Харьков, Вища школа, 1987.
4. Оптимизация технологических процессов и конструкций штампов для холодного и полугорячего выдавливания / Евстратов В.А. и др. – Москва: ВНИИТЕМП, 1989.
5. Евстратов В.А., Крахт В.Б., Сопилкин Г.В. Теоретические основы малоотходной технологии изготовления резьб. – Старый Оскол, 2000.

Крім того, В.О. Євстратов підготував та видав підручник з теорії оброблення металів тиском, який у 1985 році був удостоєний Золотої медалі ВДНГ СРСР, а також задачник з цієї дисципліни.

На жаль, і цей напрямок успішно розвивався тільки до 1988 року, тобто, до того часу, коли промисловість СРСР почала розвалюватися.

З 1995 року на кафедрі під керівництвом проф. В.О. Євстратова почав розвиватись новий напрям – автоматизоване проектування процесів видавлювання й конструкцій високостійких штамів для видавлювання (САПР-ХВ). По цьому напрямку було виконано 3 кандидатські дисертації, створена одна з перших у ХПІ успішно працюючих версій САПР штамів для ХВ, опубліковано понад 20 статей. Сьогодні цей напрям розвивається, однак у зв'язку з недостатнім фінансуванням темпи розвитку не надто високі.

До 1990 року кафедра підтримувала тісні зв'язки з багатьма заводами й НДІ, здійснювала спільні науково-дослідні та конструкторсько-технологічні розробки з твердосплавних штамів, маловідходних процесів холодного й напівгарячого видавлювання й САПР.

Співпраця з галузевими науково-дослідними організаціями створила передумови широкого запровадження у виробництво розробок кафедри. Зокрема, спільна праця з ХЦКТБ (Харківським центральним конструкторсько-технологічним бюро електронної промисловості) дозволила запровадити у Харкові, Казані, Каменюк-Уральському нові технологічні процеси виготовлення деталей електронної апаратури. Спільна праця з

Київським ВІСП (Всесоюзним інститутом зварювального виробництва) та Харківським ВНИИГидроприводом (Всесоюзним науково-дослідним інститутом гідравлічних приводів) створила можливість запровадити у Харкові, в Шахтах (Ростовська обл.), Вільнюсі, принципово нові технологічні процеси та штампи для видавлювання деталей верстатів з ЧПУ, біметалевих толоків та підп'ятників гідромашин. Спільна праця з ХЦКБ велобудування послугувала основою для запровадження на Харківському велозаводі нових конструкцій деталей велосипеда та високостійких штамів-автоматів. Співпраця з Харківським СКТБтехоснастки (Спеціальним конструкторсько-технологічним бюро технологічного оснащення Мінвератотопрому) дозволила запровадити на двох харківських інструментальних заводах нових технологічних процесів видавлювання, конструкцій штамів та пристроїв для обладнання. Усі згадані розробки захищені майже 50 авторськими свідоцтвами.

Така широка співпраця з галузевими науково-дослідними організаціями та чисельними підприємствами дозволила накопичити нові знання з технології, конструювання штамів, проектування спеціалізованого обладнання для ОМТ, а це дало можливість значно поліпшити навчальний процес та науково-дослідну роботу студентів.

На превеликий жаль, зараз заготівельне виробництво в Україні практично зупинилося. В останні роки зв'язкам з виробництвом сприяла лише філія кафедри, яка була організована у 1988 році на базі Харківського науково-технологічного комплексу (ХНТК) при заводі ім. Малишева. Тут студенти старших курсів проходили практику, проводили лабораторні заняття на сучасному унікальному заводському обладнанні, виконували реальні дипломні проекти з використанням ЕОМ. На базі філії кафедри та ХНТК проходили стажування викладачі кафедри. Керував філією кафедри директор ХНТК проф. Є.Є. Босін, академік УАН.

З моменту проголошення незалежності України й до 2002 року кафедра була опорною кафедрою Міністерства освіти і науки, координувала навчально-методичну роботу зі спеціальності 7.090206 у вузах України, розробляла навчальні плани спеціальності, а її завідувач проф. В.О.Євстратов був обраний головою Навчально-методичного об'єднання спеціальності 7.090206 вузів України.

З 2002 року почався четвертий період науково-дослідної діяльності кафедри. Він пов'язаний з виробництвом деталей з листових або стрічкових заготовок – виготовленням гнутих профілів. Цей напрямок започаткований нинішнім завідувачем кафедри, виконуючим обов'язки професора Ю.О. Плєснецовим та доктором технічних наук О.І. Тришевським. Особливість нового технологічного процесу полягає в тому, що він може бути використаний на невеликих підприємствах (підприємствах середнього бізнесу), яких зараз тільки в Харкові налічується майже 10. Ці підприємства виробляють гнуті профілі, які використовують для виготовлення підсилювачів вікон, дверей, різноманітних переділів, підвісних стель, сайдингових облицювальних покриттів, трубчастих профілів різних форм тощо.

За цим напрямком опубліковано монографію:

Плєснецов Ю.А., Крюк А.Г., Тришевский О.И., Юрченко А.А. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения в 10-ти томах. – Том 5. «Обработка металлов методами пластического деформирования». – Одесса: ОНПУ, 2004. – 522с.

Захищена докторська дисертація (О.І. Тришевський). Готуються дві кандидатських дисертації (Т.Л. Коворотний та Д.І. Курандо), одна докторська дисертація (Ю.О. Плєснецов). В аспірантурі навчається один випускник магістратури.

З 1954 року кафедра має тісний зв'язок з Харківським Інститутом металів, який входить до складу державного підприємства «Енергосталь» і який є засновником цього актуального для сьогодення напрямку – виготовлення гнутих профілів. В цій установі працювало майже 40 наших випускників, які досить швидко по закінченні ХПІ обіймали керівні посади.

Кафедра веде навчальний процес по чотирьох підручниках і вісьмох навчальних посібниках, які написали доценти І.Й. Фельдман, С.М. Хмара, В.П. Смолянинов, Г.І. Кирилов, В.І. Рудь, В.І. Кузьменко, О.О. Чегринцев, Ю.О. Плєснецов, професори Л.І. Живов та В.О. Євстратов, а також методичним вказівкам і навчальним посібникам, які підготовані всіма викладачами кафедри.

Підручник В.О.Євстратова «Теория обработки металлов давлением», який у 1985 році був удостоєний Золотої медалі ВДНГ СРСР, зараз перекладений українською мовою та готується до перевидання. У 2007 році українською мовою видано навчальний посібник «Теорія пластичної деформації: збірник задач і вправ» з грифом Міносвіти.

В останні роки на кафедрі підготовані шість навчальних і контролюючих програмних продуктів для ЕОМ, за допомогою яких студент може вивчити відповідні розділи спецкурсів, проконтролювати якість своїх знань і в режимі автоматичного або автоматизованого проектування створити оптимальну конструкцію штампа для видавлювання, муфти або вала кривошипного преса, розробити процес об'ємного або листового штампування, розрахувати оптимальний режим нагрівання заготовки. На кафедрі на базі кафедрального обчислювального центру створено потужну бібліотеку на електронних носіях. Зроблені електронні копії не тільки тих підручників та навчальних посібників, які написані викладачами кафедри, але також широко популярних у середовищі студентів підручників та довідників, наприклад, довідника з листового штампування проф. Романовського В.П.

Кафедра готувала інженерів для багатьох закордонних країн. Більш як 100 випускників-іноземців кафедри працюють як керівники високого рангу в Китаї, В'єтнамі, Кореї, Болгарії, Угорщині, Німеччині, Польщі, Румунії, Чехії, Нігерії, на Кубі. Двоє з випускників кафедри (Ву-Зуй-Тхоай з В'єтнаму й Хамфри Дуружи Огбонна з Нігерії) виконали й захистили на кафедрі кандидатські дисертації.

На кінці 50-х років кафедра підготувала для китайської промисловості близько 100 інженерів з різних напрямів оброблення металів тиском (рис. 18). Дехто з них відвідував Харків. Зокрема, у червні 2001 року в ректораті ХПІ та на кафедрі ОМТ перебували двоє наших високоповажних китайських гостей: Чжоу Цзячи – випускник 1960 року кафедри обробки металів тиском ХПІ, зараз заступник голови комітету науки та техніки Китайської авіаційної корпорації, та Цзоу Цзянфен – його молодший колега, менеджер цієї ж корпорації.



Рис. 18 – Випуск китайських інженерів з оброблення металів тиском 1960 року

Наші гості повідомили про те, що минулого року в Китаї створено асоціацію випускників вузів, які навчались у колишньому СРСР. Ця асоціація видрукувала альбом, де вміщено фотографії, що відображують часи навчання наших китайських друзів у вузах СРСР, зокрема, Харкова. В тому альбомі є фотографія, де наші випускники, у тому числі Чжоу Цзячи, зображені в оточенні своїх однокашників з інших факультетів та ще молодих тоді проректорів, професорів, доцентів: Ф.І.Ахоніна, В.І.Атрощенко, В.М.Маєвського, Г.М.Шепеленка, молодого асистента В.Зубаря та багатьох інших. Альбом подаровано музею НТУ “ХПІ”, відвідання якого викликало у гостей надзвичайно великий інтерес. Директор музею Віра Володимирівна розповіла про історію, видатних учених і педагогів, про наукові досягнення та зв’язки ХПІ з міжнародною спільнотою. Було добре видно, як ця подія схвилювала наших гостей. Чжоу Цзячи у книзі відгуків залишив такий запис: ”Я гордий тим, що навчався у ХПІ ”

Після відвідання музею гості побували на кафедрі ОМТ. Крім викладачів кафедри, на цю зустріч були запрошені співучні Чжоу Цзячи: Є.Є.Босін – директор ХНТК, професор, Дійсний член Української академії наук; В.М.Грушевий – заступник головного технолога заводу “Електроапаратура”; В.К.Лобанов – доктор технічних наук, професор, лауреат Державної премії України, заступник начальника ЦЗЛ ДП “Завод ім. Малишева”, Дійсний член Української академії наук; А.М.Медолазів – доцент кафедри природничих наук підготовчого факультету ХПІ, канд. техн. наук (рис. 19). Було дуже цікаво спостерігати, як Чжоу Цзячи згадував своїх однокашників. Коли він зайшов на кафедру, то кілька секунд пильно дивився на Є.Є.Босіна, а тоді з подивом вимовив: ”Комсорг!?” і кинувся обнімати Євгена (який за часів навчання у ХПІ дійсно був комсоргом групи). Зустріч пройшла в надзвичайно дружній обстановці і плідному спілкуванні, у якому були не тільки спогади, але і перспективи співпраці.



Рис. 19 – Чжоу Цзячи (третій праворуч) в гостях у НТУ ХПІ разом із своїми одногрупниками та завідувачем кафедри проф. В.О.Євстратовим (четвертий праворуч)

На початку 60-х років кафедра підготувала для промисловості Німеччини високо-професійний загін інженерів з обробки металів тиском. Один з них – Андреас Муштер захистив кандидатську дисертацію – і посів посаду начальника відділу з міжнародних зв'язків найбільшого у ДДР підприємства VE Dienstleistung betrieb (рис. 20). Майже усі німецькі випускники ХПІ підтримували зв'язки з кафедрою. На згадку про роки навчання і про те, що їх і дотепер пов'язує дружба, яка була започаткована у ХПІ, вони надіслали нам фотографію вже теперішніх часів (рис. 21).



Рис. 20 – Випускник НТУ ХПІ 1967 року Андреас Муштер демонструє продукцію свого заводу



Рис. 21 – Випускники кафедри ОМТ НТУ ХПІ 60-х років у 2007 році

Викладачі кафедри приймали участь у роботі за кордоном.

Доцент кафедри Г.І. Кирилов два роки керував підготовкою інженерів на Кубі. Доценти В.І.Рудь, В.П.Смолянinov і В.І. Кузьменко проходили стажування в Угорщині, проф. В.О.Євстратов виконував у Канаді спільні дослідження в рамках програми "Project of Industrial cooperation between Canada and Ukraine".

У сучасних ринкових умовах кафедра виживає за рахунок невеликих обсягів держбюджетного фінансування й підготовки контрактних студентів, тому що ні технологічні або конструкторські розробки, ні САПР у цей час заготівельним виробництвом України поки не запитані. Є деякі зрушення у виготовленні гнутих профілів. У 2006...2008 роках кафедра виконала три господарсько-договірних роботи з об'ємом фінансування 22 тис грн.

У 2008 році кафедра запропонувала дві науково-дослідні держбюджетні теми, але вони ще досі не фінансуються.

Зараз кафедра розробила план дослідницько-пошукових робіт, які спрямовані на розроблення технології виготовлення деталей критичного імпорту: алюмінієвих та сталевих гнутих профілів, спеціальних профілів для виготовлення траків, тари для ліків, точних заготовок (зокрема для виготовлення монет). За цією тематикою працюють аспіранти кафедри, готуються наукові доповіді на наукових конференціях, друкуються наукові статті, пишуться підручники та монографії.

Важливо підкреслити, що кафедра обробки металів тиском готує бакалаврів, спеціалістів та магістрів з однієї із найважливіших спеціальностей. Сьогодні усі індустріально розвинені держави широко застосовують методи оброблення металів тиском, бо це є найефективніші методи виготовлення деталей у будь-яких галузях народного господарства.

КУЗНЕЧНО-ШТАМПОВОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ КУЗНЕЧНО-ШТАМПОВОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

УДК 621.7

АЛИЕВА Л.И., канд. техн. наук, ст. преп. каф. ОМД ДГМА, г. Краматорск.

ЖБАНКОВ Я.Г., аспирант каф. ОМД ДГМА, г. Краматорск.

АБХАРИ П., ассистент каф. ОМД ДГМА, г. Краматорск.

РАДИАЛЬНОЕ ВЫДАВЛИВАНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ВЫСОКИХ ФЛАНЦЕВ

Рассмотрены способы выдавливания полых деталей с относительно высоким фланцем. Установлены преимущества радиального выдавливания с подъемной матрицей. Произведено сравнение силовых режимов радиального выдавливания высокого фланца по схеме с подъемной и неподвижной матрицей.

Розглянуто способи видавлювання деталей із відносно високими фланцями. Встановлено переваги радіального видавлювання із рухомою матрицею. Зроблено порівняння силових режимів радіального видавлювання високого фланця за схемами із рухомою та не рухомою матрицями.

The methods of extrusion of hollow parts with relative high flanges are considered. The advantages of radial extrusion with lifting die are established. The comparison of power mode radial extrusion with lifting and fixed dies is made.

Полые изделия типа труба с фланцем весьма распространены в машиностроении. Традиционные способы изготовления подобных деталей на предприятиях машиностроения - это сварка труб и механическая обработка резаньем, основными недостатками которых являются соответственно плохое качество детали за счет появления шва и большие потери металла на стружку.

Также распространенной технологией изготовления полых деталей является листовая штамповка. Принято считать, что этой технологии присуща высокая производительность, точность и качество изделий. Благодаря последовательному или совмещенному сочетанию операций вытяжки, пробивки, протяжки, и др. можно получить детали весьма хорошего качества. Общим недостатком методов листовой штамповки является многооперационность штамповки и нерациональный расход материала. Данное обстоятельство оказывается существенным фактором при изготовлении деталей из цветных металлов и сплавов. Также типоразмеры получаемых листовой штамповкой деталей весьма ограничены.

Технологические процессы холодного выдавливания полых деталей отличаются высокой эффективностью [1-2].

Благоприятная макроструктура металла и высокое качество поверхности детали получают в результате выдавливания. Вместе с этим улучшаются и экономические показатели, за счет снижения расхода металла и трудоемкости изготовления, а в ряде случаев и за счет улучшения эксплуатационных свойств.

Одной из проблем производства деталей типа втулок с фланцем является де-

фектообразование в процессе выдавливания. Так при выдавливании относительно высоких фланцев на трубе возникают такие дефекты как радиальная утяжина [3] и зажим.

Выдавливание высоких фланцев без образования утяжины на внутренней поверхности и зажима возможно по схеме радиального выдавливания с подъемной матрицей.

Целью данной работы является исследование возможности процесса радиального выдавливания с подвижной матрицей.

Исследование проводилось с помощью метода конечных элементов реализованного в программе Q-Form 2D. Моделировали радиальное выдавливание полой заготовки из материала АД1. Коэффициент трения по Леванову задавали равным 0.3, кривая упрочнения материала заготовки задавалась в виде аппроксимированной зависимости $\sigma_s = 131 \cdot e^{0.28}$, модуль Юнга 75000 МПа, коэффициент Пуассона 0.32. Схемы процессов радиального выдавливания высоких фланцев представлены на рис. 1.

Моделировали выдавливание втулки с фланцем с относительными размерами $R_1/R_0 = 1.44$, $R/R_0 = 0.62$ и высотой фланца $h_f/R_0 = 0.6$.

Результаты моделирования в виде полей распределения скорости деформации по сечению заготовки при радиальном выдавливании фланца с неподвижной матрицей представлены на рис. 2.

На рис. 2 представлено поэтапное формоизменение заготовки в процессе радиального выдавливания. Видно, что при радиальном выдавливании высокого фланца на первом этапе начинает образовываться радиальная утяжина (рис. 2 а-в), которая при дальнейшей деформации становится зажимом (рис. 2 г-д).

Зажим на торце детали является концентратором напряжений и при эксплуатации такой детали она быстро выйдет из строя.

По результатам теоретических исследований построен график зависимости усилия выдавливания от хода ползуна пресса. Из графика видно, что при выдавливании фланца усилие растет прямо пропорционально ходу ползуна пресса и достигает 1 МН.

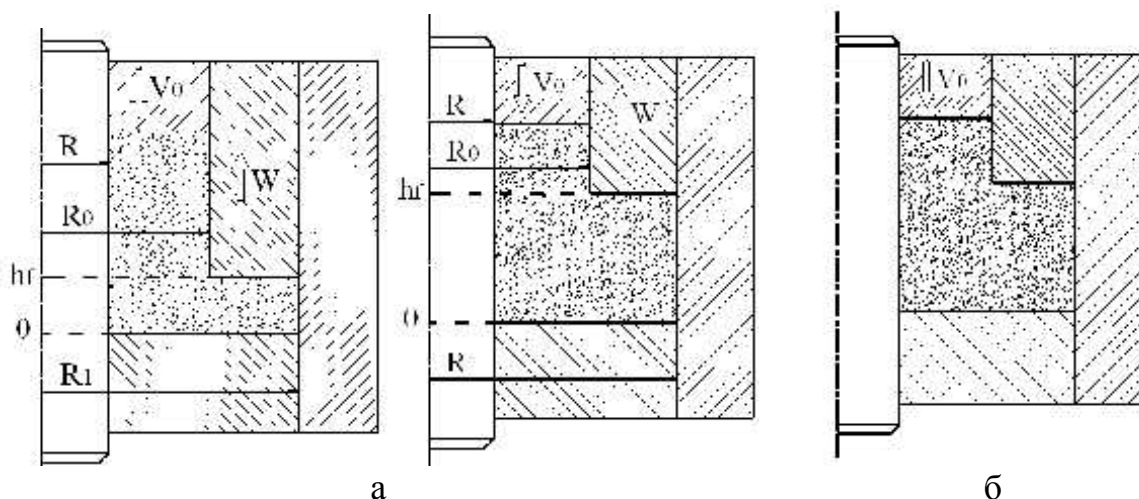


Рис.1. Схемы процессов радиального выдавливания относительно высоких фланцев с подвижной (а) и неподвижной (б) матрицей

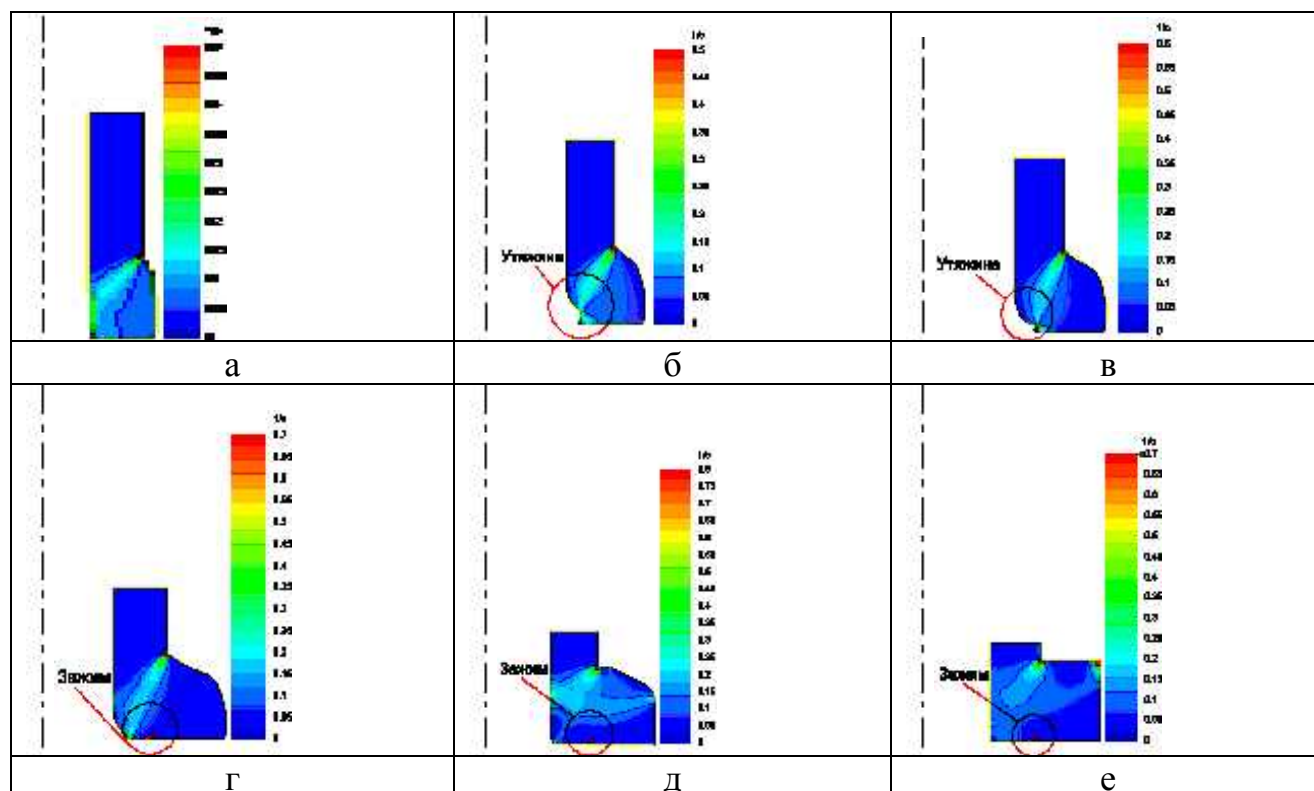


Рис. 2 Поля распределения скорости деформации по меридиональному сечению заготовки в процессе радиального выдавливания

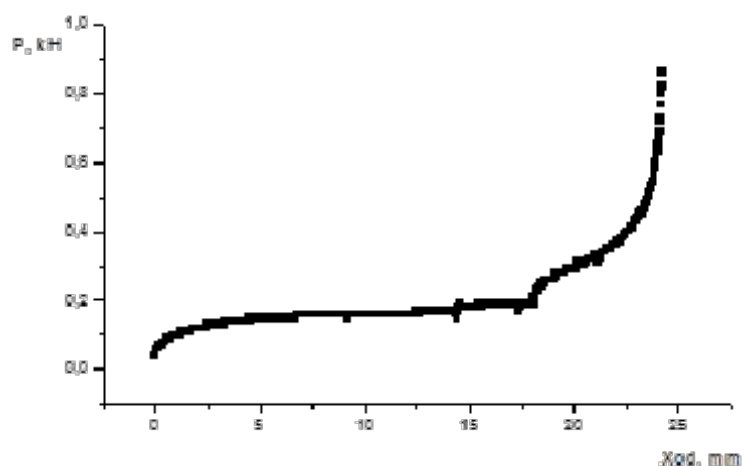


Рис. 3 График зависимости усилия радиального выдавливания по схеме с подвижной матрицей от хода ползуна пресса

Выдавливание фланца по схеме представленной на рис. 1 а происходит в несколько этапов. На первом этапе происходит радиальное выдавливание металла заготовки в полость постоянной высоты (выдавливается низкий фланец рис. 4 а-б). После заполнения данной полости матрица начинает подниматься вверх со скоростью равной $(R_1^2 - R_0^2)/(R_0^2 - R^2)$ от скорости движения деформирующего пуансона.

Из рис. 4 видно, что на определенном этапе радиального выдавливания очаг деформации становится по своей высоте меньше высоты приемной полости под фланец. Деталь, полученная данным способом, не имеет дефектов.

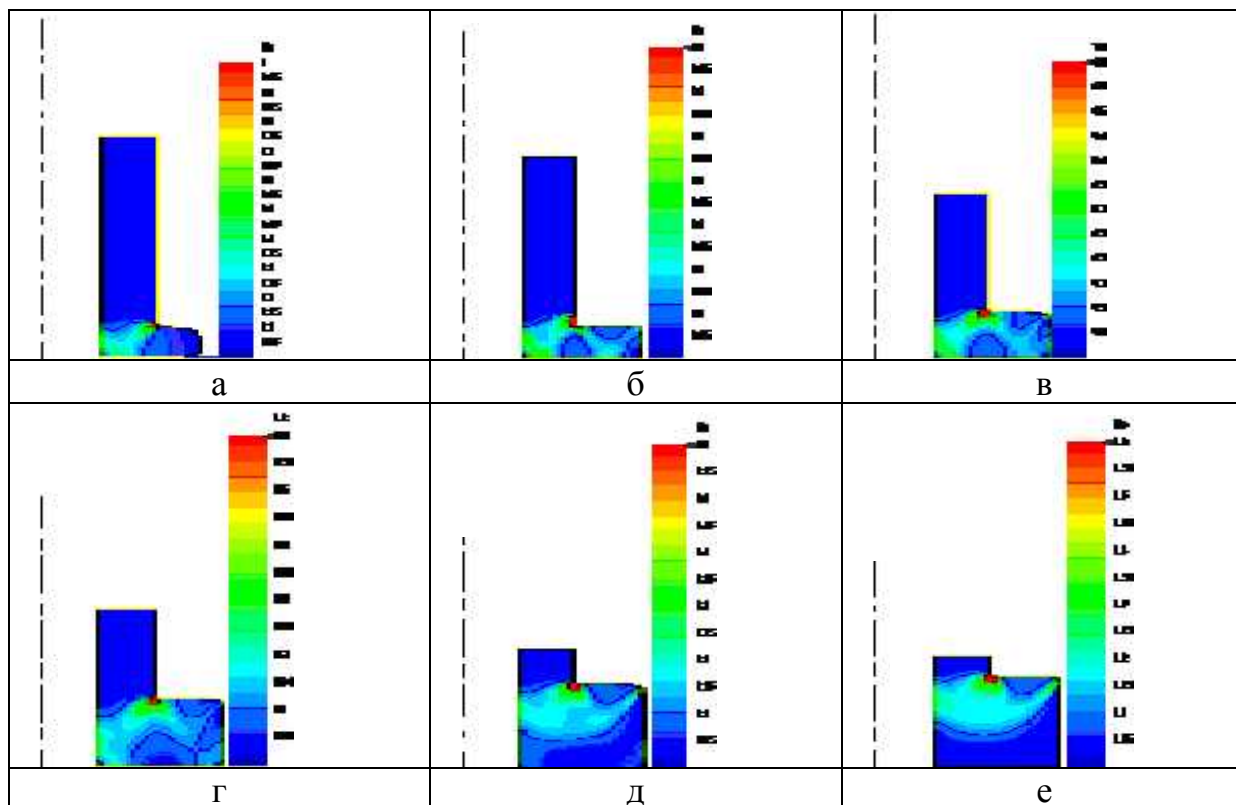


Рис. 4 Поля распределения скорости деформации по меридиональному сечению заготовки в процессе радиального выдавливания с подъемной матрицей

На рис. 5 представлен график зависимости усилия выдавливания от хода ползуна прессы по схеме представленной на рис. 1 а.

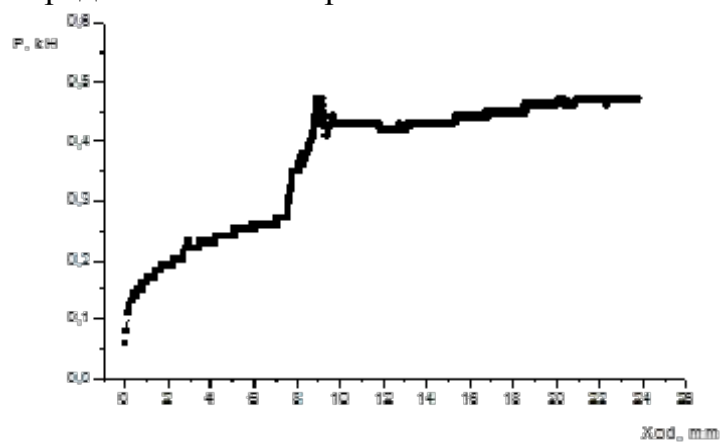


Рис. 5 График зависимости усилия радиального выдавливания по схеме с подвижной матрицей от хода ползуна прессы

Анализ графиков представленных на рис. 3 и рис. 5 позволяет сделать вывод о том, что в процессе радиального выдавливания с подвижной матрицей инструмент является менее нагруженным на последней стадии выдавливания фланца, когда происходит полное заполнение полости штампа в отличие от радиального выдавливания с неподвижной матрицей. Однако по ходу процесса до заключительной стадии усилие выдавливания меньше при реализации схемы с неподвижной матрицей.

Таким образом, при радиальном выдавливании высоких фланцев на заготовке возникают такие дефекты как радиальная утяжина и зажим. Получить деталь с высоким фланцем без утяжины и зажима возможно радиальным выдавливанием с поднимающейся матрицей.

Установлено, что процесс выдавливания по схеме с подвижной матрицей является менее нагруженным на заключительном этапе выдавливания фланца, когда происходит до заполнения полости штампа.

Список литературы: 1. Алиев И.С. Технологические возможности новых способов комбинированного выдавливания. // Кузнечно-штамповочное производство. – 1990.-№2. –С. 7-9. 2. Алиева Л.И., Борисов Р.С. Выдавливание втулок с фланцем // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні. Зб. Наук. Пр. в 2-х ч. Ч.1 – Луганськ: вид-во СНУ ім.В.Даля, 2003.- С. 99-105. 3. Aliev I.S., Zhabankov Y.G. Defectoobrazovanye v processe radialno-priyamoogo vidavlyvaniya na konusnoy opravke // Herald of the DSEA, №1E(6), 2007 - www.nbu.gov.ua/e-journals/VDDMA/2007-2e10/07AISTCF.pdf

УДК 621.73

ГРИНКЕВИЧ В.А., докт. техн. наук, проф., НМетАУ, г. Днепропетровск
КУХАРЬ В.В., канд. техн. наук, НМетАУ, ПГТУ, г. Мариуполь
ДИАМАНТОПУЛО К.К., канд. техн. наук, доц., ПГТУ, г. Мариуполь

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ БЕСШТАМПОВОГО ПРОФИЛИРОВАНИЯ ЗАГОТОВОК НА ПРЕССАХ С ПОВЫШЕНИЕМ ТОЧНОСТИ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ НА ОКОНЧАТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЯХ

Рассмотрены процессы получения профилированных заготовок способами свободного формоизменения без заполнения гравюр предварительных ручьев металлом заготовки. На основании комбинаций вариантов технологий бесштампового профилирования и способов интенсификации формоизменения разработана концепция, включающая методы повышения точности заготовок, в том числе на операциях окончательной штамповки.

Ключевые слова: штамповка, профилирование, заготовка, формоизменение, пресс, компенсатор

Розглянуто процеси одержання профільованих заготовок способами вільної формозміни без заповнення гравюр попередніх рівчаків металом заготовки. На основі комбінацій варіантів технологій бесштампового профілювання та способів інтенсифікації формозміни розроблена концепція, що містить методи підвищення точності заготовок, у тому числі на операціях завершального штампування.

Ключові слова: штампування, профілювання, заготовка, формозміна, прес, компенсатор.

Processes of receiving of a profiled billet by methods of free shape changing without filled in engravings of preliminary streams by a metal of the billet are considered. On the base of combinations of technological variants of billets profiling without die-streams and methods of intensification of the shape changing the conception is worked out with include a methods for rising of billets precision during operation of finished die-forging too.

Key words: die-forging, profiling, billet, shape changing, press, compensator

1. Введение

В расчетах любого технологического процесса штамповки определяют возможность его выполнения на установленном основном цеховом оборудовании, необходимость привлечения кузнечно-штамповочных машин подходящей мощности или установки дополнительного профилирующего оборудования [1]. Задачей подготовительного профилирования перед объемной штамповкой является приближение формы заготовок к конфигурации готового изделия. Это позволяет существенно снизить

отходы металла в облой, повысить стойкость штамповой оснастки, уменьшить усилие на окончательном переходе штамповки (которое, как правило, максимально), повысить равномерность распределения давления по гравюре штампа.

Последовательное формоизменение заготовок в штампах кривошипных прессов связано с рядом ограничений, в частности, с постоянством величины хода кривошипного механизма и с ограниченной шириной штампового пространства. Это лимитирует возможности проведения заготовительных операций, подобных тем, что осуществляют на штамповочных молотах. Учитывая необходимость сохранения гибкости и быстрой переналадки технологической цепочки, использование дополнительного профилирующего оборудования становится нецелесообразным, что требует разрешения определенных технических противоречий, связанных с поиском разновидностей подготовительных формоизменяющих операций, выполнение которых эффективно на прессовом оборудовании с минимальными затратами в инструмент.

2. Постановка проблемы, анализ последних исследований и публикаций

Следовательно, экономичные профилирующие операции, направленные на существенное ресурсосбережение, должны быть выполнимы с максимальным свободным формоизменением, т.е. без ограничения течения металла полостями штампа. Исходя из вышесказанного, идеальным с точки зрения универсальности инструментом являются гладкие параллельные плиты или другие нематериалоёмкие плиты упрощенной конфигурации.

Большинство технологических переходов штамповки содержит подготовительную операцию осадки, на основе которой возможно развитие различных способов профилирования заготовок. Изучению процесса осадки посвящены фундаментальные работы Я.М. Охрименко, Л.Н. Соколова, И.Я. Тарновского, В.А. Тюрина и др. ученых. Несмотря на его активное изучение и в настоящее время [2, 3], возможности осадки с точки зрения использования в качестве профилирующей операции раскрыты недостаточно. При этом управление геометрической неравномерностью деформации в требуемом направлении при свободном формоизменении вне гравюры штампа может быть интенсифицировано различными способами [4-8]. Из последних публикаций в специализированных периодических изданиях особо следует выделить работы А.Л. Воронцова [9, 10], посвященные получению несимметричных фасонных заготовок осадкой с привлечением приемов интенсификации или затруднения пластического течения. Такие инструментальные, температурные и другие способы интенсификации формоизменения металла заготовки могут комбинироваться при повышении точности на предварительных и окончательных операциях.

Повышение точности формоизменения осуществляют путем увеличения жесткости системы «пресс-штамп», например, стяжек станин прессов [11], или введения элементов с гибкими связями [12]. В настоящее время для аннигиляции погрешностей системы «пресс-штамп» получили распространение упругие компенсаторы [13]. Поиск направлений перспективного развития экономичных технологий штамповки на основном прессовом оборудовании требует разработки концепции бесштампового профилирования заготовок с повышением точности на операциях окончательного формоизменения.

3. Цель работы. Целью настоящей работы является разработка классификации подготовительных операций, научное обоснование которых может составить основу концепции бесштампового профилирования заготовок на прессовом оборудова-

нии с определением методов интенсификации формоизменения металла и повышения точности на переходах штамповки.

4. Изложение основного материала

Получение заготовок профилированной формы без использования формообразования в подготовительных ручьях производится способами, в основу которых положены сжатие (осадка) инструментом различной упрощенной конфигурации, продольный изгиб и растяжение с разрывом заготовки. Профилирование продольным изгибом может быть распространено на пластины и трубчатые заготовки, в зависимости от объекта штамповки. Для управления формоизменением целесообразно использование дифференцированного нагрева или подстуживания заготовок [14]. Причем данные приемы применимы к способам получения длинномерных заготовок с заостренным концом («зубила», «зубья бороны» и т.п.) [15]. Разработанная концепция бесштампового профилирования заготовок на прессах приведена на рис. 1.



Рис. 1. Концепция бесштампового профилирования заготовок на прессах

Для оценки бочкообразности заготовок при осадке плоскопараллельными плитами используют данные Я.М. Охрименко, которые получены для свинцовых экспериментальных образцов и не учитывают количественной разницы бочкообразности заготовок из разных материалов при идентичных условиях деформирования. Экспериментальные исследования бочкообразования при холодной и горячей осадке меди (М1), алюминия (АД1), латуни (Л62) и стали (Ст.3) позволили описать зависимости развития неравномерности деформации от степени осадки и первоначального коэффициента контакта [16], при этом для получения уравнений регрессии применены методы аналогового моделирования. Переход от показателей объемной бочкообразности к вычислению линейных размеров позволяет оценивать условия трения на контакте заготовок с плоскопараллельными плитами.

Базовые знания по осадке выпуклыми сферическими плитами приведены в работах уральских ученых [17], однако производство такого инструмента сопряжено с

рядом технологических неудобств. Гораздо проще получать конические выпуклые плиты, характер формоизменения заготовок при осадке которыми также является критерием для оценки контактных условий в одном из методов исследования коэффициента деформационного трения. Выпуклые продолговатые плиты позволяют выполнить вытяжку заготовки в горизонтальной плоскости (рис. 2), перпендикулярной продольным осям данных плит, и перераспределение металла по длине заготовки [18]. Боковой профиль осажённых заготовок способствует выравниванию неравномерности деформации с минимизацией облоя при дальнейшей штамповке поковок типа пластин.

Получение профилированных заготовок под поковки с изогнутой осью становится возможным при использовании способов, основанных на продольном изгибе, когда торцевой осадке подвергают цилиндрические заготовки с отношением высоты к диаметру больше 3,5 [19]. Восполнение сведений об искажении торцевых участков на такой заготовительной операции позволит уточнить расчетную схему процесса и получить исходные данные для определения критических степеней осадки и расчета размеров инструмента с центрирующими выточками. Расширение объектов исследования на полосы [20] и трубные заготовки [21, 22] необходимо для оценки механики формоизменения, исключения гофрообразования и прогнозирования размеров проходных сечений с точки зрения минимизации гидравлических сопротивлений крутоизогнутых трубных элементов. Гибку тонкостенных трубных заготовок рационально проводить с наполнителями, свойства которых необходимо выбирать в зависимости от свойств трубных заготовок.



Рис. 2. Заготовки, осажённые выпуклыми продолговатыми плитами

Оригинальным способом получения заготовок с заостренным концом является процесс разрыва, осуществляемый на прессах, подобным машинам для испытаний на растяжение [23]. Пример фотографий заготовок, полученных таким способом, приведен на рис. 3. При необходимости может быть проведена доштамповка в окончательных ручьях прессового оборудования.

Для интенсификации течения металла и управления формоизменением заготовок применяют различные способы, такие как специальная предварительная термообработка с получением заготовок с переменным пределом текучести по объему, неравномерный или градиентный нагрев перед деформированием, причем данные способы применимы как к профилирующим операциям на основе осадки, так и на основе продольного изгиба [7, 8]. Создание осадочного инструмента с существенной разницей контактных условий (коэффициентов трения) на верхней и нижней плите в процессах горячей обработки представляется проблематичным, из-за истирания поверхностного слоя в результате течения металла буквально за первые формоизменяющие операции. При этом применение градиентного нагрева требует учета условий теплопередачи, выравнивания разницы температур по высоте заготовки и прогрева штампа при остывании заготовки для определения параметров нагревательных

устройств и темпа штамповки [24]. При этом достаточным является рассмотрение двумерной задачи при моделировании тепловых процессов с функционально заданным градиентом температур по высоте заготовки из-за пренебрежительно малого перепада температуры по поперечным сечениям.

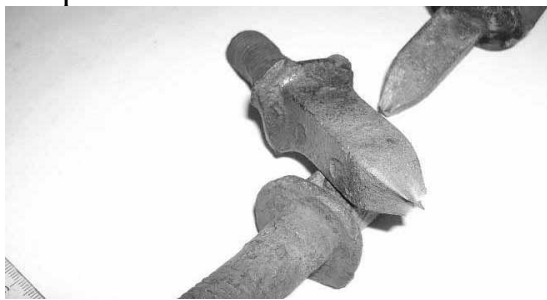


Рис. 3. Профилированные заготовки с заостренным концом

Точность размеров формоизменяющих операций повышают применением компенсирующих элементов. С данной точки зрения наиболее простыми, надежными и экономически выгодными являются компенсаторы системы «пресс-штамп» на основе упругих (чаще полиуретановых) пластин с переменной жесткостью по длине и ширине. Методика расчета компенсаторов включает определение вертикальной и угловой жесткости прессового оборудования и выбора толщины упругой пластины с реализацией деформации сжатия не более чем 25-30 %. Перспективным направлением является разработка универсальных конструкций компенсаторов, рассчитанных на широкий диапазон технологических усилий [13]. Внедрение таких устройств на прессах горячей и холодной штамповки (разнообразные технологические процессы) позволило снизить износ направляющих элементов на 14-17 %, сократить поломки пуансонов на 16-23 %, повысить точность штамповки на 63 %, а также обеспечить доштамповку с формированием нормированного облоя в окончательном ручье штампа.

Таким образом, разработана концепция получения профилированных заготовок в штамповом пространстве основного прессового оборудования с формообразованием вне гравюр штампов. Определена номенклатура поковок, к которым применимы данные способы подготовки заготовок. Перспективным направлением следует признать проведение комплекса экспериментальных и теоретических исследований операций бесштампового профилирования заготовок, направленных на разработку и научное обоснование методик расчета заготовок с точки зрения прогнозирования их формоизменения.

Список литературы: 1. Володин И. М. Развитие основ проектирования ресурсосберегающих технологий горячей объемной штамповки / И. М. Володин // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: зб. наук. пр. –Краматорськ, 2007.– С. 208–210. 2. Дмитриев А.М. Общая теория осадки и высадки цилиндрических заготовок. Часть 1. Высадка / А.М. Дмитриев, А.Л. Воронцов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия «Машиностроение». – 2004. – №1. – С. 82-103. 3. Добров И.В. Анализ процессов трения твердых и пластически деформируемых тел в механике машин на примере осадки симметричной заготовки плоскими бойками / И.В. Добров // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2009. - №3. – С.3-20. 4. А.с. 1697967 СССР, МКИ В 21 J 5/08. Способ получения местных утолщений [Текст] / Козлов И.К., Гейко И.К., Башкатова Н.С., Пикинер Ю.С., Чубарь А.Г., Гейко К.И. (СССР). – №4755140; заявл. 24.08.89. опубл. 15.12.89, Б.И. № 46. – 3с.,ил. 5. А.с. № 1555035 СССР, МКИ В 21 D. Способ утолщения стенки трубы [Текст] / Стрижок В.И., Козлов И.К. – № 1676983/25-27; заявл. 12.07.71; опубл. 15.10.88, Б.И. № 13. – 2с. 6. Греш-

нов В. И. Дифференциальное деформирование при штамповке заготовок удлиненной формы / В. И. Грешнов // Кузнечно-штамповочное пр-во. – 1994. – № 10. – С. 14–17. 7. Спосіб одержання профільованої заготовки [Текст] : пат. 43614 А Україна, МПК 7 В 21К 1/08. / Кухар В.В., Діамантопуло К.К., Мазан В.І.; заявитель и патентообладатель Приазовский государственный технический университет. - № 2001042391; заявл. 10.04.2001; опубл. 17.12.2001, Бюл.№11. – 14 с.,ил. 8. Кухар В. В. Розробка рекомендацій до використання диференційованого нагрівання при одержанні профільованої заготовки осаджуванням із втратою стійкості / В. В. Кухар, К. К. Діамантопуло // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском у металургії і машинобудуванні: зб. наук. пр.– Краматорськ, 2001.– С. 321–326. 9. Воронцов А.Л. Исследование осадки цилиндрической заготовки с затрудненным течением металла на одном из торцов / А.Л. Воронцов // Вестник машиностроения. – 2009. - №2 – С. 67-74. 10. Воронцов А.Л. Теория осадки малопластичных материалов в пластичных оболочках / А.Л. Воронцов // Вестник машиностроения. – 2009. - №3. – С.71-75. 11. Бигун О.П. Расчет деформаций открытой станины со стяжками // Прогрессивная технология и оборудование для листовой штамповки и гибки / Под ред. В.В. Каржана и В.А. Мельника. – Воронеж, 1984. – С. 20-29. 12. Діамантопуло К.К. Математическая модель кривошипной машины с гибким элементом для возвратно-поступательного перемещения ползуна / К.К. Діамантопуло, А.Н. Обухов, А.А. Онищенко, В.В. Кухарь // Захист металургійних машин від поломок. – Маріуполь, 2000. – Вип. №5. – С. 128-131. 13. Діамантопуло К.К. Компенсация несоосности системы «пресс-штамп» изношенного штамповочного оборудования / К.К. Діамантопуло, В.В. Кухарь, А.И. Евтеев // Металлургические процессы и оборудование. - №2. – июнь 2005 г. – С.31-34. 14. Спосіб одержання фасонної заготовки під наступне штампування [Текст]: пат. 49389 А Україна, МПК 7 В 21 К/08 / Базаря В.І., Діамантопуло К.К., Кухар В.В.; заявитель и патентообладатель Приазовский государственный технический университет. - № 2001118135; заявл. 28.11.2001; опубл. 16.09.02, Бюл. №9. – 4с. 15. Спосіб одержання заготовок з загостреним кінцем [Текст]: пат. 18568 Україна, МПК (2006), В21J 5/00 / Діамантопуло К.К., Сердюк О.І., Діамантопуло Ю.К.; заявитель и патентообладатель Приазовский государственный технический университет. - № u200605103; заявл. 10.05.2006; опубл. 15.11.2006, Бюл.№11. – 2с. 16. Кухарь В. В. Неравномерность деформации при свободном формоизменении заготовок из цветных металлов и сплавов / В. В. Кухарь, О. А. Лаврентик, В. А. Бурко // Вісник Приазовського державного технічного університету. – 2006. – Вип. 16. – С. 123–127. 17. Тарновский И. Я. Свободная ковка на прессах./ И. Я. Тарновский, В. Н. Трубин, М. Г. Златкин – М.: Машиностроение, 1967. – 328 с. 18. Кухарь В. В. Моделирование формоизменения металла при осадке цилиндрических заготовок выпуклыми продолговатыми плитами / В.В. Кухарь, С. А. Короткий, В. А. Бурко // Вісник Хмельницького національного університету.– Хмельницький: ХНУ, 2008.– № 5. – С. 204–208. 19. Спосіб одержання профільованої заготовки [Текст]: пат. 40182 А Україна, МПК 7 В 21К 1/08. / Кухар В.В., Діамантопуло К.К., Кадава В.В.; заявитель и патентообладатель Приазовский государственный технический университет. - №2000085092; заявл. 31.08.2000; опубл. 16.07.2001, Бюл.№6. – 3 с.,ил. 20. Діамантопуло К.К. Исследование формоизменения относительно высоких полос при профилировании осадкой с продольным изгибом // К.К. Діамантопуло, В.В. Кухарь // Обработка материалов давлением. - №1 (20), 2009. – С. 181-185. 21. Кухарь В.В. Получение обводных патрубков с минимальным гидравлическим сопротивлением // В.В. Кухарь, А.В. Грушко / Вестник Приазовского государственного технического университета. Вып. 15. – Мариуполь. – 2005. – С. 109 -112. 22. Грушко А.В. Деформируемость обводных патрубков в процессе их формоизменения продольным изгибом / А.В. Грушко, В.В. Кухарь // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском у машинобудуванні та металургії: Зб.наук.пр. Краматорськ. – ДДМА. – 2006. – С. 335-339. 23. Машина для виробництва поковок типу стрижня з загостреним кінцем [Текст]: пат. 19382 Україна, МПК (2006), В21J 5/00. / Діамантопуло К.К., Сердюк О.І., Діамантопуло Ю.К., Литвин А.М., Мкртчян Е.В.; заявитель и патентообладатель Приазовский государственный технический университет. - № u200606600; заявл. 13.06.2006; опубл. 15.12.2006, Бюл. № 12. – 3 с.,ил. 24. Кухарь В.В. Моделирование температурного поля неравномерно нагретой по длине заготовки при её остывании на штампе // В.В. Кухарь, О.А. Лаврентик, В.А. Бурко, М.В.

УДК 621.771.297

ДАНЧЕНКО В.Н., докт. техн. наук, проф., НМетАУ, г.Днепропетровск
ШРАМКО А.В., канд. техн. наук, ОАО “ИНТЕРПАЙП – НТЗ”, г.Днепропетровск
АШКЕЛЯНЕЦ А.В., асп., НМетАУ, г.Днепропетровск
ДЫЯ Х., профессор, Politechnika Czestochowska, г.Ченстахова, Польша.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ «ВРЕЗНОГО КОЛЬЦА» С ЦЕЛЬЮ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ДВУХПРОХОДНОЙ ГОРЯЧЕЙ ШТАМПОВКИ ПОЛНОПРОФИЛЬНОЙ ЗАГОТОВКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕС

В работе с помощью компьютерного моделирования на базе программного обеспечения Forge 2005 показана возможность использования «врезного кольца» с целью снижения расходов на штамповочный инструмент при производстве железнодорожных колес. Определен критический угол кольца обеспечивающий бездефектную (без образования заломов) штамповку заготовки.

Ключевые слова: Штамповка, врезное кольцо, критический угол, залом, железнодорожное колесо.

У роботі за допомогою комп'ютерного моделювання на базі програмного забезпечення Forge 2005 показана можливість використання «врізного кільця» з метою зниження витрат на штампувальний інструмент при виробництві залізничних коліс. Визначено критичний кут кільця забезпечуючий бездефектну (без утворення заломів) штампування заготівлі.

Ключові слова: Штампування, врізне кільце, критичний кут, залом, залізничне колесо.

In job by means of computer modelling on the basis of software Forge 2005 use possibility «cutting-in rings» for the purpose of decrease in expenses on the stamping tool is shown by manufacture of railway wheels. The critical corner of a ring providing faultless (without education fracture) stock material press forming is defined.

Key words: Press forming, врезное a ring, a critical corner, a hall, a railway wheel.

Введение

В настоящее время развитие технологии изготовления железнодорожных колес направлено на повышение качества при одновременном снижении затрат на их производство. Реализация этих направлений возможна за счет оптимизации технологических переходов. Одним из основных этапов штамповки железнодорожных колес является придание исходной заготовке формы колеса путем ее последовательной осадки на прессах с последующей раскаткой на колесопрокатном стане (КПС).

Известны схемы деформирования заготовок, при которых с целью снижения расходов на штамповочный инструмент, на первом этапе деформация заготовки осуществляется без калибровочного кольца. В частности на Нижне Тагильском металлургическом комбинате (Россия) при освоении производства железнодорожных колес после модернизации пресси-прокатной линии использовалась технологическая схема двухпроходной штамповки полнопрофильной заготовки колес приведенная на рис.1. Однако, практика использования этой схемы выявила ее значительную чувствительность к различным составляющим технологического процесса штамповки.

В частности овальность исходной заготовки, косина реза заготовки, неточность центровки заготовки, непараллельность осадочных плит и пр. во время деформирования заготовки на прессе силой 50 МН приводили к овализации и разнотолщинности плюшки, что в последствии существенно сказывалось на уровне брака колес (до 25%) по причине эксцентриситета обода относительно ступицы и недоката, и количестве колес заниженного диаметра (до 12%) [1]. В связи с этим задача снижения неравномерности деформации в радиальном направлении (овальности заготовки) на первом этапе штамповки заготовки – свободной осадки в фасонированных плитах является актуальной.

Постановка проблемы

Учеными «Уральского института металлов» было проведено моделирование процесса свободной осадки колесной заготовки на гладкой плите с использованием верхнего штампа с уклонами полотна 2° и 9°. Результаты этих исследований свидетельствуют о зависимости неравномерности деформации заготовки в радиальном направлении от величины уклона штампа. Так при угле 9° неравномерность деформации была меньше чем при угле 2° [2].

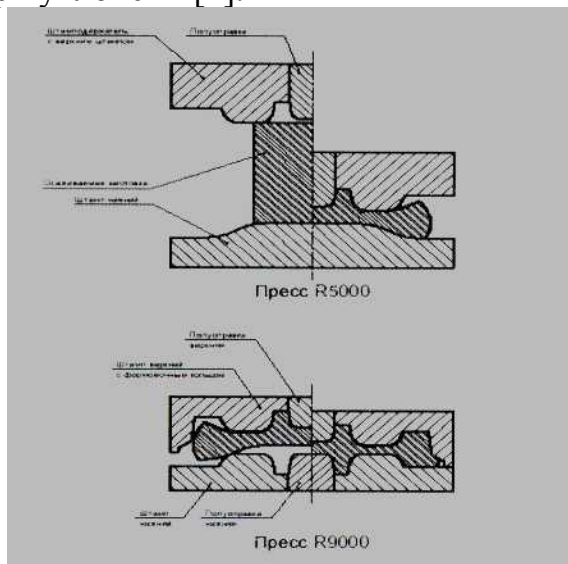


Рис. 1. Схема деформирования заготовок железнодорожных колес.

Ранее проведенными на базе Национальной металлургической Академии (НМетАУ) исследованиями формоизменения металла при внедрении врезного кольца (рис.2) в процессе свободной двухпроходнойковки дисков с уступами была установлена зависимость высоты осажённой заготовки от угла конусности ($L_{нар}$) врезного кольца [3]. С увеличением угла конусности высота осажённой заготовки уменьшается. Поскольку неравномерность деформации заготовки в радиальном направлении при свободной осадке является функцией высоты заготовки, а также учитывая результаты исследований ученых «Уральского института металлов» следует предполагать что использование «врезного кольца» с небольшими углами конусности в первом проходе ее штамповки (свободная осадка) позволит значительно снизить неравномерность деформации в радиальном направлении.

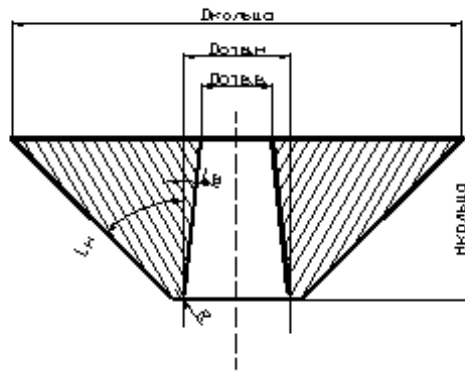


Рис.2. Чертеж врезного кольца

$D_{\text{кольц.}}$ - диаметр кольца; $d_{\text{отв.н}}$ - диаметр нижнего отверстия;
 $d_{\text{отв.в}}$ - диаметр верхнего отверстия; $H_{\text{кольц.}}$ - высота кольца;
 $L_{\text{нар}}$ - наружный угол конусности;
 $L_{\text{вн}}$ - внутренний угол конусности; R - радиус закругления;

В связи с этим с помощью компьютерного моделирования была исследована технологическая схема штамповки полнопрофильной заготовки колес с использованием врезных колец с различным углом конусности в качестве верхнего штампа.

Порядок проведения и результаты исследования

Моделирование формоизменения заготовки осуществлялось для случая изготовления колес диаметром 957мм по ГОСТ 10791-2004 с использованием метода конечных элементов (МКЭ) и было выполнено на программном обеспечении Forge 2005. Использование этого обеспечения осуществлялось в рамках совместной Польско-Украинской научно-технической программы, подписанной между Национальной металлургической академией Украины (г.Днепропетровск, Украина) и Politechnika Czestochowska (г.Ченстохова, Польша).

Данная компьютерная модель основана на теории пластического течения, в рамках которой металл, в пластическом состоянии представляется как несжимаемое жесткопластическое тело. Исходная система, описывающая пластическое деформирование включает:

дифференциальные уравнения движения:

$$\sigma_{ij,j} + p \frac{dv_i}{dt} = 0, \quad (1)$$

кинематические соотношения:

$$\dot{\varepsilon}_{ij} = \frac{1}{2}(v_{i,j} + v_{j,i}), \quad (2)$$

уравнение состояния:

$$\sigma_{ij} = \sigma_0 \delta_{ij} + \frac{2\bar{\sigma}}{3\bar{\varepsilon}} \dot{\varepsilon}_{ij} = 0, \quad (3)$$

условие несжимаемости:

$$v_{ii} = 0, \quad (4)$$

уравнение теплового баланса:

$$\rho c \dot{T} = (k_l T_{,i})_{,i} + \beta \bar{\sigma} \bar{\varepsilon}, \quad (5)$$

модель напряжения текучести материала в зависимости от параметров деформации:

$$\bar{\sigma} = f(\bar{\varepsilon}, \dot{\bar{\varepsilon}}, T), \quad (6)$$

где σ_{ij} , ε_{ij} , v_i - соответственно компоненты тензоров напряжения, скорости деформации и вектора скорости течения; $\bar{\sigma}$, $\bar{\varepsilon}$, $\dot{\bar{\varepsilon}}$ - соответственно интенсивности напряжений, деформаций и скоростей деформации, σ_0 - среднее нормальное напряжение; δ_{ij} - символ Кронекера; T - температура; β - коэффициент перехода механической энергии в тепло, принято, что $\beta = 0.9-0.95$; ρ - плотность; c - теплоемкость; k_l - теплопроводность.

В уравнениях (1) - (5) используется правило суммирования по повторяющимся индексам. Индексы i, j для двумерных задач меняются от 1 до 2, для трехмерных - от 1 до 3.

Охлаждение заготовки во время транспортировки от печи к прессу, между прессами и прокатным станом описывается уравнением теплопроводности в твердом теле (5).

Тепловые граничные условия на свободной поверхности включают теплообмен конвекцией и излучением. На контактной поверхности задается теплообмен с помощью коэффициента теплопередачи. Трение на контактной поверхности учитывается по закону А.Н. Леванова.

Уравнения (1 - 4) преобразуются в систему алгебраически уравнений на основе принципа виртуальных скоростей и метода конечных элементов, где узловыми неизвестными являются компоненты вектора скорости и среднее нормальное напряжение. Скорость и среднее напряжение аппроксимируются

линейными функциями формы на тетраэдральных элементах. Генерация и перестроение КЭ сетки автоматизировано. Уравнение теплового баланса (5) преобразуется методом Галеркина в систему обыкновенных дифференциальных уравнений, которые численно интегрируются по времени. Связанная термомеханическая задача решается методом последовательных приближений механической и тепловой задач с входящими в них связанными величинами.

Инструмент при расчете на прочность представляется упругопластическим телом с линейным; упрочнением, нагруженным со стороны заготовки контактными силами и закрепленным соответствующими граничными условиями.

При моделировании использовались следующие исходные данные. Из базы данных Forge 2005 выбрана смазка на основе графитоводной смеси, показатель трения 0,2. Скорость опускания верхней плиты на всех прессах составляла 60 мм/с. На основе опыта колесопрокатного цеха ОАО «Интерпайп-НТЗ» были приняты условия равномерного поля температур металла заготовки как в момент выдачи ее из нагревательной печи, так и при укладке заготовки на нижнюю плиту пресса усилием 20МН. В процессе деформирования и транспортировки температура заготовки снижается от 1200 до 1000°C.

Следует отметить, что большинство компьютерных программ на базе МКЭ для моделирования процессов обработки металлов давлением не предусматривают возможности варьирования плотности металла. В то же время этот показатель играет существенную роль при расчетах деформирования горячего металла, имеющего литую структуру. В связи с

этим учет изменения объема и плотности литого металла при моделировании процесса осуществлялся по методике [4].

Кроме этого при моделировании в качестве исходных данных были использованы результаты исследования пластических и термомеханических свойств колесной стали [5].

В качестве штампов при моделировании использовались врезные кольца с углами конусности: $L_{нар}$ - наружный угол конусности 65-70°; R - радиус закругления 30-35мм.

Результат расчета для штампа с углами конусности: $L_{нар}=65^\circ$, R = 30мм приведен на рис.3. На рис.3 показан пошаговый этап штамповки полученной заготовки. При анализе рис.3 можно сказать, что штамп с такими углами конусности не дает возможность получить качественное железнодорожное колесо т.к. на внутренней части железнодорожного колеса в области ступицы образуется залом, что обусловлено характером течения металла относительно нейтральной поверхности штампа 100МН.

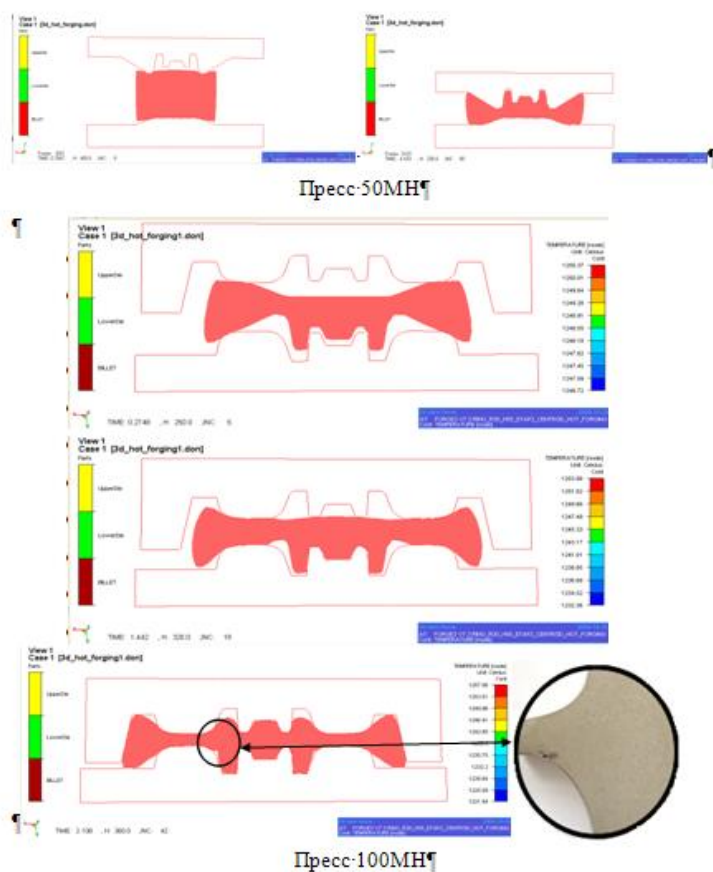


Рис.3. Пошаговая штамповка заготовки полученная при использовании штампа: $L_{нар}=65^\circ$, R = 30мм

При увеличении угла конусности до $L_{нар}=70^\circ$, R = 35мм (рис.4.) залом не образуется.

Таким образом, можно считать, что угол 65° для бездефектного производства железнодорожных колес диаметром 957мм по ГОСТ 10791-2004 является критическим.

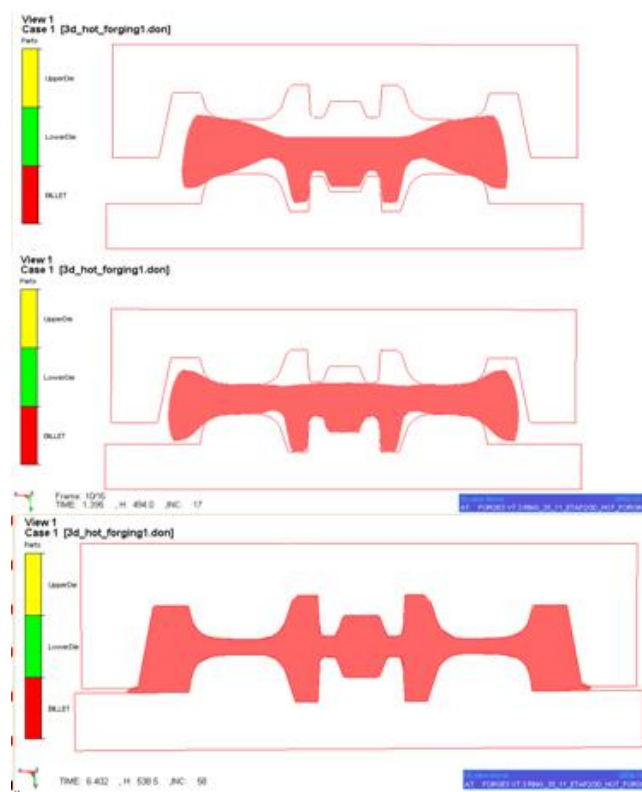


Рис.4. Пошаговая штамповка заготовки полученная при использовании штампа с геометрией : $L_{нар} = 70^\circ$, $R = 35\text{мм}$

Выводы

1. Проведенное моделирование показало возможность использования «врезного кольца» в качестве верхнего штампа при двухпроходной горячей штамповке полнопрофильной заготовки железнодорожных колес.
2. Бездефектная (без образования залома) штамповка при двухпроходной штамповке заготовки железнодорожных колес может быть осуществлена при использовании врезного кольца с углом конусности более $L_{нар} = 65^\circ$, $R = 35\text{мм}$.

Список литературы: 1. Совершенствование технологии производства железнодорожных колес на основании математического моделирования процесса формоизменения металла при штамповке / А.В. Кушнарев, А.А. Богатов, А.А. Киричков // Современные технологии производства транспортного металла: материалы конференции “Трансмет – 2007” – Екатеринбург: УГТУ – УПИ, 2008. – С. 253 – 255. 2. Исследование течение металла при формовке колесной заготовки / Г.П. Перунов, А.А. Киричков, М.И. Журухин, А.Ф. Зудов, Ю.В. Иналович, В.Д. Шестак. // Современные технологии производства транспортного металла: материалы конференции “Трансмет – 2007” – Екатеринбург: УГТУ – УПИ, 2008. – С. 259 – 261. 3. Экспериментальное исследование формоизменения металла при внедрении врезного кольца. / А.В. Ашкелянец // Обработка металлов давлением: Тематич. Сб. научн. тр. №2(21) – Краматорск: ДГМА, 2009. – С. 307-311. 4. Разработка и освоение технологии производства железнодорожных колес на кольцебондажной линии с использованием метода конечных элементов для расчета формоизменения металла. Отчет о НИР (заключительный) / Нац. Мет. Академии Украины. – Х126010013; Инв. №0103U002285. – Днепропетровск, 2005. – 51 с. 5. Физическое моделирование многоступенчатой деформации стали в процессе прокатки заготовок железнодорожных колес. / А.А. Миленин, А.В. Шрамко, А.Г. Ступка, В.А. Гринкевич, В.Н. Данченко // Металлургическая горнорудная промышленность 2005 №2

УДК 621.983

ДРАГОБЕЦКИЙ В.В., докт. техн. наук, проф., Кременчугский государственный университет имени Михаила Остроградского, г. Кременчуг

МОРОЗ Н.Н., канд. техн. наук, доц., Кременчугский государственный университет имени Михаила Остроградского, г. Кременчуг

ТРОЦКО О.В., ст. препод., Кременчугский государственный университет имени Михаила Остроградского, г. Кременчуг

ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ЛИСТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ С РАЦИОНАЛЬНЫМ ВЫБОРОМ ИНТЕНСИФИЦИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ

Рассмотрен ряд оптимизационных задач для процессов обработки металлов давлением. Уточнен метод расчета оптимальных деформационных параметров при формоизменении листовых равнопрочных деталей с учетом дополнительного интенсифицирующего воздействия. Выполнен расчет процесса формоизменения детали типа «воздухозаборник».

Ключевые слова: формоизменение, технологический процесс, оптимальный технологический параметр, интенсифицирующее воздействие.

Розглянуто ряд оптимізаційних задач для процесів обробки металів тиском. Уточнено метод розрахунку оптимальних деформаційних параметрів при формозміні листових рівномісних деталей з урахуванням додаткового інтенсифікуючого впливу. Виконано розрахунок процесу формозміни деталі типу «повітрозабірник».

Ключові слова: формозміна, технологічний процес, оптимальний технологічний параметр, інтенсифікуючий вплив.

A number optimization tasks for processes of metals processing by pressure is considered. The method of account optimum deformation parameters is specified at change of the form sheet equally strong of details in view of additional intensive influence. The account of process change of the form of a detail such as "Fence of air" is executed.

Key words: Change of the form, technological process, optimum technological parameter, intensive influence.

1. Введение

В ряде работ [1-4] утверждается, что наиболее эффективные технологические процессы выбирают в результате их многокритериальной оценки. Объективно существующее множество частных критериев, необходимых для оценки эффективности технологических процессов, показывают сложность решения задачи по выбору наиболее эффективного процесса из множества альтернатив. При установлении наиболее эффективного технологического процесса формоизменения возникает новая проблема, связанная с выбором оптимальных технологических параметров. В этом и другом случае используют различные приемы и способы, которые позволяют, обосновано сократить число критериев необходимых для оценки эффективности технологических процессов и их оптимального управления параметрами технологии. Перевод многокритериальной задачи к однокритериальной позволяет сократить в процессе решения задачи число альтернатив. Методики сокращения числа альтернативных технологий основаны на переводе части частных критериев в критерии ограничения [1, 3], исключая малозначные критерии (весовая значимость критериев) и частных критериев, входящих в состав обобщенных критериев. Применимость экспертных методов для выбора частных критериев мало доказательна и субъективна.

Глобальный критерий – технико-экономическая эффективность технологических процессов далеко не объективен и зависит от состояния экономики и сложившейся социально-экономической ситуации в стране.

2. Постановка проблемы

Эффективность технологии, как правило, выражается критерием эффективности. На наш взгляд наиболее универсальным является критерий «соотношение потерь» [2]. Если в этом критерии рассматривать не экономические соотношения, которые крайне не стабильны, а энергетические, то получим наиболее универсальный критерий. Для этого необходимо определить ту долю энергетических затрат, которая переходит в бесполезное тепло. Менее энтропийные процессы являются наиболее эффективными. В настоящее время в качестве критериев при оценке эффективности технологий все применяемые критерии можно свести к следующим: целевые, экономические, весовые и временные. При сравнительном анализе и оптимизации технологий критерии следует выбирать, исходя из целевой задачи сравнительного анализа или оптимизации применения составных критериев, представляющих собой отношение двух критериальных величин или сумму нескольких критериальных величин с коэффициентом их значимости. Введение этих коэффициентов базируется на субъективной оценке и интуиции. Однако существуют подходы к решению задач формоизменения в условиях предельной пластичности, которая является функцией некоторого числа геометрических величин [3]. Для определения значимости факторов производится последовательная фиксация значений нескольких из них. Определяем их значимость при поочередном отбрасывании незначительных. Значимость факторов определяется по значению минимизации полной мощности формоизменения. При таком подходе субъективность выбора коэффициентов значимости исключается.

Среди перечисленных ранее критериев, вероятно, наиболее предпочтительным является использование весовых критериев. Последние являются косвенными критериями и критериями экономичности, а для деталей используемых для изготовления транспортных средств – целевыми.

Развитие процессов обработки металлов давлением в основном идет либо по пути создания высокоэффективных технологий на основе оптимизации режимов традиционных процессов обработки металлов давлением. Другой путь – поиск и разработка новых технологических процессов от известных по способу приложения к заготовке внешнего воздействия. Анализ тенденций в области разработки новых технологических процессов свидетельствует о том, что в ближайшем будущем не следует рассчитывать на новые технические решения, которые обеспечат революционный прорыв в какой-либо области обработки металлов давлением. Базой для создания новых процессов является совмещение отдельных, считающихся самостоятельными, операций листовой штамповки и создание комбинированных методов обработки.

3. Анализ исследований и публикаций

Решен ряд оптимизационных задач для ряда процессов обработки металлов давлением. Методами вариационного исчисления решены задачи выбора оптимального профиля деформирующего инструмента при прессовании и поверхности перетяжного ребра матрицы при вытяжке. Используются условия минимума поверхностной нагрузки на участках контакта с заготовкой и минимума площади поверхности контакта [4].

И.Н. Лебединским разработана методика расчета параметров и оптимизации технологии прошивки гильз в коническом контейнере. Оптимизируемые параметры должны обеспечить наибольшее значение коэффициента выхода пригодной продукции и минимальную трудоемкость последующей протяжки. В.И. Ершовым и др. проведено экспериментальное определение оптимальных параметров процесса гибки уголкового профиля. В этом исследовании выявлена оптимальная зона раскатки – корневая часть профиля. При раскатке последней значения относительного пружинения и закрутки минимальны.

Большое количество работ посвящено оптимизации параметров разделительных операций листовой штамповки. Решены задачи выбора рациональной геометрии поверхности контакта рабочих частей разделительных штампов, оптимальных длин ступенчатых пуансонов, оптимальных параметров матриц, оптимальных зазоров для пробивки-вырубки, выбора материала для вырубных штампов с упрочняющими покрытиями.

Потекушиным Н.В. обосновано применение оптимальных технологических схем профилирования ободьев колес с радиальным и радиально-торцевым подпором.

В. Вронски и др. разработали программу выбора наиболее подходящих к данным конкретным условиям параметров процесса вытяжки на основе полученных аналитических зависимостей для усилия вытяжки.

В.И. Стеблюком и его учениками решен комплекс задач по выбору оптимальной геометрии заготовки при вытяжке с утонением, формообразованию коробчатых деталей, оптимальной дифференциации и локализации термомеханического воздействия по объему заготовки и др.

В работах ученых ХАИ школы Борисевича В.К. решен комплекс задач по оптимизации параметров внешне силового нагружения и деформирования тонколистовых заготовок при импульсных методах формоизменения. Поставлена и решена многопараметрическая задача оптимального формообразования [4].

В этих исследованиях использованы методы линейного и нелинейного программирования, вариационного исчисления, градиентные методы с минимизацией функционала, перебора вариантов, эмпирические приемы и т.д. Т. е. в некоторых случаях решение оптимизационной задачи производится без минимизации функционала, критерия оптимизации и целевой функции.

4. Цель работы

Целью данного исследования является доработка и совершенствование многопараметрической задачи оптимального управления процессом формоизменения листовых заготовок.

5. Материалы и результаты исследований

Таким образом, весовой критерий является одним из наиболее эффективных критериев изготовления деталей, в том числе и листовых. Деталь получается минимального веса в том случае, если ее разностенность минимальна [4]. Однако для того, чтобы деталь имела, и минимальный вес и соответствовала требованиям эксплуатации (целевой критерий) необходимо, чтобы она была равнопрочной. Равнопрочная листовая деталь, как правило, имеет переменную толщину стенки. Следовательно, если деталь не является силовым элементом (крышки, облицовки, колпачки и т.д.), то в качестве весового критерия принимаем разность детали. Также, если деталь из условий равнопрочности должна иметь постоянную толщину стенки (детали баков,

емкостей, цистерн и т.д.), то в этом случае в качестве критерия оптимизации используем разностенность детали. Для силовых деталей (ободья колес, шпангоуты, нервюры, перегородки и т.д.) выполняют прочностные расчеты и определяют геометрические характеристики поперечных и продольных сечений, которые зависят от толщины заготовки в каждом сечении. Для таких деталей необходимо минимизировать функционал Φ , характеризующий отличие между получаемым после формообразования (технологическим) и требуемым (конструктивным) геометрическим (толщина стенки) параметром в заданных точках детали. В качестве функционала Φ наиболее целесообразно выбрать квадратичный функционал вида:

$$\Phi = \sum_{j=1}^{j=k} [S_{Nj}(x_i) - S_{Pj}(x_i)]^2 \quad (1)$$

где S_{Nj} – требуемый по прочностным показателям геометрический параметр детали;

S_{Pj} – реализуемое или геометрическое значение параметра после формообразования;

x_i – координаты точек заготовки.

Решение задачи сводится к минимизации функционала (1) на семействе функций управления по методике изложенной в работе [4]. Особую значимость при определении распределения утонений, соответствующих равнопрочности детали, когда оптимизация технологических параметров не приводит к необходимому значению распределения утонений приобретает дополнительных ресурсов (функций управления). В качестве функций управления $F_{j,i,k,m,g,p,t...}$ можно использовать: дополнительное силовое воздействие, локальное термическое воздействие (дифференциальный нагрев), вибровоздействие, управление силами контактного трения и т.д. Это в свою очередь вносит коррективы в расчетную модель упруго-пластического поведения деформируемой заготовки [5].

В частности, приращения деформаций представляются в виде упругих, пластических и возникающих при дополнительном воздействии компонент:

$$\Delta \tilde{\varepsilon}_{i,\eta,\tau}^{\alpha,k,l} = (\Delta \varepsilon_{i,\eta,\tau}^{\alpha,k,l})^e + (\Delta \varepsilon_{i,\eta,\tau}^{\alpha,k,l})^p - \sum_{t=1}^t (\Delta \varepsilon_{i,\eta,\tau}^{\alpha,k,l})^t. \quad (2)$$

Здесь:

$$(\Delta \varepsilon_{i,\eta,\tau}^{\alpha,k,l})^e = (\Delta \sigma_{i,\eta,\tau}^{\alpha,k,l}) / (2\sigma), \quad (3)$$

$$(\Delta \varepsilon_{i,\eta,\tau}^{\alpha,k,l})^p = \Delta \lambda_{i,\eta,\tau} \sigma_{i,\eta,\tau}^{\alpha,k,l}, \quad (4)$$

где $\varepsilon_{i,\eta,\tau}^{\alpha,k,l}$ – компоненты девиатора деформаций;

σ – модуль сдвига;

$\sigma_{i,\eta,\tau}^{\alpha,k,l}$ – компоненты дививатора напряжений;

$\Delta \lambda_{i,\eta,\tau}$ – мера пластической деформации;

$\sum_{t=1}^t (\Delta \varepsilon_{i,\eta,\tau}^{\alpha,k,l})^t$ – сумма компонентов деформации от интенсифицирующих воздействий;

k, l – индексы;

i – номер узла заготовки;

η – номер слоя;

τ – момент времени процесса деформирования;

t – интенсифицирующее воздействие, при $t = 1$ – соответствует термическому воздействию.

При термическом воздействии компонента деформации от интенсифицирующих воздействий имеет вид:

$$\left(\Delta \varepsilon_{i,\eta,\tau}^{\alpha,k,l} \right)^l = Q_T T_{i,\eta,\tau} \delta^{k,l}, \quad (5)$$

где Q_T – коэффициент линейного расширения;

$T_{i,\eta,\tau}$ – температура;

$$\delta^{k,l} = \begin{cases} 1, & \text{при } k = l; \\ 0, & \text{при } k \neq l. \end{cases}$$

По данной методике выполнен расчет процесса формоизменения детали типа «воздухозаборник» (рис. 1).

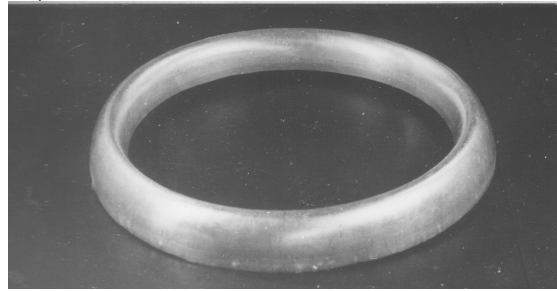


Рис. 1. Деталь типа «воздухозаборник»

Управление параметрами трения позволило получить утонение в куполе воздухозаборника, которое не превышало 3-5%. На кромке детали утонение не превышало 18-20%. Это соответствует оптимальному распределению утонений для конструкции носовых частей корпусов летательных аппаратов [5].

6. Выводы

Таким образом, уточнен метод расчета оптимальных деформационных параметров при формоизменении листовых равнопрочных деталей с учетом дополнительного интенсифицирующего воздействия. Решение таких задач приводит к необходимости оптимизации параметров интенсифицирующих воздействий. Если в настоящее время решены задачи управления дифференцированным нагревом, напряжениями контактного трения, выбора профиля заготовки и т.д., то в дальнейшем требуется решение задач определения оптимальных давлений при подпоре торца заготовки, при дополнительном локальном нагружении, при вибровоздействии и т.д.

Список литературы: 1. Тарасов Е.В. Алгоритм оптимального проектирования летательного аппарата / Е.В. Тарасов. – М.: Машиностроение, 1970. – 304 с. 2. Морз Ф.М. Методы исследования операций / Ф.М. Морз, Д.Е. Кимбелл. – М.: Советское радио, 1956. – 352 с. 3. Ершов В.И. Совершенствование формоизменяющих операций листовой штамповки / В.И. Ершов, В.И. Глазков, М.Ф. Коширин. – М.: Машиностроение, 1990. – 312 с. 4. Борисевич В.К. Выбор оптимальных параметров вытяжки листовых заготовок / В.К. Борисевич, М.В. Загирняк, В.В. Драгобецкий; Кузнечно-штамповочное производство. – № 2, 2009. – с. 38-41. 5. Дракин И.И. Основы проектирования беспилотных летательных аппаратов с учетом экономической эффективности / И.И. Дракин. – М.: Машиностроение, 1973. – 224 с.

КАРГИН Б.С., канд. техн. наук, проф., ПГТУ, г. Мариуполь
ДИАМАНТОПУЛО К.К., канд. техн. наук, доц., ПГТУ, г. Мариуполь
КАРГИН С.Б., ст. препод., ПГТУ, г. Мариуполь
ТКАЧЁВ Р.О., ст. препод., ПГТУ, г. Мариуполь

СОЗДАНИЕ И ПРОМЫШЛЕННОЕ ОСВОЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СМАЗОК ДЛЯ ШТАМПОВКИ

Рассмотрены вопросы создания принципиально новой технологии изготовления технологических смазок для горячей объёмной штамповки сталей

Ключевые слова: технологическая смазка, графит, штамповка, стойкость, фракция, измельчение, установка

Розглянуті питання створення принципово нової технології виготовлення технологічних мастил для гарячого об'ємного штампування сталей

Ключові слова: технологічне мастило, графіт, штампування, стійкість, фракція, подрібнення, установка

Creation and industrial mastering of production ecologically of the clean technological greasing for stamping

Key words: technological greasing, rules, stamping, firmness, faction, growing, setting shallow

1. Введение

На современном этапе развития Украины весьма остро стоит задача повышения эффективности производства и качество продукции при соблюдении режима экономии и максимальном использовании резервов.

В кузнечно-штамповочных цехах горячая объёмная штамповка и выдавливание получают дальнейшее развитие. В связи с этим вопросы повышения стойкости штампов, экологии, уровня техники безопасности привлекают внимание всё больших групп исследователей. Многие в этом направлении сделано. Однако, выдвигаемые требования заставляют по-иному рассматривать достигнутые результаты. Повышения стойкости штампов можно достичь путём применения эффективных технологических смазок и нанесения их на штамп путём распыления. Как показали исследования, наиболее эффективными являются – водно-графитовые смазки. Однако, существующая технология их изготовления является весьма трудоёмкой, энергоёмкой и экологически вредной. Поэтому предложен принципиально новый способ изготовления водно-графитовых смазок на специальной гидродинамической установке.

2. Постановка проблемы

К сожалению, применяемые в мире и на Украине водно-графитовые смазки имеют высокую стоимость, а устройства для их нанесения на штамп несовершенны. Процесс измельчения графита для производства смазок в мельницах весьма трудоёмкий, малопродуктивный, энергоёмкий и экологически вредный. Однако, именно он сейчас применяется в мире для производства смазок.. Иностранные фирмы, выпускающие графитовые смазки, держат в секрете процесс измельчения и обработки графита, применяемого в них. Так, голландская фирма «Ачесон Коллоиден НВ», спе-

циализирующаяся в области разработки смазочных материалов различного назначения на основе графита, утверждает, что размер частиц графита в смазках должен быть менее одного микрона. Однако, как осуществляется измельчение – данных нет. На Мариупольском графитовом комбинате для тонкого измельчения крупнозернистого графита применяют шаровые мельницы. Применяемый этим комбинатом способ измельчения графита для производства смазок ОГВ-75, Укринол-7 и др. является сложным технологическим процессом с использованием токсичных компонентов. Измельчённый графит проходит обработку серной кислотой, отмывку от солей и кислоты и нейтрализацию.

Нами предложен, разработан, исследован и внедрён новый способ гидродинамического измельчения графита на специальной установке (а.с. № 1660330 от 01.03.1991). По предлагаемой технологии для изготовления водно-графитовых смазок используется энергия микроструй, когда при схлопывании кавитационные пузырьки разрушают твёрдые частицы графита, прилипшие к ним.

В соответствии с разработанной технической документацией нами был выполнен промышленный образец установки для получения технологических смазок по новому способу.

Для изготовления водно-графитовых смазок используется энергия микроструй, когда при схлопывании кавитационные пузырьки разрушают твёрдые частицы графита прилипшие к ним. Процесс осуществляется на специальной гидродинамической установке, разработанной авторами. Установка включает следующие узлы: модульную головку (активизатор), насосную станцию, рамное основание, реактор, манометр, мановакууметр и соединительные трубопроводы. Она была установлена в цехе флотации Мариупольского графитового комбината.

Сущность процесса заключается в том, что поток графитовой смеси подают насосом со скоростью не менее 7 м/с, а затем суспензия в активизаторе подвергается гидродинамической кавитационной обработке в диапазоне чисел кавитации $0,1 \div 10$. В процессе движения струи суспензии в активаторе образуются кавитационные каверны, распадающиеся в дальнейшем на кавитационные пузырьки. При схлопывании кавитационных пузырьков образуются кумулятивные микроструи, которые вызывают размельчение твёрдых частиц графита.

В исследованиях гидродинамического измельчения был использован графит марки ГАК-1 Мариупольского графитового комбината, который содержал более 60 % фракций дисперсностью 63 мкм. После гидродинамической обработки графита, в 10-процентном растворе триполифосфата натрия в течение 8 часов фракции с размером частиц 63 мкм и выше снизились до 16 %. После измельчения в течение 12 часов – фракции с размером более 63 мкм снизились с 60 % до 4,8 %. При этом достигнуто около 18 % фракций графита с размером частиц до 2 мкм за 12 часов измельчения. Данные содержания по фракциям в весовом процентном отношении различных размеров частиц графита в зависимости от времени измельчения были получены из отобранных проб. Обработка данных проводилась на лазерном счётчике NIAC/ROY-SO MTC-3210. Значительным достоинством гидродинамического измельчения графита является дробление последнего на частицы пластинчатой формы, чего невозможно достичь при измельчении в шаровых мельницах, где частицы графита приобретают округленную форму.

Так как скорость осаждения частиц графита пластинчатой формы в жидкой среде в $1,7 \div 1,8$ раза меньше, чем скорость осаждения частиц графита округленной

формы, то можно сделать вывод, что гидродинамическим методом измельчения можно достичь более высокой степени стабильности технологических смазок.

Качество технологических смазок характеризуется, кроме прочих показателей, и величиной зольности. Высокая зольность смазки отрицательно отражается на стойкости штампов при горячей штамповке. гидродинамический способ измельчения графита в отличие от шаровых мельниц, не повышает зольность в смазке по причине отсутствия трения между мельящими элементами (металлические элементы шаровых мельниц).

В результате проведенной работы была выпущена опытная партия технологической смазки ГФП-Д (графито-фосфатный препарат). Указанная смазка предназначена для горячей объемной штамповки.

Смазка прошла промышленные испытания на ГАЗе, ЗИЛе, Таганрогском комбайновом заводе, Токмакском кузнечно-штамповочном заводе. Наносилась смазка на штамп распылением. Конструкция распылителя была предложена нами. При этом было установлено, что смазка ГФП-Д не образует дыма, копоти, не имеет запаха, легко наносится на штамп; поковки легко извлекаются из полости штампа; смазка не вызывает коррозии штампа и обрабатываемого металла, не токсична и удобна в обращении; по эффективности смазка ГФП-Д превосходит смазку ОГВ-75, но дешевле её в три раза и имеет вышеуказанные достоинства.

Анализ последних исследований и публикаций по проблеме изготовления водно-графитовых смазок показал, что предлагаемый нами способ гидродинамического измельчения графита нигде в мире пока не применяется.

Выводы: разработан и освоен принципиально новый способ измельчения графита для производства водно-графитовых технологических смазок.

УДК 621.771.26.011

ТИХОМИРОВ Ю.С., студент, НТУ «ХПИ»

КУЗЬМЕНКО В.И. канд. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ»

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ, АЛГОРИТМА И ОБУЧАЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕПЛОВЫХ И КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПЛАМЕННЫХ ПЕЧЕЙ

Статья посвящена разработке методики и алгоритма проектирования камерных печей с постоянной температурой рабочего пространства, предназначенных для нагрева кузнечных заготовок. Создана программа, позволяющая выполнять расчеты тепловых и конструктивных элементов печи, в соответствии с заданной производительностью, материалом и размерами заготовок. Программа позволяет ускорить технические расчеты и повысить их точность, в тоже время она является обучающей и позволяет исследовать влияние теплофизических параметров печи и заготовки на процесс нагрева. Намечены пути создания универсальной комплексной методики расчета для основных типов пламенных печей.

Ключевые слова: нагрев, программа, алгоритм, печь, время нагрева, эскиз, тонкое тело, температурные напряжения.

Стаття присвячена розробці методики й алгоритму проектування камерних печей з постійною температурою робочого простору, призначених для нагріву ковальських заготовок. Створено програму, що дозволяє виконувати розрахунки теплових і конструктивних елементів печі, відповідно до заданої продуктивності, матеріалом і розмірами заготовків. Програма дозволяє при-

скорити технічні розрахунки й підвищити їх точність, у тей же час вона є навчальною й дозволяє досліджувати вплив теплофізичних параметрів печі та заготівки на процес нагрівання. Намічено шляхи створення універсальної комплексної методики розрахунку для основних типів полум'яних печей.

Ключові слова: нагрів, програма, алгоритм, піч, час нагрів, ескіз, тонке тіло, температурні напруження.

Article is devoted working out of a technique and algorithm of designing of chamber furnaces with constant temperature of the working space, the forge preparations intended for heating. The program is created, allowing to carry out calculations of thermal and constructive elements of the furnace, according to the set productivity, a material and the sizes of preparations. The program allows to accelerate technical calculations and to raise their accuracy, during too time it is training and allows to investigate influence of a temperature mode of heating, a material of preparation, fuel structure on heating process. Ways of creation of a universal complex design procedure for the basic types of ardent furnaces are planned.

Keywords: heating, the program, algorithm, the furnace, heating time, the sketch, a thin body, temperature pressure.

Существует значительное количество методик расчета времени нагрева заготовок под ковку и объемную штамповку. Большинство из них громоздки, при этом основаны на довольно грубых допущениях. Это приводит к снижению точности, потере физической сущности процесса и делает их малоприменимыми для обучения студентов.

Все эти методы имеет ряд недостатков: -относительно низкая точность расчета, так как он ведется по усредненным параметрам за весь период расчета; -формулы расчета имеют приближенный характер; -расчет нагрева массивных тел ведется с помощью графиков и номограмм, что делает расчет очень трудоемким; -при расчете требуется значительное количество справочной литературы.

В связи с этим возникла необходимость разработки более практичных методик расчета, позволяющих повысить качество конечного результата и сохранить основные положения процесса нагрева заготовок. Это позволит студентам закрепить изученный материал и сделает его более понятным и доступным. Для реализации такой методики на практике, нами создана программа расчета на ПК, которая включает элементы экспериментального анализа и аналитического исследования процесса нагрева.

Была разработана методика расчета камерных печей, включающая в себя: расчет горения топлива, расчет времени нагрева заготовок, определение размеров рабочего пространства печи, выбор кладки и определение наружных размеров печи, расчет теплового баланса и определение расхода топлива, расчет основных технико-экономических показателей работы печи. Она позволяет по заданному составу топлива, производительности, материалу и размерам заготовки рассчитать тепловые и конструктивные элементы камерной печи. Это позволяет использовать ее для самостоятельной работы и практических занятий по курсу «Технология нагрева и нагревательные устройства кузнечно-штамповочных цехов» студентов, обучающихся по специальности «Машины и технология обработки металлов давлением».

В основу положено решение уравнения теплопроводности Фурье $\frac{\partial^2 T}{\partial \tau^2} = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x}$.

В результате профессором Б.В.Старком была получена формула для определения времени нагрева [1,2]

$$\tau = \frac{S \cdot \rho \cdot C_p \cdot \ln \frac{t_f - t_i}{t_f - t_n}}{k_1 \cdot \alpha} \quad (1)$$

Где τ – время нагрева, (ч); t_n – температура печи, (°C); t_i – начальная температура изделия, (°C); t_f – конечная температура изделия, (°C); k_1 – коэффициент зависящий от формы нагреваемого тела; α – коэффициент теплопередачи на поверхность, [м²/ч]; S – толщина прогреваемого слоя, (м); ρ – плотность материала нагреваемого изделия, (кг/м³); C_p – средняя теплоемкость, (кДж/кг °C);

В основе математической модели используемой для расчета времени нагрева в данной работе используется формула 1 представленная в критериальном виде:

$$Tm[i] = Tpe - (Tpe - Tm[i-1]) \cdot \exp \left(\frac{(-k1 \cdot \alpha \cdot \Delta\tau)}{(S \cdot \rho \cdot C_p \cdot m)} \right), \quad (2)$$

где $Tm[i]$ – температура тела на данном шаге итерации, (°C); $Tm[i-1]$ – температура тела на предыдущем шаге итерации, (°C); Tpe – температура печи, (°C); $\Delta\tau$ – задаваемый пользователем интервал времени, (с); ρ – плотность стали, (г/см³); C_p – теплоемкость металла, (кДж/(кг·°C)); $k1$ – коэффициент, зависящий от формы тела; S – толщина нагрева, (м); m – коэффициент учитывающий массивность заготовки; α – суммарный коэффициент теплопередачи учитывающий лучистый и конвективный теплообмен (Вт/ м²С).

Метод расчета основан на последовательном приближении к требуемой температуре нагрева. Температуру нагрева вычисляем дискретно на коротких интервалах времени $\Delta\tau_i$ (рис.1). При этом используем теплофизические параметры материала нагреваемой заготовки соответствующие средней температуре на i -ом интервале. Вычисление продолжаем до достижения требуемой температуры с погрешностью не более 2%. Затем суммируется количество интервалов (шагов итерации) и умножается на $\Delta\tau$.

Общее время нагрева определяется по формуле

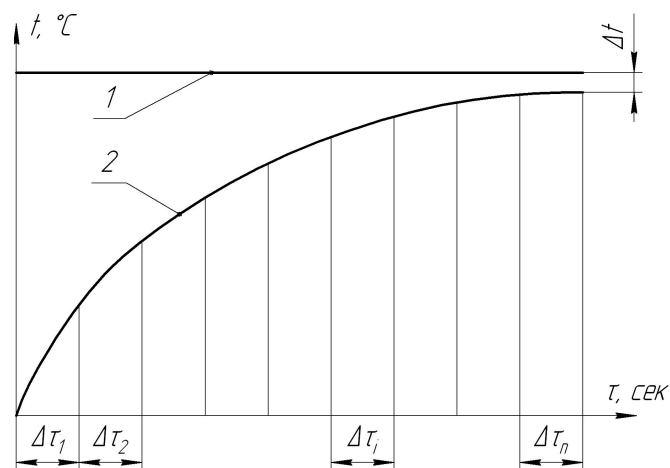
$$\tau = \sum_{i=1}^n \Delta\tau[i], \quad (3)$$

где n – число шагов итерации;

С целью расширения возможностей использования уравнения для массивных тел, в него вводят поправочный коэффициент массивности m

$$m = 1 + [(k_3 - 1)/(k_2 \cdot k_3)]Bi,$$

где k_2 , k_3 – коэффициенты определяемые формой тела и величиной критерия Био



1 – Температура печи; 2- Температура поверхности заготовки

Рисунок 1 – Схема определения времени нагрева

Полная методика расчета нагрева заготовок включает в себя расчет горения топлива, расчет времени нагрева заданной заготовки дляковки (штамповки) в камерной печи, определение размеров рабочего пространства печи, эскиз пода печи, выбор кладки, компоновку печи, эскиз печи, расчет теплового баланса, определение расхода топлива, расчет основных технико-экономических показателей работы печи. Использование такой методики позволяет значительно повысить точность расчета времени нагрева.

Для реализации методики создан алгоритм и программа расчета камерной печи под названием Heat v2 Professional Она позволяет в автоматическом режиме выполнять расчеты по нагреву металлических заготовок подковку и штамповку в камерных печах с постоянной температурой рабочего пространства, анализировать влияние теплофизических параметров, вида топлива, конструкции топливо сжигающих устройств и расположения заготовок на поду печи на время нагрева, скорость нагрева, «массивность» тела и т.д.

Исходными параметрами являются: -1. Размеры нагреваемой заготовки (диаметр и длина);-2. Марка материала заготовки;-3. Температура рабочего пространства печи;-4. Начальная и конечная температуры нагреваемой заготовки;-5. КПД горелки;-6. Вид и состав топлива;-7. Размещение заготовок (варьируемый параметр):-7.1. Расстояние между заготовками;-7.2. Расстояние между рядами;-8. Количество рядов и количество заготовок в ряду;

Главные особенности программы:

- **Простота использования.** От пользователя требуется только ввести состав топлива, диаметр заготовки, длину заготовки, выбрать марку стали, задать необходимую производительность и нажать кнопку «Расчет!». Программа рассчитает все необходимые параметры, при вычислении формул выберет необходимые коэффициенты. Также в ней присутствует встроенная база данных сталей, из которой программа сама возьмет все необходимые параметры: время конца и началаковки, теплоемкость, плотность и теплопроводность выбранной стали. Главное окно программы представлено на рис.2

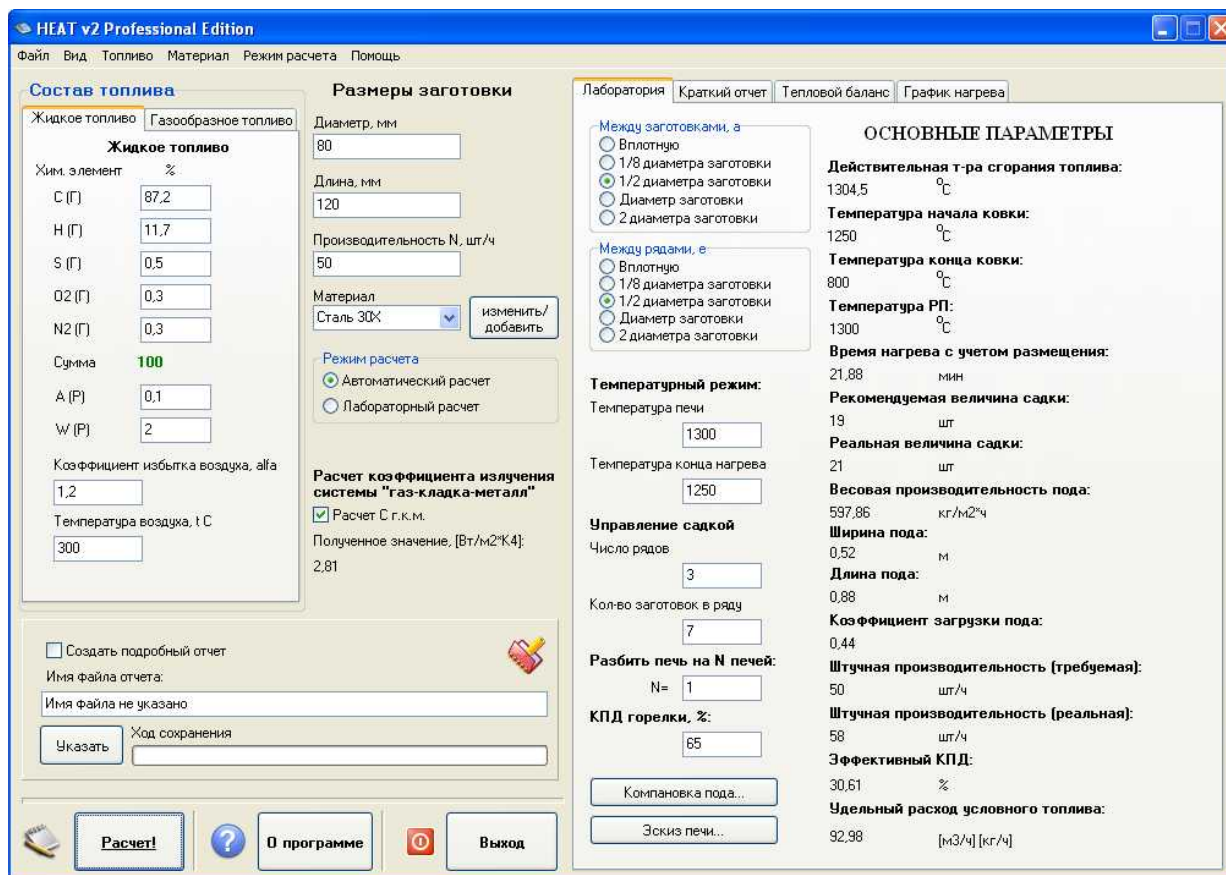


Рисунок 2 - Главное окно программы

Программа предусматривает автоматический или лабораторный режим расчета.

- **Автоматический режим расчета.** Встроенная система АРОП (Автоматический расчет оптимальных параметров) - автоматически выбирает температурные режимы нагрева (температуру печи и температуру конца нагрева в соответствии с маркой стали), число рядов и число заготовок в ряду так, чтобы обеспечивалась необходимая величина садки и оптимальные размеры пода (отношение длины печи к ее ширине). Также АРОП следит за тем, чтобы обеспечивался оптимальный коэффициент загрузки пода, производительность пода и температура горения топлива. Если коэффициент загрузки пода мал, то заготовки будут разложены с меньшими зазорами и будет выполнен полный перерасчет. Если производительность пода слишком велика, то расстояние между заготовками будет увеличено. Также может возникнуть ситуация, когда сгорание заданного топлива не может обеспечить нужную температуру печи. В этом случае АРОП предложит применить горелку с большим КПД или повысить температуру первичного воздуха, или предложит заменить топливо.

- **Лабораторный режим расчета.** Если пользователя не устраивает результат работы АРОП или программа используется в режиме обучения студентов, следует выбрать режим «Лабораторный расчет». При этом пользователь сам выбирает топливо, температурный режим, число рядов, количество заготовок в ряду и прочие параметры, чтобы обеспечить необходимые размерные параметры печи, величину садки, коэффициент загрузки пода, температуру горения топлива и т.д. Но даже в этом случае АРОП, работая в пассивном режиме, будет оповещать пользователя, если какой-либо из параметров выходит за заданные пределы.

- **Точность расчета.** Точность расчёта оценивалась при решении тестовых задач. Погрешность не превышает допустимую. Был реализован расчет $C_{Г.К.М.} \left[\frac{Вт}{м^2 \cdot К} \right]$

- приведенного коэффициента лучеиспускания между продуктами горения, внутренней поверхностью стены и поверхностью металла с учётом размещения и размеров заготовок, состава продуктов горения, а, следовательно, состава топлива и размеров рабочего пространства печи. Расчет данного коэффициента позволяет значительно повысить точность расчета времени нагрева заготовки и, как следствие, всех остальных параметров.

- **Полное решение поставленной задачи.** Кроме расчета числовых значений, программа автоматически выполняет графические построения- эскиз пода, эскиз печи и график температурного режима нагрева заготовки.

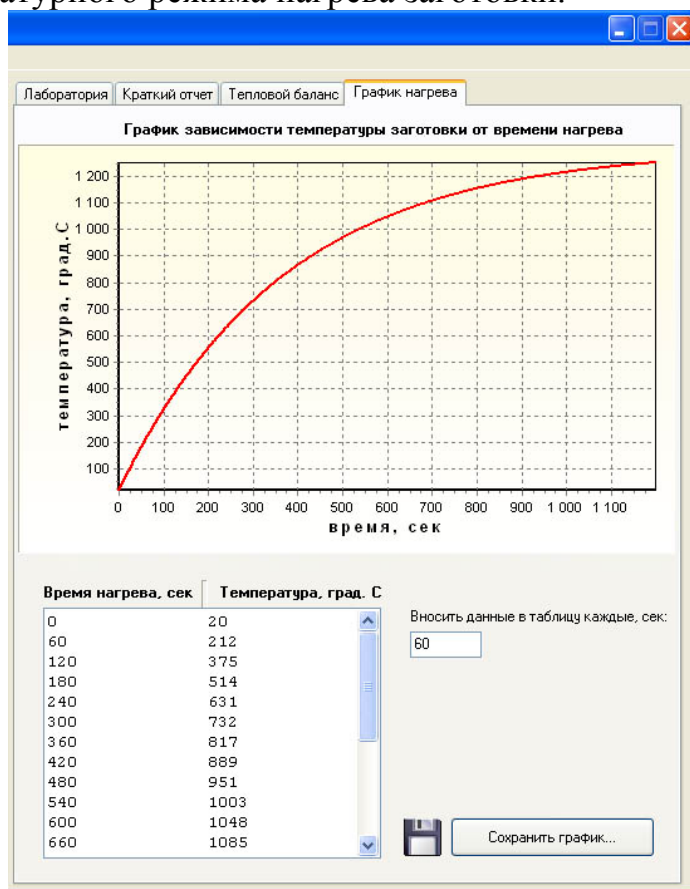


Рисунок 3 – График нагрева

- **Сохранение работы.** Если пользователю нужно сделать перерыв, или требуется продолжить работу в следующий раз, то в любой момент можно сохранить введенные исходные данные и параметры лаборатории в файл, а затем загрузить их снова и продолжить работу. Для хранения исходных данных программа использует свой собственный формат файла *.hat.

- **Отчеты и сохранение результатов.** В окне программы можно просмотреть только основные параметры печи и краткий отчет. Поэтому предусмотрена возможность создать полный отчет, в который входят результаты всех расчетов, эскизы печи и пода. Для создания полного отчета в формате *.doc необходимо, чтобы на компьютере была установлена программа Microsoft Office Word. Для автоматизации работы с этим офисным пакетом была использована технология **OLE** (*Object Linking and Embedding*). Основное преимущество ис-

пользования OLE, кроме уменьшения размера файла, в том, что она позволяет создать главный файл, картотеку функций, к которой обращается программа. Этот файл может оперировать данными из исходной программы, которые после обработки возвращаются в исходный документ.

График нагрева, эскиз печи, эскиз пода (рис.3,4,5) можно сохранить отдельно в файл формата *.bmp (BitMap). Сохраненные эскизы имеют высокое разрешение, что позволяет им безупречно выглядеть на печати.

- Высокая степень защиты. Данная программа фактически может служить инструментом для расчета самостоятельной работы по курсу «Технология нагрева и нагревательные устройства кузнечно-штамповочных цехов». В этом случае возникает угроза того, что программа несанкционированно попадет в руки студентам, например, может быть украдена с кафедры ОМД и будет использоваться для расчета (не для проверки, а именно для расчета или же подгонки своих результатов) недобросовестными студентами. Чтобы не допустить такой ситуации были приняты строжайшие меры и разработана нестандартная многоуровневая система безопасности, использующая нестандартные алгоритмы шифрования данных. Также при активации программы происходит привязка к ПК, что фактически исключает несанкционированное использование программы третьими лицами. Так же такое решение позволяет приучить студентов к работе на вычислительном центре кафедры ОМД.

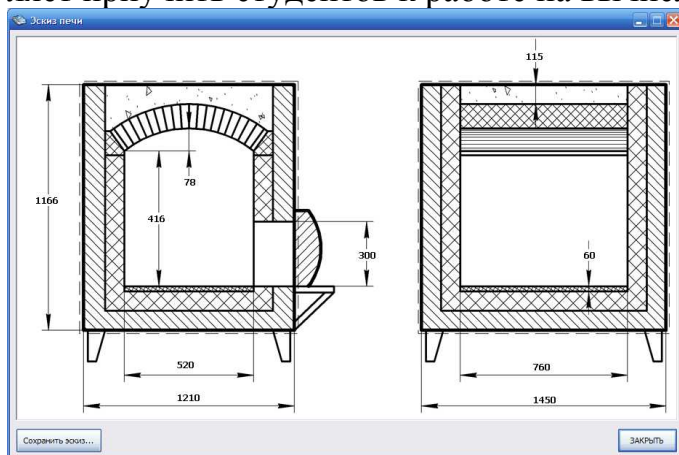


Рисунок 4 – Эскиз печи построенный программой

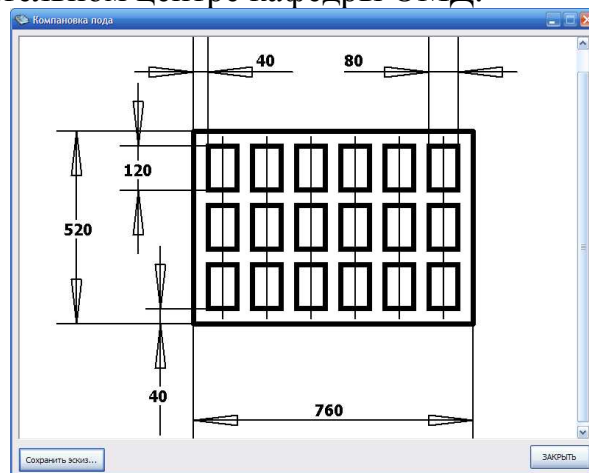


Рисунок 5 – Эскиз пода построенный программой

- Высокая надежность. Очень большое внимание было уделено обработке возможных исключений, т.е. ситуаций которые могут привести к ошибке в программе. На каждом этапе работы программа контролирует вводимые пользователем данные, и ограничивает ввод неверных или же заведомо ложных данных, которые обычно могут привести к краху программы. Так, например, при вводе дробных чисел программе все равно что вы будете использовать в качестве десятичного разделителя – точки или запятую, при вводе программа сама подставит нужный знак.

- База данных. В программе имеется база данных включающая: значения всех используемых в расчетах коэффициентов и констант, а так же теплофизические параметры материалов нагреваемых заготовок.[1-4]. При этом можно добавлять новые материалы или же вносить какие либо корректировки. Для решения этой задачи был разработан встроенный редактор свойств сталей (рис.6). Это делает программу гибкой и универсальной.

- **Справочная система.** Программа оснащена полной справочной системой. Для ее использования пользователю достаточно нажать F1 или зайти в справочную систему через главное меню.

Программа позволяет выполнять расчёты для печей с постоянной температурой рабочего пространства и предусматривает использование поправочных коэффициентов, учитывающих массивность нагреваемых заготовок, что не всегда гарантирует высокое качество нагреваемых заготовок.

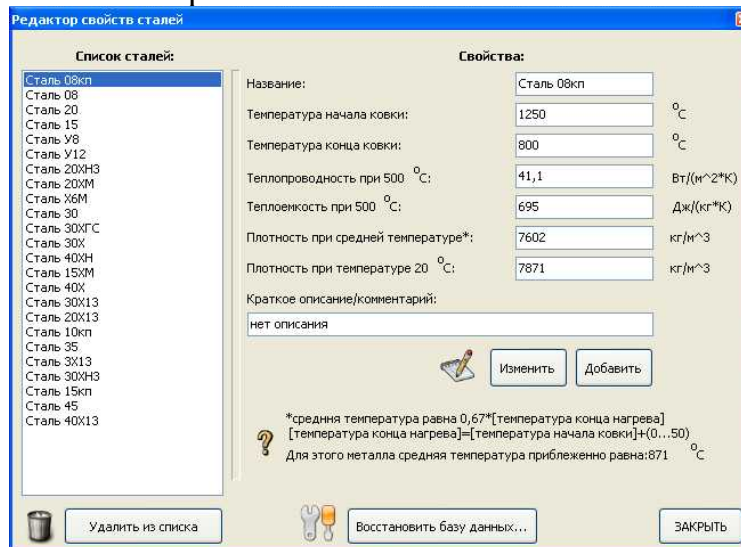


Рисунок 6 –Окно базы данных сталей

В настоящее время авторы ведут разработку методики, алгоритма и программы, осуществляющей вычисление значений температурных полей и полей напряжений, возникающих в сечении заготовки с последующим сравнением их с допустимыми значениями. Это даст возможность контролировать качественно процесс нагрева в камерной печи с постоянной температурой рабочего пространства и, в случае невозможности такого варианта, предлагать полуметодический или методический режим нагрева заготовок, с выполнением его полного проектного расчета.

Выводы:

1. Созданы методика, алгоритм и программа расчёта нагрева заготовок в камерных печах с постоянной температурой рабочего пространства с учетом поправок на массивность. Она позволяет выполнять компоновку рабочего пространства печи и элементы эскизного проектирования печи.

2. Создаётся программный комплекс, который в автоматическом режиме будет осуществлять расчет заданного режима нагрева. Кроме того позволит автоматически контролировать качество нагрева и, при необходимости, подбирать оптимальный вариант нагрева, отвечающий заданным условиям и выполнять его полный расчет.

3. Программа активно используется в учебном процессе при изучении курса «Технология нагрева и нагревательные устройства кузнечно-штамповочных цехов».

Список литературы: 1. Телегин А. С., Авдеева В. Г. Теплотехника и нагревательные устройства: Учеб. пособие для машиностроительных техникумов по специальности: «Ковочно – штамповочное производство» – М.: Машиностроение, 1985, – 248с. 2. Скворцов А.А., Акименко А.Д., Кузелев М.Я. Нагревательные устройства. – М.: Высшая школа, 1965. - 443 с. 3. Ковка и штамповка: Справочник т.1. Материалы и нагрев. Оборудование. Ковка /Под ред. Е. И.

Семенова. – М.: Машиностроение, 1985. 4. Промышленные печи. Справочное руководство для расчетов и проектирования. 2-е издание, дополненное и переработанное. Казанцев Е. И. М.: Металлургия, 1975, 368с.

УДК 621.73.043.002

ЛОБАНОВ В.К., докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПИ», г. Харьков

ЧУЙКОВА Е.В., ГП «Завод им. В.А. Малышева», г. Харьков

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ШТАМПОВКИ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРШНЕЙ ДВС

Выполнена работа по выбору оптимальной схемы штамповки заготовок поршней энергоагрегата ЭА-10 и транспортного дизеля 2ДТ и проведен анализ свойств поршневых сплавов заготовок из сплава АЛ-25 и АК4-1, изготовленных по различным технологиям.

Ключевые слова: поршень, алюминиевый сплав, штамповка жидкого металла, длительная твердость, кратковременная твердость.

Виконана робота з вибору оптимальної схеми штампування заготовок поршнів енергоагрегата ЕА-10 і транспортного дизеля 2ДТ та проведений аналіз властивостей поршневих сплавів заготовок зі сплаву АЛ-25 та АК4-1, виготовлених по різних технологіям.

Ключові слова: поршень, алюмінієвий сплав, штампування рідкого металу, тривала твердість, короткочасна твердість.

There is executed the work at the choice of optimum circuit of manufacturing of preparations of pistons energy - unit EA-10 and transport diesel engine 2DT and there is carried analysis of properties of piston alloys of preparations from an alloy out Al - 25 and AK4-1, processed on various technologies. Key words: the piston, aluminum alloy, punching of liquid metal, long hardness, short-term hardness.

1. Введение

Высокая надежность работы двигателей внутреннего сгорания (ДВС) обеспечивается качеством и долговечностью поршня – ответственной, тяжелонагруженной и дорогостоящей детали.

Поршни ДВС работают в условиях высокой тепловой и механической напряженности, к ним предъявляются повышенные требования по теплопроводности, статической, динамической и усталостной прочности, антифрикционным свойствам, износостойкости, коррозионной стойкости, а также по удельной массе и коэффициенту линейного расширения.

2. Цель работы

Целью работы является повышение качества поршней путем выбора материала и технологии изготовления. Для реализации поставленной цели исследовали свойства заготовок из сплава АЛ-25 и АК4-1, полученных жидкой штамповкой и горячим прессованием.

3. Результаты исследования

На Харьковском ГП «Завод имени В.А. Малышева» выполнена работа по выбору оптимальной технологии изготовления заготовок поршней энергоагрегата ЭА-10 и транспортного дизеля 2ДТ, незначительно отличающихся по геометрическим параметрам, но работающих в различных условиях тепловой напряженности. Для

повышения работоспособности в конструкциях поршней предусмотрена установка кольцедержателей из стали 40Г18Ю3Ф, имеющей коэффициент линейного расширения близкий к сплавам на алюминиевой основе. Рабочая температура головки поршня энергоагрегата составляет 190-210°C, а двигателя 2ДТ – 260-280°C.

Технология изготовления биметаллических поршней энергоагрегата предусматривает горячую штамповку предварительных поковок из деформируемого алюминиевого сплава АК4-1 в открытом штампе (рис. 1, а).

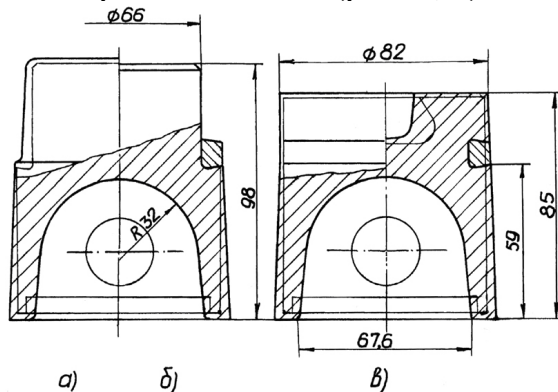


Рис. 1. Технологические переходы штамповки биметаллической заготовки поршня энергоагрегата

На рис.1 показаны переходы формообразования биметаллической заготовки поршня энергоагрегата по разработанной технологической схеме. На предварительно отштампованной заготовке тронка поршня (рис.1, а) протачивается посадочное место, на которое с небольшим натягом устанавливается механически обработанный кольцедержатель (рис.1, б). Полученная биметаллическая заготовка нагревается в электропечи до ковочной температуры материала тронка поршня ($470 \pm 10^\circ\text{C}$) и помещается в штамп закрытого типа, установленный на гидравлическом прессе модели П7640 усилием 10 МН. Заштамповка кольцедержателя производится путем деформации выступающей над ним части заготовки тронка (рис.1, в) [1].

Штампованные заготовки подвергали закалке в воду от температуры $530 \pm 5^\circ\text{C}$ и в течение 3-5 часов после закалки деформировали при комнатной температуре в штампе, изготовленном по "холодным" размерам. Затем заготовки поршней подвергали старению при температуре $180 \pm 5^\circ\text{C}$ в течение 14 ч.

Изучение свойств сплава АК4-1 на образцах, вырезанных из поршня, свидетельствует, что принятая технология обеспечивает высокие значения механических характеристик материала тронка: $\sigma_b = 450 \text{ МПа}$, $\sigma_{0,2} = 350 \text{ МПа}$, $\delta = 14\%$, НВ 136-138.

Испытание поршней на одноцилиндровых отсеках и развернутых изделиях показали удовлетворительную их работоспособность. Однако поршни двигателя 2ДТ, изготовленные по приведенной технологии, оказались неработоспособными. Сплав АК4-1 значительно разупрочнялся, полость под кольцедержатель разбивалась, что сопровождалось прорывом газов в картер двигателя. В этой связи представило интерес изготовление заготовок поршня двигателя 2ДТ из алюминиевого сплава АЛ-25, отличающегося от сплава АК4-1 повышенной теплостойкостью [2]. Заготовки поршней из этого сплава изготавливали штамповкой жидкого металла.

Штамповку расплава производили на гидравлическом прессе ПД476 усилием 1,6 МН в пресс-форме с использованием принципа поршневого прессования [3]. Зазор между пуансоном и матрицей выполнили 0,2 мм (по диаметру). В качестве смазочного материала применили водный раствор коллоидно-графитового препарата В-

1, который с помощью пульверизатора наносили перед каждой штамповкой. Температура матрицы и пуансона поддерживалась в пределах 150...200°C. Сплав выплавляли в печи сопротивления при 720...740°C, после чего рафинировали препаратом Дегазер и производили заливку в матрицу мерными ковшами. Температура заливки составляла 710...720°C, время от начала отбора расплава из печи до окончания заливки в форму 15 с. Давление прессования (150 МПа) достигалось за 5...7 с, время выдержки под давлением регулировалось автоматически и составляло 40 с. Полученные по указанной технологии заготовки биметаллических поршней из сплава АЛ-25 со стальным кольцедержателем термообработывали по режиму: закалка в горячую воду после выдержки 3-х часов при 495°C, старение 6 ч. при 195°C, охлаждение на воздухе.

Химический состав поршневых сплавов, использованных для изготовления биметаллических поршней, приведен в табл. 1.

Механические свойства сплавов АК4-1 и АЛ-25, термообработанных на заданную твердость, при повышенных температурах приведены в таблице 2. На рис. 2 представлены зависимости значений твердости (длительной и кратковременной) от температур испытаний в промежутке от 20 до 400°C.

Установлено, что сплав АК4-1 при температуре от 20 до 200°C имеет достаточно высокие показатели как прочности, текучести, так и пластичности по сравнению с соответствующими показателями сплава АЛ-25. Далее по мере увеличения температуры происходит существенное понижение уровня механических свойств. При испытании образцов сплавов АК4-1 и АЛ-25 было установлено, что образцы с более высокой твердостью имеют повышенные значения временного сопротивления разрыву, предела текучести и относительного удлинения. Незначительное повышение относительного удлинения наблюдается при температурах испытаний 200-300°C для обоих сплавов. Дальнейшее увеличение показателей пластичности происходит резко с 12 на 32% для АК4-1 и с 4 до 9% для АЛ-25 в диапазоне температур 300-400°C.

Таблица 1

Химический состав поршневых сплавов

Сплав	Основные компоненты, % вес.							Примеси, % вес.		Основа
	Si	Cu	Mg	Ni	Fe	Mn	Ti	Zn	Cr	
АК4-1	0,5-1,2	1,9-3,5	1,4-1,8	0,8-1,3	0,8-1,3	-	0,1	0,3	-	Al
АЛ-25	11-13	1,5-3,0	0,8-1,5	0,8-1,3	-	0,3-0,6	0,05-0,2	0,2	0,2	Al

Таблица 2

Механические свойства сплавов АК4-1 и АЛ-25, термообработанных на заданную твердость, при различных температурах

Сплав, спо-	Темпера-	σ_b ,	$\sigma_{0,2}$,	δ , %	Твердость
-------------	----------	--------------	------------------	--------------	-----------

способ изготовления поршней	температура испытания, °С	МПа	МПа		Кратковременная твердость ($\tau=30$ с)	Длительная твердость ($\tau=1$ час)	Твердость при 20°С после различных температур испытания
АК4-1, горячая штамповка	20	450	350	14,2	136-138	136-135	
	100	430	350	14,8	124-126	120-119	135
	200	360	325	9,6	118-116	110-108	135
	300	155	150	12,0	55-54	20-19	107
	400	40	38	32,4	20-19	9-8	66
АЛ-25, штамповка жидкого сплава	20	250	215	1,2	107-104	101-99	
	100	220	195	1,2	94-96	85-83	102
	200	190	180	2,0	79	59-58	96
	300	130	120	4,0	50-48	32-30	93
	400	50	40	9,6	26	16-13	87

Сравнительные исследования твердости сплавов АК4-1 и АЛ-25 показали, что с увеличением температуры испытаний резко снижается твердость материала как длительная, так и кратковременная. В интервале температур 200-300°С наблюдается резкое разупрочнение сплава АК4-1 - длительная твердость материала находится в пределах НВ 110...20, кратковременная – НВ 116...55, а у сплава АЛ-25 наблюдается преимущество по длительной твердости НВ 60-30 и кратковременной твердости НВ 79...50 (рис. 2).

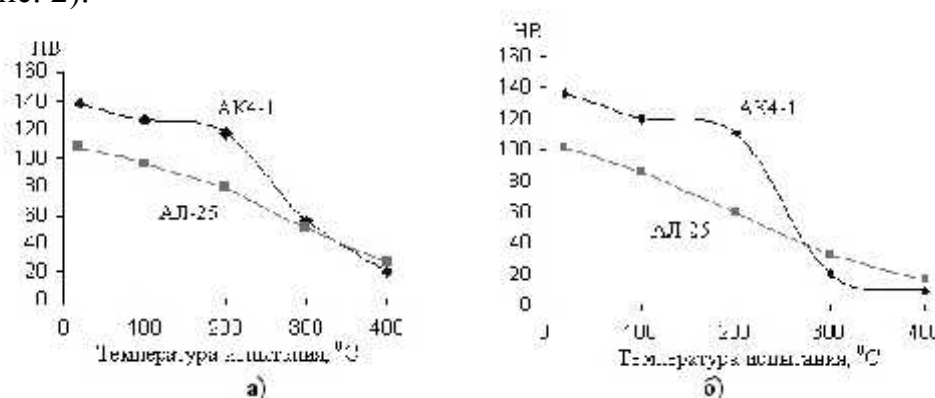


Рис. 2 Влияние температуры испытаний на свойства сплавов на алюминиевой основе: а) кратковременную твердость ($\tau=30$ с); б) длительную твердость ($\tau=1$ ч)

После испытаний была повторно замерена твердость обоих сплавов при комнатной температуре и установлено, что при остывании после нагрева до температуры 350-400°С сплав АК4-1 уступает по твердости сплаву АЛ-25.

Проведенное исследование позволило разработать и реализовать в производственных условиях технологию изготовления жидкоштампованных поршней двигателя 2ДТ. Поршни, полученные методом штамповки жидкого металла, прошли все испытания и выдержали заданный ресурс работы.

4. Выводы

Результаты испытаний поршневых сплавов показывают, что при температурах 200-250°С более высокими характеристиками обладают заготовки, полученные из сплава АК4-1 методом горячей штамповки. При температурах до 300°С отмечается

положительное влияние на свойства сплава АЛ-25 штамповки в жидкой фазе, обеспечивающее меньшее разупрочнение по сравнению со сплавом АК4-1. Следовательно, для поршней, работающих при температурах около 200°C, метод их изготовления горячей штамповкой из сплава АК4-1 является оптимальным, а при температурах близких к 300°C предпочтительнее штамповка из сплава АЛ-25 в жидкой фазе.

Положительные результаты выполненной работы учтены при внедрении в производство технологий изготовления тяжелонагруженных поршней форсированных ДВС.

Список литературы: 1. А.с. 602282 СССР, Б21К1/18 Способ изготовления поршней с кольцедержателем. 2. *Сергеев П.С.* Штамповка жидких цветных металлов и сплавов. Л., Судпромгиз. - 1957. 3. *Батышев А.И.* Штамповка жидкого металла. М.: Машиностроение. - 1979. - с. 199.

УДК 621.983.044

Е.А. ФРОЛОВ, д-р техн. наук

М.М. БУДЕННЫЙ, к.т.н.

И.В. МАНАЕНКОВ

Украинская государственная академия железнодорожного транспорта

ПНЕВМОУДАРНАЯ ШТАМПОВКА СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ЛИСТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ

Рассмотрены вопросы изготовления высокоточных сложнопрофильных деталей с применением пневмоударной штамповки. Предложены перспективные материалы для изготовления формообразующих элементов штампов в условиях мелкосерийного производства.

Состояние вопроса. Импульсные нагрузки находят все более широкое применение в технологических процессах металлообработки. Большие энергетические возможности, высокие скорости обработки, простота, экономичность, широкие возможности управления процессом, его механизации и автоматизации, получение деталей высокой точности и качества определили целесообразность создания промышленного технологического оборудования для импульсной обработки металлов давлением.

В различных отраслях промышленности все чаще возникает необходимость изготовления деталей высокого класса точности. Существующая же технология их калибровки не обеспечивает должной эффективности и качества процесса, например, для крупногабаритных оболочек с внутренними ребрами жесткости, когда эти операции приходится выполнять вручную.

Применение для этой цели пневмоударной штамповки методом калибровки с локальным нагружением открывает широкие возможности для получения качественных изделий. Исходные заготовки, имеющие 7 – 9-й класс точности, могут быть откалиброваны до 4 – 5-го класса при высоком уровне механизации и автоматизации процесса.

Рациональной областью применения пневмоударной штамповки является мелкосерийное и серийное производства. Одно из основных её достоинств – сокращение расходов на штамповую оснастку, особенно при штамповке деталей сложной формы (рис. 1), для изготовления которых традиционным способом требуется несколько переходов, т.е. несколько комплектов штампов.

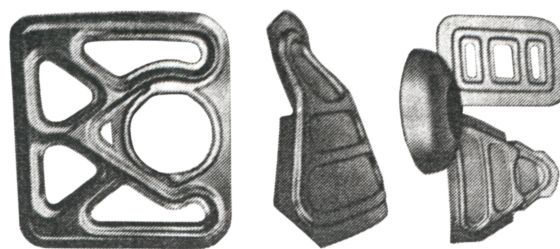


Рис. 1. Детали, отштампованные на пневмоударных прессах

Наиболее широко применяемым оборудованием являются импульсные пресса модели Т-1324 с пневматической камерой для штамповки гидравлической средой.

Технические характеристики пресса Т-1324

Максимальная энергия удара, кДж	25
Рабочее давление воздуха в аккумуляторе, МПа	0,12...0,63
Продолжительность цикла, с	25
Число ударов в цикле	1...10
Диаметр выходного сечения камер, мм.	250
Размеры зоны под технологическую оснастку, мм.	600×560×320
Просвет между щеками, мм	800
Диаметр ствола, мм.	200
Длина разгона бойка, мм	1700
Усилие прижима, кН	600
Рабочий ход механизма зажима, мм.	18
Максимальная производительность дозатора, л/операция	10
Параметры питающей пневмосети:	
давление, МПа.	0,4...0,63
расход, м ³ /ч.	80
Мощность электропривода, кВт.	7,5
Габаритные размеры машины, мм.	2600×2000×3630
Масса, кг.	9000
Машину обслуживает один человек.	

Ударный блок машины должен устанавливаться на бетонный фундамент глубиной 1000 мм. Между станиной и фундаментом должен быть уложен резиновый лист толщиной не менее 25 мм.

На машине Т-1324 предпочтительнее осуществлять операции вытяжки, раздачи, формовки крупногабаритных деталей, образования рельефа на пространственных заготовках, операции пробивки-вырубки в пространственных заготовках.

Возможно также совмещение формообразующих и разделительных операций.

Для штамповки деталей эластичной средой широкое применение получили пресса модели ТА-1324 с пневматической камерой.

Технические характеристики пресса ТА-1324

Максимальная энергия удара, кДж	25
Рабочее давление воздуха в аккумуляторе, МПа	0,12 ... 0,63
Диаметр ствола, мм.	200
Диаметр выходного сечения рабочей камеры, мм.	200
Ход бойка, мм	1700
Усилие зажима, кН	60
Продолжительность цикла, с	10

Размеры зоны под технологическую оснастку, мм. . . .	Ø300×150
Мощность электропривода, кВт.	0,16
Напряжение питающей электрической сети, В.	220
Параметры питающей пневмосети:	
давление, МПа	0,4 ... 0,63
расход, м ³ /ч	100
Габаритные размеры машины, мм	1750×1400×3330
Масса пресса, кг	4450
Машины ТА-1324 обслуживает один человек.	

На машине ТА-1324 предпочтительнее осуществлять такие листоштамповочные операции, как пробивка-вырубка на плоских заготовках, формовка сложного профиля. Машина особенно эффективна при пробивке-вырубке особо тонких материалов.

На пневмоударном оборудовании изготавливаются детали из плоских, трубчатых, пространственных заготовок размерами от нескольких сантиметров до 400×800 мм в плане. При формовке рифов и неглубоких рельефов могут штамповаться детали до 900×1000 мм. Вследствие большой равномерности распределения деформаций при пневмоударной штамповке по сравнению с традиционными методами в штампах состоящих из жесткой матрицы и пуансона сокращаются в 2...3 раза.

Объем камеры пневмоударного оборудования Т-1324 составляет 8 л. Рабочий объем деформирования за один удар не должен превышать (в зависимости от конструкции рабочей камеры) 3...6 л. Получение изделий с объемом деформирования более 6 л. осуществляется многократным гидроударным нагружением заготовки. Кроме того, с увеличением скорости деформирования, степень вытяжки уменьшается, увеличение же количества импульсов приводит к снижению скорости деформирования, т.е. осуществление процесса несколькими ударами благоприятно для процесса вытяжки заготовки. Поэтому в машине предусмотрен полуавтоматический режим работы с несколькими ударами в цикле без разжима оснастки. Отличие этого режима состоит в том, что после зажима оснастки многократно повторяются операции «наполнение» и «удар», а разжим начинается только после выполнения заданного количества ударов.

Материалы для изготовления матриц при пневмоударной штамповке.

Этот вид штамповки благодаря высокой скорости формоизменения ведет к увеличению степени деформации и способствует повышению прочностных свойств металла заготовок и точности размера детали за счет меньшего пружинения.

Высокоскоростное формообразование материала при импульсной штамповке осуществляется давлением импульсной нагрузки. Используемая оснастка в зависимости от выполняемой операции воспринимает три вида нагрузки: калибрующая, ударная и комбинированная.

Калибрующая нагрузка возникает при операциях калибровки, когда заготовка имеет лишь местные незначительные отклонения от формы готовой детали.

Ударная нагрузка появляется при формовке деталей с незначительным изменением первоначальных размеров заготовки, причем процесс формовки заканчивается ударом заготовка о зеркало матрицы.

Комбинированная нагрузка – когда после соударения с матрицей на заготовку продолжает действовать давление источника нагружения.

Нагрузки, воздействующие на оснастку, хотя и высокие, но носят кратковременный характер, что позволяет применять для изготовления матриц или пуансонов различные по прочности материалы.

В настоящее время в зависимости от программы выпуска, марки и толщины материала для изготовления оснастки используются следующие материалы: сталь, чугун, алюминий-цинковый сплав, железобетон, облицованный стеклопластиком, пластические массы, дерево, лед с наполнителем, гипс, парафин и т.д. Сталь (Ст45, 20Л) и чугун (СЧ-18-36) применяют в матрицах для изготовления крупных в средних серий. Изготовление таких матриц связано со значительными трудозатратами. В мелкосерийном производстве используют для матриц бетон, гипс, дерево с полимерным материалом, лед и т.д. Применение этих материалов позволяет снизить металлоемкость и трудоемкость на 10...20 %, а также уменьшить трудозатраты. Причем в матрице из железобетона, облицованном эпоксидным олигомером, без разрушения могут формироваться 4-5 деталей.

В табл. 1 представлены сравнительные характеристики вышеперечисленных материалов.

Таблица 1

Сравнительная характеристика материала

Материал матрицы	Основные физико-механические характеристики				Способ переработки
	плотность, г/см ³	разрушающие напряжения, МПа		усадка, %	
		изгиб	сжатие		
Лед	—	6,4	10	—	Замораживается при температуре –15 °С – 4 часа
Дерево	0,4...0,8	60...120	20...60	0,5...5	Сушка и пропитка
Бетон	2,4	25...45	20...35	—	Вибротрамбовка, сушка
Эпоксидно-диановый олигомер ЭД-20	1,15	30...50	50...70	2,5	Заливка композицией, отверждение 24...28 часов
Пластмасса АСТ-Т	1,18	40...70	50...90	0,4	Заливка композицией, отверждение 1...3 часа
Чугун СЧ-18-36	6,8...7,6	360	70	—	Плавление в печах
Сталь Ст45	7,8	550...600	—	—	Плавление в печах

Из этих данных видно, что наибольший интерес представляют полимерные материалы холодного отверждения, так как при использовании их нет необходимости применять специальное оборудование (криогенные и паровые камеры, плавильные печи, сушильные шкафы и т.д.). Причем время изготовления матриц из полимерных материалов в несколько раз меньше, чем матриц, из дерева, бетона и железобетона.

Однако полимерные материалы должны соответствовать следующий требованиям:

- кратковременно выдерживать давление порядка 100...300 МПа;
- дешевизна сырья;

- технологичность
- высокое качество поверхности.

Были исследованы акриловая полимер-мономерная пластмасса АСТ-Т и модифицированные композиции на ее основе. Параллельно исследовали возможность применения для изготовления матриц эпоксидно-дианового олигомера ЭД-20 холодного отверждения (отвердитель ПЭПА). В табл. 2 представлена зависимость изменения физико-механических свойств образцов пластмассы АСТ-Т и ЭД-20 в процессе хранения.

Таблица 2

Изменение физико-механических характеристик

Время, час	ЭД-20		АСТ-Т	
	ударная вязкость, кДж/м ²	разрушающее напряжение при изгибе, МПа	ударная вязкость, кДж/м ²	разрушающее напряжение при изгибе, МПа
24	5	35	8	46
720	6	56	8	70
2000	5	50	8	55
4000	3	50	8	58
8000	2,5	34,8	8,5	60

Так как акриловые композиции холодного отверждения в три раза дешевле эпоксидно-диановых и при этом физико-механические свойства у них стабильнее во времени, дальнейшие исследования проводили на образцах из пластмассы АСТ-Т. Для упрочнения композиционного материала применяли его армирование. Данные представлены в табл.3.

Таблица 3

Изменение физико-механических свойств образцов

Армирующий материал	Толщина, мм	Ударная вязкость, кДж/м ²	Разрушающее напряжение, МПа		
			растяжение	изгиб	сжатие
Стеклопластик (связующее ЭД-20)	1	18,4	51,6	67,6	93
Стеклопластик (связующее полиэфир)	1,5	47,1	–	46,2	–
Стеклопластик (связующее АСТ-Т)	1	18,0	52	60,5	77
Латунная сетка	0,3	6,6	–	21,6	–
Стальная сетка	0,5	16,0	–	23,0	–

Армирование полимерной матрицы стеклопластиком способствует увеличению сопротивления ударным нагрузкам, что тем самым увеличит ее стойкость и долговечность.

Одновременно исследовали возможность армировать пластмассу АСТ-Т ориентированным стекловолокном и полиамидные волокном. У армированных образцов возрастает сопротивление удару в 3 и более раз. В табл. 4 представлены данные по изменению физико-механических характеристик пластмассы АСТ-Т при различных вариантах армирования, а также сравнительные характеристики армированных эпоксидно-диановых смол.

Изменение физико-механических свойств АСТ-Т

Вид армирования	Ударная вязкость, кДж/м ²		Разрушающее напряжение при сжатии, МПа		Разрушающее напряжение при изгибе, МПа	
	АСТ-Т	ЭД-20	АСТ-Т	ЭД-20	АСТ-Т	ЭД-20
Без армирования	8...9	4...5	70...90	40...50	40...50	30...40
Поликапроамидное волокно	20...25	6...8	–	–	40...50	20...25
Стеклопластиковая пластина	20...26	16...20	70...90	–	50...70	–
Стеклопластиковая пластина (стеклоровинг)	30...40	20...24	85...95	–	55...60	–

Выводы.

1. Наибольший экономический эффект от внедрения пневмоударной штамповки достигается при изготовлении сложнорельефных деталей габаритами 800...1000 мм.
2. Перспективным материалом для изготовления матриц для пневмоударной штамповки в мелкосерийном производстве являются пластические массы акриловых армированных композиций.

Список литературы: 1. Ударная листовая штамповка / В.Н. Чачин, А.Я. Мовшович, Е.А. Фролов и др. – М.: НТЦ «Информтехника», 1991. – 224 с. 2. Борисевич В.К. К вопросу применения пластических масс при изготовлении оснастки для импульсных методов штамповки / В.К. Борисевич, Е.А. Фролов, Г.Г. Комарова // Материалы отрасл. семинара. – Х.:ХНИИТМ, 1983. – С. 14-19.

УДК 621.735.3

ПІДПІРНА В.О., аспірант, НТУ «ХПІ», м. Харків

АНАЛІЗ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗАГОТОВАНОК ДЕТАЛЕЙ ТИПУ СТАКАН ДЛЯ ПРОЦЕСУ ВИДАВЛЮВАННЯ

Стаття присвячена отриманню точного об'єму заготовок деталей типу стакан. Показані відхилення форми та геометрії заготовки, що обумовлені неточним об'ємом прокату.

Ключові слова: заготовка, стакан, видавлювання, точність, об'єм.

Статья посвящена получению точного объема заготовок деталей типа стакан. Показаны отклонения формы и геометрии заготовки, обусловленные неточным объемом проката.

Ключевые слова: заготовка, стакан, выдавливание, точность, объем.

The article is devoted to producing of precise volume of workpiece like cup. Form and size deviation of workpiece that are made by imprecise volume of rolled metal are shown.

Key words: workpiece, cup, extrusion, precision, volume.

Процеси холодного об'ємного штампування, в тому числі видавлювання, потребують точних та якісних заготовок для отримання деталей із точними геомет-

ричними розмірами, особливо якщо заготовка виготовляється в закритому штампі [1].

Відомо, що об'єм заготовки має включати в себе об'єм самої деталі та об'єм металу, що витрачається на технологічні потреби – як то термообробка, травлення, припуски на різальні роботи [2]:

$$V_{\text{заг}} = V_{\text{вир}} + V_{\text{тв}}, \quad (1)$$

де $V_{\text{заг}}$ – об'єм заготовки;

$V_{\text{вир}}$ – об'єм виробу;

$V_{\text{тв}}$ – об'єм технологічних витрат.

Витрати на термообробку можна прийняти 0,5...1% від об'єму заготовки, витрати при травленні – 1...2% [2].

Зазвичай заготівельним матеріалом для об'ємного штампування слугує прокат різного профілю – круглого, квадратного, шестикутного і таке інше, рідко – листовий матеріал великої товщини. Часто виробництво деталей типу стакан здійснюється з круглого прокату. Заготовка спочатку відрізається від прутка, а потім обробляється методами ХОШ.

До теперішнього часу, не дивлячись на сучасні технології, отримати заготовки з об'ємом $V_{\text{заг}}$ потрібної точності важко. По-перше, при обчисленні об'єму заготовки обирають номінальний діаметр прутка. Номінальний розмір прутка має певні відхилення, бо певна частина виробляється з додатним, інша – з від'ємним допуском. Поля допусків визначені ДСТУ 4738:2007/ГОСТ 2590-2006 так, що зі збільшенням діаметра зменшується відносне поле допуску та зростає точність виготовлення прутка. Калібрований прокат коштує набагато більше. Тому його використання в технологічному процесі підіймає суттєво й вартість виробу. По-друге, в результаті відрізання від прутка як найбільш поширеного способу отримання заготовок отримуємо заготовки із задирками. На задирки для середніх та крупних деталей йде 15-20% металу, а на дрібних деталях задирка наближується до ваги самої деталі. По-друге, вимірювання об'єму заготовки проводиться дозуючими приладами. Давачі таких приладів мають похибку 1,5...2% [3]. Тому виробництво заготовок у сучасних умовах пов'язане з надмірними витратами металу та браком.

Якість поверхні, точність розмірів та форми заготовок тісно пов'язані з якістю деталі, виробу. Тому неточний об'єм призводить до недоштампування деталі у разі недостатнього об'єму або до браку у вигляді різностінності, скосу торця, неточних розмірів деталі у разі надмірного об'єму.

Нижче приведені декілька відхилень від форми та розмірів заготовок, на які впливає їх неточний об'єм.

Видавлювання деталей типу стакан різної по периметру товщини сприяє збільшенню навантаження на робочий інструмент – матрицю та пуансон (рис. 1) – та більшому їх зношенню. При такому видавлюванні виникають сили T_t та T_k , що виникають в результаті нерівномірної течії металу заготовки, та згинаючий момент $M = P_0 \cdot e$ (рис. 1) [4].

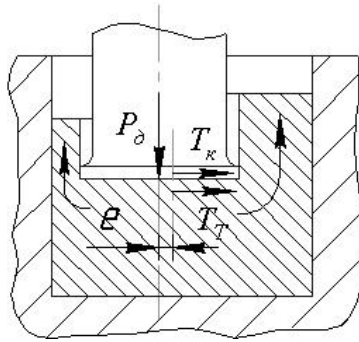


Рис. 1 Схема процесу видавлювання стаканів з різною товщиною стінки

Такий силовий режим зношує робочий інструмент та змінює його розміри. Крім того, неспіввісність пуансона та матриці може привести не тільки до великих навантажень на інструмент, але й привести до появи браку на поверхні деталі, наприклад, розриву стінки виробу [5].

Різностінність визначається як різниця найбільшої S_{max} та найменшої S_{min} товщини стінок $\Delta S = S_{max} - S_{min}$ на заданому рівні z . В деяких випадках замість різностінності в кресленнику зазначається неспіввісність зовнішньої та внутрішньої поверхні δ . З кресленника (рис. 2) слідує, що $S_{max} = 0,5 \cdot (D-d) + \delta$, $S_{min} = 0,5 \cdot (D-d) - \delta$, звідки $\Delta S = 2 \delta$.

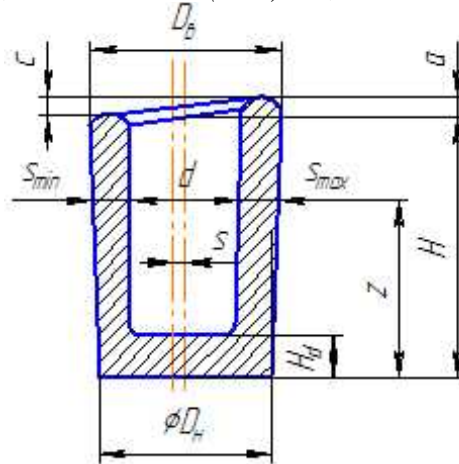


Рис. 2 Відхилення форми деталей типу стакан

Причина різностінності – неспіввісність пуансона та матриці в процесі деформації, але найбільш важливими факторами, що впливають на різностінність, вважають якість заготовок та горизонтальну жорсткість штампу [4].

Щоб звести різностінність до мінімуму, необхідно, по-перше, щоб торець заготовки був перпендикулярним твірній, а діаметр мав відповідні відхилення. По-друге, необхідно, щоб штамп мав високу горизонтальну жорсткість [2].

Скос торця визначається як різниця найбільшої H_{max} та найменшої H_{min} висоти заготовки $C = H_{max} - H_{min}$.

Причина появи косого торця – нерівномірна течія металу в проміжок між пуансоном та матрицею, причиною чого являється заготовка різної товщини. Відповідно до закону найменшого спротиву, в більш товсту стінку метал тече інтенсивніше, тому й висота товщої стінки отримується більшою. При інших рівних умовах скос торця тим більше, чим менше відносна товщина стінки S/d .

Скос торця тісно пов'язаний з різностінністю. Тому усі фактори, що впливають на різностінність, також впливають й на скос торця. Особливо скос торця проявляється при видавлюванні тонкостінних стаканів, для яких $d/D > 0,8$. Для цих дета-

лей C може збільшуватися до $0,5d$, що приводить до значних витрат металу при підрізці торця.

Чисельні значення C змінюються в широкому інтервалі та залежать від багатьох факторів. Орієнтовно мінімальні значення скосу торця, що досягаються в умовах виробництва, складають менше $0,2d$.

Висотні розміри перекладок, головок, фланців залежать від пружної деформації системи прес-штамп та змінюються в більш широких межах [6...8]. Допуски на ці розміри визначають по формулі

$$\pm \Delta h = \pm \frac{(0,08...0,14)P_d}{(0,3...0,5)C_{mu}},$$

де P_d – зусилля деформації для даної деталі,

C_{mu} – жорсткість пресу, що визначається за паспортними або довідковими даними [9].

Висотні розміри залежать від точності об'єму вихідної заготовки, а також пружної деформації системи прес-штамп. Тому допуски на них для стаканів визначаються двома складовими:

$$\Delta H = \frac{4\Delta V}{\pi(D^2 - d^2)} + \frac{\Delta h \cdot d^2}{D^2 - d^2},$$

де ΔV – відхилення об'єму вихідної заготовки від номінального;

Δh – відхилення відповідних розмірів другого виду для стаканів.

Знаки відхилень ΔV та Δh слід вибирати однаковими як для першої складової, що визначає вклад відхилення фактичного об'єму вихідної заготовки від номінального значення об'єму, так і для другої, що враховує зміну розмірів H або L – залежно від зміни розмірів h .

Якщо діаметр заготовки дорівнює діаметру матриці, то формулу для розрахунку ΔH можна привести до виду:

$$\Delta H = \frac{1}{1 - d^2/D^2} \cdot \left(\frac{4\Delta V}{\pi D^2} + \frac{\Delta h \cdot d^2}{D^2} \right).$$

Дріб $\Delta V/D^2$ має простий фізичний смисл – це допуск на довжину вихідної заготовки для стаканів. Відповідно, можна записати:

$$\Delta H = \frac{1}{1 - d^2/D^2} \cdot \left(\frac{4\Delta H_s}{\pi} + \frac{\Delta h \cdot d^2}{D^2} \right).$$

Як видно з приведених формул, такі розміри змінюються тим більше, чим ширші допуски на розміри вихідних заготовок, чим менша вертикальна жорсткість преса та штампа та чим більше ступінь деформації. Тому при видавлюванні тонкостінних стаканів допуски на розміри H та L можуть складати декілька міліметрів.

Отже, виробництво деталей методами ХОШ тісно пов'язане з виготовленням їх заготовок. Об'єм, форма, геометричні розміри, шорсткість поверхонь та механічні властивості заготовок суттєво впливає на такі ж самі параметри для деталей. Тому надмірний об'єм заготовки призводить до таких видів браку як різностінність, скос торця, неточні висотні розміри.

Список літератури: 1. Євстратов В. О. Аналіз виготовлення низьких заготовок для процесу видавлювання / В. О. Євстратов, В. О. Підгірна // Обработка материалов давлением: зб. наук. пр. – Краматорськ: ДДМА, 2008. – №1 (19). – С. 183-185. 2. Евстратов В. А. Основы технологии

выдавливания и конструирования штампов [Текст] / В. А. Евстратов. – Х.: Вища школа, 1987. – С.144. 3. Норицын И. А. Тенденция развития объемной штамповки в закрытых штампах / И. А. Норицын // Кузнечно-штамповочное производство. – 1972. – № 9. – С. 1-6. 4. Качанов А. П. Прогнозування не співвсності пуансона і матриці на операціях холодного зворотного видавлювання / А. П. Качанов, Д. О. Корольов // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском в металургії та машинобудуванні: зб. наук. пр. Краматорськ - Хмельницький – 2002. – С. 420-422. 5. Овчинников А. Г. Деформируемость сплавов при холодном обратном выдавливании полых цилиндрических изделий / А. Г. Овчинников // Кузнечно-штамповочное производство – 1980. – №1. – С. 7-10. 6. Антонюк Ф. И. Сравнительная оценка эффективности способов повышения точности холодной объемной штамповки на основе статистических методов анализа / Ф. И. Антонюк // Кузнечно-штамповочное производство – 2006. – №12. – С. 19-23. 7. Антонюк Ф. И. Точность холодной объемной штамповки на кривошипных прессах с упорами и без упоров. Ч.2. Обратное выдавливание и штамповка в закрытом штампе / Ф. И. Антонюк, Е. Н. Ланской // Кузнечно-штамповочное производство – 2004. – №1. – С. 19-29. 8. Антонюк Ф. И. Повышение точности холодной объемной штамповки на гидравлических прессах / Ф. И. Антонюк, А. Н. Малышев // Кузнечно-штамповочное производство. – 2005. – №11. – С. 14-18. 9. Банкетов А. Н. О расчете мощности электродвигателя кривошипных кузнечно-прессовых машин / А. Н. Банкетов, О. М. Соснин // Кузнечно-штамповочное производство. – 1979. – №11. – С.19-21.

УДК 621.983

**ВАСИЛЬЕВ К.И.,
ЯБЛОНОВСКАЯ А.В.,
ОХРИМЕНКО М.А.**

Кафедра «Системы пластического деформирования» МГТУ «СТАНКИН»

РАСЧЕТ ДИАМЕТРА ЗАГОТОВКИ ДЛЯ ЛИСТОВОЙ ВЫТЯЖКИ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ ДЕТАЛИ С ОБРАЗУЮЩЕЙ ПРОИЗВОЛЬНОЙ КОНФИГУРАЦИИ.

Рассмотрены 5 возможных способов вычисления диаметра исходной заготовки при вытяжке осесимметричных деталей из листового материала, 3 из которых подробно изложены в справочниках и учебниках. Показано, что, используя разработанную универсальную параметрическую модель штампуемой детали, можно без написания программного кода быстро определить диаметр исходной заготовки для вытяжки осесимметричной детали с образующей произвольной конфигурации.

В процессе разработки технологического процесса вытяжки деталей сложной формы возникают трудности при расчете размера исходной заготовки. Традиционно для определения размеров плоской заготовки при вытяжке полых тел используется три метода[1, 2, 3]:

1. Метод на основе табличных данных.

Расчет диаметра заготовки наиболее распространенных конфигураций деталей типа тел вращения осуществляется по расчетным зависимостям, сведенных в справочные таблицы и приведенных в справочной литературе.

2. Метод равенства поверхностей.

Сущность метода состоит в том, что образующую изделия условно разбивают на ряд простых геометрических фигур, площади поверхностей которых легко вычислить. Приравнивая сумму площадей всех элементарных поверхностей готового изделия площади заготовки, вычисляют диаметр.

3. Графоаналитический метод.

Графоаналитический метод применяется для расчета размеров (диаметра) заготовки деталей, имеющих образующую сложной конфигурации и предполагает последовательное выполнение следующих шагов [4]:

а) В натуральную величину или в увеличенном масштабе вычерчивается контур детали с учетом припуска на обрезку.

б) Контур образующей разбивается на отдельные элементы. При этом криволинейные участки делятся на небольшие отрезки, которые условно принимаются за прямолинейные.

в) По масштабу чертежа определяются длины прямолинейных отрезков и расстояния от середины этих отрезков до оси вращения (оси симметрии).

г) На основании равенства площади боковой поверхности штампуемой детали и площади заготовки в плане вычисляется диаметр круглой заготовки.

Описанный метод является достаточно громоздким и трудоемким, но до настоящего времени являлся единственным методом, хотя и недостаточно точным, для расчета диаметра заготовки для детали, имеющей образующую достаточно сложной конфигурации.

В настоящей работе предлагается современный компьютерный метод определения диаметра круглой в плане заготовки, используя возможности графических редакторов параметрического проектирования и черчения.

В графическом пакете *T-Flex CAD* создана универсальная модель, представляющая собой совокупность линейных участков и дуг окружностей. Исходными данными является толщина материала (S), длины прямолинейных участков соответствующих элементов (L), радиусные (R) и угловые размеры дуговых участков, а также вогнутость или выпуклость соответствующих дуговых элементов. Для удобства работы с моделью создано диалоговое окно, в котором можно ввести размеры участков детали и изменять геометрическую конфигурацию деталей. Детали могут иметь габаритные размеры от нескольких миллиметров до нескольких метров и толщину от десятых долей до нескольких десятков миллиметров. Универсальная модель и окно диалога для коррекции исходных данных представлены на рис. 1.

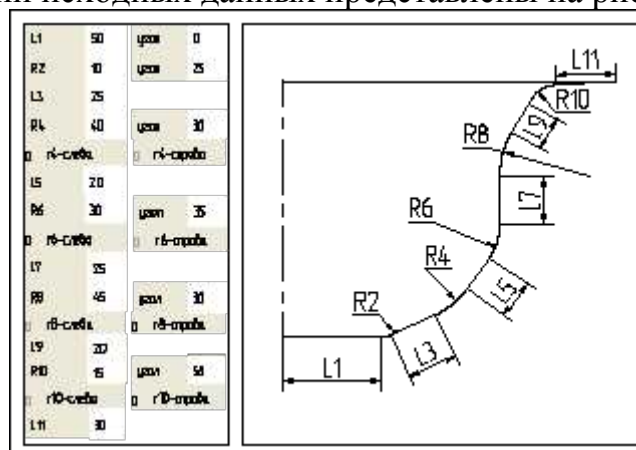


Рис. 1. Параметрическая модель для расчета диаметра круглой в плане заготовки

Нумерация участков выполняется от оси вращения к периферии. Прямолинейным участком присваиваются нечетные номера, дуговым – четные. Если один дуговой участок плавно переходит в другой, то длина прямолинейного участка, находящегося между ними, принимается равной нулю.

При вычислении диаметра круглой в плане исходной заготовки традиционно считают, что толщина детали не меняется, поэтому диаметр заготовки может быть опре-

делен исходя из равенства площадей боковых поверхностей получаемой детали и заготовки, т.е.

$$F_{заг} = F_{дет}, \quad (1)$$

где $F_{заг}$ – площадь круглой заготовки в плане, мм²;

$F_{дет}$ – площадь боковой поверхности детали, мм².

Для определения диаметра заготовки необходимо вычислить площадь боковой поверхности детали по средней линии контура.

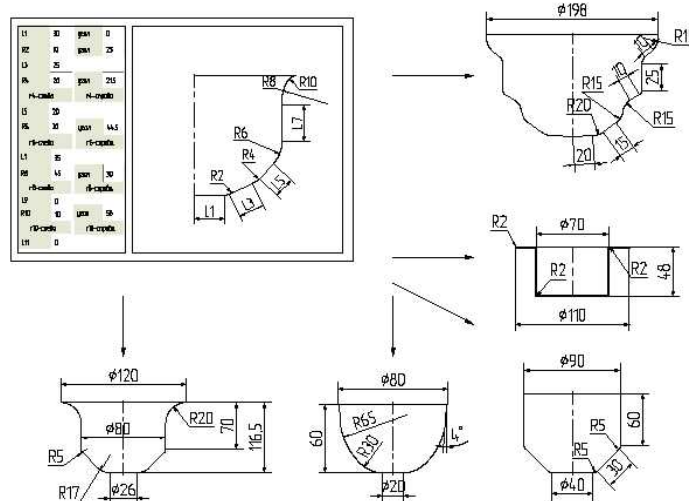


Рис. 2. Параметрическая модель с примерами возможных геометрических конфигураций деталей.

Площадь поверхности детали $F_{дет}$ вычисляется по первой теореме Гюльдена: площадь поверхности фигуры, полученной плоско – параллельным перемещением замкнутого или незамкнутого контура по произвольной траектории или его вращением определяется как произведение длины образующей на длину пути, который проходит координата центра тяжести этого контура. На рис. 3 изображена деталь толщиной S , состоящая из двенадцати простых элементов с линейными размерами L_n и радиусами R .

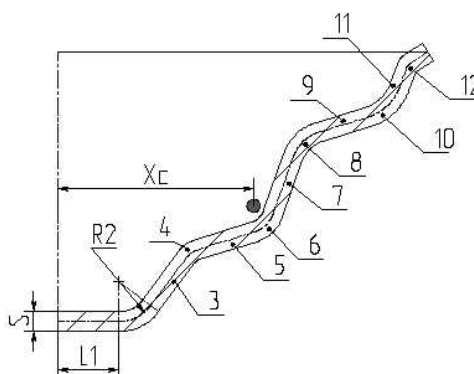


Рис.3. Пример разбиения контура детали на прямолинейные и дуговые участки.

$$F_{нов} = 2\pi X_c L, \quad (2)$$

где X_c – расстояние от оси симметрии до центра тяжести образующей, мм;

L – длина образующей, равная сумме длин элементов контура, мм.

Для определения числового значения длины образующей и координаты центра тяжести образующей выполнена обводка средней линии и штриховка сечения (области

контура детали) с учетом толщины материала. Используя возможности графического пакета *T-Flex CAD*, автоматически определяется длина образующей и расстояние центра тяжести области штриховки до оси вращения.

Диаметр исходной заготовки определяется из равенства площадей

$$D_{заг} = \sqrt{\frac{4F_{нов}}{\pi}}, \quad (3)$$

где $D_{заг}$ – диаметр круглой в плане заготовки.

Результаты расчета по данной модели проверены на систематизированных табличных значениях, полученных опытным путем, и зависимостях, выведенных для общих случаев и приведенных в справочной литературе.

Сравнение результатов расчета диаметра исходной заготовки, выполненного вручную графо-аналитическим методом, с результатами по предложенному способу дает расхождение не более 5%.

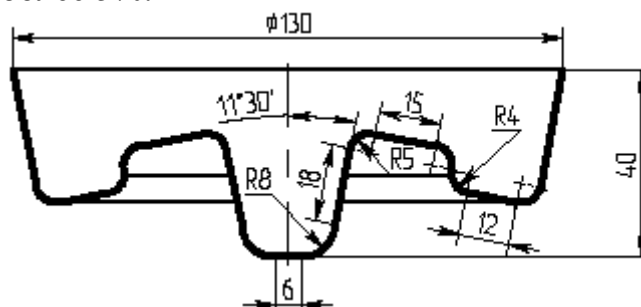


Рис. 4. Чертеж детали, получаемой вытяжкой

В качестве примера рассмотрим чертеж детали сложной конфигурации, представленный на рис. 4. В разработанной модели для получения чертежа данной детали заполняем графы диалогового окна: $L1=3\text{мм}$, $R2=8\text{мм}$ и угол $78,5^\circ$, $L3=18\text{мм}$, $R4=5\text{мм}$ и угол 90° , $L5=15\text{мм}$, $R6=5\text{мм}$ и угол 90° , $L7=0\text{мм}$, $R8=4\text{мм}$ и угол 90° , $L9=12\text{мм}$, $R10=4\text{мм}$ и угол 90° , $L11=29\text{мм}$.

3D-изображение данной детали приведено на рис. 5.

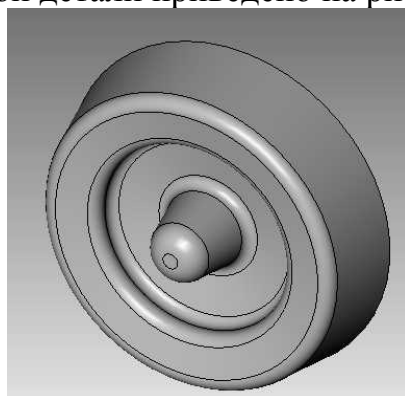


Рис. 5. 3D-изображение рассматриваемой детали

Другой предлагаемый метод расчета основан на применении второй теоремы Гюльдена, согласно которой объем тела, полученного плоскопараллельным перемещением или вращением замкнутого контура, определяется как произведение площади области, ограниченной замкнутым контуром, на длину пути, который проходит координата центра тяжести этого контура.

Для этого выполняется вращение контура сечения детали, модифицированного с помощью окна диалога с учетом толщины материала и средствами графического ре-

дактора *T-Flex-CAD* определяется объем тела, полученного вращением. Далее, зная толщину материала и объем круглой в плане заготовки, который приравнивается объему получаемой детали, легко вычисляется диаметр круглой в плане заготовки.

Следует заметить, что все вышеперечисленные действия скрыты от пользователя и выполняются автоматически. Поэтому технолог сразу получает готовый результат после заполнения или модификации размерных параметров получаемой детали.

При необходимости количество участков разбиения может быть легко увеличено. Разработанная модель избыточна. Если контур образующей имеет меньшее количество участков, то длины лишних прямолинейных участков и угловые значения радиусных участков задаются равными нулю.

Созданная модель позволяет автоматически определять диаметр круглой в плане исходной заготовки для вытяжки осесимметричных деталей сложной формы, что сокращает время при проектировании технологического процесса вытяжки детали. Разработанная модель универсальна и может применяться для определения размеров заготовки при штамповке осесимметричных деталей произвольной конфигурации.

Список литературы: 1. Попов Е. А. Технология и автоматизация листовой штамповки – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000 г. 2. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке – Л.: Машиностроение, 1979 г. 3. Справочник конструктора штампов: Листовая штамповка/ Под. ред. Л. И. Рудмана – М.: Машиностроение, 1988 г. 4. РТМ 34 – 65. Штампы для холодной листовой штамповки. Расчеты и конструирование. – М.: Стандарты, 1965.

УДК 621.983

КУЗЬМЕНКО В.И., д.т.н., проф., МГТУ Станкин, г. Москва

ЛЫЖНИКОВ Е.И., к.т.н. проф., МГТУ Станкин, г. Москва

ПРОЦЕССЫ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ ВЗАМЕН ЛИТЬЯ

Представлены и описаны технологические процессы изготовления деталей строительной индустрии методами листовой штамповки взамен операций литья

Representation and description of technological processes of manufacturing parts of the construction industry methods stamping operations instead of casting.

В строительной индустрии находит широкое применение горизонтальные и диагональные стяжки вертикальных трубных опор и объемных стоек. Основой стяжки являются три детали: чашка нижняя, клин, чашка верхняя (рис.1).



Рис.1. Узел стяжки вертикальной трубной опоры:
1 – чашка нижняя, 2 – клин, 3 – чашка верхняя, 4 – упор

Чашка нижняя приваривается к трубе, а чашка верхняя своей винтовой линией опирается на приваренный к вертикальной трубе упор. Клин устанавливается в нижнюю и верхнюю чашки. К клину приваривается горизонтальная труба-стяжка. При повороте верхней чашки клину обеспечивается силовое замыкание по коническим внутренним опорным поверхностям двух чашек.

Технология изготовления трех деталей, покупаемых за рубежом, является стальное литье (рис.2).



чашка нижняя



клин



чашка верхняя

Рис.2. Литые детали узла стяжки

Техпроцесс изготовления детали – чашка нижняя (рис.3) включает резку листа на полосы шириной 110 мм. Вырубка заготовки Ø105 мм и формовка чашки выполняются в штампе совмещенного действия на кривошипном прессе силой 1000 кН. Отверстие в чашке пробивается в отдельном штампе.



Рис.3. Техпроцесс изготовления чашки нижней

Техпроцесс получения детали «клин» (рис.4) состоит из зонной отрезки полосы, ширина которой равна общей ширине детали, надрезки и проталкивания просечки Ø50 мм на 3 мм и отрезки детали от полосы. Перечисленные операции выполняются в одном штампе. Для формовки концевых частей клина с целью придания им

цилиндрической поверхности и отгиба боковых кромок используется один штамп. Опущенная просечка обеспечивает опору клина относительно вертикальной трубы при сборке стяжки.



Рис.4. Техпроцесс изготовления клина

Наиболее сложной деталью является чашка верхняя из-за наличия винтовой опорной поверхности. Техпроцесс включает больше переходов штамповки. После отрезки заготовки типа неравной трапеции и формовки двух выпуклостей выполняется первая гибка цилиндра. В следующем штампе формируется цилиндрическая заготовка. Затем следует сварка для получения цилиндрической детали. Перед раздачей для получения конической поверхности требуется выполнить отжиг длительностью 20-25 минут.



Рис.5. Технологический процесс изготовления верхней чашки

Разработанные техпроцессы изготовления данных деталей листовой штамповкой позволили уменьшить их вес на 15-40% и повысить их прочностные характеристики.

Список литературы: 1. В.П. Романовский. Справочник по холодной штамповке. – М.: Машиностроение, 1974. – 520с. 2. В.Т. Мещерин. Атлас схем. Листовая штамповка. – М.: Машиностроение, 1975. – 227с.

УДК 621.73.(035)

АРТЕС А.Э. заслуженный деятель науки РФ, д.т.н., профессор кафедры «СПД» ГОУ ВПО МГТУ «Станкин»

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ШТАМПОВАННЫХ ПОКОВОК

В соответствии с прогнозами ведущих экономистов [1] через 2-3 года в промышленно-развитых странах пойдет долгосрочный подъем на базе новых технологий в мировой экономике. Многие наши предприятия, имеющие значительные мощности по производству кованных и штампованных поковок, несмотря на спад машиностроительного, авиационного и оборонного комплексов, удержались на конкурен-

тоспособном уровне благодаря работе на экспорт [2,3,4]. Правда, на сегодня из-за наступившего кризиса эти же предприятия первыми и пострадали из-за снижения уровня заказов. Ясно, что в перспективе передовые позиции удастся сохранить тем предприятиям, которые смогут реализовать известный принцип «обгонять не догоняя».

В связи с этим на кафедре СПД МГТУ «Станкин» в последние годы интенсифицированы исследования, направленные на разработку инновационных ресурсо- и энергосберегающих технологий. При этом исследования ведутся в основном совместно с ведущим предприятием по производству кузнечно-прессового оборудования – ОАО «Тяжпрессмаш» (г. Рязань) [5].

Так, например, разработаны оригинальные процессы штамповки воротниковых фланцев из кольцевых трубных заготовок, в том числе из центробежнолитых стальных труб. Как известно воротниковые фланцы больших габаритов до Ду18'' в основном изготавливают методом горячей облойной штамповки [6]. Интересными являются технологии раскатки [7]. Нами предложен новый эффективный способ штамповки воротниковых фланцев из кольцевых заготовок на гидравлических прессах двойного действия [8].

Новая технология штамповки воротникового фланца в сравнении с классической облойной штамповкой позволяет снизить расход металла до 25% и почти в 2 раза уменьшить силу штамповки. Значительный экономический эффект может быть получен при использовании этой технологии для штамповки оригинальной конструкции биметаллического воротникового фланца [9], в котором его втулочная часть, примыкающая к трубе, состоит из коррозионно-стойкой стали, а фланцевая силовая часть – из углеродистой или малолегированной стали (рис. 1).

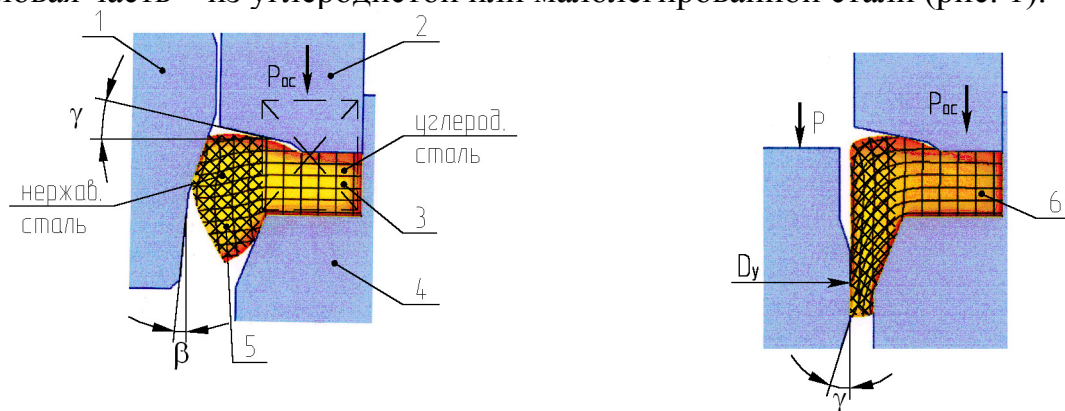


Рис. 1. Схема действия инструмента для операции осадки и отбортовки при штамповке биметаллического воротникового фланца:

- 1 - внутренний пуансон; 2 - наружный пуансон; 3 - заготовка; 4 - матрица;
5 -полуфабрикат после осадки; 6 - контур готовой поковки

Реализация этой схемы возможна при использовании биметаллических труб Никопольского НПО «Трубоасталь», изготавливающего биметаллические трубы большого ассортимента, в диапазоне диаметров от 135 до 1060 мм.

Штамповку таких фланцев малых габаритов (до Ду80) можно организовать, подвергнув модернизации гидравлический пресс П2940 силой 10000 кН, выталкиватель которого силой 2000 кН должен играть роль внутреннего ползуна пресса и таким образом работать в режиме пресса двойного действия (рис. 2).

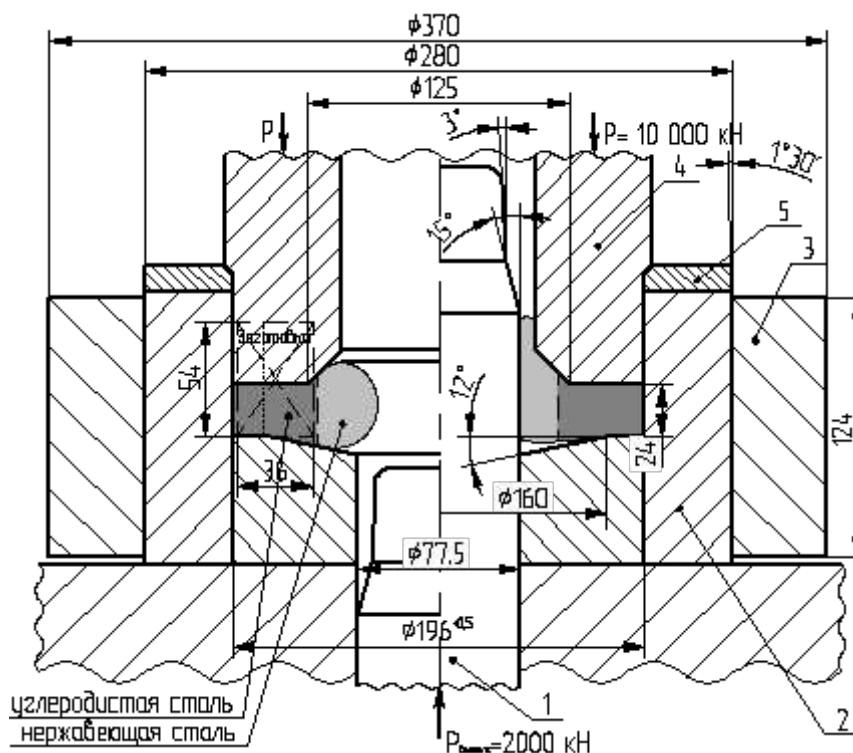


Рис. 2. Штамп для штамповки воротникового фланца на гидравлическом прессе П2940 с нижним выталкивателем: 1 - пуансон внутренний; 2 - матрица; 3 - бандаж; 4 - пуансон наружный; 5 - подкладное кольцо

Два пресса П2940 успешно эксплуатируются на ОАО «Агрегатный завод» (г. Людиново) на участке холодной и полугорячей объемной штамповки, созданном в 1986г. при активном участии кафедры СПД.

В арматуростроении корпуса различных механизмов (задвижки, клапаны, затворы, дроссельные устройства) изготавливают в основном методами литья из сталей 20, 20ГСЛ, 20ХМФЛ, 12Х18Н10Т. Как правило, эти детали по своей конфигурации относятся к тройникам.

Так, например, на заводе «Энергомаш» (г. Чехов) корпус типа тройника изготавливают методом электрошлакового литья. Центральная полость ($\varnothing 125$) при этом заполнена основным металлом (сталь 12Х18Н10Т) и удаляется при механообработке.

Для деталей типа крупногабаритных тройников, изготавливаемых из дорогостоящих труднодеформируемых сталей и титановых сплавов нами предлагается технология комбинированного выдавливания поковок в штампах с вертикальным разъемом полуматриц с использованием составного пуансона [10]. При этом наконечник пуансона из стали 45 остается в поковке, подвергается отпуску при охлаждении поковки и удаляется при механообработке детали. Такая схема штамповки (рис. 3) позволяет получать внутренние полости и экономить дорогостоящий металл. В данном случае до 28 кг. Схема рекомендуется для использования в мелкосерийном производстве.

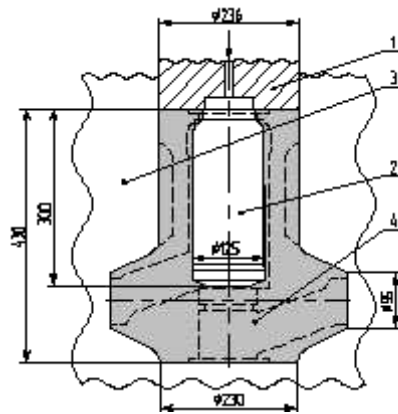


Рис. 3. Схема штамповки корпуса типа тройника из стали 12Х18Н10Т:
1 - пуансон (Сталь 5ХНМ); 2 - наконечник одноразового использования (Сталь 45, HRC 52...56); 3 - разъемная матрица с вертикальным разъемом во фронтальной плоскости чертежа (Сталь 5ХНМ, HRC 50...56); 4 - поковка

На сегодня наиболее удачным штампом с вертикальным разъемом является штамп для штамповки тройников конструкции ЦНИИТМАШ, эксплуатируемый на заводе «Белэнергомаш» (г. Белгород).

Примером совершенствования существующих технологических процессов является новая технология штамповки детали типа «Вилка».

На Челябинском тракторном заводе существующий технологический процесс горячей объемной штамповки этой поковки во многом зависит от наличия штамповочного оборудования и ранее принятого аналогичного технологического процесса штамповки «скользящей вилки» автомобиля КАМАЗ.

На рис. 4 представлен эскиз поковки «вилка»: полученный по существующей технологии. Исходная заготовка – квадрат 170 мм, длиной 280 ± 3 мм и массой 63,5 кг. Поковку получают протяжкой хвостовика (стержня диаметром 92 мм), плющением головки, удаления её средней части и окончательной облойной штамповкой. При этом у поковки пазы и отверстия двух раздвоенных концов вилки заполнены напуском. Масса поковки составляет 47 кг. Такая поковка с большими припусками и напусками является нетехнологичной для обработки на станках с ЧПУ и требует предварительной черновой обработки.

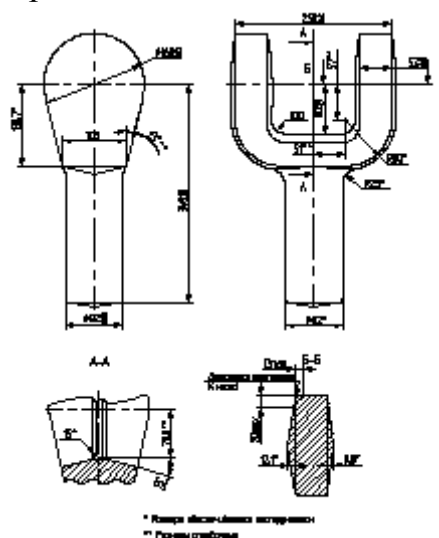


Рис. 4. Эскиз поковки «вилка» по существующей технологии

Предлагаемая нами новая технология штамповки вилки позволяет получить поковку по массе даже несколько меньше, чем вилка после механообработки по существующей технологии (масса детали – 24,3 кг).

Новая технология [11] предусматривает предварительную разрезку исходной заготовки (квадрат 120 мм) длиной около 330 мм, массой 37,5 кг из стали 40Х на заданную величину (например, на лентопильном станке) (рис.5) с последующим нагревом второго конца заготовки и протяжки на диаметр 90 ± 2 мм. Затем полуфабрикат подвергают зонному нагреву до 1000°C и гибке двух частей на 90° относительно оси вала (рис. 6).

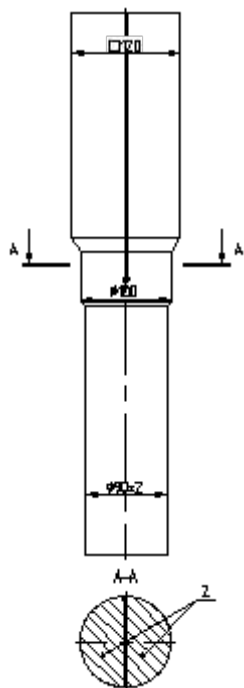


Рис. 5. Полуфабрикат после разрезки

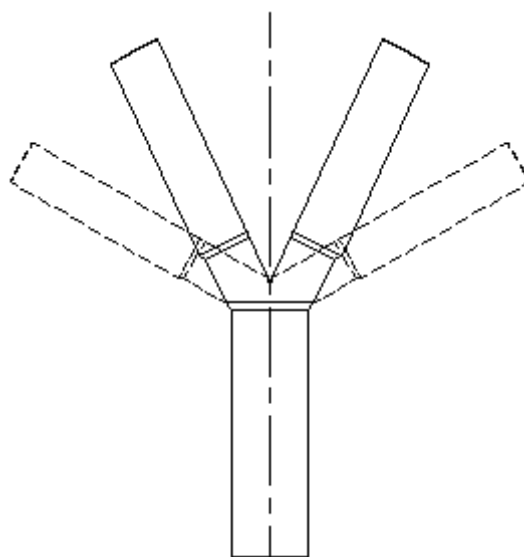


Рис. 6. Схема гибки двух частей относительно вала

Полуфабрикат после нагрева до температуры штамповки ($t \approx 1150^\circ\text{C}$) следует штамповать на штамповочном молоте с МПЧ=5 тонн или на КГШП Р=63 МН. При этом в зонах будущих отверстий и пазов металл подвергается несквозной двусторонней прошивке, а в средней части поковки выдавливается двутавровое сечение (рис. 7). Перемычки и облой полученного полуфабриката – поковки типа фланца удаляются на обрезном прессе (рис. 8). Далее отростки полуфабриката подвергаются гибке на гидравлическом прессе в специальном штампе (рис. 9). На рис. 10 представлена поковка вилки в трехмерном изображении.

Внедрение новой технологии потребует приобретения кузнечным заводом гидравлического пресса силой 10 МН, который в силу пока небольшой серийности штампуемых вилок (около 3000 штук в год) должен быть загружен другими типами поковок.

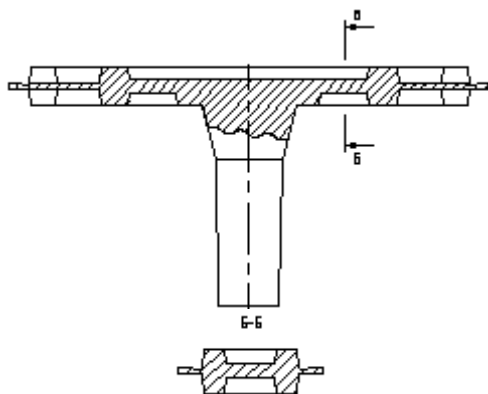


Рис. 7. Полуфабрикат после штамповки

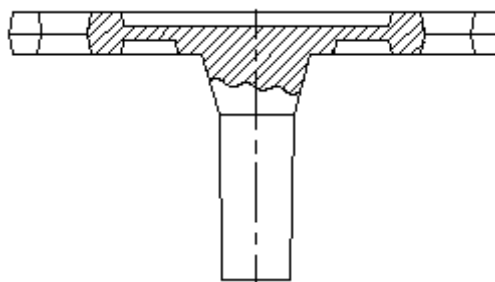


Рис. 8. Полуфабрикат после удаления перемычек и облоя

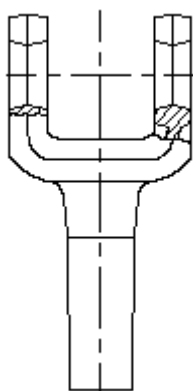


Рис. 9. Поковка после гибки вилочной части

Экономический эффект при внедрении новой технологии будет зависеть не только от уменьшения нормы расхода металла на 26 кг на каждой поковке, но и от значительного уменьшения трудозатрат при механообработке. При этом, как известно, по методике бывшего Госплана СССР «производство» 1 кг стружки только за счет снижения трудозатрат при токарной обработке стоит столько же, сколько стоит 1 кг сортового проката, а при фрезеровании еще в 2 раза больше.

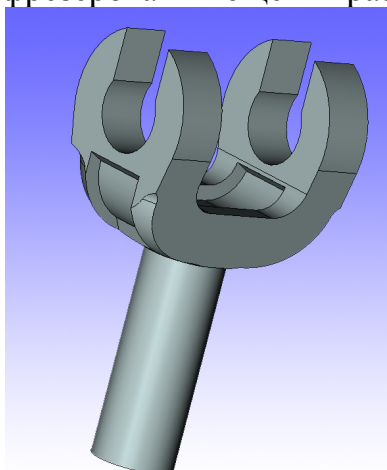


Рис. 10. Поковка вилки в трехмерном изображении

Выводы:

1. Для штамповки поковок типа воротниковых фланцев из кольцевых заготовок и поковок сложной формы применительно к мелкосерийному и серийному их изготовлению необходимо включить в федеральную целевую программу развития ма-

шиностроения изготовления гаммы гидравлических прессов двойного действия силой от 6,3/6,3 до 120/80 МН.

2. Кафедры ОМД должны интенсифицировать работы, направленные на разработку новых и совершенствование существующих технологий изготовления поковок сложной формы.

Список литературы: 1. Глазьев С. Кризисные возможности // Военно-промышленный курьер. №45. 19-25 ноября 2008. 2. Артеc А.Э. Качество и производство поковок на подъеме? // Заготовительные производства в машиностроении.- 2005.-№4.-с.21-24. 3. Артеc А.Э. К вопросу развития отечественного машиностроения. // Заготовительные производства в машиностроении.- 2006.-№12.-с.3-6. 4. Артеc А.Э. 13-я Международная промышленная выставка «Металл-Экспо 2007» // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением.- 2008.№3.-с. 41-47. 5. Володин А.М., Сорокин В.А., Петров Н.П., Артеc А.Э., Сосенушкин Е.Н., Третьюхин В.В. Разработка инновационных технологий горячей объемной штамповки. Сборник докладов и материалов IX конгресса «Кузнец-2009», г. Рязань, 2009.С. 273-281. 6. Крук А.Т., Федоркевич В.Ф. Штамповка поковок фланцев трубопроводов на тяжелых кривошипных горячештамповочных прессах // Кузнечно-штамповочное производство. 1999. №6. С 34-40. 7. Алиев И.С., Матвийчук В.А., Савчинский В.Г. Применение процесса торцевой раскатки для изготовления фланцев трубопроводов. Сборник докладов и материалов IX конгресса «Кузнец-2009». Г. Рязань, 2009. С. 183-193. 8. Патент РФ №2245211. МКП В21 К21/00 Способ горячей штамповки фланца со втулкой. / Артеc А.Э., Вечеринин О.П., Рогозников П.А., Лыжников Е.И, Николаев В.В.: опубл. 27.01.2005. Бюл. №3. 9. Патент РФ №58964. Конструкция биметаллического воротникового фланца и инструмент для штамповки его на прессе двойного действия / Володин А.М., Артеc А.Э., Сорокин В.А., Сосенушкин Е.Н., Третьюхин В.В.: опубл. 10.12.2006. Бюл. №34. 10. Патент РФ №86510. Пуансон для горячего деформирования с наконечником одноразового использования. / Артеc А.Э., Сосенушкин Е.Н., Гуреева Т.В., Третьюхин В.В., Мячин К.М., Тимофеев В.В.: опубл. 10.09.2009. Бюл. №25. 11. Заявка на изобретение №2008 130442 РФ МКП8: В21К 1/74. Способ штамповки детали в форме «вилки». / Сосенушкин Е.Н., Артеc А.Э. и др.; заявитель ГОУ ВПО МГТУ «Станкин», приоритет 24.07.2008.

УДК 612.431.75

ТИТОВ В.А., докт. техн. наук, проф., НТУУ «КПИ», г. Киев

ТИТОВ А.В., м.н.с., НТУУ «КПИ», г. Киев

НЕКОТОРЫЕ ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ПРОЦЕССОВ ВЫГЛАЖИВАНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

На основании комплексного анализа процесса выглаживания установлены значимые факторы контактного взаимодействия инструмента и заготовки, которые формируют параметры качества деталей. Предложены перспективные направления развития процессов.

Ключевые слова: алмазное выглаживание, упрочнение материала, остаточные напряжения, выносливость, ресурс изделий, титановые сплавы

На основі комплексного дослідження процесу вигладжування встановлено значущі фактори контактної взаємодії інструменту та заготовки, які формують параметри якості деталей. Запропоновані перспективні напрямки розвитку процесів.

Ключові слова: алмазне вигладжування, зміцнення матеріалу, залишкові напруження, витривалість, ресурс виробів, титанові сплави.

Burnishing process is complex researched. Significant factor of contact interaction of instrument and detail which making parameters of quality is established. Perspective directions of development of this processes is introduced.

Key words: diamond burnishing, hardening, residual stresses, fatigue, resource of detail, titanium alloys.

Обеспечение эксплуатационных характеристик (надежности и ресурса) изделий является важнейшей проблемой современного машиностроения. Работоспособность изделий, таких как летательные аппараты, двигатели, автомобили и других, в значительной степени зависит от качества поверхности деталей, поскольку отказ изделий происходит, как правило, вследствие повреждений усталостного характера. Известно, что зарождение усталостной трещины начинается с поверхности заготовки или в приповерхностном слое [1, 2]. Поэтому на финишных операциях изготовления ответственных деталей изделий производят их обработку методами поверхностного пластического деформирования (ППД) [3, 4]. Эта обработка позволяет улучшить параметры качества поверхностного слоя деталей, повысив тем самым надежность и ресурс изделий в целом. Одним из наиболее эффективных методов ППД является алмазное выглаживание, используемое преимущественно для осесимметричных деталей.

Обеспечение эффективности эксплуатации конструкций изделий также связано с правильным выбором конструкционных материалов. В последнее время наряду с традиционными конструкционными материалами – сталями и алюминиевыми сплавами успешно применяют титановые сплавы, которые характеризуются высокой удельной прочностью и жесткостью при хорошей коррозионной стойкости и сопротивлении усталостным нагрузкам.

Однако при использовании выглаживания для обработки титановых сплавов возникает ряд трудностей, связанных с их малой теплопроводностью, высокой адгезионной способностью, их склонностью к холодному свариванию с инструментом [3, 5]. В процессе выглаживания резко возрастают силы трения между заготовкой и инструментом, повышается тепловыделение в зоне их контакта. Это приводит к увеличению шероховатости поверхности, ее надрывам, снижению стойкости инструмента – выглаживателя.

Решение вопросов обеспечения эффективности выглаживания различных конструкционных материалов, в том числе титановых сплавов, возможно только при комплексном анализе факторов влияющих на параметры качества деталей изделий и системном развитии процессов.

В статье обсуждается актуальная научно-техническая задача – формирование перспективных направлений развития процессов выглаживания для обеспечения качества и ресурса деталей из титановых сплавов и других конструкционных материалов.

Основной идеей для решения поставленной задачей является снижение коэффициента трения на контактной поверхности инструмента-деталь за счет управления скоростными и силовыми параметрами нагружения инструмента.

В работе рассмотрено процесс выглаживания путем скольжения головки инструмента-индентора по поверхности деталей и не рассматриваются процессы выглаживания, при которых инструмент обкатывается по поверхности деталей [6, 7, 8]. В процессах обкатывания отсутствуют силы трения скольжения, они заменяются на

трение качения. Поэтому этот процесс является одним из предельных для процессов выглаживания и в целом для отделочно-упрочняющих обработок ППД.

Основным преимуществом процесса выглаживания индентором является возможность получения пластических деформированием упрочненного слоя значительной глубины, наличие которого обеспечивает повышение ресурса эксплуатации деталей и изделий в целом [4, 9, 10].

Комплексный анализ процесса выглаживания позволил установить основные значимые факторы контактного взаимодействия инструмента и заготовки, которые формируют параметры качества поверхностного слоя детали в зависимости от технологических параметров процесса, которые показаны на рис. 1. К ним можно отнести:

- 1) удельное усилие контактного взаимодействия выглаживателя на поверхности детали в зоне очага деформации;
- 2) контактное трение, которые возникают при движении инструмента между поверхностью детали и выглаживателем.

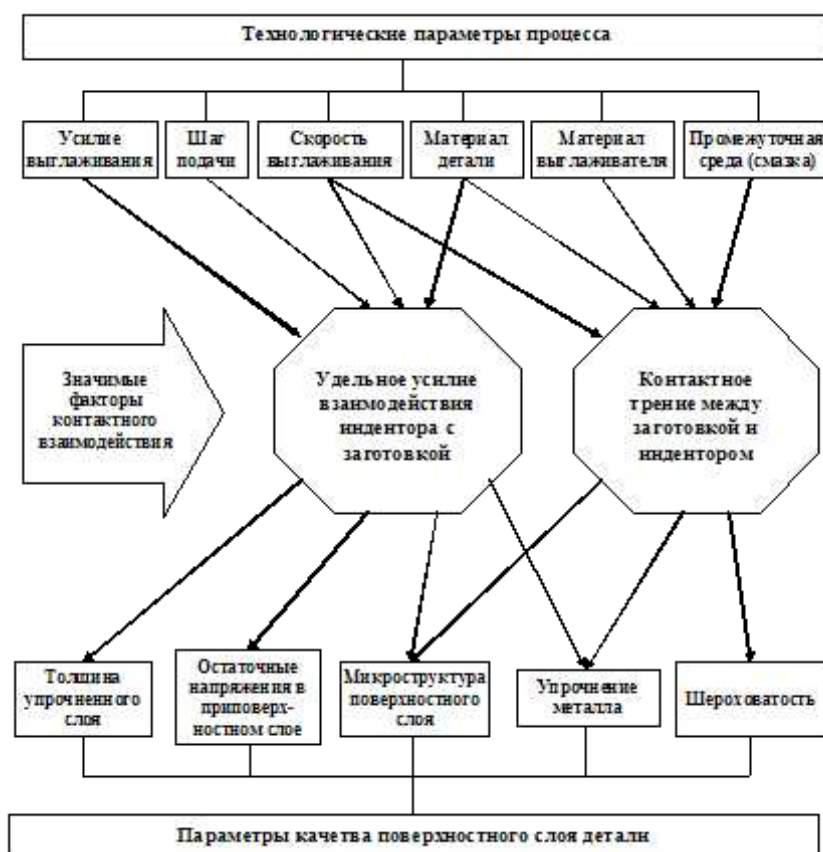


Рис. 1. Взаимосвязь технологических параметров процесса выглаживания при формировании параметров качества обработанной детали

Удельное усилие контактного взаимодействия определяются силой выглаживания отнесенной к площади контакта выглаживателя с деталью [8].

Их величина пропорциональна глубине вдавливания и определяет толщину упрочненного слоя, оценка величины которой определена в работе [11]. В процессе выглаживания при движении инструмента изменяются величина и форма площадки контакта выглаживателя с поверхностью детали. При этом показано, что толщина упрочненного слоя не зависит от формы площадки контакта, а зависит (в основном) от удельных усилий контактного взаимодействия. Это положение позволяет норми-

ровать толщину упрочненного слоя в зависимости от усилия выглаживания, геометрии инструмента (радиуса заточки выглаживателя) и параметров процесса обработки (в основном – шаг продольной подачи).

Как показывают экспериментальные данные толщина упрочненного слоя незначительно зависит от количества проходов инструмента по поверхности детали.

Величина упрочненного слоя при этом увеличивается на 20...30%, как правило, на первых трех проходах и далее не изменяется (см. рис. 2). Так для стали Х12НМБФ-Ш при алмазном выглаживании с усилием 150 Н и шагом подачи инструмента 0,15 мм/об максимальная величина микротвердости наблюдается в слоях близких к поверхности заготовки и составляет $H_{\mu} = 335...358$ МПа (в исходном состоянии

$H_{\mu} = 290...300$ МПа). Величина микротвердости уменьшается по мере удаления от поверхности заготовки и на глубине 150...200 мкм достигает величины, превышающей исходную на 5...8 %. После трех проходов инструмента величина микротвердости в приповерхностном слое, практически не изменяется (изменяется в пределах погрешности измерений). А глубина упрочнения увеличивается до 180... 250 мкм. При дальнейшем увеличении количества проходов эти величины, практически не изменяются. Взаимосвязанные с упрочнением параметры качества поверхностного слоя, такие как микроструктура и остаточные напряжения, изменяются незначительно в зависимости от количества проходов. Необходимо отметить, что в приповерхностном слое значительное дробление зерен исходного материала. Степень дробления зависит от величины удельного усилия выглаживания.

Основной задачей выглаживания является создание остаточных напряжений сжатия в поверхностном слое:

- 1) На силовом уровне они образуются вследствие неравномерности деформаций по толщине (глубине) материала (напряжения 1го рода), который выглаживается. Сочетание нелинейной пластичности при формировании и линейных деформаций разрушения (здесь может быть использована теорема о разгрузке или другие принципы, например минимизации упругой энергии).
- 2) На физическом уровне они проявляются в следствии упрочнения материала (напряжения 3го рода) и дробления и взаимодействия его зерен (напряжения 2го рода).

Величина максимальных остаточных напряжений определяет уровень предела выносливости материала σ_{-1} в упрочненном состоянии, эффективность упрочнения оценивается коэффициентом упрочнения

$$\beta = \frac{\sigma_{-1упр}}{\sigma_{-1исх}}$$

Таким образом, регулируя величину максимальных остаточных напряжений и упрочнения в приповерхностном слое, можно управлять пределом выносливости материала и ресурсом изделия (вала, цилиндра и прочее), которое подвергнуто обработке выглаживанием.

Поэтому влияние первого значимого фактора прогнозировать можно, как на основании экспериментальных данных, так и обобщать теоретически, например [11].

Точность определения величины упрочнения и остаточных напряжений можно обеспечить дальнейшим учетом параметров процесса выглаживания, реальной формы площадки контакта, динамического характера напряжения и других. Это явл-

яется одним из наиболее важных теоретических направлений развития процессов выглаживания.

Более сложным в теоретическом аспекте является второй значимый фактор контактного взаимодействия – контактное трение между заготовкой и инструментом. Оно возникает при движении выглаживателя по поверхности заготовки и влияет на характер и величину деформаций приповерхностного слоя детали.

Процесс выглаживания – сложный процесс, так как деформирование поверхностного слоя сопровождается развитием деформаций по глубине вследствие вдавливания инструмента (влияния первого фактора), а также развитием деформаций сдвига вследствие скольжения выглаживателя по поверхности детали. Это видно на металлографии, представленной на рис. 2, где в приповерхностном слое наблюдается не только дробление зерен, но и вытягивание зерен в направлении движения инструмента.

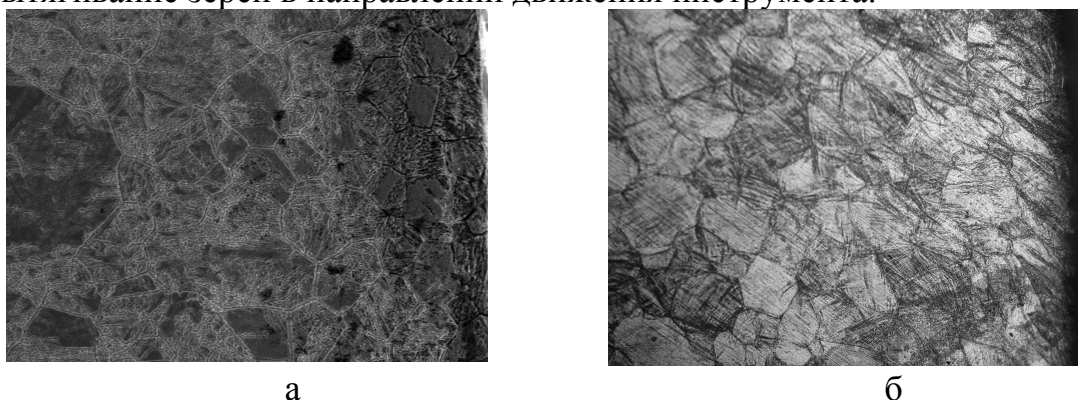


Рис. 2. Металлография образцов после обработки алмазным выглаживанием:

а – сталь; б – титановый сплав

Как показывает анализ изменения исходной структуры материала, сдвиговые деформации определенной величины оказывают положительное влияние на структуру материала, это проявляется в дополнительном дроблении зерен в приповерхностном слое в условиях интенсивных пластических деформаций с образованием дисперсных и субмикродисперсных структур с величиной зерна 20..30 мкм и менее. Это повышает прочностные и пластические свойства материала приповерхностного слоя с одновременным увеличением его твердости. Этот факт также отмечен в работах [3]. Развитие этих деформаций также на наш взгляд способствует залечиванию поверхностных микродефектов при развитии и накоплении дислокаций, что показывают результаты испытаний образцов методами внутреннего трения [12].

Влияние сдвиговых деформаций в теоретическом аспекте исследовано не достаточно. Поэтому авторами предложен подход основанный на описании кинематики процесса деформирования и определении НДС и энергосиловых параметров процесса с использованием замкнутой системы уравнений сплошных сред [13]. В этой постановке кинематически процесс деформирования при выглаживании включает перемещение материальных частиц поверхностного слоя по глубине и движение (смещение) их вдоль образующей инструмента:

$$\vec{V}_0 = \vec{V}_{\text{вд}} + \vec{V}_{\text{сд}},$$

где $\vec{V}_0$, $\vec{V}_{\partial\partial}$, $\vec{V}_{c\partial}$ – векторы скорости материальных частиц в очаге деформации, соответственно общий, за счет вдавливания инструмента, сдвига за счет сил трения

Составляющие поля скоростей вдавливания используем из работы [11]. А составляющие поля скоростей сдвига выбираем из условий:

- максимального значения сдвиговых составляющих на вертикальной оси (вдавливания инструмента);
- равенства нулю сдвиговых составляющих на свободной поверхности заготовки.

Тогда компоненты вектора общего поля скоростей имеют вид:

$$V_z = \frac{|V|^2 (t_k - t) l}{\pi R r} \left(1 - \frac{z}{kl}\right)^2 \sin \frac{\pi r}{l};$$

$$V_r = \frac{|V|^2 (t_k - t) l}{\pi^2 k R r} \left(1 - \frac{z}{kl}\right)^2 \left(1 - \cos \frac{\pi r}{l}\right) + V_c \left(1 - \frac{r}{l}\right);$$

$$V_\theta = V_c \left(1 - \frac{z}{h}\right) \left[\frac{\pi}{2} - \left(1 - \frac{2r}{l}\right) \theta \right],$$

где

V – скорость обработки выглаживанием;

V_c – скорость сдвига материальных точек поверхностного слоя;

t – время обработки;

R – радиус заточки инструмента;

k – коэффициент глубины распространения деформации $k=1.5 \dots 2.0$;

l – радиус контактного пятна контакта инструмента с поверхностью заготовки;

h – глубина распространения сдвиговых деформаций;

$t_k = l/V$.

Величина V_c и h_0 определяется с использованием минимизации энергии деформирования материала в очаге деформации.

Предлагаемая модель процесса подтверждается расчетами в системе ANSYS по распределению деформаций, удельной работе деформирования и контактному удельному усилию.

В результате численного моделирования показано также, что при величине коэффициента трения на контактной поверхности более 0,25..0,35 происходит сдвиг по всей поверхности с увеличением и накоплением деформаций во внеконтактной зоне. Это приводит к разрушению тонкого поверхностного слоя заготовки, что ограничивает возможность реализации процесса выглаживания. Такой эффект характерен для выглаживания титановых сплавов ввиду их высокой адгезии, в том числе к материалам выглаживателя: природному алмазу, поликристаллам алмаза, твердым сплавам и другим.

Поэтому направление работ по прогнозированию деформаций в реальных условиях взаимодействия с учетом сдвиговых компонент является необходимым для обеспечения требуемого качества поверхности детали ППД.

Очевидной является необходимость управления силами трения на контактной поверхности. Это направление работ приобретает в настоящее время приоритетное значение поскольку позволит проектировать процессы выглаживания для любых конструкционных материалов.

Экспериментальные и теоретические оценки показывают, что величина коэффициента трения на контактной поверхности не должна превышать $0,2 \dots 0,25$. Это соответствует процессам, протекающим в условиях граничного трения или адсорбционной смазки (по Б.В. Дерягину) [14, 15], когда на трущихся поверхностях образуются тонкие (молекулярные) слои пленок, как правило углеводородов (карбоксилы $-\text{COOH}$, гидроксилы $-\text{OH}$, аминоксипы и др.). Эти пленки за счет высоких адсорбционных свойств закрепляются на поверхностях трущихся тел и не разрушаются при очень высоких давлениях.

Снижение коэффициента трения обеспечивает эффективность процесса выглаживания. Это может быть достигнуто при создании условий контактного взаимодействия, соответствующих гидродинамическому трению. Согласно теории гидродинамического трения (по Н.П. Петрову) [15], основными влияющими параметрами процесса взаимодействия являются – коэффициент вязкости смазки и скорость взаимного движения трущихся тел.

Экспериментально показано, что увеличение коэффициента вязкости смазок вплоть до использования твердых смазок дает положительный результат [3, 5]. В этом случае пленки твердой смазки на поверхности заготовки в следствии своей жесткости [13], которая по размерности соответствует вязкости жидкостей. В качестве твердых смазок могут быть использованы полимерные покрытия, тонкие (напыленные) слои металлов и другие, в том числе ионно-вакуумные многослойные покрытия. Недостатком применения твердых смазок является необходимость их удаления после выполнения операции выглаживания. Такие дополнительные операции не только увеличивают общую трудоемкость обработки, но и могут влиять на окончательные свойства поверхностного слоя обработанных деталей.

Наиболее перспективным при обработке выглаживанием является создание условий гидродинамического или рубежного режима гидродинамического трения между инструментом и заготовкой при обработке. При этом коэффициент трения может быть достигнут в пределах $0,01 \dots 0,05$. В случае рубежного режима гидродинамического трения происходит сглаживания шероховатости микрорельефа поверхности при наличии тонкого слоя смазки. Определяющим фактором достижения этих условий трения является значительное увеличение скорости обработки при выглаживании, при которой гидродинамическое давление жидкости будет уравнивать деформирующие удельные усилия на контактной поверхности, в ряде случаев превышающие предел текучести материала обрабатываемой заготовки.

В работе [16] экспериментально показано, что использование дополнительного ультразвукового нагружения инструмента при выглаживании заготовок из титановых сплавов ВТ-22 и ВТ-23 обеспечивает высокие параметры качества поверхностного слоя обработанной поверхности, таких как шероховатость, микроструктура и упрочнение приповерхностного слоя. Это достигается за счет значительного увеличения средней скорости обработки инструментом поверхности заготовки.

В результате проведенного анализа можно сделать следующие выводы, которые определяют перспективы развития процессов выглаживания:

1. На основании комплексного анализа процесса выглаживания установлены значимые факторы контактного взаимодействия инструмента и заготовки, которые формируют параметры качества деталей в зависимости от реализуемых параметров технологического процесса: удельное усилие взаимодействия инструмента с заготовкой и контактное трение на поверхности их взаимодействия.

2. Показано, что удельное усилие формирует остаточные напряжения, упрочнение поверхностного слоя заготовки и дробление структурных зерен в этом слое. Приведена математическая модель, позволяющая прогнозировать деформационные и энергосиловые параметры процесса выглаживания, а также параметры качества поверхностного слоя.

3. Показано, что в теоретическом аспекте очень важно учитывать сдвиговые деформации на поверхности заготовки, которые дополнительно измельчают зерно (менее 20..30 мкм) и увеличивают прочностные и пластические характеристики приповерхностного слоя.

4. Установлено, что управление контактным взаимодействием инструмента и заготовки можно производить влияя на коэффициент трения за счет изменения вязкости смазки и скорости их взаимодействия. Наиболее благоприятным для реализации процесса выглаживания является рубежный режим гидродинамического трения между заготовкой и инструментом.

5. Экспериментально показано, что использование дополнительного ультразвукового нагружения инструмента при выглаживании заготовок из титановых сплавов ВТ-22 и ВТ-23 обеспечивает устойчивый процесс выглаживания с получением высоких параметров качества поверхностного слоя деталей.

6. Описанные в статье научно-технические направления являются перспективными для дальнейшего развития процессов выглаживания.

Список литературы: 1. Иванова В.С., Терентьев В.Ф. Природа усталости металлов - М.: «Металлургия», 1975, 456 с. 2. Трощенко В.Т. Деформирование и разрушение металлов при многоцикловом нагружении. - К.: Наукова думка, 1981. - 341 с. 3. Розенберг О.А. К вопросу разработки технологических смазок для деформирующего протягивания деталей из сплава ВТ 1-0 / Розенберг О.А., Пащенко Е.А., Шейкин С.Е., Ростоцкий И.Ю. // Технологические системы, 2007, № 2(38) – С. 27-32. 4. Богуслаев В.О., Качан О.Я., Яценко В.К. та інші. Технологія виробництва авіаційних двигунів. Частина III. Методи обробки деталей авіаційних двигунів – Видавн. ВАТ «Мотор Січ», Запоріжжя, 2008 р. – 639 с. 5. Титов А.В. Особенности алмазного выглаживания сплава ВТ-23 с использованием твердой смазки / А.В. Титов, Т.М. Лабур, А.Л. Пузырёв // Вестник НТУУ «КПИ». Машиностроение. – К.: НТУУ «КПИ». – 2008. – № 53. – С. 202-207. 6. Папшев Д.Д. Отделочно - упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием. - М.: Машиностроение, 1978. - 152 с. 7. Торбило В.М. Алмазное выглаживание. - М.: Машиностроение, 1972. – 105 с. 8. Чепя П.А. Технологические основы упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием. - Минск: Наука и техника, 1981. - 128 с. 9. Чепя П.А., Андрияшин В.А. Эксплуатационные свойства упрочненных деталей. - Минск: Наука и техника, 1988. - 192 с. 10. Богуслаев В.А., Яценко В.К., Притченко В.Ф. Технологическое обеспечение и прогнозирование несущей способности деталей ГТД. – К.: Манускрипт, 1993. - 333 с. 11. Мозговой В.Ф. Оценка оптимизированных технологических параметров процесса алмазного выглаживания при изготовлении валов ГТД / Мозговой В.Ф., Качан А.Я., Титов В.А. и др. // Технологические системы. - 2001. - № 5. - С.78-85. 12. Мозговой О.В. Вплив деформаційної та ізотермічної обробки на амплітудну залежність внутрішнього тертя сталі 07X12H2MБФ / Мозговой О.В., Качан О.Я., Тітов А.В., Богуслаєв О.В. // Вестник двигателестроения. – 2005. – № 1. – С. 99-102. 13. Алексеев Ю.Н. Введение в теорию обработки металлов давлением, прокаткой и резанием. - Харьков: Изд-во ХГУ, 1969. - 108 с. 14. Ахматов А.С. Молекулярная физика граничного трения. – М.: Гос. из-во физ.-мат. лит., 1963. - 472с. 15. Крагельский И.В. Трение

и износ. - М.: Машиностроение, 1968. - 480 с. 16. Титов А.В. Некоторые особенности формирования свойств поверхностного слоя при ультразвуковом выравнивании / Титов А.В., Хохлова Ю.А., Лавриненков А.Д. // Вестник НТУУ «КПИ». Машиностроение. – К.: НТУУ «КПИ». – 2009. – № 56. – С. 140-147.

УДК 621.92

Н.Ю. КАЛИНИЧЕНКО, аспирант

С.Е. МАРКОВИЧ, канд. техн. наук, доцент

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского “ХАИ”,
Украина

ПРОБЛЕМЫ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЙ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ СПЕЦИАЛЬНЫХ СПЛАВОВ И ДЕТАЛЕЙ С ГАЗОДЕТОНАЦИОННЫМИ ПОКРЫТИЯМИ

Описана проблематика обработки шлифованием деталей из специальных сплавов и термическими газо-детонационными покрытиями. Рассмотрены проблемы внедрения в производство глубинного планетарно – сопряженного шлифования. Представлены практические рекомендации, связанные с выбором режимов обработки, режущего инструмента и применяемому оборудованию.

Ключевые слова: планетарное шлифование, планетарная шлифовальная головка, глубинное шлифование, температурное поле

Описана проблематика обробки шліфуванням деталей із спеціальних сплавів і термічними газо-детонаційними покриттями. Розглянуті проблеми упровадження в виробництво глибинного планетарно – спряженого шліфування. Наведені практичні рекомендації, пов'язані з вибором режимів обробки, ріжучого інструменту і застосованого обладнання.

Ключові слова: планетарне шліфування, планетарна шліфувальна головка, глибинне шліфування, температурне поле.

The problematic of processing by grinding of details from special alloys and thermal gas -detonation coverings is described. Problems of introduction in manufacture deep planetary – the interfaced grinding are considered. The practical recommendations connected with a choice of modes of processing, the cutting tool and are presented to the applied equipment.

Keywords: planetary grinding, planetary grinding head, creep-feed grinding, temperature field's.

Высокие требования, предъявляемые к авиационным двигателям, обуславливают широкое внедрение труднообрабатываемых материалов из специальных сплавов на титановой основе, жаропрочных сплавов, а так же деталей с защитными газодетонационными покрытиями. Обработка данных материалов и композиций связана с рядом трудностей, что делает задачу прогнозирования эксплуатационных характеристик изделий и разработки единых технологических рекомендаций одной из наиболее актуальных. Особенно остро этот вопрос стоит при абразивной обработке, которая является универсальным методом обработки композиционных материалов, легированных сталей, труднообрабатываемых сплавов на титановой основе и деталей с износостойкими газо-термическими покрытиями, что обусловило её широкое применение в производстве. Одним из наиболее перспективных является метод глубинного планетарно – сопряжённого шлифования, который интенсифицирует процесс снятия материала и позволяет [1]: вести обработку на скоростях 100...180 м/с,

достичь скорости съёма материала $10...20\text{мм}^3/\text{мм}\cdot\text{с}$, получать чистоту обработанной поверхности $Ra=0,8...1,25\text{ мкм}$, обрабатывать детали с твердостью от $200...220\text{ НВ}$ до $62...64\text{ HRC}_{\text{э}}$. Однако широкое внедрение данного метода обработки сталкивается с рядом проблем, связанных с недостаточной изученностью физики процесса, методик прогнозирования физико-механических характеристик поверхностных слоёв обрабатываемой детали и методов расчёта и управления режимами обработки, обеспечивающими заданные эксплуатационные характеристики изделия.

Сложность проведения финишной обработки шлифованием деталей из титановых и жаропрочных сплавов связано с опасностью образования поверхностных дефектов: шлифовочных прижогов, трещин и т.д. Высокая термодинамическая напряжённость процесса шлифования становится причиной ухудшения условий обработки деталей с газо-детонационными покрытиями, с учётом специфических особенностей покрытий: структурная неоднородность, наличие развитой пористости и границы раздела “покрытие–подложка”[2]. Влияние всех этих факторов, может привести к отслоению покрытия, разупрочнению поверхностного слоя, интенсификации фазово–структурных превращений и образованию остаточных растягивающих напряжений.

Вопросы повышения качества и производительности обработки деталей из специальных сплавов и деталей с термическими покрытиями требуют решения целого комплекса задач: выбор способа и метода шлифования; подбор необходимого режущего инструмента (РИ) и оборудования, на котором возможно реализовать процесс обработки; выбор оптимальных режимов обработки. Одним из перспективных методов обработки является планетарно – сопряженное шлифование. К недостаткам данного способа обработки можно отнести следующее [3]: низкое значение коэффициента использования резерва режущих зёрен во времени приводит к низкой эффективности съёма материала. За время паузы в зоне обработки накапливается несошлифованный припуск. Разница в нагружении зёрен приводит к их интенсивному износу, либо к неэффективному использованию режущих. Третья негативная особенность заключается в том, что протяженность дуги мгновенного контакта, являющаяся зоной генерирования тепла, в планетарном и моноосевом способах обработки примерно одинакова, т.е. здесь так же нет рассредоточения тепловой энергии по поверхности детали. Отсутствие единой методики, позволяющей производить априорное прогнозирование физико-механические характеристики поверхностных слоёв после абразивной обработки, что так же не позволяет осуществлять корректирование режимов при активном контроле параметров процесса целью получения заданного комплекса свойств.

Целью исследований является разработка основных положений единой методики проектирования технологических процессов высокопроизводительной абразивной обработкой специальных сплавов и деталей с защитными газо-термическими покрытиями. Указанная проблематика требует решения следующих задач:

- анализ проблем связанных с высокой тепловой напряжённостью в зоне обработки;
- сложность проведения обработки шлифования в условиях затруднённого транспортирования смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) в зону обработки;
- анализ кинематических и технологических параметров планетарного глубинного шлифования;

– исследования состояния поверхности детали после обработки и влияние на них режимов обработки.

Одним из объектов исследования - тепловой процесс, являющийся определяющим при формировании поверхностного слоя детали. Высокая мгновенная температура в зоне резания приводит к изменению структуры поверхностного слоя детали, изменений условий резанья, появлению тепловых деформаций, возникновению остаточных напряжений.

Также, среди комплекса вопросов, требующих решения при проектировании композиционных шлифовальных кругов (КШК), особое место занимает синхронизация линейного износа режущих и смазочных элементов при одновременном надёжном обеспечении заданного температурного режима в зоне обработки в конкретных технологических условиях.

Одним из перспективных методов обработки является планетарно – сопряженное шлифование, (рис 1).

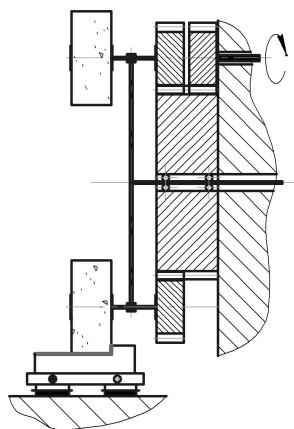


Рисунок 1 – Шлифовальная головка для глубинного шлифования плоских поверхностей (патент РФ № 2066268)

Данный способ предполагает использование планетарной шлифовальной головки, которая устанавливается на шпинделе вместо абразивного круга. Такой способ обработки обладает рядом преимуществ: увеличение интенсификации съёма материала в 10 раз с одновременным повышением стойкости инструмента в 8 раз [2]; в 2...4 раза снижается удельная энергоёмкость процесса; возможность использования в режиме глубинного шлифования с увеличением производительности до 2...5 раз по сравнению с традиционной технологией глубинного шлифования (патент РФ № 2066268); обеспечить шлифование со знакопеременными деформациями сдвига в поверхностном слое детали, что приводит к формированию остаточных напряжений сжатия на глубину 50...115 мкм [3].

В статье Ф.В. Новикова и Ю.Г. Гуцаленко [4] предложен способ увеличения фактической производительности обработки и жёсткости технологической системы путём повышения режущей способности круга, а так же за счёт ударно-циклического взаимодействия круга с обрабатываемой деталью, реализуя эффект запаздывания упругих перемещений системы от действия кратковременной силы. При определённых значениях частоты ω следования импульсов радиальной силы резания, фактическая и номинальная производительности обработки становится приблизительно одинаковыми. Это приводит к значительному увеличению динамической жёсткости и практически исключает “отжатие” в технологической системе.

Реализовать ударно-циклический характер взаимодействия круга с деталью авторы предлагают за счёт использования прерывистого круга, состоящего из чередующихся рабочих выступов и впадин. Однако по причине сложности создания такого круга, который бы создавал колебания с частотой $\omega = (1...3)10^3$ 1/с, в работе [4] предложено использовать ультразвуковые колебания круга, возбуждаемые специальным генератором ультразвуковых колебаний (ультразвуковой головкой). Наряду с увеличением производительности обработки, ударно-циклический контакт круга с деталью позволяет повысить точность обработки.

В связи с кратковременностью контакта обрабатываемого элемента детали с кругом и запаздыванием упругих перемещений системы от действия импульсной силы, в начальный момент контакта происходит более глубокое внедрение режущих зёрен в обрабатываемый материал, что ведёт к интенсификации съёма материала и износа круга. Обрабатываемая деталь при этом выполняет роль правящего инструмента, обеспечивает срезание верхних слоёв рабочей поверхности круга и непрерывное восстановление его режущих свойств.

Ударно-циклический характер контакта круга с деталью повышает эффективность шлифования труднообрабатываемых материалов за счёт увеличения глубины внедрения режущего зерна в материал [4].

$$H = 3 \sqrt{\frac{m \cdot V_0^2}{2\pi \cdot HV}},$$

где m – масса шлифовального круга; HV – твёрдость обрабатываемого материала по Виккерсу;

V_0 – скорость ультразвуковых колебаний.

С увеличением твёрдости обрабатываемого материала (для заданного значения H) необходимо увеличить амплитуду и частоту колебаний, то есть применение ультразвуковых колебаний, практически снимает ограничения обработки материала по твёрдости. С высокой производительностью могут обрабатываться стали, твёрдые сплавы, керамики, а так же синтетические и природные алмазы.

В работе [5] автором предложен метод уменьшения количества теплоты, образующейся при шлифовании, путём её рационального перераспределения в зоне контакта благодаря правильному подбору системы абразивное зерно – связка – импергнатор – СОЖ – обрабатываемая деталь. В качестве импергнатора выступают частицы меди. Влияние тепловых процессов на качество обработанной поверхности исследовали на образцах из стали 45 (40...45 HRC₅) при шлифовании кругами диаметром 500 мм [5]: стандартным марки 25A25CM2 К и импергнированным кругом (ИК) из такого же абразива (импергнирование осуществлялось частицами медно-графитового сплава на установке УВНР-450Э). Частота вращения шпинделя 283 об/мин, глубина шлифования 0,2 мм, параметр шероховатости $Ra=0,63$ мкм. Коэффициент температуропроводности для стали 45 принят равным $0,1 \text{ см}^2/\text{с}$, для ИК – $0,06 \text{ см}^2/\text{с}$ (при условии, что абразивные зёрна занимают 75% объёма круга и их цепочки не сплошные).

После шлифования ИК микротвёрдость образцов снизилась с 8000 до 5000 МПа. Общая величина зоны распространения остаточных напряжений на поверхности образцов, шлифованных ИК, уменьшилась в 2 раза, причем в наибольшей степени сократилась зона растягивающих напряжений. Микронапряжения в слое толщи-

ной 20...25 мкм при шлифовании стандартным кругом возросли в 10 раз, а при шлифовании ИК снизилась в 6 раз [5].

Авторами статьи [6] предложены математические модели, расчётные методики и программное обеспечение для численного моделирования теплового состояния заготовки и КШК в процессе обработки, а так же для расчёта расхода смазочных элементов такого круга за счёт их выплавления. Установлены закономерности расхода смазочных элементов композиционного круга, свидетельствующие о возможности рационального выбора значений геометрических параметров такого круга, обеспечивающих согласование расхода режущих и смазочных его элементов в конкретных технологических условиях. КШК, сочетая преимущества прерывистых и импергированных шлифовальных кругов, позволяют снижать тепловую напряженность в зоне обработки и, как следствие, получать детали с качественными поверхностными слоями при более высокой производительности.

Конструктивно КШК – это круг, на рабочей поверхности которого чередуются режущие выступы и заполненные твёрдым смазочным материалом (ТСМ) вырезы, выполненные в виде пазов, прорезей и каналов (рис. 2).

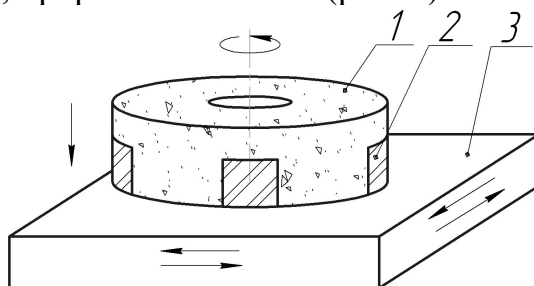


Рисунок 2 – Схема плоского торцевого шлифования композиционным кругом [6]:
1 – шлифовальный круг; 2 – твёрдый смазочный материал; 3 – заготовка.

Начальные условия задают распределение температур во взаимодействующих объектах в начальный момент времени ($\tau = 0$). Распределение считается однородным и равным температуре окружающей среды T_f ($T_f = T$).

Граничные условия однозначности определяют условия теплообмена на свободных поверхностях взаимодействующих объектов и в зоне контакта:

$$\lambda_{\text{кшк}} \left(\frac{\partial T}{\partial n_k} \right)_{n_k=0} + \lambda_3 \left(\frac{\partial T}{\partial n_3} \right)_{n_3=0} = q_{\text{выд}} - q_c - q_{\text{ст}} - q_{\text{пл}},$$

$$T_{\text{кшк}} = T_3$$

где n_k , n_3 – нормаль к поверхности соответственно шлифовального круга и заготовки на анализируемом участке зоны контакта;

$q_{\text{выд}}$ – поверхностная плотность теплового потока, выделившегося в зоне контакта;

q_c , $q_{\text{ст}}$, $q_{\text{пл}}$ – поверхностная плотность теплового потока, отводимого из зоны контакта соответственно в месте с СОЖ, стружкой и плавящимся смазочным элементом;

$T_{\text{кшк}}$, T_3 – местная контактная температура круга и заготовки соответственно.

В статье [6] Ковальногов В.Н. и Михайлин С.М. получили систему алгебраических уравнений:

- для расчётных данных элементов заготовки вне зоны контакта;
- для расчётных элементов круга вне зоны контакта;

- для расчётных элементов заготовки в зоне контакта;
- для расчётных элементов круга в зоне контакта.

Приведены результаты численного моделирования тепловой напряжённости плоского торцового шлифования модельной заготовки размером 45×15×15 мм из стали 45 с твердостью 40...42 HRC₃ композиционным кругом 1 – 250×76×25 характеристики 24A16HC18K26 со смазочными элементами из парафина с подачей в зону шлифования 3%-ной эмульсии Укринол-1. Режим шлифования: рабочая скорость круга $V_k=30$ м/с, скорость подачи стола $V_c=10$ м/мин, врезная подача $t=0,03$ мм/ход [6].

В работе [7] рассмотрена кинематика формообразования при торцевом планетарном шлифовании, когда вращение наружного и внутренних шлифовальных кругов происходило в попутном и встречном направлениях с различной частотой. Исследования проводились на заготовках из материала – сталь 4X5M, шлифовальными кругами типа 6A2 и АЧК с размерами: $R=57,5$ мм, $r_{\text{внутр}}=31,5$ мм; на скоростях: $\omega_{\text{внутр}}=99,46$ рад/с, $\omega_k=80$ рад/с, $V_d=1,5$ м/мин. В результате выполненных исследований было установлено, что величина шероховатости R_a на 35...40% меньше по сравнению с обычным, моноосевым шлифованием.

В работах А.А. Горбачёва [8, 9] описан алгоритм расчёта величины подачи, определена функциональная связь технологических параметров, выполнен расчёт кинематических параметров процесса при плоском глубинном планетарном шлифовании. При определении величины подачи использовалось такое условие работы режущих зёрен, когда максимальная толщина стружки, снимаемая за проход, не превышает предельно допустимую величину, обеспечивая наиболее благоприятные условия обработки. В результате проведенных расчётов, автор получил выражения для определения: величины подачи детали и вывел соотношения скоростей шлифовального круга и головки при встречном и попутном их вращениях. Однако данная работа позволяет решать ограниченный круг задач. Рассмотренный алгоритм позволяет определять подачи детали и соотношения скоростей только для данной конструкции шлифовальной головки, вызывая определённые трудности при решении прикладных задач для процессов обработки специальных защитных покрытий.

Одним из методов обработки, который применяется при обработке хвостовиков и бандажных полок рабочих лопаток турбины и обеспечивает высокие требования по их качеству, является глубинное шлифование. В работе [1] автором получены экспериментальные кривые распределения остаточных напряжений в поверхностном слое для различных зон лопаток турбины после скоростного глубинного шлифования, (рис. 3 и 4) [1]. Обработка велась кругом из кубического нитрида бора на гальванической связке.

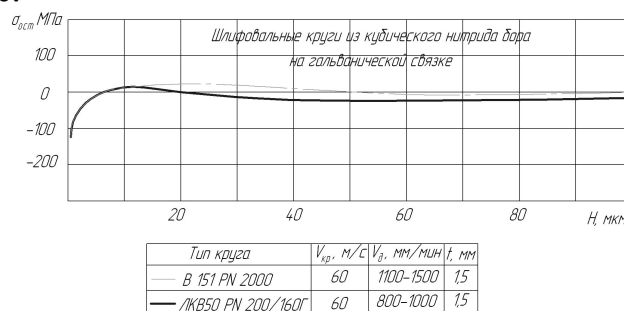


Рисунок 3 – Обработка дна бандажной полки рабочей лопатки [1]

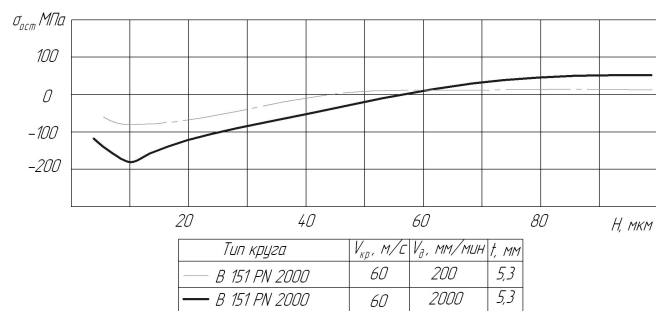


Рисунок 4 – Обработка наклонной стенки ребра лабиринта рабочей лопатки [1]

Результатом проведенных экспериментов стало уменьшение в 2...2,5 раза величины остаточных напряжений с учётом различных технологических условий обработки деталей из титановых сплавов, по сравнению с традиционным шлифованием. Важной и актуальной задачей современного авиадвигателестроения, является обеспечения высокого качества изготовления рабочих лопаток турбин.

Авторы работы [10] в своих исследованиях провели анализ, систематизацию и классификацию технологических операций, выполняемых глубинным шлифованием. Эксперименты проводились при формообразовании “ёлочного” профиля хвостовика лопатки из материала ЖС6У-ВИ и ЖС6К высокопористыми абразивными кругами 25A10ПЗИ2912K5KO40 и 25A16ПЗИ3312K5KO40 на станках модели SS013L и ЛШ-220 с охлаждением синтетической жидкостью “АКВОЛ-2”. Шероховатость поверхностей хвостовика лопаток турбины после глубинного шлифования не превышает $R_a = 0,8...1,2$ мкм. В поверхностном слое “ёлочного” профиля хвостовиков стабильно формируются остаточные напряжения сжатия, (рис. 5) [10]:

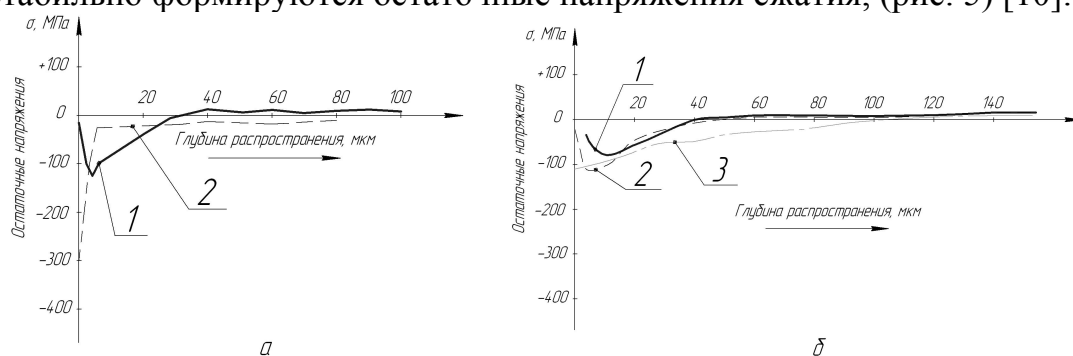


Рисунок 5 – Эпюры распределения остаточных напряжений в поверхностном слое “ёлочного” профиля хвостовика после глубинного шлифования:

а – материал заготовки ЖС6К, инструмент – 25A10ПЗИ12K5KO40, станок модели – SS013L; б – материал ЖС6У-ВИ, инструмент – 25A16ПЗИ3312K5KO40, 1, 2, 3 – обрабатываемые лопатки [10]

Максимальная величина остаточных напряжений сжатия для материала ЖС6К 150...300 МПа, а для ЖС6У-ВИ 75...125 МПа; глубина распространения сжимающих напряжений в поверхностном слое 40...80 мкм; повышение предела выносливости на 4...7%; величина степени наклёпа – 5...12%; глубина наклёпанного слоя 0,03...0,04 мм. Результаты работы [10] позволяют более целенаправленно применять глубинное шлифование совместно с планетарно – сопряженным при обработке различных поверхностей конструктивных элементов рабочих лопаток турбины, а так же более рационально устанавливать технологические условия и режимы обработки, обеспечивающие высокое качество при изготовлении деталей из жаропрочных никелевых сплавов.

Способ планетарного шлифования позволяет вести обработку обычными абразивными кругами на керамической основе со скоростью шлифования 40...60 м/с на всю глубину снимаемого припуска. Для глубинного шлифования жаропрочных на никелевой основе созданы шлифовальные круги из сверхтвёрдого абразивного материала – кубического нитрида бора с высокими механическими и теплофизическими свойствами. Режущая способность и долговечность такого инструмента существенно выше, чем у кругов из электрокорунда [1].

Таким образом, в настоящее время проведен достаточно большой объём исследований, позволяющих оценить теплонапряжённость процесса. Однако большинство из них имеют существенные ограничения в области применения, что связано с необходимостью аналитического описания процессов. Результатом проводимых исследований, как указывалось ранее, является создание единого подхода к проблеме априорного прогнозирования эксплуатационных характеристик изделий и разработке технологических рекомендаций. При разработке универсальной модели, которая может быть использована при оценке поля температур различных схем обработки (глубинное, высокоскоростное, планетарное шлифование и др.) с учётом воздействия внешних факторов, в качестве исходных использован ряд положений, продемонстрировавших удовлетворительную сходимость расчётных данных с экспериментальными (табл. 1).

Таким образом, в качестве математического метода исследования температурных полей деталей авиационных двигателей, обрабатываемых шлифованием, наиболее универсальным является метод конечных элементов (МКЭ), который предоставляет возможность учёта геометрии процесса (закон движения абразивного зерна), количество зерен, проходящих через точку контакта в секунду, вероятностную плотность режущих зерен, радиус скругления вершины зерна по отношению к зернистости круга, время контакта зерна с элементом, влияние ПАВ и СОЖ и т.д.

Проведенный анализ прикладных работ, позволяет выделить следующие рекомендации, обеспечивающие наиболее производительную обработку шлифованием (табл. 2).

Таблица 1

Исходные элементы модуля расчёта поля температур

Источник	Начальные условия	Граничные условия	Входные данные	Выходные данные	Недостатки
Ковальногов В.Н., Михайлин С.М.	$\tau = 0$ $T = T_f$	$\lambda_{\text{кшк}} \left(\frac{\partial T}{\partial n_k} \right)_{n_k=0} + \lambda_z \left(\frac{\partial T}{\partial n_z} \right)_{n_z=0} = q_{\text{выд}} - q_c - q_{\text{ст}} - q_{\text{пл}};$ $T_{\text{кшк}} = T_z$	ρ, c, λ - плотность, удельная теплоёмкость и теплопроводность заготовки, КШК, СОЖ; v_c - скорость стола;	$\tilde{T}^z$ - температура заготовки вне зоны контакта; $\tilde{T}^k$ - температура круга вне зоны контакта;	Вносится погрешность в тепловой расчёт от величин

			z – число смазочных элементов; D – диаметр круга;	$\tilde{T}^{кз}$ - температура заготовки в зоне контакта; $\tilde{T}^{кк}$ - температура круга в зоне контакта	ны фактической площади контакта круга с заготовкой S_m
Чирков Г.В.	-	Заготовка считается не прогреваемой на всю глубину за один рабочий ход	λ - теплопроводность детали и круга; a – коэффициент температуропроводности; v - скорость вращения; s – подача детали; K_p -коэффициент разновысотности зёрен	$T(x_0; z_0)$ - температурное поле детали; α - количество теплоты уходящей в шлифовальный круг и деталь	Модель не учитывает количества тепла уносимого СОЖ и уходящего со стружкой
Иванова Т.Н.	$t=0$	$t \in \left[0, \frac{2\pi}{\omega_k}\right]$	t – время; R – межцентровое расстояние между центрами наружного и внутреннего кругов; $\omega_{внутр}$ - угловая скорость вращения внутреннего круга; ω_k - угловая скорость вращения наружного круга; r – радиус внутреннего шлифовального круга	$M(x, y, t)$ -траектория движения абразивного зерна при плоском планетарном шлифовании.	Модель не учитывает износ режущего инструмента

Таблица 2

Значения оптимальных режимов шлифования, полученные авторами [5, 10, 6]

Источник данных	Оборудование	Заготовка				глубина t , мм	$S_{прод}$, мм/мин	СОЖ	Шлифовальный круг
		Геометрия, мм	HRCэ	Ra, мкм	материал				
Чирков Г.В.	3М71	30×30×15	40...45	0,63	сталь 45	0,2	10 см/с	-	25A25CM2K
									ИК-круг
Качан А.Я.,	SS-01 3L и ЛШ-2	Образец 1,2×2×31	-	0,8..1,2	ЖС6К	1,3	95..100	АКВ ОЛ-2	25A10ПЗИ 12-K5K040
						0,15	130		

Богуслаев А.В., Мозговой В.Ф. (глубинное шлифова- ние)	20		-		ЖС6У- ВИ	0,15	200		25A16ПЗИ 33- 12K5KO40
						3,5	60..75		
						0,45	110.. 130		
						0,45	150		
Ковально- гов В.Н., Михайлин С.М.	-	250×76×2 5	40..42	-	Сталь 45	-	16 см/с	Укр -ин ол- 1	24A16HC18 K26

Как показал анализ рассмотренных работ, метод глубинного планетарно – сопряжённого шлифования является одним из наиболее перспективных, высокоэффективных и экономически целесообразных методов при обработке деталей из жаропрочных и специальных сплавов: ЖС6К, ЖС6У-ВИ; а так же с защитными газо-детонационными покрытиями на основе сормайта и Al_2O_3 . Широкое внедрение данного метода в производство требует решения ряда проблем: связанных с высокой тепловой напряженности в зоне обработки [6], низкой фактической производительности шлифования по причине недостаточной жёсткости крепления детали на станке [4], определение величины и вида остаточных напряжений [1, 10]. В настоящее время разработаны и рекомендованы к внедрению отдельные математические модели процессов, позволяющие рассчитать: параметры и необходимые характеристики КШК, влияющие на температуру в зоне резания [6], частоту ударно-циклических колебаний шлифовальной головки [4], скорости вращения шлифовального круга и головки, подачу детали [8, 9]. Однако большинство моделей имеют существенные ограничения, что не позволяет использовать их без существенной доработки для описания даже родственных процессов обработки. Для формирования единого подхода к проблеме априорного прогнозирования эксплуатационных характеристик изделий и разработке технологических рекомендаций, необходимо создание модели процесса, построенной на базе МКЭ, что позволяет производить оценку поля температур различных схем обработки (глубинное, высокоскоростное, планетарное шлифование и др.) с учётом особенностей геометрии процесса, вероятностной плотности режущих зёрен, радиуса скругления вершины зерна по отношению к зернистости круга, времени и особенностей контакта зерна с отдельными участками поверхности, влияние ПАВ и СОЖ

Список литературы: 1. Толоконников В. Заместитель ген. директора УМПО, к.т.н. Интегральная технология: от философии к практике: <http://engine.aviaport.ru> 2. Пилипенко А.М. Повышение эффективности шлифования деталей с износостойкими плазменными и детонационными покрытиями: Автореферат канд. техн. наук / АН УССР, Ин-т сверхтвёрдых материалов.– К., 1987.–16 с. 3. Буюкли И.М. Повышение эффективности периферийного планетарного шлифования деталей из конструкционных материалов: Автореферат канд. техн. наук / Одес. политехн. ин-т. – Одесса., 1990. –16с. 4. Новиков Ф.В., Гуцаленко Ю.Г. Управление динамикой процесса шлифования // Високі технології в машинобудуванні, 1999. 5. Чирков В.Г. Влияние импергнирования шлифовального круга на качество обработки // Технология машиностроения, вып. № 2, 2007. 6. Ковальногов В.Н., Михайлин С.М. Теплофизический анализ как основа проектирования композиционных шлифовальных кругов // Известия вузов. Машиностроение, вып. № 3, 2006. 7. Иванова Т.Н. Кинематика формообразования при торцовом планетарном шлифовании

// Известия Челябинского научного центра, вып. 1 (31), 2006. 8. Горбачёв А.А. Определение кинематических параметров планетарного глубинного шлифования плоских поверхностей // Авиационно – космическая техника и технология, вып. №2 (18), 2005. 9. Горбачёв А.А. Определение технологических параметров планетарного глубинного шлифования плоских поверхностей // Авиационно – космическая техника и технология, вып. №5 (21), 2005. 10. Качан А.Я., Богуслаев А.В., Мозговой В.Ф., Алексеенко О.В. Глубинное шлифование хвостовиков и бандажных полок рабочих лопаток турбин // Авиационно-космична техніка і технологія, вип. №5 (40), 2003

УДК 621.723

В.Я. ДАНИЛЕНКО, канд. техн. наук, доцент, НТУ «ХПІ»

В.О. ЄВСТРАТОВ, докт. техн. наук, проф., НТУ «ХПІ»

В.І. КУЗЬМЕНКО, канд. техн. наук, проф., НТУ «ХПІ»

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРТЯ ПРИ ХОЛОДНІЙ ПЛАСТИЧНІЙ ДЕФОРМАЦІЇ

Для характеристики стану фосфатного мастильного покриття запропоновані нові терміни: скінограма, а також часткові коефіцієнти суцільності K_{cz} (поздовжній) і $K_{c\theta}$ (тангенціальний). Для визначення K_{cz} й $K_{c\theta}$ створено пристрої ДС-1 й ДС-2, які дозволили визначити K_{cz} й $K_{c\theta}$ на будь-якій ділянці контактної поверхні у вигляді скінограми або числа. Експериментально встановлено, що коефіцієнти суцільності залежать від виду операції, форми інструмента й розмірів заготовки. Уведено важливе для підвищення стійкості штамів поняття – діаграма зношування. Дано дефініцію нового для обробки металів тиском терміна – шлях тертя $L(k)$. Наведено функцію, за допомогою якої можна обчислити $L(k)$ залежно від координати k контактної поверхні деформуючого інструмента. Для визначення тертя на контактних поверхнях інструмента в процесах пластичної деформації автори розробили пристрій ДТ-4, що дозволила визначити τ_k при нормальних тисках аж до $\sigma_n / \sigma_s = 8$. Експериментально досліджували тертя на контактних поверхнях сталевих фосфатованих зразків, просочених концентратом НБ-5 або господарським милом. На підставі експериментів побудовані графіки залежності коефіцієнта тертя $\mu_n = \tau_k / \sigma_n$ від нормального тиску σ_n і швидкості переміщення заготовки по інструменту v_0 .

Для характеристики состояния фосфатного смазочного покрытия предложены новые термины: скинограмма, а также частные коэффициенты сплошности K_{cz} (продольный) и $K_{c\theta}$ (тангенциальный). Для определения K_{cz} и $K_{c\theta}$ созданы устройства ДС-1 и ДС-2, которые позволили определить K_{cz} и $K_{c\theta}$ на любом участке контактной поверхности в виде скинограммы или числа. Экспериментально установлено, что коэффициенты сплошности зависят от вида операции, формы инструмента и размеров заготовки. Введено важное для повышения стойкости штампов понятия – диаграмма изнашивания. Дана дефиниция нового для обработки металлов давлением термина – путь трения $L(k)$. Приведена функция, с помощью которой можно вычислить $L(k)$ в зависимости от координаты k контактной поверхности деформирующего инструмента. Для определения трения на контактных поверхностях инструмента в процессах пластической деформации авторы разработали устройство ДТ-4, что позволило определить τ_k при нормальных давлениях вплоть до $\sigma_n / \sigma_s = 8$. Экспериментально исследовали трение на контактных поверхностях стальных фосфатированных образцов, пропитанных концентратом НБ-5 или хозяйственным мылом. На основании экспериментов построены графики зависимости коэффициента трения $\mu_n = \tau_k / \sigma_n$ от нормального давления σ_n и скорости перемещения заготовки по инструменту v_0 .

For phosphate lubrication coating state analysis we define such terms as scinogramm and also partial coefficients of lubricant coating ratio K_{cz} (longitudal) and $K_{c\theta}$ (tangential). For their experimental

investigation we created the installations ДС-1 and ДС-2. They give us the possibility to define K_{cz} and K_{c0} on any part of contact surface as the sinogrammm or definite number. Important for tool wear rise conception – wear diagram – is inserted. The definition of new term for mechanical working – path of friction $L(k)$ – is given. There is given also the function for calculating $L(k)$ as a function of contact surface coordinate k . For definition of friction on tool contact surfaces in processes of plastic deformation authors worked out the unit, which allowed to define τ_k under normal pressure up to $\sigma_n / \sigma_s = 8$. The friction on contact surfaces of steel phosphate specimens which were impregnated by the concentrate НБ-5 or soap was investigated in the experimental researches. On the base of our experiments the graphs of friction coefficient $\mu_n = \tau_k / \sigma_n$ dependence of normal pressure and velocity of specimen movement on the surface of tool were built.

Відома велика кількість робіт з тертя. Однак у них не висвітлені наступні важливі питання: 1) як розподіляється мастило по контактній поверхні інструмента в процесі деформування металу, як залежить контактне дотичне напруження від умов деформації й координат контактної поверхні $\tau_k(k, l)$, де k, l – узагальнені координати контактної поверхні інструмента (x, y, z, r, θ, z і т.п.); 2) чим принципово відрізняється тертя в машинних парах від тертя при обробленні металів тиском; 3) як виміряти тертя при дуже великих нормальних напруженнях на контактних поверхнях заготовки, що характерні для процесів видавлювання й холодного об'ємного штампування.

Пропонована читачеві стаття присвячена відповідям на ці важливі питання.

1. У класичних роботах з тертя (наприклад, у роботах Ф. Боудена й Д. Тейбора) показано, що контактне дотичне напруження τ_k , а виходить, сила тертя, зношування інструмента і якість деталей, тісно пов'язані зі станом мастильного покриття. Залежність між τ_k й коефіцієнтом металевго контакту, яка отримана Ф. Боуденом і Д. Тейбором, у наших позначеннях можна представити у вигляді

$$\tau_k = (1 - K_c) \tau_s + K_c \tau_m. \quad (1)$$

Тут τ_s й τ_m – дотичні напруження плинущого основного металу й мастила відповідно, МПа; K_c – коефіцієнт суцільності мастильного покриття (у Ф. Боудена й Д. Тейбора $(1 - K_c)$ – коефіцієнт металевго контакту).

Однак у згаданих роботах не розглядається питання про те, як саме мастило розподіляється в процесі деформування заготовки, як визначити коефіцієнт металевго контакту. Авторам удалося відшукати методику, що дозволила зафіксувати стан мастильного покриття безпосередньо в процесі деформування. Для холодного видавлювання сталевих деталей використовують тверде пористе підмастильне покриття (фосфат цинку або марганцю), що просочують мастилом (звичайним господарським милом, або концентратом НБ-5). Фосфатна плівка міцно втримується на поверхні деформованої заготовки й служить екраном, який перешкоджає утворенню когерентних зв'язків між металом заготовки й металом інструмента, а мастило зменшує тертя між заготовкою та контактними поверхнями.

Товщина підмастильного покриття (фосфатної плівки) становить 25...40 мкм. У процесі видавлювання у зв'язку зі значною пластичною деформацією заготовки її форма й розміри змінюються, а фосфатна плівка стоншується. Наприклад, при видавлюванні деталей типу стаканів на зовнішній поверхні плівка стоншується у 1,5...2,0 рази, а на внутрішній поверхні – аж у 10...12 разів. Якщо товщина фосфатної плівки перевищує 5 мкм, то вона зберігає суцільність. Якщо ж товщина плівки стає меншою за 5 мкм, то вона здобуває острівкову будову. Однак, коли плівка підмастильного покриття стоншується й розривається, мастило з контактних повер-

хонь під дією високих нормальних напружень частково або повністю видавлюються, екранування порушується, утворюються ювенільні поверхні, по яких відбувається схоплювання металу заготовки з металом інструмента. Цей факт підтвердили дослідження, які проведені на рентгенівському мікроаналізаторі MAP-2.

Утворення на заготовках поверхонь, вільних від фосфатного покриття й мастила (ми назвали такі поверхні ювенільними), призводить до катастрофічного зношування інструмента, значного збільшення зусилля деформації й різкого погіршення якості виготовлених деталей (на їхніх поверхнях утворюються глибокі риски).

Тому для нормального протікання процесів деформації сталевих деталей необхідно надійне екранування поверхні заготовки. Це можна зробити, знаючи закономірності розподілення фосфатного покриття.

Для характеристики стану фосфатного покриття авторами запропоновано використати **коефіцієнт суцільності покриття K_c**

$$K_c = (A_\delta - \Sigma A_{ю}) / A_\delta. \quad (2)$$

Тут A_δ – площа базової ділянки, на якій визначається коефіцієнт суцільності, m^2 ; $\Sigma A_{ю}$ – сума площ ювенільних (вільних від фосфатного покриття) ділянок поверхні в межах базової ділянки вимірювання, m^2 .

Фосфатне покриття тверде, тому його стан після деформації такий же, як й у процесі деформації (при видавлюванні). Тому коефіцієнт суцільності покриття K_c , виміряний на поверхні вже видавленої деталі, може адекватно характеризувати саме ті умови екранування, які мали місце в процесі деформування.

Значення K_c по формулі (2) визначити відомими інструментальними засобами неможливо. Тому автори запропонували визначати часткові коефіцієнти суцільності: поздовжній K_{cz} і тангенціальний $K_{c\theta}$:

$$K_{cz} = (L_\delta - \Sigma L_{ю}) / L_\delta; \quad K_{c\theta} = (T_\delta - \Sigma T_{ю}) / T_\delta, \quad (3)$$

Тут L_δ й T_δ – довжини базових ділянок, на яких визначається коефіцієнт суцільності уздовж напрямку плину металу й по колу відповідно, m ; $\Sigma L_{ю}$ й $\Sigma T_{ю}$ – сума довжин ювенільних (вільних від фосфатного покриття) ділянок поверхні в межах базових ділянок вимірювання, m .

Використовуючи такий підхід, можна за допомогою **скінограми** поверхні визначити коефіцієнт суцільності покриття, зокрема фосфатного, яке що екранує контактну поверхню інструмента.

Скінограма – це новий термін, запропонований авторами, який представляє собою графічну характеристику суцільності фосфатного покриття у вигляді осцилограми синусоїдальної кривої, амплітуда якої різко зменшується на ювенільних поверхнях (рис. 1).

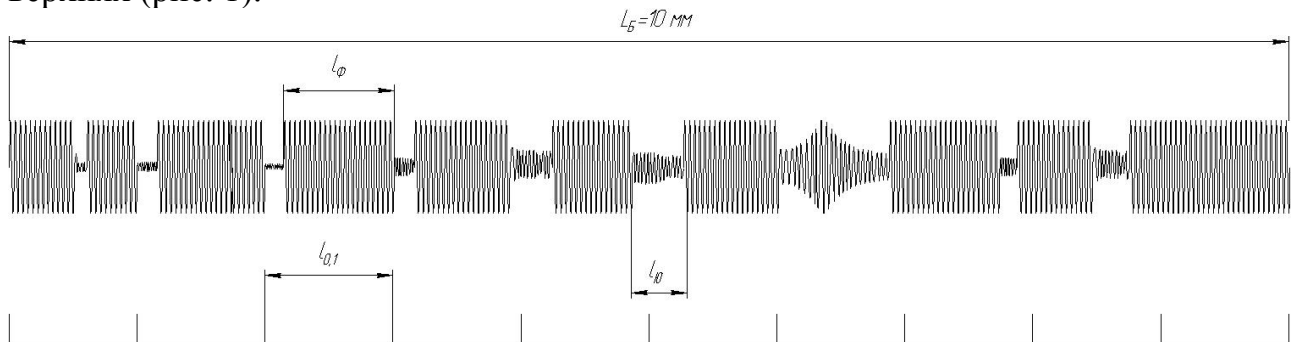


Рис. 1. Зразок скінограми

Чисельні значення K_{cz} й $K_{c\theta}$ можуть бути визначені на пристроях ДС-1 та ДС-2, які сконструйовані авторами. Принцип їхньої дії досить простий. На рис 2 показана структурна схема пристрою ДС-1 для визначення поздовжнього коефіцієнта суцільності K_{cz} .

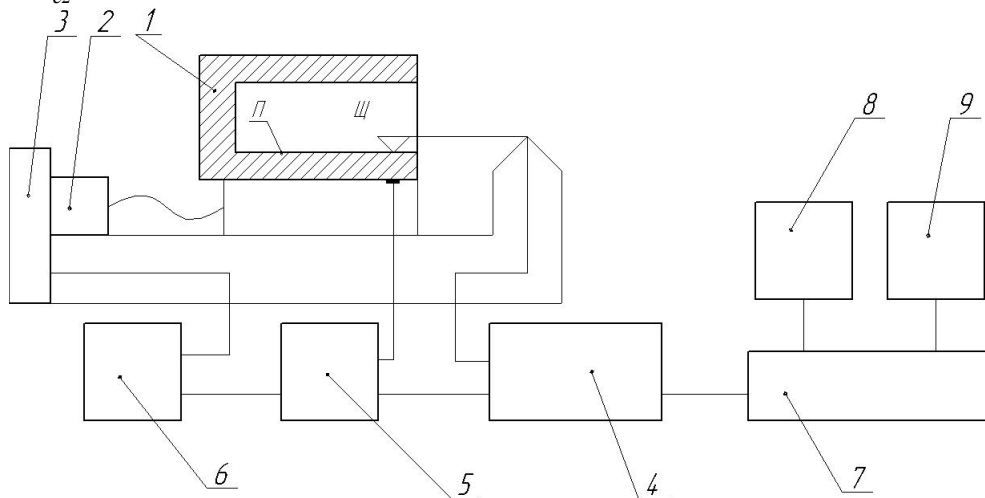


Рис. 2. Структурна схема пристрою ДС-1

Видавлена заготовка 1 встановлена на каретку, що рухається разом з видавленою деталлю. По досліджуваній поверхні П переміщується щуп Ш, на який подається змінна (синусоїдальна) електрична напруга. При русі заготовки уздовж її осі щуп ковзає уздовж твірної то по фосфатній поверхні шару, що екранує, то по металевій поверхні деталі (де фосфатна плівка розірвана). Фосфатний шар електричного струму не проводить. Тому в першому випадку ланцюг «щуп – деталь» розмикається. Коли ж щуп ковзає по ювенільній поверхні, то ланцюг «щуп – деталь» замикається. Це реєструється на стрічці осцилографа у вигляді скінограми. Розшифровка скінограми (осцилограми) дозволяє визначити K_{cz} на будь-якій ділянці поверхні. Скінограми дають наочне уявлення про топографію розривів підмастильного покриття, однак вимагають трудомісткого розшифрування. Тому передбачено роботу пристрою ДС-1 у режимі рахунку. Один з перерахункових пристроїв (8) включено так, що він фіксує усі імпульси, які подаються на щуп при його ковзанні уздовж твірної досліджуваної поверхні. Інше (9) – за допомогою схеми збігів фіксує тільки ті імпульси, які подаються на щуп у той момент, коли він ковзає по фосфатній поверхні. Завдяки цьому чисельне значення K_{cz} можна виразити як відношення показань перерахункових пристроїв.

Аналогічним образом працює й пристрій ДС-2. Він дозволяє визначити тангенціальний коефіцієнт суцільності $K_{c\theta}$. Єдине розходження полягає в тому, що замість каретки (яка у пристрої ДС-1 рухається в поздовжньому напрямку), пристрій ДС-2 містить поворотний столик (разом з яким обертається видавлена деталь). При обертанні деталі щуп ковзає по досліджуваній поверхні в тангенціальному напрямку (перпендикулярно до напрямку твірної, тобто по колу), а установка або записує осцилограму, або рахує кількості імпульсів лічильниками 8 й 9.

Рівняння (1) виведене Ф. Боуденом і Д. Тейбором у припущенні, що мастило не переноситься на незмащені ділянки. У реальних умовах видавлювання сталевих деталей (коли фосфатна плівка просочена ефективним мастилом) таке припущення сумнівне. Наші дослідження показали, що при $K_c > 0,6$ експериментальні точки лягають нижче лінії, що описується рівнянням Ф. Боудена й Д. Тейбора. При $K_c > 0,6$ значення τ_k досить мало відрізняється від τ_m . Експериментальні дослідження з визна-

чення контактних дотичних напружень τ_k проводили за допомогою трибометра типу ГП (Н. М. Михина).

На підставі статистичних даних для фосфату марганцю товщиною 25...45 мкм із наступним просоченням милом авторами отримана залежність між $\tau_k(k, l)$ і $K_c(k, l)$ у такій формі

$$\tau_k(k, l) = (0,52 - 0,85K_c(k, l) + 0,51K_c(k, l)^2) \sigma_s. \quad (4)$$

Тут σ_s – напруження плину металу деформованої заготовки, МПа; $\tau_k(k, l)$ – контактне дотичне напруження на поверхні видавлюваної деталі (МПа), що залежить від координати $k, м$; глибини видавлюваної порожнини $l, м$; $K_c(k, l)$ – поздовжній коефіцієнт суцільності фосфатного покриття, який залежить від координати $k (м)$ і глибини видавлюваної порожнини $l (м)$.

Експериментальні дослідження показали, що чисельні значення $K_c(k, l)$ сильно залежать від глибини видавлюваної порожнини, координати z і форми голівки пуансона. Отримано досить складне кореляційне рівняння виду $K_c = F(\lambda_n, \alpha_z, r_k, \psi)$, по якому можна визначити залежність зміни K_c по глибині видавлюваної порожнини (λ_n), залежно від форми голівки пуансона (куту скосу α_z , а також відносному радіусу округлення калібрувального паска r_k) і ступеня деформації заготовки ψ .

Наведені дані дозволяють визначити залежність зміни K_c від глибини видавлюваної порожнини, знайти уздовж всієї контактної поверхні напруження тертя τ_k для різних форм голівки пуансона й ступенів деформації. Рішення цієї задачі показує підходи до оптимізації конструкцій інструмента для холодного видавлювання деталей типу стаканів із заготовок, які покриті фосфатною плівкою й просочені відповідними мастилами, зокрема хазяйським милом або концентратом НБ-5 (рис. 3).

Методика визначення K_c становить інтерес для встановлення особливостей тертя в умовах пластичного контакту при наявності твердої плівки, що екранує (наприклад, фосфатного шару).

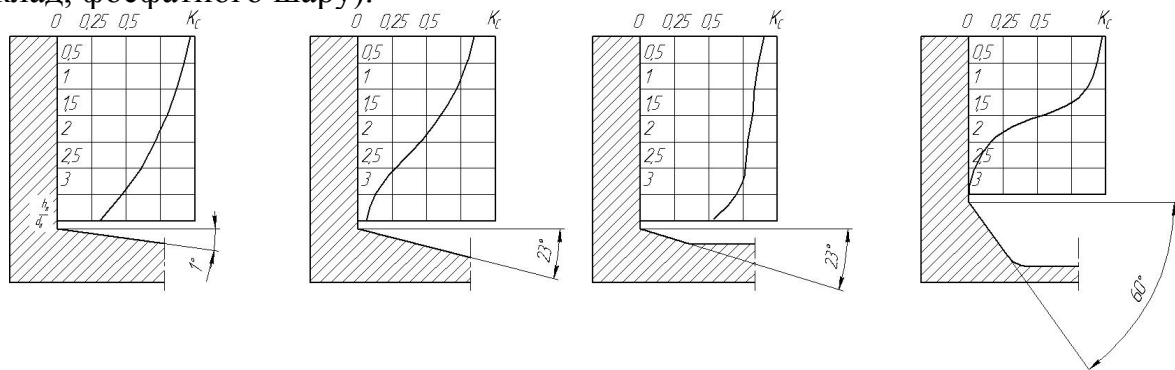


Рис. 3. Залежність зміни K_c від глибини видавлюваної порожнини і форми голівки пуансона

2. Відомо, що зношування інструмента для оброблення металів тиском відбувається нерівномірно: є області, у яких зношування йде надзвичайно інтенсивно. Наприклад, у відкритих штампах об'ємного штампування це область гратового містка, у штампах для витягування – тороподібна поверхня матриці, у штампах для холодного видавлювання – бічна поверхня матриці й калібруючий пасок пуансона. Показати різну інтенсивність зношування можна дуже наочно за допомогою так званих **діаграм зношування**.

Діаграмою зношування домовимось називати залежність зношування контактної поверхні штампів $W(k)$ від координати k її поверхні, а також від числа виготовлених деталей N .

Аналіз діаграм зношування для різних видів інструмента (молотових штампів, штампів для витягування тощо) показав, що інтенсивність зношування dW/dN змінюється в широких межах залежно від умов видавлювання, у числі яких варто виділити *шлях тертя* $L(k)$. У різних частинах контактної поверхні інструмента $L(k)$ різний і залежить від координати k .

На відміну від тертя в машинних парах, де шлях тертя визначається як сумарне лінійне переміщення одного з елементів, у процесах ОМД шлях тертя як фізична величина ще навіть не визначена. Щоб усунути цю прогалину, уведемо наступне визначення: **Шлях тертя** $L(k)$ – це функція координати k контактної поверхні деформуючого інструмента, що визначається сумарним переміщенням часток деформованої заготовки щодо розглянутої точки контактної поверхні інструмента в заданому напрямку k :

$$L(k) = \int_{t(k)_n}^{t(k)_k} v_{\tau} dt . \quad (5)$$

Тут v_{τ} – дотична складова швидкості переміщення заготовки щодо інструмента (у змінних Ейлера), м/с; $t(k)_n$ та $t(k)_k$ – час у секундах початку й кінця руху часток металу в точці з координатою k .

Наочно це можна показати на прикладі зношування матриць для холодного видавлювання (рис. 4). Розрахунок шляху тертя для різних матриць показав, що $L(k)$ не залежить від швидкості пуансона v_n , але сильно залежить від координати k точки контактної поверхні матриці, розмірів заготовки, а також відносного радіуса пуансона. Відмінність у шляхах тертя визначає розходження в інтенсивності зношування матриць.

Треба підкреслити, що шлях тертя, який розрахований по формулі (5), істотно більший, ніж простий зсув заготовки відносно матриці. Це особливо характерно для прямого видавлювання стрижневих деталей, пресування, об'ємного штампування.

Аналіз діаграм зношування матриць для зворотного й прямого видавлювання показав, що зношування $W(z)$ пов'язане із числом видавлених деталей N і відносним шляхом тертя $L(z)/L_0$ залежністю, близькою до лінійної, котру можна представити в такому виді:

$$W(z) = \Phi(VB) \frac{L(z)}{L_0} N . \quad (6)$$

Тут $\Phi(VB)$ – експериментально визначена функція, яка залежить від умов видавлювання (матеріалу заготовки і її твердості, ступеня деформації, матеріалу й твердості матриці, умов тертя, швидкісного режиму деформації, коефіцієнта суцільності мастильного покриття), мм/шт;

$L(z)$ – шлях тертя для даної деталі в напрямку координати z , м;

L_0 – базовий шлях тертя, для якого визначена функція $\Phi(VB)$, м.

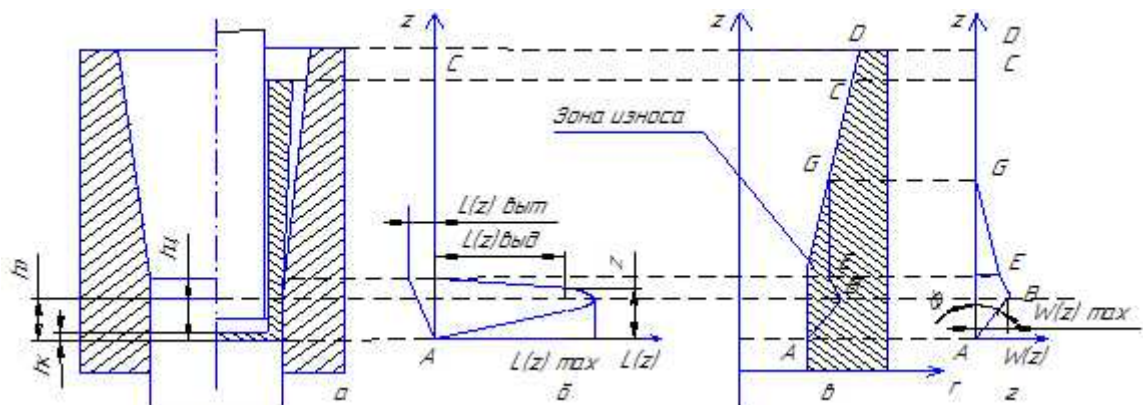


Рис. 4. Схема видавлювання стакана в конічній матриці (а), графік зміни шляху тертя

при видавлюванні $L(z)_{\text{вип}}$ та виштовхуванні $L(z)_{\text{випит}}$ (б); крива зміни макроеометрії матриці для фіксованого N (е); діаграма зношування для фіксованого N (з): $ABEGCD$ – контур робочої поверхні матриці після видавлювання N заготовок

Аналіз діаграм зношування матриць для зворотного й прямого видавлювання показав, що зношування $W(z)$ пов'язане із числом видавлених деталей N і відносним шляхом тертя $L(z)/L_0$ залежністю, близькою до лінійної, котру можна представити в такому виді:

$$W(z) = \Phi(VB) \frac{L(z)}{L_0} N. \quad (7)$$

Тут $\Phi(VB)$ – експериментально визначена функція, яка залежить від умов видавлювання (матеріалу заготовки і її твердості, ступеня деформації, матеріалу й твердості матриці, умов тертя, швидкісного режиму деформації, коефіцієнта суцільності мастильного покриття), мм/шт ;

$L(z)$ – шлях тертя для даної деталі в напрямку координати z , м ;

L_0 – базовий шлях тертя, для якого визначена функція $\Phi(VB)$, м .

3. Як виміряти тертя при дуже великих нормальних напруженнях, які характерні для процесів об'ємного штампування й видавлювання?

Відомі експериментальні методи визначення тертя на контактних поверхнях інструмента при пластичній деформації дозволяють знайти значення τ_k при нормальному тиску, що не перевершує $2\sigma_s$, у той час, як при операціях об'ємного штампування й видавлюванні нормальний тиск значно перевершує це значення. Щоб розширити можливості експериментального дослідження й одержати залежність для визначення τ_k при нормальних напруженнях до $\sigma_n / \sigma_s = 8$, автори розробили пристрій ДТ-4.

На рис. 5 представлена схема пристрою ДТ-4, що має ряд переваг у порівнянні з іншими відомими конструкціями. Він забезпечує: 1) створення схеми всебічного нерівномірного стиску при високих значеннях гідростатичного тиску; 2) одержання в процесі одного експерименту безперервного ряду нормальних тисків σ_n від 0 до 2500 МПа (що приблизно відповідає збільшенню відносного нормального тиску σ_n / σ_s від 0 до 8); 3) можливість вимірювання температури безпосередньо в зоні пластичного контакту; 4) можливість досить простого й не трудомісткого розшифрування результатів.

Досліджуваний зразок 9 (див. рис. 5) розміщується в циліндричній порожнині діаметром 70 мм і висотою 45 мм між чотирма напівциліндричними вкладишами 10, 16, обмежувальними напівкільцями 7 і розрізними напівциліндричними матрицями 8, у яких нарізані трикутні кільцеві канавки. В отворі зразка розміщена конічна частина оправки 15. При переміщенні оправки униз її конічна поверхня роздає зразок. Обмежувальні кільця виключають осьовий плин металу, тому в зразку має місце тільки радіальний плин. Зовнішня поверхня зразка вдавлюється в матрицю й заповнює наявні в ній трикутні кільцеві канавки. Оскільки при цьому відбувається плин металу в східчасті щілини, ширина яких зменшується до нуля, то напруження, яке необхідне для затікання металу у канавки, може збільшуватись необмежено. Очевидно, що, вимірявши силу проштовхування оправки й силу розпору матриці, можна розрахувати нормальні й дотичні напруження на поверхні контакту зразка з оправкою.

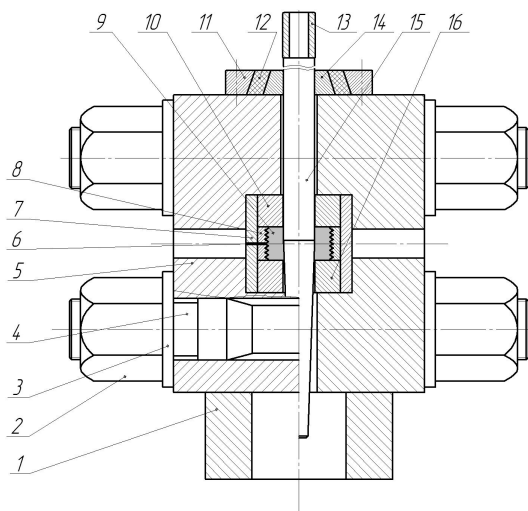


Рис.5. Пристрій для дослідження тертя

Для вимірювання сили проштовхування оправки й розрахунку напруження тертя передбачений тензометричний первинний перетворювач (датчик сили) 13. Для забезпечення точного поступального руху оправки у пристрої передбачене точне центрування циліндричної частини оправки за допомогою бронзового кільця 14, яке розміщене в гумовій обоймі 12. Для можливості вимірювання сили розпору матриці й розрахунку нормального тиску установка виконана із двох напівкорпусів 5, що розрізані по площині, яка проходить через вісь оправки, і з'єднані чотирма тензометричними шпильками 4. У напівкорпусах виконані отвори 6, які призначені для вибивання деформованого зразка й вставок, а також для уведення термопари.

Зразки для експериментальних досліджень у вигляді розрізних кілець із діаметром отвору d і зовнішнім діаметром D виготовляли точінням зі сталей 10кп й 55пп. Діаметр d всіх зразків був постійним, рівним меншому діаметру конічної частини оправки. Зовнішній діаметр зразків D варіювали (приймали $(D - d)$ від 8 до 11 мм), щоб одержати різні значення нормального тиску; при цьому використовували матриці з відповідними різними діаметрами порожнини й різних розмірів канавок.

Конструкція пристрою передбачає можливість встановлення термопари для виміру температури зразка у приконттактному шарі.

Тертя досліджували на фосфатованих зразках, просочених концентратом НБ-5 або господарським милом. Застосовували стандартні технології й режими фосфатування й нанесення мастила.

У процесі експериментального дослідження записували (осцилографували) значення сили проштовхування оправки й розпирних сил. Осцилограми мають чітко виражені особливості. Так, коли усередині зразка переміщується конічна частина оправки, на осцилограмах спостерігається інтенсивне збільшення сили проштовхування оправки і зростання розпирних сил. Далі спостерігаємо перехід на циліндричну поверхню оправки, тому сили проштовхування й розпору знижуються. Нарешті, коли у зразку рухається циліндрична частина оправки, сили залишаються практично незмінними.

Осцилограми розшифровували за допомогою градуювальник графіків, які будували до й після експерименту. Для розрахунку сил використали розрахункові схеми, наведені на рис. 6, де показані навантаження, що діють на контактних поверхнях зразка й оправки.

При русі циліндричної ділянки оправки з умов рівноваги $\sum F_z = 0$ й $\sum F_r = 0$ одержуємо наступні співвідношення для нормальних σ_n і дотичних τ_k напружень, а також для показника тертя.

$$\sigma_n = \frac{F_p}{2Rh \sin(\varphi/2)}; \quad \tau_k = \frac{F_i}{2Rh \varphi}; \quad K_\mu = \frac{\tau_k}{\sigma_n} = \frac{F_i \sin(\varphi/2)}{F_p \varphi}, \quad (8)$$

де F_p – сила розпору, Н; F_n – сила проштовхування оправки, Н; R – радіус циліндричної частини оправки, м; h – висота зразка, м; φ – центральний кут, що визначає довжину периметра половинки зразка, рад; σ_n , τ_k нормальні і дотичні напруження – Па.

Показник тертя K_μ розраховували при терті, яке характерне для жорстких зон заготовки, у яких деформація або ще не почалася, або вже закінчилася.

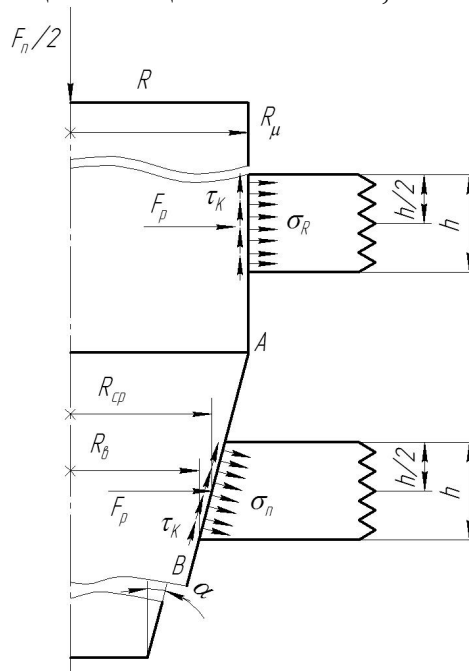


Рис.6. Розрахункова схема для циліндричної та конічної ділянок оправки.

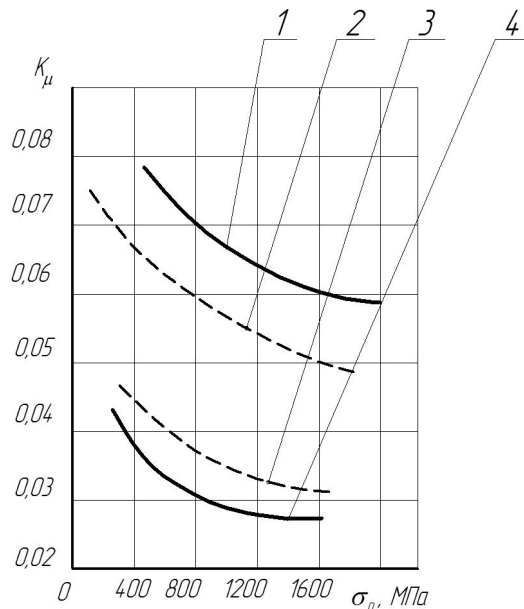


Рис.7. Залежність показника тертя K_μ від нормального тиску, виду мастила та швидкості деформування:

- 1 – мастило НБ-5, швидкість $v_0 = 0,01$ м/с;
- 2 – мило господарське, швидкість $v_0 = 0,01$ м/с;
- 3 – мило господарське, швидкість $v_0 = 0,3$ м/с;
- 4 – мастило НБ-5, швидкість $v_0 = 0,3$ м/с.

При русі конічної ділянки оправки з умов рівноваги $\sum F_z = 0$ й $\sum F_r = 0$ одержані вирази для нормальних σ_n і дотичних τ_k напружень, а також для показника тертя K_μ .

На підставі експериментів побудовані графіки залежності K_μ від σ_n й v_0 (рис. 7) для двох мастил: мила й концентрату НБ-5. З рис. 7 видно, що зі збільшенням σ_n значення K_μ убуває за законом, що близький до експонентного. Зі збільшенням швидкості деформування K_μ зменшується лінійно при збереженні експонентної залежності від σ_n . Вид мастила неоднозначно впливає на показник тертя. При малих швидкостях деформування мило в порівнянні із НБ-5 забезпечує більш низькі значення K_μ , а при більших швидкостях деформування це співвідношення міняється на протилежне.

Дещо несподіваним виявилось те, що зміна шорсткості деформуючого інструмента в межах $Ra = 0,63 \dots 0,08$ мкм практично не впливає на значення K_μ . Встановлено, що значення показника тертя K_μ в умовах холодного видавлювання з якісним фосфатним покриттям і змащенням милом або концентратом НБ-5 не залежить від границі текучості деформованого металу, а є функцією нормальних контактних напружень σ_n , швидкості деформування v_0 і виду мастила.

Для використання отриманих експериментальних залежностей при розрахунках втрат на тертя в теоретичних рішеннях функцію $K_\mu = F(\sigma_n, v_0)$ апроксимували для двох видів мастил наступним виразом:

$$K_\mu = \frac{a}{b + v_0} + c e^{-d\sigma_n}. \quad (9)$$

Коефіцієнти a , b (м/с), c , d (1/МПа) визначали на основі отриманих експериментальних даних, користуючись методом найменших квадратів Для досліджених мастил одержали наступні значення:

	a	b	c	d
Концентрат НБ-5	0,0064	0,127	0,041	0,0011
Мило господарське	0,012	0,298	0,041	0,0011

Висновки.

1. Запропоновано спосіб оцінки суцільності мастильного покриття за допомогою скінограми й часткових коефіцієнтів суцільності: поздовжнього K_{cz} і тангенціального $K_{c\theta}$.

2. Для експериментального визначення чисельних значень K_{cz} й $K_{c\theta}$ авторами сконструйовані пристрої ДС-1 й ДС-2.

3. На підставі кореляційного аналізу встановлена залежність між контактним дотичним напруженням $\tau_k(k, l)$ і коефіцієнтом суцільності мастильного покриття $K_c(k, l)$.

4. Уведено важливе для оцінки зношування поняття – шлях тертя – і показаний спосіб його обчислення.

5. Дослідження показали: якщо K_c близький до 1, то тертя не залежить від властивостей деформованого матеріалу й шорсткості інструмента (у межах $Ra = 0,63...0,08$), а основний вплив на τ_k мають три чинники: нормальне напруження на контактній поверхні σ_n , швидкість переміщення заготовки по інструменту v_0 і вид мастила. Для розрахунку τ_k можна використати формулу (7), де $K_\mu = \tau_k / \sigma_n$ – коефіцієнт кулонового тертя.

Якщо ж змащування не настільки ефективно, як фосфатування із просоченням ефективним мастилом (милом або концентратом НБ-5), або ж процес характеризується значними розривами підмастильного покриття, коли $K_c \ll 1$, то для розрахунку τ_k треба використовувати формулу Зібеля $\tau_k = \mu \sigma_s$.

ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ, МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

УДК 621.771.669

СМИРНОВ Е.Н., докт. техн. наук, проф., Дон НТУ, г. Донецк

СНИТКО С.А., канд. техн. наук, доц., Дон НТУ, г. Донецк

СПИРИДОНОВ Д.В., нач. техн. отд., ОАО «АЗОЦМ», г. Артемовск

ЭТИГИН С.О., магистр, Дон НТУ, г. Донецк

ОЦЕНКА ПЛАСТИЧНОСТИ СПЛАВА CuZn39Pb3 МЕТОДОМ ИСПЫТАНИЯ ОБРАЗЦОВ С КОНЦЕНТРАТОРОМ НАПРЯЖЕНИЯ

В работе представлены результаты экспериментальных исследований пластичности свинцовистой латуни.

Ключевые слова: пластичность, латунь, образец, показатель напряженного состояния, степень деформации сдвига.

У роботі наведені результати експериментальних досліджень пластичності свинцевої латуні.
Ключові слова: пластичність, латунь, зразок, показник напруженого стану, ступінь деформації зсуву.

The results of experimental researches of plasticity of leaden composition-metal are presented in work.

Key words: ductility, brass, specimen, index of strained state, ratio of shear deformation.

1. Введение

Производство холодноотянутых прутков из свинцовистых латуней в Украине характеризуется наличием значительного количества брака по дефектам поверхности в виде выкрошивания [1, 2]. Одна из гипотез появления данного вида дефектов базируется на допущении об исчерпании ресурса пластичности металла. В то же время в технической литературе отсутствуют данные о диаграммах пластичности для таких сплавов, полученных на основе меди огневого рафинирования. Поэтому экспериментальные исследования, направленные на получение зависимости $(\sigma/T)_p = f(\Lambda_p)$ для таких сплавов является задачей актуальной, поскольку позволяет проверить указанную выше гипотезу.

2. Постановка проблемы

Экспериментальное определение диаграмм пластичности металлов является сложной задачей. В большинстве случаев трудно подобрать такой вид испытаний, чтобы в месте разрушения можно было определить предшествовавшую ему степень деформации и чтобы выполнялось условие неизменности показателя напряженного состояния σ/T . В этом случае, пластичность металла можно изучать, лишь комбинируя различные виды испытаний.

Для исследования пластичности свинцовистой латуни была выбрана комбинация из видов испытаний, в наибольшей степени соответствующая процессу изготовления прутков на ОАО «АЗОЦМ» по схеме: горячие прессование – холодное волочение, а именно: испытание на растяжение образцов с полой выточкой и осадку образцов на прессе.

Испытания опытных образцов на растяжение осуществлялось на разрывной машине ОАО «АЗОЦМ» силой 1 МН, оборудованной аналогово-цифровым комплексом, позволяющим оперативно фиксировать параметры процесса (табл. 1) и дополнительно предоставляет комплекс услуг по их графической интерпретации.

Кроме данных с аналогово-цифрового комплекса, дополнительно каждые 10 секунд с помощью цифрового фотоаппарата фиксировалось состояние образца при его нагружении (рис. 1).

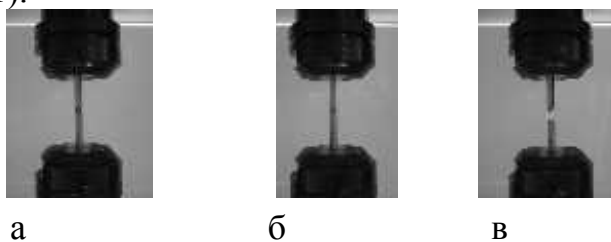


Рис. 1. Внешний вид образцов в ходе эксперимента: а – начало эксперимента; б – 10-я секунда эксперимента; в – разрушение образца.

Таблица 1

Параметры растяжения образцов (покадровая схема)

3.1		4.1		4.2		2.1		2.2		2.3	
№ кадра	Сила Р., кН	№ кадра	Сила Р., кН	№ кадра	Сила Р., кН	№ кадра	Сила Р., кН	№ кадра	Сила Р., кН	№ кадра	Сила Р., кН
324		317	–	311	–	305	–	295	–	283	–
323		316	0,35	310	1,10	304	1,80	294	0,45	282	1,00
322		315	1,6	309	2,40	303	3,00	293	0,75	281	2,20
321	15,00	314	3,5	308	8,00	301	10,00	292	1,20	280	6,50
320	19,00	313	9,00	307	14,00	300	18,00	291	1,80	279	14,0 0
319	20,00	312	15,00	306	16,00	299	22,00	290	5,00	278	20,0 0
318	20,50	311	17,00			298	24,00	289	13,00	277	24,0 0
						297	25,00	287	20,00	276	25,0 0
							26,00	286	23,00	275	26,0 0
							28,00	285	24,00	274	26,5 0
								284	25,00		
									26,00		

Для проведения испытаний из проката текущего производства было изготовлено шесть серий образцов на растяжение, отличающихся величиной радиуса кривизны контура продольного сечения образца в месте шейки R и диаметром поперечного сечения образца по шейке d.

Испытания на осадку образцов проведены на экспериментальной установке в лаборатории кафедры «Обработка металлов давлением» ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет». Установка имеет в своем составе: печь муфельного типа (оборудована системой автоматики для измерения и контроля температуры); гидравлический пресс силой 2500 кН, оборудованный датчиком перемещения нижней плиты пресса и датчиком давления жидкости в гидроцилиндре рабочего хода нижней плиты пресса; аналогово-цифровой преобразователь; персональный компьютер.

Для испытаний на осадку было изготовлено три серии образцов, отличающихся их начальным состоянием: цилиндрические образцы после волочения и с проточкой поверхности на 0,1 и 0,2 мм.

В ходе испытаний на осадку, на боковую поверхность образцов наносилась координатная сетка, которая измерялась после каждого из этапов деформирования.

По результатам выполненных исследований были получены функциональные зависимости для показателя напряженного состояния ($(\sigma/T)_p$) и степени деформации сдвига (Λ_p) для каждой серии испытаний. В дальнейшем, с использованием выражений

$$\Lambda_p = 2\sqrt{3} \ln \frac{d_n}{d_p}, \quad (1)$$

$$\left(\frac{\sigma}{T}\right)_p = \frac{1}{\sqrt{3}} \left(1 + \frac{3}{4} \frac{d_p}{R}\right), \quad (2)$$

где d_n , d_p – начальный диаметр образца и диаметр образца в момент разрушения соответственно;

была получена экспериментальная диаграмма пластичности для латуней с содержанием свинца в пределах 2-3%, представленная на рис. 2.

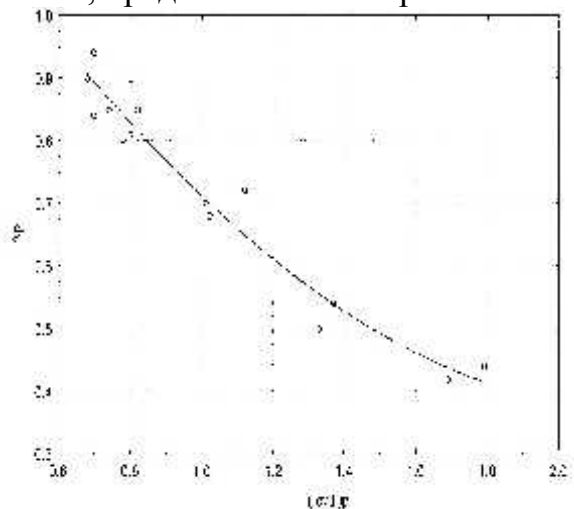


Рис. 2. Диаграмма пластичности сплава CuZn39Pb3 при показателе Лоде $\mu_\sigma = -1$

Сопоставление полученных данных с известными данными Богато-ва А.А. показало, что на качественном уровне вид зависимостей одинаковый. Таким образом, полученная зависимость $(\sigma/T)_p = f(\Lambda_p)$ по широте исследованного интервала значений Λ соответствует условиям осуществления процессов прессования и последующего волочения названного сплава в промышленных условиях и может быть использована для анализа и дальнейшего совершенствования существующих режимов деформации прутков из свинцовистых латуней.

Список литературы: 1. Анализ причин образования поверхностных дефектов в виде раковин и выкрошивания при производстве холоднотянутых прутков из свинцовистых латуней [текст] / С.А.Снитко, Д.В.Спиридонов, А.В.Оболянская [и др.] // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: тематич. зб. наук. праць – Краматорськ: ДДМА 2007. – С. 104 – 108. 2. Об одном подходе к модернизации испытательных прессов на базе цифровых технологий [текст] / Е.Н.Смирнов, И.В.Лейрих, А.В.Оболянская [и др.] // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії: зб. наук. праць – Краматорськ: ДДМА 2007. – № 1 (7) – С. 170 – 174.

УДК 620.179:625.143

УДК 621.317.43

ГАРЬКАВЫЙ В.В., канд. техн. наук, ст. науч. сотр., НТУ «ХПИ»

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ ЗАГОТОВОК КЛЮЧ К ПОВЫШЕНИЮ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОКАТНОГО И КУЗНЕЧНО-ШТАМПОВОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В статье показан путь снижения затрат на производство готовой продукции прокатного и кузнечно-штамповочного производств за счет внедрения средств неразрушающего контроля заготовок.

Ключевые слова: прокатное производство, кузнечно-штамповочное производство, заготовки, прокат, поковки, качество, неразрушающий контроль, эффективность.

В статті показано шлях зменшення затрат на виробництво готової продукції прокатного та ковальсько-штампувального виробництв за рахунок впровадження неруйнівного контролю заготовок.

Ключові слова: прокатне виробництво, ковальсько-штампувальне виробництво, заготовки, прокат, поковки, якість, неруйнівний контроль, ефективність.

In article the way of decrease of expenses for manufacture of finished goods rolling and press-forging production is shown due to introduction of means of not destroying testing of preparations.

Key words: rolling manufacture, press-forging production, preparations, hire, forged piece, the quality, not destroying testing, efficiency.

В настоящее время заготовки для прокатки на сортовых листопрокатных станках и заготовки, предназначенные для горячей и холодной штамповки, не подвергаются неразрушающему контролю.

Оценка качества поверхности заготовок в прокатном производстве производится визуально.

Сведения о неразрушающем контроле заготовок предназначенных для горячей и холодной штамповки в литературе отсутствуют.

Цель статьи – показать высокоэффективный путь повышения качества проката и поковок внедрения неразрушающего контроля заготовок.

Потери от отсутствия неразрушающего контроля заготовок можно оценить на примере непрерывно-литых заготовок (НЛЗ), предназначенных для прокатки горячекатаных листов.

По результатам визуального осмотра отсортировывается на зачистку от 1 до 6 % НЛЗ.

После прокатки из НЛЗ толстых листов по результатам визуального осмотра отсортировывается по качеству поверхности от 11 до 14 % листов.

Приняв рыночную стоимость 1 т НЛЗ на уровне \$400 можем ожидать рыночную стоимость 1 т толстого листа на уровне \$600.

Внедрение вихретокового неразрушающего контроля НЛЗЛ приводит к уменьшению отсортировки по качеству поверхности готовых листов до 2-3% вместо 11-14% и исключает затраты на передел НЛЗЛ с дефектами поверхности.

После внедрения вихретокового контроля качества поверхности на каждой тонне готового листа следует ожидать экономии затрат на уровне

$$\Xi = (600 - 400) \times (14 - 3) / 100 = \$ 22 \quad (1)$$

При годовом объеме производства 1 млн тонн НЛЗЛ экономический эффект составит около \$22 000 000 в год.

После визуального осмотра зачистке подвергается от 1 до 6 % НЛЗЛ.

В настоящее время разработаны преобразователи для вихретокового контроля качества поверхности НЛЗ, обеспечивающие выявление дефектов поверхности с идентификацией дефектов глубиной до 12 мм. При этом обеспечивается линейная зависимость сигнала дефектоскопа от глубины дефекта.

Кроме того, разработан неповреждаемый катящийся электромагнитно-акустический преобразователь для ультразвукового контроля НЛЗ.

По результатам наших исследований зачистке следует подвергать лишь заготовки с дефектами поверхности глубиной от 4 до 8 мм.

Дефекты глубиной до 4 мм в процессе нагрева под прокатку выгорают и в готовых листах их глубина не будет превышать 2 % толщины листа.

По результатам ранее выполненных исследований качества поверхности рельсов установлены соотношения визуальной и дефектоскопических отсортировок проката при настройке дефектоскопов на выявление дефектов различной глубины.

Согласно этим соотношениям, при неразрушающем контроле поверхности заготовок ожидается отсортировка в брак, не подлежащий зачистке, до 0,5 % заготовок.

До 14 % НЛЗ с дефектами глубиной от 4 до 8 мм необходимо направлять на зачистку.

Стоимость поставки, метрологической аттестации и внедрения установки вихретокового контроля НЛЗ производительностью 1 млн. тонн в год оценивается в \$2,8 млн.

Экономический эффект от внедрения установок, разработанных неразрушающего контроля качества поверхности образуется за счет снижения объема зачистки готовых листов с 14 до 3 % и составит

$$\text{Эв} = 22 - 0,15 \times 2,8 = \$21,58 \text{ млн.}, \quad (2)$$

где $-0,15$ – нормативный коэффициент окупаемости капвложений.

Срок окупаемости установки вихретокового контроля НЛЗ составит

$$\text{Ов} = 2,8 / 21,58 = 0,13 \text{ года.} \quad (3)$$

Стоимость поставки, метрологической аттестации и внедрения установки бесконтактного электромагнитно-акустического ультразвукового контроля НЛЗЛ производительностью 1 млн. тонн в год составляет \$3,1 млн.

Исходные данные для определения экономической эффективности ультразвукового контроля НЛЗ отсутствуют.

При покрытии расходов на внедрение ультразвукового контроля за счет эффекта от внедрения вихретокового контроля эффективность внедрения упадет до

$$\text{Эву} = 22 - 0,15(2,8 + 3,1) = \$21,11 \text{ млн.}, \quad (4)$$

а срок окупаемости увеличится до

$$\text{Ову} = (2,8 + 3,1) / 21,11 = 0,279 \text{ года.} \quad (5)$$

Приведенные цифры актуальны и для горячей штамповки.

В цехах горячей объемной штамповки готовые поковки контролируют с помощью магнитопорошкового метода.

Другие методы неразрушающего контроля из-за сложности поковок в условиях кузнечных цехов не применимы.

Магнитно-порошковый метод не позволяет выявлять по поверхности после штамповки тонкие и глубокие дефекты, что приводит к выявлению скрытых дефектов уже в процессе механической обработки деталей.

Это приводит к неоправданным затратам на штамповку поковок из дефектных заготовок и на механическую обработку поковок с недопустимыми дефектами.

В качестве основной меры борьбы с дефектами поверхности поковок в последнее время считается применение заготовок после сплошной обточки их поверхности на металлургических заводах.

Сплошная обточка заготовок по затратам существенно превосходит затраты на неразрушающий контроль и выборочную зачистку заготовок после его проведения.

Срок окупаемости средств неразрушающего контроля заготовок в кузнечно-штамповочных цехах по нашему мнению будет мало отличаться от рассчитанного для неразрушающего контроля НЛЗ.

Вывод – одним из главных путей повышения качества продукции и эффективности прокатного и кузнечно-штамповочного производства является внедрение неразрушающего контроля заготовок.

УДК 621.774

ГУЛЯЕВ Ю.Г., докт. техн. наук, проф., НМетАУ, г. Днепропетровск
ГАРМАШОВ Д.Ю., аспирант НМетАУ, г. Днепропетровск.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА КРУПНОГАБАРИТНЫХ ТРУБ ДЛЯ КОРПУСОВ ПЭН И ПЭД

Усовершенствован способ деформации полых изделий волочением путем совмещения в одном процессе двух процессов деформирования: короткооправочного волочения и дорнования труб по внутреннему диаметру. В работе теоретически и практически исследован разработанный способ волочения-дорнования. Рассмотрены вопросы о пределах допустимой деформации. Приведены оптимальные геометрические размеры оправок.

Ключевые слова: волочение, дорнование, точность, труба, оправка.

Вдосконалено спосіб деформування труб одночасно у двох осередках деформації шляхом поєднання в одному процесі короткооправочного волочіння й дорновання труб по внутрішньому діаметру. У роботі теоретично і практично досліджено розроблений спосіб волочіння-дорновання труб. Розглянуто питання про межі допустимої деформації при волочінні-дорнуванні. Приведені оптимальні геометричні розміри оправок, визначена величина оптимального кута забірної конуса.

Ключові слова: волочіння, роздача, правка, точність, труба, оправка.

The way of deformation of hollow products by drawing by overlapping in one process of two processes of deformation is advanced: the fixed plug drawing and burnishing pipes on internal diameter. In work theoretically the developed way of drawing also is practically investigated. Questions about limits admissible deformation. The optimum geometrical sizes fixed plug are resulted, the size of a corner flare is certain.

Key words: drawing, distribution, tube, accuracy, ovality, curvature.

1. Введение

Стальные трубы остаются основным продуктом, потребляемым многими отраслями мирового промышленного комплекса.

Постоянно возрастающие требования, предъявляемые машиностроительными отраслями промышленности и, особенно, - потребителями труб для добычи и транс-

портировки нефти и газа к показателям точности и качества готовой продукции, расширению ее сортамента, обуславливают необходимость постоянной модернизации, развития соответствующих технологий изготовления труб.

При изготовлении прецизионных труб размерами $92 \div 130 \times 5,5 \div 7,0$ мм для элементов буровой техники - погружных электродвигателей (ПЭД) и насосов (ПЭН) – широко используют технологию холодного волочения на короткой удерживаемой оправке. Использование данной технологии не обеспечивает в полной мере современных требований к показателям точности готовой продукции: разностенность не более $\pm 5\%$; отклонений внутреннего диаметра от номинала до $0,10 \div 0,12$ мм и прямолинейности внутреннего канала до $0,08 \div 0,15$ мм на погонный метр. Кроме этого, существующая технология изготовления труб для ПЭД и ПЭН с использованием процесса холодного волочения на короткой удерживаемой оправке является многоциклической, что обуславливает высокие материальные затраты на изготовление готовой продукции и делает ее неконкурентоспособной. Существующий уровень развития теории холодного волочения на короткой удерживаемой оправке, и также объем существующих экспериментальных исследований данного процесса не могут в полной мере служить базой для повышения эффективности существующей технологии.

2. Постановка проблемы

Таким образом, работа, направленная на повышение точности труб для элементов буровой техники, эффективности технологии короткооправочного волочения на базе усовершенствования теории процесса и проведения экспериментальных исследований с целью выбора оптимальных параметров пластического формоизменения, является актуальной задачей.

Целью данных исследований является разработка малозатратных способов повышения эффективности технологии и точности производимых крупногабаритных труб для корпусов ПЭН и ПЭД.

Для обеспечения повышенных требований по точности и сокращения цикличности технологии производства крупногабаритных труб для корпусов ПЭН и ПЭД предлагается усовершенствованный комбинированный способ волочения, в котором деформация трубы осуществляется последовательно путем короткооправочного волочения и дорнования внутреннего канала протягиваемых труб за пределами волокна на одной и той же ступенчатой оправке (рис.1).

3. Анализ опубликованных научных исследований

В практике трубоволочильного производства встречаются комбинированные процессы [1-4], в которых в период одного прохода осуществляются две разнородные операции в последовательно расположенных очагах деформации:

- безоправочное волочение с последующим короткооправочным;
- безоправочное волочение с последующей раздачей за волокой [4] и т.д.

В литературе встречаются данные о совмещении таких двух процессов как короткооправочного волочения и раздачи по внутреннему диаметру - волочение-калибрование [3].

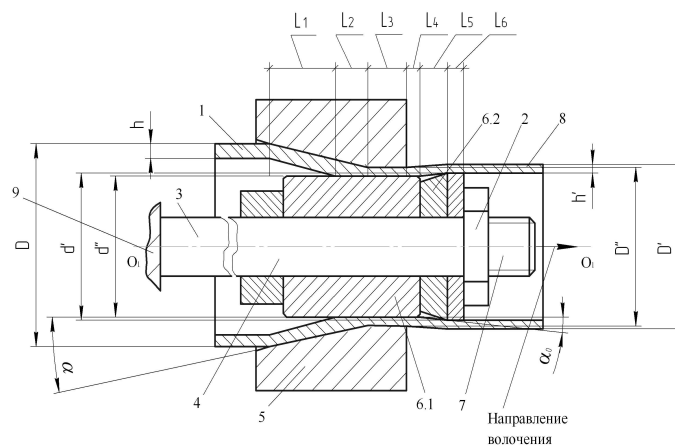


Рис. 1 – Поперечное сечение очага деформации при волочении-дорновании (обозначения в тексте).

Применение данного процесса должно положительно сказаться на точности труб, особенно крупногабаритных для корпусов ПЭН и ПЭД. Однако в силу малого количества экспериментальных и теоретических исследований данного способа, ошибок при проектировании профиля оправки для волочения-калибрования данный процесс не нашел применения.

4. Изложение основных материалов исследований

В ходе данной работы на базе проведенных авторами данной работы исследований процесса волочения-калибрования разработан усовершенствованный процесс короткооправочного волочения - волочение-дорнование. Рассчитаны оптимальные параметры комбинированной оправки и определены пределы допустимой деформации, которые препятствуют обрывам и обеспечивают максимальное повышение точности проволочиваемых труб [5, 6].

Данный способ так же представляет собой комбинированный процесс волочения, при котором за один проход осуществляется обжатие по диаметру и стенки трубы в волоке и раздача, осуществляемая за пределами волоки при этом, на одной и той же ступенчатой оправке (рис. 1): 1-трубчатая заготовка; 2- стопор оправки; 3 - оправочный стержень; 4 - хвостовик оправочного стержня; 5 - волока; 6.1 – первая часть оправки; 6.2- вторая часть оправки; 7- нарезной конец оправочного стержня; 8- труба; 9- опора оправочного стержня; h – толщина стенки трубчатой заготовки до деформации; D – диаметр трубчатой заготовки до деформации; h' – толщина стенки трубы; D' – наружный диаметр трубы; h'' – расчетная толщина стенки заготовки после деформации; D'' - диаметр цилиндрического участка волоки; d' – наибольший диаметр выходного участка второй части оправки; d'' – диаметр первой части оправки; O_1O_1' – ось волочения; α – угол конусности конической части волоки; α_1 – угол конусности участка (раздачи) 6.2 оправки; L_1 – длина зоны редуцирования заготовки по диаметру; L_2 – длина зоны обжатия стенки заготовки между коническим участком волоки и цилиндрическим участком оправки; L_3 – длина зоны калибрующего пояса волоки; L_4 – длина зоны деформации на участке 6.1 оправки; L_5 – длина зоны раздачи заготовки по диаметру на выходном участке 6.2 оправки; L_6 – длина зоны калибровки заготовки на цилиндрическом участке второй части 6.2 оправки.

Применение данного способа в трубоволочильных цехах позволяет значительно увеличить мобильность изготовления холоднодеформированных труб, а также дает возможность изготавливать качественные трубы в широком диапазоне диамет-

ров из заготовки одного и того же размера как для обычных труб, так и для биметаллических.

Волочение-дорнование является одновременно калибрующим, упрочняющим и сглаживающим процессом. Режимы и схема деформирования металла назначены с целью повышения точности размеров и геометрической формы внутреннего канала труб; повышения физико-механических характеристик металла заготовок.

Совмещение короткооправочного волочения и свободного дорнования однозубым дорном, позволяет уменьшить основной недостаток присущим обоим процессам – прямое влияние исходной разностенности на отклонение от прямолинейности обработанных отверстий трубных заготовок.

В ходе осуществления процесса волочения-дорнования пластическая деформация, в основном внутренних слоев трубы, позволяет не только уменьшить величину остаточных напряжений, но и способствует более равномерному распределению напряжений по сечению трубы. Обработка внутренней поверхности трубы малыми пластическими деформациями порядка $0,5 \div 3\%$, последовательно охватывающими все сечения трубы, в процессе ее продвижения относительно калибрующей части ступенчатой оправки, гарантированно обеспечивает снижение отклонений от круглости и прямолинейности внутреннего канала трубы.

Для реализации разработанного способа, как уже отмечалось, применяется оправка с двумя рабочими зонами, обусловленных двумя процессами деформирования (рис. 2, табл.1): цилиндрической и конической.

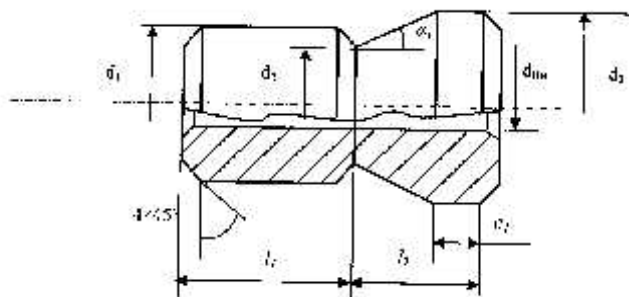


Рис. 2 –Оправка специальной конструкции в сборе.

Таблица 1 -Размеры сборной твердосплавной оправки

Условный размер труб, мм	d ₁ , мм	d ₂ , мм	d ₃ , мм	l ₁ , мм	l ₂ , мм	C ₁ , мм	α ₁ , град.
130×60	117,36	116,70	118,14	60,0	60,0	20,0	12,0
123×6,5	109,33	108,10	110,11	60,0	60,0	20,0	12,0
117×60	104,31	103,40	105,10	60,0	60,0	20,0	12,0
114×70	99,30	97,40	100,08	60,0	50,0	15,0	12,0
103×6,5	89,30	87,80	90,08	60,0	50,0	15,0	12,0
103×5,5	91,31	92,50	92,10	60,0	50,0	15,0	12,0
92×60	79,30	78,0	80,08	60,0	50,0	15,0	12,0

Причем наилучшим вариантом является изготовление комбинированной оправки - сборной, состоящей из двух частей. Это условие обеспечит повышение стабилизации оправки в очаге деформации и упростит (удешевит) процесс ее изготовления.

Задняя рабочая часть оправки, используемая для раздачи (дорнования), выполняется конической с углом наклона образующей α_1 . На основании экспериментальных и теоретических исследований процесса волочения-дорнования определено условие, в процессе деформации трубы суммарное усилие волочения не превышает допустимую нагрузку на оправочный стержень при α_1 меньше угла конуса волокна α на $\approx 1 \div 3^\circ$ (рис 1).

Диаметр цилиндрического пояска второй ступени оправки, используемой для дорнования, несколько больше внутреннего диаметра трубы, примерно на $0,1 \div 0,5$ мм. Это условие обусловлено учетом упругих радиальных деформаций при «разгрузке» трубы после схода с оправки. Диаметр первой, цилиндрической ступени, должен быть на $0,5 \div 0,7$ мм меньше, чем второй (рис. 2).

В силу разности диаметров обжимной зоны d_1 промежуточного участка d_2 и диаметра цилиндрического пояска d_3 в начальный момент волочения-дорнования на переднем конце готовой трубы появляется разовое утонение с последующим утолщением стенки трубы. Следует заметить, что образовавшееся изменения стенки не выводят толщину стенки за пределы допусков и лишь вызывает резкое, разовое увеличение усилия волочения, связанного с деформацией участка трубы с завышенной толщиной стенки и не превышающего предела прочности участка с утоненной стенкой.

С целью исключения затекания деформируемого металла в зазор между двумя частями оправки, обе части оправки соединяются плотно друг с другом без уплотнительных шайб (рис. 2), диаметр d_2 на промежуточном участке выбирают на $0,1 \div 0,2$ мм меньше диаметра первой цилиндрической части оправки.

Разницей диаметров комбинированной оправки так же обеспечивается необходимые величины сил между цилиндрическими поясками первой и второй ступеней оправки, в промежуточной зоне, чтобы создавался необходимый подпор стенки трубы, и не образовывалась складка на готовой трубе, затекание металла в полость между оправками. В этом случае возможна некоторая минимальная деформация по толщине стенки, обеспечивающая выравнивание мелких складок и рисок на внутренней поверхности трубы.

Главной отличительной особенностью от рассмотренного ранее способа, является осуществление малой величины деформации раздачи, находящейся на уровне механической отделки поверхности труб: поверхностного слоя.

Максимально допустимая величина деформации трубы за проход при волочении-дорновании полностью зависит от предела прочности протягиваемого металла, т.е. от напряжения волочения σ_{nc} . Суммарная величина напряжения волочения для шести основных участков очага деформации с увеличением величины натяга увеличивается, поскольку дорнование осуществляется с растяжением. Поэтому при выборе общей степени деформации необходимо задаваться минимальным натягом, достаточным только для обеспечения стойкости процесса волочения.

Величину деформации ε выбирают в зависимости от величины показателя тонкостенности трубы - T' и суммарной деформации (вытяжки) заготовки μ соответственно полученной авторами теоретической зависимости:

$$\varepsilon = (0,0025 \dots 0,0125) \cdot (1 - 0,013 \cdot T') \cdot (\mu - 1) \cdot T' \cdot 100\% , \quad (1)$$

где $\varepsilon = \left(1 - \frac{d''}{d'}\right) \cdot 100\%$ - деформация дорнования заготовки по диаметру, %; d'' -

диаметр цилиндрической части оправки на участке обжатия стенки, мм; $d' = D' - 2h'$ - наибольший диаметр оправки на участке калибрования трубы после участка дорнования (раздачи), мм; $T' = \frac{D'}{h'}$ - показатель тонкостенности трубы; D' - наружный диаметр трубы, мм; h' - толщина стенки трубы, мм; μ - суммарная деформация (витязка) заготовки; D - диаметр заготовки до деформации, мм; h - толщина стенки заготовки до деформации, мм.

Рассматриваемый способ [6,7] прошел успешную апробацию на промышленном волочильном стане 2,5 МН. При этом наблюдалось уменьшение расходного коэффициента металла на $0,3 \div 0,5\%$. Так, например, при изготовлении труб с внутренним диаметром 80 мм (92х6 мм) по традиционной технологии внутренняя овальность труб составила 0,076%, а при дополнительной раздаче труб по диаметру величина овальности снизилась до 0,055%. Результаты апробации волочения-дорнования представлены в таблице 2.

Таблица. 2 - Результаты проведения опытного волочения-дорнования.

Способ волочения	Параметры точности готовых труб		
	Средняя разностенность B' , %	Средняя внешняя овальность $\Delta D_{\text{в}}$, %	Средняя внутренняя овальность $\Delta D_{\text{вн}}$, %
Существующий способ производства (волочения)	5,30	0,076	0,113
Разработанный способ волочение-дорнование	5,29	0,055	0,112

5. Выводы:

1. Усовершенствован и исследован комбинированный способ волочения, в котором деформация труб последовательно выполняется путем короткооправочного волочения и объемного дорнования однозубым дорном – волочение-дорнование;
2. Рассчитаны оптимальные геометрические размеры оправок, определена величина оптимального угла конусности оправки;
3. Разработанный способ позволяет в существенной мере снизить отклонения от круглости и прямолинейности внутреннего канала, и тем самым обеспечить требуемые показатели точности крупногабаритных труб для корпусов ПЭН и ПЭД.

Список литературы: 1. Исследование, разработка и внедрение технологии изготовления высокоточных холоднотянутых труб с внутренним диаметром 62÷100 мм для гильз длиноходовых гидравлических и пневматических цилиндров автоматических манипуляторов: Отчет о НИР/ВНИТИ.- №6.1.4.К-59-82; №ГР01820066389; Инв.№1607488. Днепропетровск., 1985. - 76 с. 2. Стасовский Ю.Н., Медвинский М.Д., Чус А.В. Повышение эффективности трубного производства // Научные труды ВНИТИ. – Днепропетровск: Metallurgia, 1993. - С. 70-76. 3. Разработка и освоение технологии оправочного волочения труб для погружных электронасосов (ПЭН) и погружных электродвигателей (ПЭД) с улучшенной прямолинейностью. Отчет о НИР /ДМетИ.- №ГР0183.0018978; Инв.№Б232587.- Дн-ск., 1984. -62 с. 4. Савин Г.А. Волочение труб. - М.: Metallurgia, 1982.- 160 с. 5. Совершенствование производства прецизионных труб для

корпусов погружных электродвигателей и насосов. / Гуляев Ю.Г., Шифрин Е.И., Гармашев Д.Ю., Гуляев Е.Г.// В сб. Сучасні проблеми металургії VII Міжнародна науково-технічна конференція Том 8. Пластична деформація металів. – Дніпропетровськ: «Системні технології». - 2005.- С. 426-428. 6. Пат. 72679. Україна. МКИ 7 В21С1.24. Способ волочения труб: Пат. 72679. Україна. МКИ 7 В21С1.24.; А.И.Козловский, Ю.Г.Гуляев, Е.И.Шифрин и др. - №20040907659; Заявл. 20.09.2004; Опубл. 15.03.2005, Бюл. № 3.- 5 с. 7. Промышленная апробация способа волочения труб повышенной точности на короткой оправке /Гуляев Ю.Г., Шифрин Е.И., Гармашев Д.Ю., Семичев А.В.// Металлургическая и горнорудная промышленность.- 2004 - №1 – С. 29-30.

УДК 621. 683

КАЛЮЖНИЙ О.В., канд. тех. наук, асист., НТУУ “КПІ”, м. Київ

ПРОГНОЗУВАННЯ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ВИРОБІВ В ПРОЦЕСАХ ВІДБОРТУВАННЯ

Методом скінчених елементів проведений аналіз процесу відборткування. Визначений вплив радіуса заокруглення матриці на геометричну форму виробу, ресурс пластичності та ступінь зміцнення здеформованого металу.

Ключові слова: відборткування, розрахунковий аналіз, радіус матриці, якість виробів

Методом конечных элементов проведен анализ процесса отбортовки. Определено влияние радиуса закругления матрицы на геометрическую форму изделия, ресурс пластичности и степень упрочнения металла после деформации

Ключевые слова: отбортовка, расчетный анализ, радиус матрицы, качество изделий

By the method of final elements the analysis of process of flanging was carried out. Effect of radius of a matrix rounding on the geometrical form of a product, a resource of plasticity and degree of hardening after deformation was defined.

Keywords: flanging, the settlement analysis, radius of a matrix, quality of products

1. Вступ

В теперішній час в промисловості для отримання деталей типу балонів для нагрівання води використовують операції витягування двох половин виробу і зварюванням їх між собою. Причому в одній половині виконують пробивання отвору з подальшим відборткуванням горловини. Відборткована частина використовується для розвальцювання і фіксації фланця кріплення до поверхні балону. Однак існуючі рекомендації для проектування технології відборткування [1-2] в основному зводяться до визначення коефіцієнтів відборткування і практично відсутні дані по геометричній формі виробів з урахуванням пружної деформації металу після деформації, а також ресурсу пластичності і ступеню зміцнення металу на радіусі заокруглення і стінці горловини виробу. Останні фактори суттєво впливають на операцію розвальцювання відборткованої частини. Тому актуальною задачею є визначення розрахунковим шляхом на стадії проектування технології відборткування впливу радіуса заокруглення матриці на геометричну форму виробу, ступінь використання ресурсу пластичності та зміцнення металу після деформації. Такі показники, на наш погляд, характеризують якість виробів після відборткування.

2. Мета роботи.

Метою даної роботи є визначення розрахунковим шляхом з використанням метода скінчених елементів (МСЕ) впливу радіуса заокруглення матриці на якість виробів при відбортунні.

3. Постановка задачі.

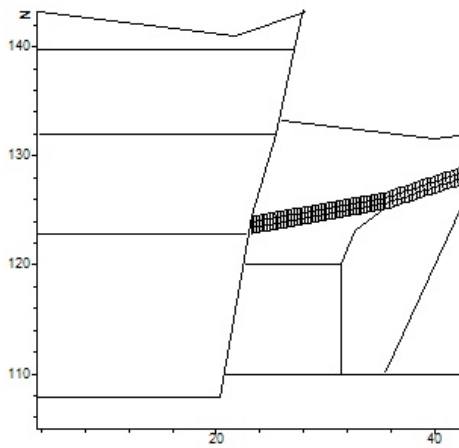
Розрахунковий аналіз методом скінчених елементів виконували для витягнутих циліндричних заготовок зовнішнім діаметром 220 і товщиною стінки 1,5 міліметрів зі сферичним дном із сталі 08 кп. Використовували пакет прикладних програм, який розроблений при участі автора на кафедрі МПМ та РП НТУУ „КПІ”. Враховані пружні властивості сталі, вплив геометрії деформуючого інструменту і його переміщення, тертя на контактуючих поверхнях, зміцнення при формоутворенні по ступеневій апроксимації діаграми істинних напружень, можливість руйнування по критерію В.О. Огородникова при апроксимації діаграми пластичності сталі формулою Г.Д. Деля, розвантаження zdeформованого металу. Використаний спосіб початкових напружень для визначення МСЕ пружно-пластичного стану металу і покрокове навантаження при моделюванні процесу відбортуння від початкового стану заготовки до отримання кінцевого виробу. Деформуючий інструмент при моделюванні рахувався як абсолютно жорсткий. Радіус заокруглення матриці складав: 3, 5, 7 і 9 міліметрів.

4. Результати досліджень.

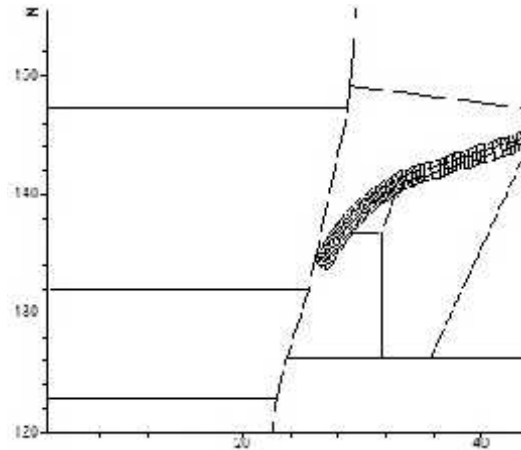
Для прикладу на рис. 1 показані етапи формоутворення виробу в процесі відбортуння, які отримані моделюванням МСЕ. В силу симетрії наведена половина деформуючого інструменту і частини заготовки до і після деформації.

Геометрична форма відбортунної частини при різних радіусах заокруглення матриці r показана на рис. 2. Збільшення радіуса від 3 до 7 міліметрів приводить до зменшення пружної деформації відбортунної стінки. При радіусі матриці 9 мм пружна деформації знову збільшується.

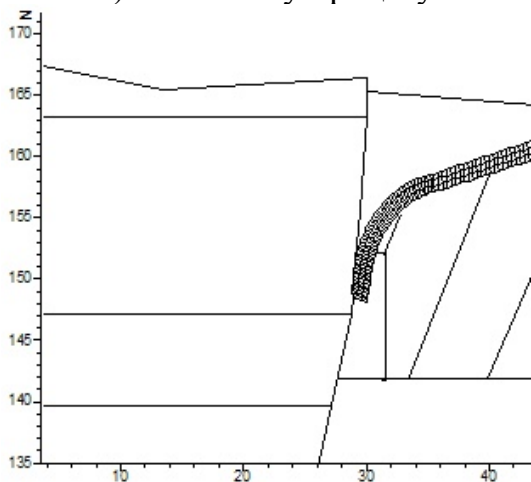
Розрахунковим шляхом визначений напружено-деформований стан по всьому об'єму zdeформованого металу. Вказане дозволило встановити ступінь використання ресурсу пластичності ψ та величину зміцнення металу після відбортуння. Розподіл ступеня використання ресурсу пластичності при відбортунні матрицею з радіусом заокруглення $r = 3$ мм показаний на рис. 3. Максимальні значення $\psi = 0,4$ в стінці отримані на радіусах заокруглення стінки. Причому збільшення радіуса r заокруглення матриці при відбортунні приводить до наближення об'єму з максимальними значеннями ψ до торця стінки. Тому для подальшого розвальцювання стінки відбортуння необхідно проводити з малими радіусами заокруглення матриці.



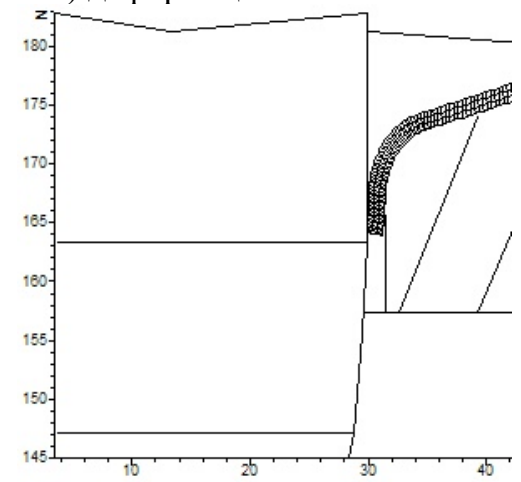
а) на початку процесу



б) деформація на 1/3 висоти

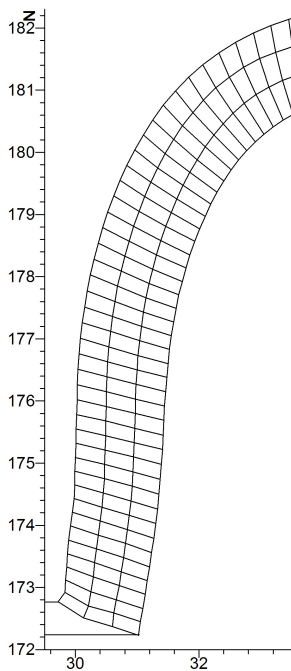


в) деформація на 2/3 висоти

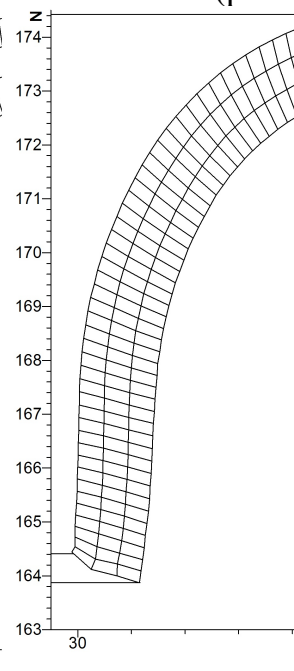


г) кінцева стадія процесу

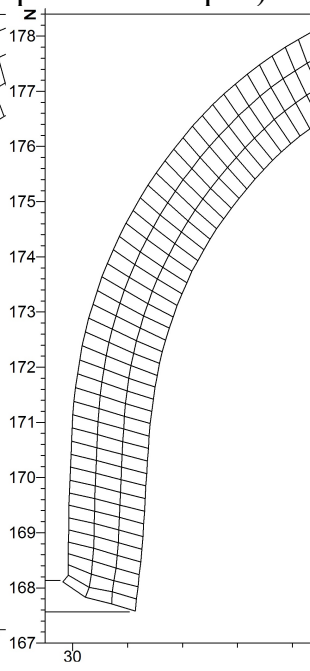
Рис. 1. Етапи формоутворення виробу при відбортунні, які отримані моделюванням (розміри в міліметрах).



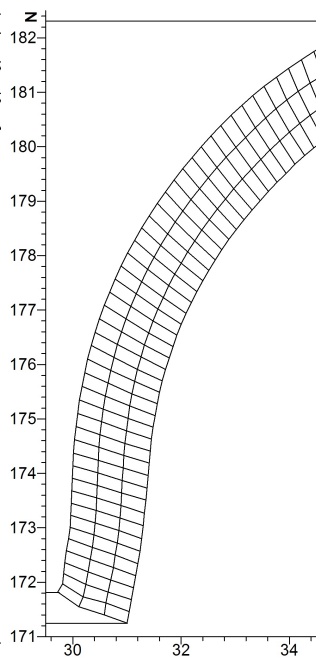
$r = 3 \text{ мм}$



$r = 5 \text{ мм}$



$r = 7 \text{ мм}$



$r = 9 \text{ мм}$

Рис. 2. Геометрична форма відбортованої частини виробу

Зміцнення металу після деформації оцінювали по коефіцієнту зміцнення $k = \sigma_s / \sigma_{0,2}$, який показує в скільки разів метал зміцнюється в порівнянні з вихідним станом. Для прикладу на рис. 4 наведений розподіл коефіцієнта зміцнення при відбортунні в матриці з $r = 7$ мм.

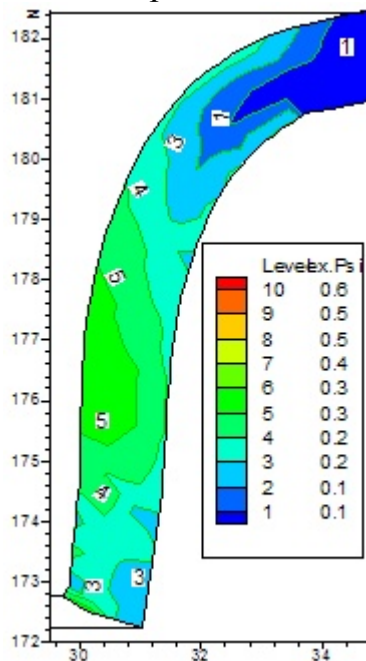


Рис. 3. Розподіл ступеня використання ресурсу пластичності при відбортунні матрицею з $r = 3$ мм

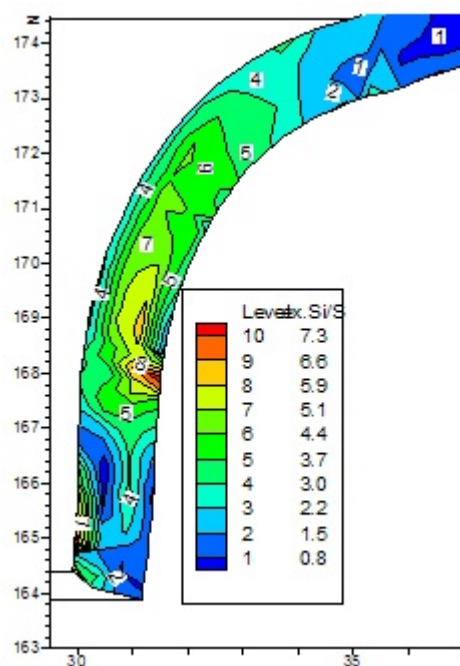


Рис. 4. Розподіл коефіцієнта зміцнення при відбортунні матрицею з $r = 3$ мм



Рис. 5. Вихідна заготовка та заготовка після відбортуння

Розрахунковий аналіз дозволив визначити параметри для проектування технології відбортуння горловини балону для подальшого розвальцювання стінки і закріплення фланця до корпусу балона. На рис. 5 ліворуч показана вихідна заготовка, яка отримана витягуванням з отвором для відбортуння. Праворуч наведена заготовка після відбортуння.

5. Висновки.

1. Розроблені математичні моделі на базі метода скінчених елементів для розрахункового аналізу процесу відбортуння з вихідного стану заготовки до отримання кінцевої геометрії виробу.
2. Встановлений вплив радіуса заокруглення матриці на показники якості виробів: геометричну форму виробу з урахуванням пружної деформації після формоутворення, ступня використання ресурсу пластичності та зміцнення металу після деформації.
3. Відбортуння стінок під подальше розвальцювання необхідно проводити в матрицях з малими радіусами заокруглення. При цьому ресурс пластичності в торці стінки досягає значень $\psi = 0,3$, що достатньо для виконання розвальцювання без проведення відпалу.
4. Проведений розрахунковий аналіз дозволив визначити параметри для розроблення технології відбортуння. Отримані дослідні зразки виробів із сталі 08 кп.

Список літератури: 1. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. -6-е изд., пераб. и доп. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-е, 1979. -520 с. 2. Ковка и штамповка: Справочник: В 4 т. Т. 4 Листовая штамповка/ Под ред. А.Д. Матвеева; Ред. Совет: Е.И. Семенов (пред.) и др. М.: Машиностроение, 1985-1987. – 544 с.

УДК 621.7

ДЕФЕКТОСКОПИЯ ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ШТАМПОВ

МАКОВЕЙ В.А., канд. техн. наук, доц., НТУУ «КПИ», г. Киев

ВАСИНЮК И.М., канд. техн. наук, ст. науч. сотр., ИПП НАН Украины **ВА-**

СИНЮК С.И., студент, НТУУ «КПИ», г. Киев

На базе ранее созданного вихретокового импульсного дефектоскопа с использованием среды программирования LabView создан виртуальный вихретоковый дефектоскоп, имеющий более широкие функциональные возможности. Небольшое интерфейсное устройство подключено к звуковой карте компьютера, выполняющей роль АЦП и ЦАП виртуального прибора. К этому устройству подключен датчик вихретокового контроля.

Ключевые слова: вихретоковый, контроль, дефектоскоп

На базі раніше створеного вихоротокового імпульсного дефектоскопу з використанням середовища програмування LabView був створений віртуальний дефектоскоп, який має більш широкі функціональні можливості. Невеликий інтерфейсний пристрій підключений до звукової карти комп'ютера, яка виконує роль АЦП та ЦАП віртуального приладу. До цього пристрою підключений датчик вихорострумового контролю.

Ключові слова: вихоротоковий, контроль, дефектоскоп

Based on the earlier developed eddy current impulse flaw, a virtual flaw detector is implemented using the LabView programming environment that has wider functional possibilities as compared to its actual counterpart. A small external interface is connected to the computer sound card serving as an ADC and DAC of the virtual device. An eddy-current probe is connected to this device.

Key words: eddy-current, probe, flaw detector

1.Введение

Эффективность технологических процессов кузнечно-штамповочного производства зависит от стойкости штампового инструмента. Причины выхода из строя штамповой оснастки можно разделить на три основных группы: изнашивание, разрушение, смятие [1].

К основным видам разрушения штампов следует отнести следующие:

- возникновения трещин на рабочих поверхностях штампов для горячей объемной штамповки при термоциклировании,
- возникновение трещин на рабочих поверхностях чеканочных штемпелей, которые вызваны растрескиванием твердых износостойких покрытий из нитрида титана или нитрида хрома [2],
- разрушение пуансонов для обратного выдавливания, когда поверхность разрушения под углом или перпендикулярна оси пуансона,
- выкрашивание рабочих кромок вырубных штампов,
- возникновение микротрещин на гравюрах матриц для рельефной чеканки ювелирных изделий.

В большинстве случаев трещины возникают в местах концентрации напряжений. Нередко они образуются на рабочем торце пуансона вдоль образующих или имеют произвольное направление. В отдельных местах наблюдается выкрашивание. Макроскопический анализ поверхности излома свидетельствует о разрушениях, которые имеют усталостный характер [2]. Отличительной чертой таких разрушений является то, что материал разрушается под действием циклических нагрузок ниже номинального предела выносливости материала штампея. Это связано с влиянием концентрации напряжений. Пуансоны для выдавливания деталей из сталей работают при высоких нагрузках, которые приближаются к допустимым. Исследования [3] показали, что при каждой нагрузке в узкой полосе, которая примыкает к концентратору, возникают пластичная деформация и микро трещины в связи с разрушением карбидов. Трещины в поверхностном слое приводят к разрушению пуансонов и штампея.

Матрицы для чеканки ювелирных изделий бракуются в связи с появлением на гравюре микротрещин в местах концентрации напряжений [4]. Использование смазки поверхности матрицы по технологии производства ювелирных изделий не допускается.

В настоящее время отсутствует надежный дефектоскопический контроль за наличием микротрещин и трещин на рабочих поверхностях пуансонов и матриц, который позволяет регистрировать данные контроля в компьютере.

2. Постановка проблемы

Для ответственных высоконапряженных деталей штампов и элементов конструкций современных машин выдвигаются жесткие ограничения относительно размеров начальных трещин в поверхностных слоях металла. Поэтому в последнее время тенденции усовершенствования методов дефектоскопического контроля направлены на разработку информационных подходов, позволяющих не только определять местонахождение трещины, или другого локального повреждения, но и их визуализировать. С использованием разработанного ранее вихретокового импульсного дефектоскопа [5,6] в Институте проблем прочности им. Г.С. Писаренко создан для этой цели измерительный комплекс для визуализации повреждений [7], который постоянно совершенствуется.

Работа импульсного вихретокового дефектоскопа основана на взаимодействии переменного электромагнитного поля датчика прибора с объектом контроля. Наличие дефектов и несплошностей микроструктуры, которые увеличивают траекторию вихревых токов, обуславливает изменение амплитуды и фазы электромагнитного поля, которое излучает датчик контроля. В результате аппаратной обработки параметров суммарной электромагнитной волны дефекты, которые внесли эти изменения, могут быть выявлены с максимальной разрешающей способностью. Применяемые в данном приборе технические решения дают возможность выявить такие дефекты как трещины, раковины, несплошности, коррозионные язвы, расслоения, а также дефекты под нанесенным на поверхность материала покрытием.

Составляющими элементами прибора являются: высокочастотный LC генератор, настроенный на частоту 3МГц; фильтр, выделяющий постоянную составляющую из колебаний генератора; компаратор, сравнивающий величину этой составляющей с некоторым опорным напряжением; низкочастотный управляемый звуковой генератор, вырабатывающий вместе с блоком индикации звуковой и световой сигналы при обнаружении датчиком дефекта в объекте контроля.

Стержневой вариант датчика прибора представляет собой катушку, намотанную на ферритовом стержне диаметром 1 мм. Индуктивность катушки, вместе с емкостью конденсатора C , определяют рабочую частоту генератора. Его частота выбрана достаточно высокой для создания большой плотности вихревых токов в зоне дефекта с целью повышения чувствительности прибора к коротким трещинам.

Конструкционные размеры катушек можно выбирать в соответствии с условиями контроля, ориентируясь на размеры и форму контролируемого объекта, его доступность для исследований, месторасположение возможных дефектов, надежность и оперативность контроля.

Использованный в измерительном комплексе разработанный авторами дефектоскоп не чувствителен к шероховатости поверхности и выявляет дефекты при шероховатости поверхности больше $Rz\ 60$. Отсутствует влияние краевого эффекта и эффекта отвода датчика. Автоматическое электронное тарирование прибора на объекте контроля в неповрежденном месте существенно повысило надежность прибора, а также исключило влияние износа наконечника датчика контроля, присущее другим аналогам. Схемная реализация прибора, позволяет выявлять дефекты под изоляционным покрытием до 5 мм, делает возможным в конструкции наконечников использовать износостойкие полимерные покрытия, а также не ограничивать положение датчика относительно контролируемой поверхности.

Недостатком является отсутствие регистрации результатов дефектоскопического контроля с помощью компьютера, что дало бы возможность сравнивать первичные и последующие после наработки результаты контроля, а также визуализировать дефекты на поверхности инструмента.

3. Применение виртуального импульсного дефектоскопа для дефектоскопии рабочих элементов штампов

Цель работы создать комплекс и методику контроля пуансонов и матриц штамповой оснастки с помощью вихретоковой дефектоскопии с регистрацией результатов с помощью компьютера.

На базе разработанного вихретокового импульсного дефектоскопа, с использованием среды программирования LabVIEW, рассмотрена возможность реализации виртуального дефектоскопа, имеющего более широкие функциональные возможности по сравнению с его реальным аналогом. Небольшое внешнее интерфейсное устройство подключено к звуковой карте компьютера, выполняющей роль аналого-цифрового преобразователя (АЦП), и цифрового аналогового преобразователя (ЦАП) виртуального прибора. К этому устройству подключен датчик вихретокового контроля. Питание интерфейсной платы осуществляется от USB-порта компьютера. Задача использования в качестве устройства ввода-вывода звуковой платы персонального компьютера предусматривает независимость и одновременность процессов записи данных в ЦАП звуковой платы и чтение данных из АЦП, что представляется возможным только при использовании звуковых плат типа full-duplex. Для современных звуковых плат, работающих под управлением операционной системы Windows это, как правило, выполняется [8].

Для регулировки чувствительности датчика вихретокового контроля программой LabView создан виртуальный синусоидальный генератор частотой 5 кГц, сигнал с которого через линейный выход (который является выходом ЦАП) через фильтр воздействует на высокочастотный LC генератор, который включает дат-

чик вихретокового контроля, определяя порог срыва его генерации на дефекте заданных размеров. При этом вырабатывается звуковой и световой сигналы. Диапазон регулировки чувствительности составляет $0 \div 65535$ единиц. На лицевой панели заданная чувствительность отображается правым столбиком (рис. 1а). Величина сигнала от датчика контроля отображена левым столбиком (см. рис. 1а). При использовании виртуального дефектоскопа в системах сканирования контролируемой зоны объекта, программа позволяет создавать файлы данных для их дальнейшей обработки. Поскольку питание интерфейсной платы осуществляется от USB-порта компьютера, то использование ноут-бука позволяет проводить вихретоковый контроль в лабораторных, заводских и полевых условиях.



а)



б) Рис.1. Лицевая панель виртуального дефектоскопа на экране монитора (а) и контроль матрицы плоским датчиком (б)

В случае дефектоскопии пуансонов и матриц для ускорения процесса контроля возможно применение плоского датчика с горизонтальным расположением стержня с намотанной катушкой или нескольких вертикальных, одновременно подключенных к виртуальному дефектоскопу (рис. 2б).

Обнаруженные дефекты в зависимости от их влияния на служебные свойства пуансонов и матриц могут быть недопустимыми и допустимыми. При анализе необходимо учитывать размеры, месторасположение на пуансонах, условия эксплуатации и нагрузки. Наиболее опасными дефектами являются трещины, они могут возникать в местах концентрации напряжений под действием циклической механической нагрузки или изменений температуры. Важным критерием допустимости или недопустимости трещин на пуансонах и матрицах является их длина и глубина

Граничная чувствительность вихретокового дефектоскопа оценивается на образцах (контрольных эталонах) с поверхностными трещинами разных размеров. Допустимые размеры трещин определяются с использованием линейной механики разрушения. После выпуска 1000...10000 деталей необходимо проводить повторный контроль пуансонов и матриц с регистрацией измерений с помощью компьютера. В случае превышения размеров трещин допустимых величин производится ремонт пуансонов и матриц, например полировка или шлифовка рабочих поверхностей.

4. Выводы

1. Предложено использовать виртуальный вихретоковый импульсный дефектоскоп для контроля наличия микротрещин и трещин на тяжело нагруженных деталях штампов с регистрацией результатов с помощью компьютера, что дает возможность сравнивать первичные и последующие после наработки результаты контроля и контролировать развитие дефектов.

2. Дальнейшие исследования в данном направлении должны включать разработку информационных подходов, позволяющих не только определять местонахождение трещины, но и их визуализировать, что дало бы возможность изначально прогнозировать стойкость штампового инструмента.

Список литературы: 1. Алиев И.С. Алиева Л.И., Лобанов А.И., Савчинский И.Г. Обеспечение стойкости штамповой оснастки// Металлообработка. – 2007. - №5. – С.22-28. 2. Маковой В.О., Стародуб М.П. Стійкість карбувальних штемплів. // Удосконалення процесів та обладнання обробки металів тиском в металургії та машинобудуванні: Тематич. зб. наук. пр. - Краматорськ, 2005.-С. 599-601. 3. Афанасьева Г.И., Евстратов В.А. О видах и причинах выхода из строя пуансонов для холодного обратного выдавливания стальных деталей // Кузнечно-штамповочное производство. - 1974. -№4. - С. 7-10. 4. Алалыкина А.А., Афанасьев С.В., Иссафов А.В., Шадричев Е.В. Повышение стойкости матриц для рельефной чеканки ювелирных изделий// Кузнечно-штамповочное производство. - 1988. - №1.- С. 25-27. 5. Васинюк И.М. Вихре-токовый индикатор дефектов ВИД-01 // Сварщик. -1998. -№3. – С.17. 6. Васинюк И.М., Писаренко Г.Г., Маковой В.О., Войналович О.В. Вихорострумовий дефектоскоп. Патент України на промисловий зразок. Бюлетень №1, 15.02.2001. 7. Войналович О.В., Писаренко Г.Г., Васинюк И.М., Копчевський П.М., Майло А.М., Голованов Ю.М. Візуалізація втомної пошкодженості елементів металоконструкцій / Механічна втома матеріалів. Праці XIII-го міжнародного колоквіуму (MBM-2006), 25-28 вересня 2006 р. – Тернопіль: Тернопільський ДТУ ім. І. Пулюя, 2006. –С. 322-325. 8. Васинюк И.М., Васинюк С.И. Виртуальный вихретоковый дефектоскоп / Пошкодження матеріалів під час експлуатації; методи його діагностування і прогнозування. Праці конференції, 21-24 вересня 2009 р. – Тернопіль: Тернопільський ДТУ ім. І. Пулюя, 2009. – С. 193 – 196.

УДК 621.771.63

ПЛЕСНЕЦОВ Ю.А., канд. техн. наук, ст. н. с. НТУ «ХПИ», г. Харьков

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДЕФОРМАЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ И ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ

Испытаниями образцов на растяжение и на изгиб установлено, что в рифленом профиле значения σ_t и σ_b повышаются на 21,8% и 7,2%, δ_5 снижается на 16,9% по сравнению со стандартным профилем, сопротивляемость прогибу рифленого профиля вплоть до упруго-пластического состояния также выше на 21,5%.

Ключевые слова: профиль гнутый, упрочненный, испытания, растяжение, изгиб, прогиб

Випробуваннями зразків на розтягування та згинання встановлено, що в профілі з рифленнями значення σ_t та σ_b зростають на 21,8% і 7,2%, δ_5 знижується на 16,9% у порівнянні зі стандартним профілем, супротив прогинання профілю з рифленнями впритул до пружно-пластичного стану також вищий на 21,5%.

Ключові слова: профіль гнутий, зміцнений, випробування, розтягування, згинання, прогин

During the testing of samples by tension and bending was set that in a profile with knurls values of σ_t and σ_b do increase by 21,8% and 7,2%, δ_5 decreases by 16,9% in comparison with standard profile, resistance against caving in is also higher by 21,5%

Keywords: bended profile, hardened, testing, tension, bending, caving in

Механические свойства гнутых профилей в настоящее время определяются потребителями исходя из свойств исходной заготовки, без учета деформационного упрочнения. Представляются важными и актуальными исследования, позволяющие

оценить изменение свойств деформационно упрочненных и аналогичных неупрочненных гнутых профилей по отношению к свойствам исходной листовой заготовки.

Цель исследований - определение величин изменения характеристик механических свойств корытного гнутого профиля 80x60x32x2,5 мм, упрочненного формовкой рифлений на участках, не подвергающихся деформационному упрочнению при профилировании, по сравнению с аналогичным неупрочненным профилем.

Известно [1], что механические свойства гнутых профилей с достаточной степенью точности могут быть определены расчетным способом, при котором учитывается уровень свойств характерного элемента профиля и его доля в площади поперечного сечения. Для гнутых уголков, швеллеров и сварных замкнутых профилей различие результатов, полученных расчетным способом и путем натурных испытаний полнопрофильных образцов, не превышает 2,5% [1-4].

Ввиду того, что для корытных гнутых профилей, как упрочненных рифлениями, так и неупрочненных такие исследования ранее не проводились, в настоящей работе характеристики механических свойств профилей определяли двумя методами – расчетным и путем натурных испытаний.

На рис. 1 приведен график изменения механических характеристик по сечению профилей, полученный при испытании образцов, отобранных от характерных элементов сечения.

Анализ характера распределения механических свойств по сечению профилей, позволяет выделить два факта:

1. Прочностные свойства угловых участков 4 и 6 неупрочненных профилей (рис. 1), прилегающих к горизонтальной и вертикальной стенкам, на 60...70 Н/мм² выше аналогичных участков 2 и 8 полок. Такое же распределение свойств наблюдается на аналогичных участках 6, 10 и 2, 14 упрочненных профилей.

2. Плоские участки стенок неупрочненного профиля (3, 5, 7) имеют практически такие же механические свойства, как и плоские участки полок (1, 9), т.е. не отличаются от свойств исходной заготовки.

В упрочненном профиле плоские участки стенок (3, 5, 7, 9, 11, 13) имеют предел текучести (σ_T) на 80...120 Н/мм² и предел прочности (σ_B) на 30...50 Н/мм² выше, чем плоские участки полок (1, 15). Очевидно, это связано с тем, что относительно небольшие по протяженности плоские участки между рифлениями и углами упрочненных профилей также вовлекаются в пластическую деформацию и вследствие этого упрочняются.

В табл. 1 приведены характеристики механических свойств неупрочненного и рифленого профилей, полученные расчетным путем по данным испытания образцов, отобранных от характерных элементов профилей.

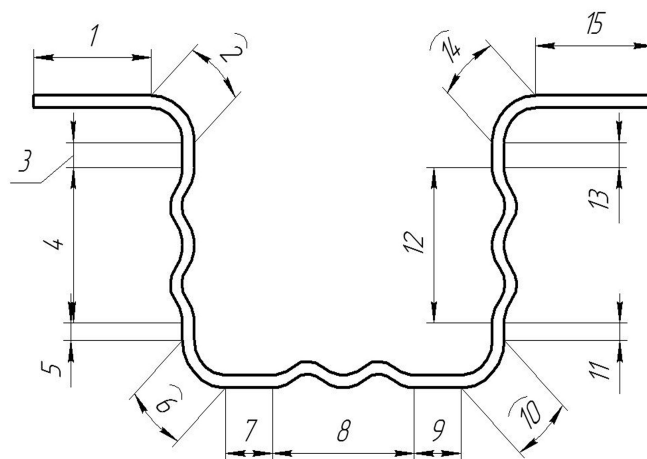
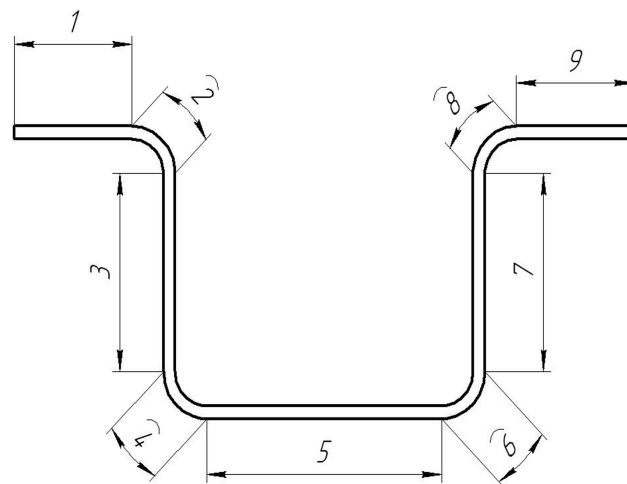
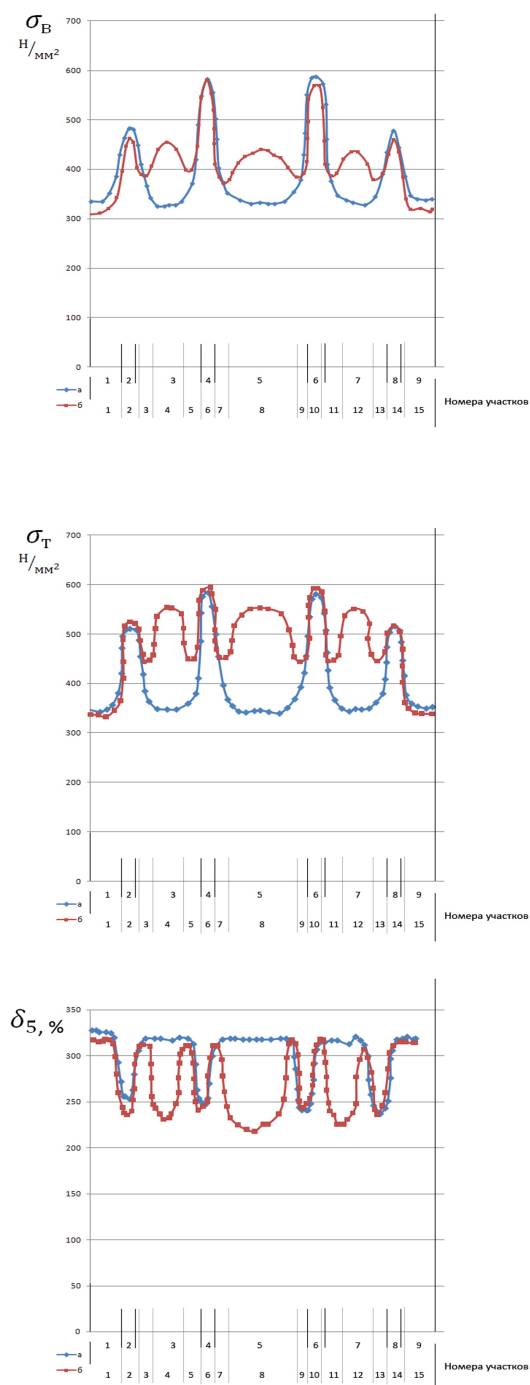


Рис. 1. График изменения механических свойств по сечению корытного профиля 80x60x32x2,5 мм: а) неупрочненного; б) упрочненного

Таблица 1

Отклонения механических свойств на элементах неупрочненного профиля и рифленого профиля по сравнению с заготовкой

Параметр	Значение параметра			Δ , (%)	Δ_1 , (%)	Δ_2 , (%)
	I	II	(III)			
σ_T , Н/мм ²	354	390		489	+10,2	+38,1
					+38,1	+25,3

σ_B , Н/мм ²	525	543	568	+3,4	+8,2	+4,6
Δ_5 , %	32,3	30,8	27,0	-4,6	-16,4	-12,3

Примечания:

1. Численное значение параметра: заготовки (I), неупрочненного профиля (II), рифленого профиля (III).

2. Относительное изменение свойств:

- неупрочненного профиля по сравнению с заготовкой (Δ);
- рифленого профиля по сравнению с заготовкой (Δ_1);
- рифленого профиля по сравнению с неупрочненным профилем (Δ_2).

Обращает на себя внимание тот факт, что формовка рифлений на стенках профиля наиболее интенсивно повышает важнейшую прочностную характеристику – предел текучести.

Для рассматриваемого случая, по сравнению с исходной заготовкой σ_T имеет прирост около 40%. По сравнению с неупрочненным профилем увеличение этой характеристики также велико и составляет ~ 25%. Предел прочности, как и следовало ожидать, возрастает в меньшей мере – на 8,2% по сравнению с заготовкой и на 4,6% по сравнению с неупрочненным профилем.

В отличие от прочностных характеристик, пластические свойства упрочненных профилей заметно снижаются. Если характеристика δ_5 для неупрочненного профиля на 4,6% ниже, чем у исходной заготовки, то для упрочненного профиля такое снижение составляет свыше 16%, а относительно неупрочненного ~ 12%.

Комплексное представление о свойствах профиля в целом дают натурные испытания полнопрофильных образцов (рис. 2).

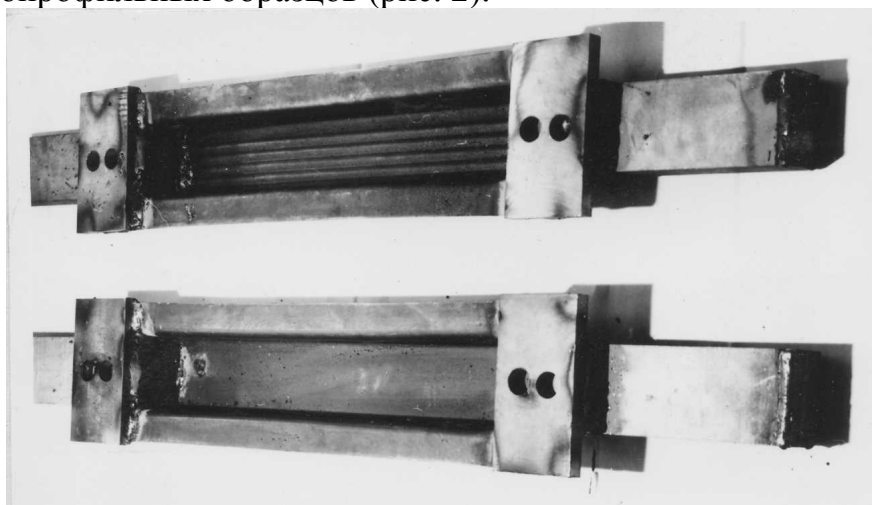


Рис. 2 Полнопрофильные образцы для механических испытаний рифленых и неупрочненных корытных профилей

Результаты испытаний рифленого и неупрочненного профилей в сопоставлении с данными расчетного способа приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения характеристик механических свойств профилей, полученные расчетным методом и испытаниями полнопрофильных образцов

Параметр	II			III			Δ_{IV} , %	
	1	2	(Δ_{II}) , %	1	2	(Δ_{III}) , %	1	2

σ_T , Н/мм ²	390	413	+5,5	489	505	+3,2	+25,4	+22,3
σ_B , Н/мм ²	543	544	+0,2	568	583	+2,6	+4,6	+7,2
δ_5 , %	30,8	23,5	-31,0	27,0	20,1	-34,0	-12	-16,9

Примечания:

1. Численное значение параметров:

- для неупрочненного профиля (II), расчетный метод (1), испытания полнопрофильных образцов (2);

- для рифленого профиля (III), расчетный метод (1), испытания полнопрофильных образцов (2).

2. Расхождение значений параметров при использовании результатов расчетного метода (1) и результатов испытаний полнопрофильных образцов (2):

- для неупрочненного профиля (Δ_{II});

- для рифленого профиля (Δ_{III});

- для рифленого профиля по сравнению с неупрочненным (Δ_{IV}).

Анализ результатов, приведенных в табл. 2, показывает, что для предела прочности расхождение не превышает 3%, для предела текучести 5,5%. К числу важных результатов следует также отнести превышение (*во всех случаях*) прочностных характеристик, полученное при испытаниях полнопрофильных образцов по отношению к результатам, полученным расчетным методом. Следовательно, полученные в качестве допустимых, расчетные значения прочностных характеристик *не превзойдут* действительных значений.

Вместе с тем, если для прочностных характеристик сравнение результатов, полученных двумя методами, позволяет судить о сходимости полученных результатов, то при определении δ_5 этими методами можно сделать вывод о том, что при испытаниях полнопрофильных образцов полученные значения будут существенно ниже, чем при расчетном способе. В то же время абсолютные значения этой характеристики достаточно высоки, как для неупрочненных профилей ($\delta_5=23,5\%$), так и для рифленых профилей ($\delta_5=20\%$).

Очевидно, что полученный результат может быть объяснен сильно развитой поверхностью (большим отношением ширины образца к его толщине) у полнопрофильных образцов. Так, для плоских образцов толщиной 2...3 мм по ГОСТ 1497 это отношение составляет 6,5...10, для полнопрофильных образцов – 91,3.

Объяснение механизма снижения пластичности рифленого профиля возможно по аналогии с тонкими полосами и фольгами, у которых на стандартных образцах также имеет место высокое отношение ширины к толщине, и которые также характеризуются снижением относительного удлинения по сравнению с массивными образцами [4]. Это явление можно объяснить тем, что при малой по сравнению с шириной толщине образца, в нем в процессе растяжения не возникает объемного напряженного состояния, характерного для круглых и массивных плоских образцов при развитии шейки. Напряженное состояние вплоть до момента разрыва можно считать для тонких образцов близким к плоскому, когда третья составляющая напряжения, действующая по толщине образца, близка к нулю.

Сравнение значений механических свойств неупрочненных и рифленых профилей, полученных при испытании полнопрофильных образцов (табл. 2), показывает, что предел текучести последних возрос на 22,3%, предел прочности – на 7,2%

при снижении относительного удлинения на 16,9%. Эти результаты достаточно близки к данным, полученным расчетным путем.

Учитывая условия работы упрочненного корытного профиля в конструкции тракторного прицепа (изгиб совместно с приваренным к его полкам листом толщиной 2,5мм), весьма важными для оценки качества металлоконструкций с использованием рифленых профилей являются их испытания на изгиб совместно с листом.

Для исследований был принят изгиб образцов профилей (рис. 3) с приваренными к полкам листами из стали 09Г2 толщиной 2,5 мм. Изгибающая нагрузка прикладывалась со стороны приваренных листов (рис. 4). Такие испытания наиболее точно моделируют условия эксплуатации профиля в конструкции тракторного прицепа.

При испытаниях фиксировали нагрузку, соответствующую прогибу образца в его средней части. На рис. 5 приведены результаты испытаний, которые свидетельствуют о большей сопротивляемости изгибающим нагрузкам профилей, упрочненных рифлениями по сравнению с неупрочненными.

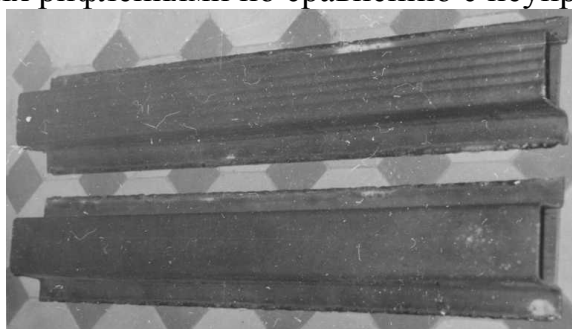


Рис. 3. Образцы для испытаний корытных профилей на изгиб.

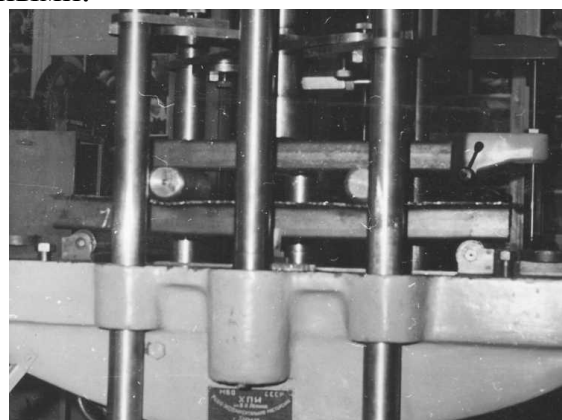


Рис. 4. Испытание корытных профилей на изгиб

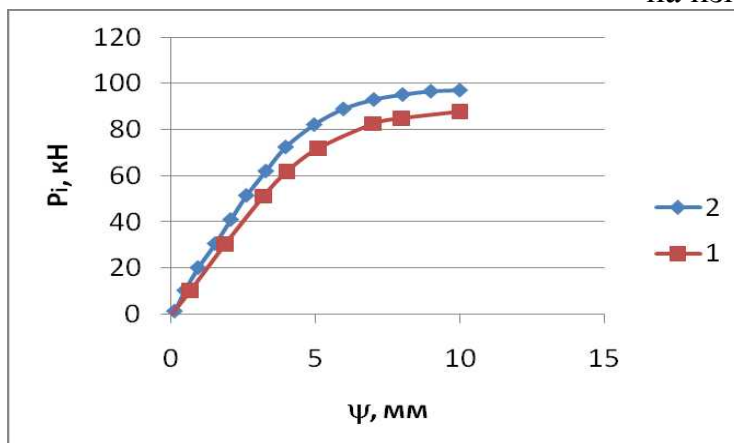


Рис. 5. Зависимость величины прогиба (ψ) от нагрузки (P_i) при изгибе неупрочнённых (1) и упрочнённых (2) корытных профилей 80x60x32x2,5мм

Результаты испытаний показали, что в области упругих деформаций, вплоть до упругопластических их значений (прогиб до 3мм) рифленый профиль более чем на 21% прочнее, чем аналогичный неупрочненный (рис. 6). Полученные графики величины прогиба (ψ) от нагрузки (P_i) при изгибе неупрочнённых и упрочнённых корытных профилей аппроксимированы функциями вида (рис.5):

- для графика 1

$$P_i = -1,1\psi^2 + 19,74\psi - 1,4;$$

- для графика 2

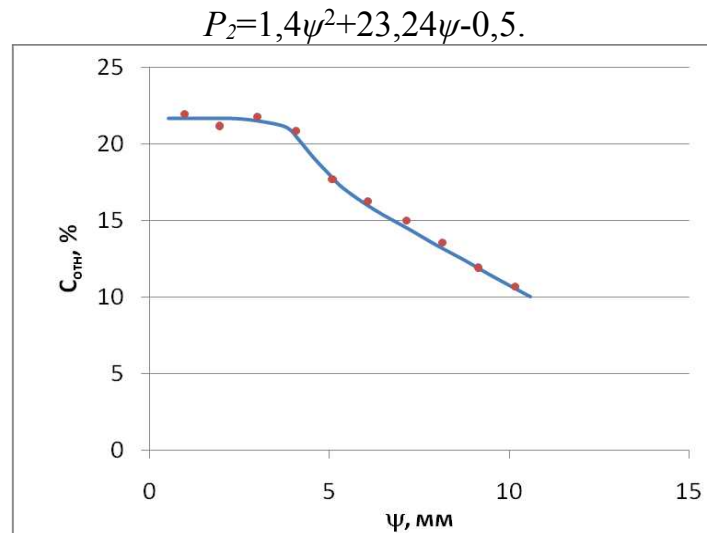


Рис. 6. Изменение прироста жёсткости рифленого профиля ($C_{отн}$) с увеличением стрелы прогиба

Экспериментальные результаты исследования изменения прироста жёсткости рифленого профиля (C) с увеличением стрелы прогиба (ψ) (рис. 6) аппроксимированы функцией вида

$$C_{отн}=0,03\psi^3-0,5\psi^2+1,4\psi+21,$$

где $C_{отн}$ – относительный прирост жёсткости рифленого профиля с увеличением стрелы прогиба, определяемый по формуле

$$C_{отн} = \frac{C_{риф} - C_{гл}}{C_{гл}} 100,$$

где $C_{риф}$ – жесткость рифленого профиля;

$C_{гл}$ – жесткость неупрочненного (гладкого профиля)

В настоящее время в конструкции тракторных прицепов применяется корытный профиль 80х60х32х3мм. Сравнивая выражения для прочностного расчета при изгибной нагрузке (характерной для эксплуатации данного профиля в конструкции) применяющегося в настоящее время профиля и рекомендуемого для применения упрочненного профиля 80х60х32х2,5мм

$$\sigma_{\dot{o}} = \frac{\dot{I} \cdot \dot{\epsilon}_C}{W_{XO}} \text{ и } \sigma_{\dot{o}P} = \frac{\dot{I} \cdot \dot{\epsilon}_C}{W_{XP}}, \quad (1)$$

где σ_{τ} и $\sigma_{\tau P}$ – предел текучести материала сечения неупрочненного и рифленого профилей, соответственно;

W_{XO} и W_{XP} – моменты сопротивления корытных профилей 80х60х32х3мм и рифленого 80х60х32х2,5мм, соответственно.

При равной нагрузке эти выражения можно представить в виде

$$\sigma_{\dot{o}} \cdot W_{XO} = \sigma_{\dot{o}P} \cdot W_{XP}; \quad (2)$$

или

$$\frac{W_{XO}}{W_{XP}} = \frac{\sigma_{\dot{o}P}}{\sigma_{\dot{o}}}. \quad (3)$$

С учетом результатов полнопрофильных испытаний, выражение (3) можно записать в виде

$$\frac{W_{XO}}{W_{XP}} \leq 1,215. \quad (4)$$

На основании прочностного анализа конструкций, в соответствии с которыми профили рассматриваются в качестве системы пластинок, жестко соединенных вдоль мест изгиба (при условии, что для каждого элемента профиля прочностные условия соблюдаются), профиль можно считать удовлетворяющим условиям прочности в том случае, когда для каждого элемента профиля (стенки или полки) соблюдалось условие (4).

С использованием общеизвестных зависимостей для определения геометрических характеристик сечений, установлено, что условие (4) соблюдаются для каждого элемента профиля 80х60х32х2,5мм, что позволяет рекомендовать его для использования в тракторных прицепах.

Выводы

1. Испытаниями на растяжение полнопрофильных образцов установлено, что в рифленом профиле пределы текучести и прочности на 21,8%, 7,2% выше, относительное удлинение на 16,9% ниже, чем у аналогичного неупрочненного профиля.

2. При испытаниях на изгиб сопротивляемость прогибу рифленого профиля вплоть до упругопластического состояния на 21,5% выше, чем у неупрочненного профиля.

3. Прочностные характеристики профиля, определенные расчетным методом, имеют достаточную сходимость с результатами испытаний полнопрофильных образцов. Расхождение не превышает 3%.

4. Выполнен анализ, в результате которого установлена возможность замены в конструкции тракторных прицепов корытного профиля 80х60х32х3мм аналогичным профилем толщиной 2,5мм из упрочненной рифлениями заготовки.

Список литературы: 1. *Тришевский И.С.* Зависимость механических свойств холодногнутого профиля от механических свойств исходных заготовок / Тришевский И.С., Гамерштейн В.А., Акимов Э.П. // Сб. Высокоэкономичные гнутые профили проката. – М.: Металлургия, 1985. – С. 202-213. 2. *Плеснецов Ю.А.* Новая технология валковой формовки упрочненных листовых профилей с поверхностью противоскольжения // Вестник НТУ «ХПИ», № 47. - Харьков: НТУ «ХПИ». – 2004. – С. 17-19. 3. *Плеснецов Ю.А.* Новая технология валковой формовки специальных деформационно упрочненных гнутых профилей с поверхностью противоскольжения для строительства. // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2004. – 6 (12). - С. 71-72. 4. *Тришевский И.С.* Механические свойства гнутых профилей проката / Тришевский И.С., Клепанда В.В. – К.: Техника, 143 с.

УДК 621.73

КИРИЕНКО А. И., канд. техн. наук, директор ГП «Орган по сертификации УкрНИИМет-СЕРТ»

ДСТУ ISO 9001:2009, СЕРТИФИКАЦИЯ – СВИДЕТЕЛЬСТВО НАПРАВЛЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ НА ВЫСОКУЮ КОНКУРЕНТНУЮ СПОСОБНОСТЬ

Рассмотрены отдельные требования новой версии международного стандарта ISO 9001, корректное выполнение которых влияет на результативность системы менеджмента качества продукции предприятия.

Ключевые слова: ISO 9001, система управления качеством, результативность.

Розглянуті окремі вимоги нової редакції міжнародного стандарту ISO 9001, коректне виконання котрих впливає на результативність системи управління якістю продукції підприємства.
Ключові слова: ISO 9001, система управління якістю, результативність.

The separate requirements of the new version the international standard, which correct performance influences productivity of quality management system of enterprise's production are considered.
Key words: ISO 9001, quality management system, productivity.

Международный опыт управления предприятием в условиях глобализации рынков свидетельствует о практической невозможности достижения высокой конкурентной способности без внедрения и эффективного функционирования систем управления качеством продукции. Современные системы управления качеством, имеющие различные названия и особенности, предусматривают всестороннее, целенаправленное, хорошо скоординированное использование методов управления во всех сферах деятельности от разработки, исследований, производства, контроля качества продукции и послепродажного обслуживания.

Международные стандарты серии ISO 9000 являются результатом аккумуляции накопленного мирового опыта успешного управления качеством, с точки зрения определения (ISO 9001) основных требований, выполнение которых предприятием позволяет ему декларировать свои возможности и сертифицировать функционирующую систему управления качеством на соответствие требованиям.

Сертификация системы управления качеством – подтверждение (сертификат соответствия) соответствия требованиям проверкой «третьей стороной» - органом по сертификации – независимой организацией, имеющей соответствующую компетенцию.

Стандарт (ISO 9001) применим для различных организаций, в том числе не имеющих ресурсов для разработки продукции, технологических процессов, что отмечается в сертификате соответствия.

Эффективно действующая система управления качеством продукции предприятия должна обеспечивать производство продукции, которая отвечает не только согласованным, ожидаемым, но и скрытым (неизвестным на этот час) требованиям заказчика. Этого невозможно достигнуть без постоянного улучшения, в том числе инновационного, продукции и технологических процессов на основе мониторинга с использованием эффективных методов анализа эксплуатационных, технологических и других требований заказчика, результатов фундаментальных и прикладных исследований и на этот час является одним из способов поддержания постоянной конкурентной способности для производителя.

Требование заказчика (потребителя) к наличию системы управления качеством и сертификата у поставщика (субподрядчика) основывается на желании увеличить уверенность в способности последнего выполнить его требования к заказанной продукции, а в случае подписания долгосрочного контракта – постоянно поддерживать ее конкурентную способность, что будет способствовать поддержанию уровня конкурентной способности продукции заказчика.

Важнейшим условием эффективного управления качеством на предприятии является соответствующее понимание, отношение и воля высшего руководства. Одним из показателей такого понимания высшего руководства является политика в сфере качества.

Исходя из опыта и положений (рекомендаций) международных стандартов серии ISO 9000 политика в сфере качества организации должна основываться на, по крайней мере, восьми принципах управления качеством. Рассмотрим отдельные положения политики, из которых должны вытекать определенные цели, задачи для конкретных подразделений и предприятия в целом.

Обязательство по ориентации организации на потребителя, на удовлетворение его требований.

Политика организации в отношении с потребителем обуславливает необходимость определения соответствующих процессов, методов их выполнения, а также критериев их оценки.

Если мы говорим о конкурентоспособности необходимо понимать, что качество – это не только соответствие отдельных характеристик продукции установленным требованиям (нормативные документы на продукция), а и:

1. Превышение выполнения этих требований, например, по точности размеров, надежности, стабильности отдельных характеристик продукции и т. д.

На большинстве предприятий, например, металлургического и машиностроительного комплекса вероятность выполнения требований нормативных документов по отдельным показателям продукции составляет 85-95%. Это говорит о высокой нестабильности характеристик выпускаемой продукции, которая неизбежно приводит к дополнительным расходам у потребителя за счет:

- перерасхода материалов, сырья, комплектующих;
- уменьшения ресурса машин и механизмов;
- повышения веса (массы) готового изделия, необходимости установления при конструировании значительных коэффициентов запаса прочности;
- трудностей использования автоматизированной линии при производстве и др..

На успешных предприятиях вероятность выполнения требований основных показателей продукции достигает 97-99,9%. При таких показателях вероятности можно говорить, что предприятие управляет качеством продукции и действительно может выполнить практически любой, с точки зрения требований потребителя, заказ.

Для достижения и поддержания такого качества необходимо постоянно совершенствовать технологию, повышать квалификацию персонала и культуру производства, что требует высокой результативности процессов, связанных с разработкой продукции, установлением требований потребителя.

К сожалению, большинство отечественных производителей не заглядывают в ближайшее будущее, руководствуясь требованиями дня по получению прибыли с наименьшими расходами. Следствием этого является закупка (импорт) устаревшего (относительно) оборудования и выпуск продукции, на смену которой в развитых странах уже пришла более конкурентоспособная продукция с лучшими потребительскими характеристиками.

Постоянное отставание в качестве, конкурентоспособности продукции – это преобладающий экспорт сырьевых материалов.

2. Превышение выполнения установленных требований с предоставлением продукции дополнительных свойств, возможно даже неожиданных для потребителя.

Ярким примером такого превышения является стратегия японских производителей по производству продукции с новыми свойствами темпами недостижимыми для конкурентов.

Различные свойства продукции, составляя её качество, в большинстве своем находятся в противоречии между собой. Практически всегда приходится наблюдать, что улучшение одного свойства или группы свойств приводит к ухудшению другого свойства или другой группы свойств.

Разработка конкретной продукции требует применения различных методов, в том числе математических, анализа: простой – анализ отдельно каждого свойства качества продукции, комплексный – анализ группы родственных свойств и анализ всей совокупности свойств продукции. Процесс оптимизации этих свойств должен основываться на глубоком понимании условий эксплуатации.

Направленность деятельности на всех уровнях организации на принятие решений на основе фактов и постоянное улучшение деятельности.

Обеспечение выполнения вышеприведенной направленности деятельности на данное время невозможно без эффективного применения статистических методов для контроля, оценки качества продукции, процессов и внедрения инновационных технологий.

Как отмечалось выше, вероятность обеспечения выполнения требований стандартов на продукцию (мы уже не говорим ожидаемых потребителем) на большинстве предприятий достигает только 90-95%. Устанавливая задачу повышения этого показателя для разных характеристик продукции, процессов предприятие будет вынуждено внедрять организационные и технологические инновации, что непременно обеспечит повышение конкурентной способности продукции.

Инновационное направление деятельности невозможно, кроме того, без анализа мировых достижений и привлечения всех работников к этой деятельности.

УДК 330.1, 338.5

Г.М. ТРИЩ, ассистент УИПА, Харьков;
С.И. КОРОБКО, ассистент УИПА, Харьков

ПРОЦЕССНЫЙ ПОДХОД В УПРАВЛЕНИИ КАЧЕСТВОМ

У статті розглядається особливості системи управління якістю й визначені її основні властивості. Пропонуються ознаки класифікації процесів. Запропоновано структуру інформаційних взаємозв'язків між процесами.

In the article examined the feature of control system by quality and certain it basic properties. The signs of classification of processes are offered. The structure of informative intercommunications is offered between processes

Введение. Современная экономика не может эффективно развиваться без наличия и функционирования систем управления качеством предприятий и организаций, так как высокое качество продукции и услуг является приоритетным в условиях современного рынка. Обеспечение высокого качества возможно за счет разработки, внедрения и постоянного совершенствования систем управления качеством, соответствующим требованиям международных стандартов серии ISO серии 9000:2000

(СУК), причем, эта система должна быть эффективной и результативной, в противном случае, внедрение СУК не позволит обеспечить необходимого качества продукции и услуг. Другими словами, необходимо измерять качество самой СУК.

Получить адекватную числовую характеристику качества СУК в целом в виде функциональной зависимости от множества ее характеристик пока не удавалось никому. Это объясняется тем, что все показатели ее качества не поддаются инструментальному измерению и оцениваются экспертным путем. Поэтому главной задачей научных исследований является разработка комплексной оценки СУК с целью принятия управленческих решений на основании полученных количественных данных о показателях ее качества.

В задачу исследований входит: 1) выявление особенностей системы управления качеством, как системы; 2) разработка классификации процессов СУК; 3) выявление закономерностей и видов информационных связей между элементами СУК, позволяющих оценивать ее количественными методами.

1. Особенности системы управления качеством, как системы. Система управления качеством, как объект исследования, имеет ряд особенностей, учет которых определяет методологический подход исследования. К ним относятся: 1) всеобщий характер, так как все предприятия имеют СУК, независимо от их размеров, отраслевой принадлежности, профиля, характера деятельности и т.д.; 2) динамический характер развития и многообразие форм построения также делает ее сложным объектом исследования; 3) неопределенность содержания и поведения; 4) вероятностный характер развития; 5) сложная структура; 6) превалирование качественных, а не количественных характеристик в ее оценке; 7) опосредованное влияние на конечные результаты деятельности организации; 8) влияние на нее в большей степени субъективных, а не объективных факторов; и т.д.

Одна и та же СУК может состоять из различного числа элементов, а сами элементы могут быть разнокачественными и по-разному воздействовать между собой и с процессом производства. По-разному может быть организован процесс управленческой деятельности, процессы принятия решения, сбор и переработка информации; в условиях различной управленческой деятельности могут использоваться различные технические средства, применяться те или иные методы менеджмента. Один и тот же орган управления может иметь различную численность работников, неодинаковое соотношение руководителей и подчиненных, старших и рядовых специалистов и других категорий управленческих работников. Кроме того, каждое из подразделений менеджмента в рамках одной системы могут нести различную ответственность за конечные результаты своей деятельности и оказывать разное влияние на ход процессов управления производством. При этом они могут отличаться сложностью выполняемых функций, потреблять различное количество ресурсов, одни и те же управленческие должности могут быть замещены работниками с различным уровнем рабочего потенциала и общего специального образования, стажа работы и тому подобное. Каждый из индивидов обладает способностями, влияющими на отношение к своим обязанностям.

Эти способности могут реализоваться с различной полнотой в зависимости от правильности подбора, расстановки и повышении квалификации кадров управления. Кроме того, различные управленческие должности отличаются сложностью служебных обязанностей, ответственностью, размером оплаты за их исполнение и другими

характеристиками. Иначе говоря, для получения правильного и полного представления о системе менеджмента в организации необходимо оценку качества СУК дополнить оценкой целого ряда параметров, характеризующих особенности, факторы, условия, в которых осуществляется управленческая деятельность.

Эти факторы, особенности и условия отражаются по большей части в основных элементах системы управления. Как уже определялось, к основным элементам системы управления можно отнести функции, принятые в системе методы, структуру, материально-техническое и информационное обеспечение. Таким образом, по нашему мнению, исследование СУК должно включать в себя оценку качества ее основных элементов – процессов, то есть, общий показатель качества системы предприятия формируется через оценки качества ее процессов.

2. Классификация процессов СУК. Процессный подход есть одним из восьми принципов управления качеством, суть которого состоит в том, что желательного результата достигают эффективнее, если деятельностью и связанными с ней ресурсами управляют как процессом. При использовании процессного подхода в системе управления качеством, сам процесс становится регулятором качества составляющих ее процедур. Определение процессов, их анализ и улучшение дает возможность повысить конкурентоспособность организации и эффективность ее деятельности. Основными преимуществами такого подхода является возможность проведения оптимизации как самых процессов (с точки зрения их строения, синхронизации, взаимосогласованности), так и ресурсов, которые используются в процессах; особенно это касается человеческих ресурсов.

Так как в системе управления качеством элементарным объектом является процесс, то для оценки системы управления качеством необходимо оценить качество процессов, для чего необходимо их классифицировать. Как известно, любая классификация направлена на снижение затрат производства, повышение качества и производительности. Признаками классификации процессов могут быть: процессы относительно заказчика; процессы относительно продукции; процессы за уровнем детализации, процессы по структуре.

Процессы относительно заказчика разделяют по таким видам:

1) внешние - процессы, выходы (результаты) которых используют заказчики и заинтересованные стороны (акционеры, банки, налоговые органы и др.), например: доставка продукции заказчику; гарантийное обслуживание; продажа продукции и др.

2) внутренние - процессы, выходы (результаты) которых используют функциональные подразделения организации, например: проектирование; разработка внутренней документации и др. Большинство процессов системы управления качеством, которые описаны в разд. 4-8 стандарта ДСТУ ISO 9001 являются внутренними.

Процессы относительно продукции разделяют по таким видам:

1) основные - процессы производства, сбыта и снабжение, а также все процессы, которые оказывают непосредственное влияние на качество конечной продукции, добавляют ей ценности, т.е. маркетинг, закупка, производство, хранение, снабжение и сервисное обслуживание продукции. В системе управления качеством к основным процессам относят составные процесса "Выпуск продукции", которые описаны в разд. 7 стандарта ДСТУ ISO 9001;

2) вспомогательные - процессы, которые непосредственно не влияют на ка-

чество конечной продукции и не добавляют ей ценности, но они обеспечивают возможность реализации основных процессов и увеличивают стоимость продукции. Это- процессы обеспечения: человеческими ресурсами; документацией; инфраструктурой; производственной средой;

3) процессы управления - процессы, которые непосредственно не влияют (как и вспомогательные) на качество конечной продукции и не добавляют ей ценности, но обеспечивают четкую последовательность выполнения основных процессов и увеличивают стоимость продукции. К ним относят процессы, связанные с контролем, анализом и улучшением продукции и производства. В системе управления качеством к процессам управления относят "Ответственность руководства" и "Измерение, анализ и улучшение", которые описаны в разд. 5 и 8 стандарта ДСТУ ISO 9001.

Процессы за уровнем детализации разделяют по таким видам:

Процессы высшего уровня - это процессы, которые содержат несколько детальных процессов (подпроцессов), что, в свою очередь, содержат элементарные операции. Примером процесса высшего уровня может быть процесс закупки, который содержит такие детальные процессы, как планирование закупки, выбор поставщиков, заключение договора, получение сырья и материалов, которые закупили, и их проверка. В свою очередь, детальный процесс заключение договора содержит такие элементарные процессы, как составление проекта договора, ознакомление с ним, согласование договора и его подписание. Количество уровней декомпозиции процессов определяется задачами проекту и не может превышать четырех уровней [1].

Процессы по структуре могут быть:

Последовательная структура (рис. 1а), где выход одного процесса является входом следующего.

Сходящаяся структура (рис.1б), где выходы многих процессов могут являться входом одного.

Расходящаяся структура (рис.1в), где выходы одного процесса могут быть входами многих.

Сходящаяся-расходящаяся структура (рис.1г), где выходы многих процессов могут являться входом одного и, наоборот, выходы одного процесса могут быть входами многих.

Реверсная структура (рис.1д), где выход последующего процесса является входом предыдущего.

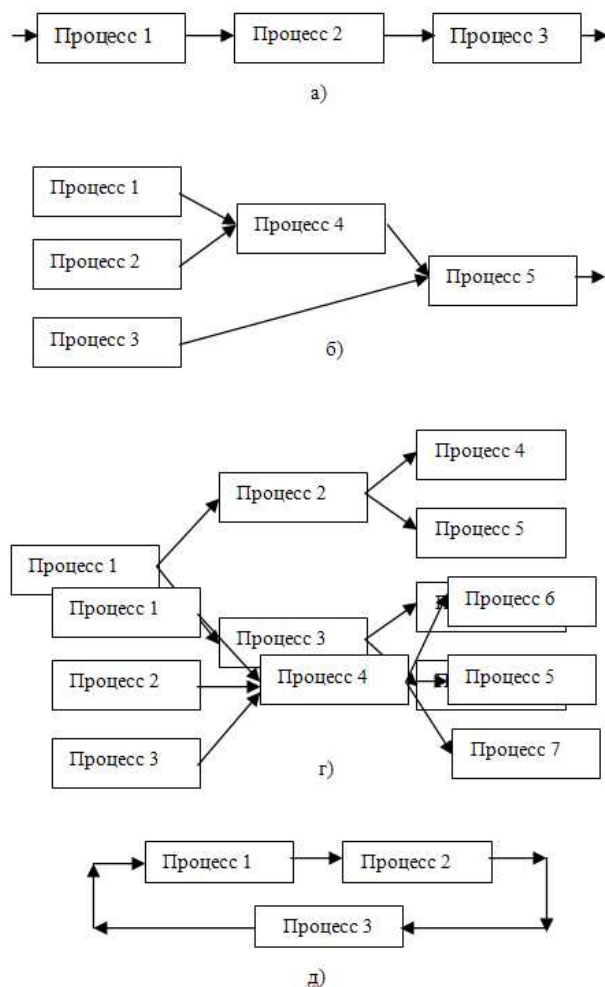


Рис. 1. Структуры процессов

Действующая СУК может принадлежать к одному из указанных типов структур, а, зачастую, состоит из соединений всех предложенных вариантов.

Для применения квалиметрических методов оценки СУК недостаточно иметь количественные значения показателей качества процессов, так как при их объединении система приобретает новые свойства. Такое свойство системы называется эмерджентностью. Эмерджентность - это появление новых качеств, которые не присущи элементам, которые составляют систему. Каждая система является совокупностью определенных частей, определенных элементов. Особенностью является то, что в результате объединения нескольких элементов и образование системы появляются новые свойства, которых не имеет ни один элемент к созданию системы. Эмерджентность системы может характеризовать степень ее организованности. Чем больше характеристики системы отличаются от характеристик элементов, из которых она создана, тем более организованной есть система. Величина эмерджентности не имеет числового выражения, и ее характеристика может быть только качественной [2].

Поэтому, для оценки качества СУК необходимо определить структуру информационных взаимосвязей между процессами (моделирование процессных цепей). Структура информационных взаимосвязей между процессами может быть трех типов: кольцевая (рис. 2а), цепная (рис. 2б) и цельная (рис. 2в).

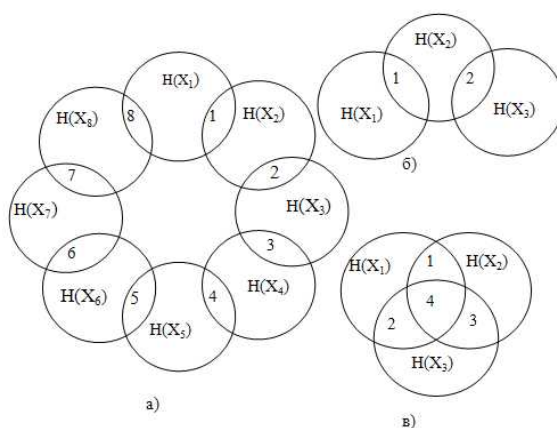


Рис. 2. Типы структур информационных взаимосвязей между процессами.

Кольцевую структуру информационных связей имеют процессы жизненного цикла продукции, цепная структура присуща вспомогательным процессам а цельная – обязательным. Все остальные возможные взаимосвязи между процессами СУК имеют одну из предлагаемых структур или их комбинацию.

Выводы: 1. Выявлены особенности системы управления качеством и определены ее основные свойства. Общий показатель качества системы предприятия формируется через оценки качества ее процессов. 2. Признаками классификации процессов могут быть: процессы относительно заказчика; процессы относительно продукции; процессы за уровнем детализации; процессы по структуре. 3. Для оценки качества СУК необходимо определить структуру информационных взаимосвязей между процессами. Структура информационных взаимосвязей между процессами может быть трех типов: кольцевая, цепная и цельная.

Список литература: 1. Сорока К.О. Основы теорії систем і системного аналізу: Навч. посібник. - Х.: Тимченко, 2005. - 288 с. 2. Колесников Л.А. Основы теории системного подхода. - К.: Наук, думка, 1988.- 176 с.

СОДЕРЖАНИЕ

В.О. ЄВСТРАТОВ

**ПЕРЕДМОВА ПРО ІСТОРІЮ ДІЯЛЬНОСТІ КАФЕДРИ
ОБРОБКИ МЕТАЛІВ ТИСКОМ**

3

КУЗНЕЧНО-ШТАМПОВОЧНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

22

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ КУЗНЕЧНО-ШТАМПО-
ВОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

22

АЛИЕВА Л.И., ЖБАНКОВ Я.Г., АБХАРИ П.

**РАДИАЛЬНОЕ ВЫДАВЛИВАНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ВЫСОКИХ ФЛАН-
ЦЕВ**

22

ГРИНКЕВИЧ В.А., КУХАРЬ В.В., ДИАМАНТОПУЛО К.К.

**РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ БЕСШТАМПОВОГО ПРОФИЛИРОВАНИЯ ЗА-
ГОТОВОК НА ПРЕССАХ С ПОВЫШЕНИЕМ ТОЧНОСТИ ФОРМОИЗМЕНЕ-
НИЯ НА ОКОНЧАТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЯХ**

26

ДАНЧЕНКО В.Н., АШКЕЛЯНЕЦ А.В., ДЫЯ Х.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ «ВРЕЗНОГО КОЛЬ-
ЦА» С ЦЕЛЬЮ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ДВУХПРО-
ХОДНОЙ ГОРЯЧЕЙ ШТАМПОВКИ ПОЛНОПРОФИЛЬНОЙ ЗАГОТОВКИ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕС**

32

ДРАГОБЕЦКИЙ В.В., МОРОЗ Н.Н., ТРОЦКО О.В.

**ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТ-
РОВ ПРОЦЕССА ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ЛИСТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ С РАЦИО-
НАЛЬНЫМ ВЫБОРОМ ИНТЕНСИФИЦИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ**

38

**КАРГИН Б.С., ДИАМАНТОПУЛО К.К., КАРГИН С.Б. ТКАЧЁВ Р.О. СОЗДАНИЕ
И ПРОМЫШЛЕННОЕ ОСВОЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИ-
СТЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СМАЗОК ДЛЯ ШТАМПОВКИ**

43

ТИХОМИРОВ Ю.С., КУЗЬМЕНКО В.И.

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ, АЛГОРИТМА И ОБУЧАЮЩЕЙ ПРОГРАММЫ
ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕПЛОВЫХ И КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПЛА-
МЕННЫХ ПЕЧЕЙ**

45

ЛОБАНОВ В.К., ЧУЙКОВА Е.В.

**НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ШТАМПОВКИ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРШНЕЙ
ДВС**

53

Е.А. ФРОЛОВ, М.М. БУДЕННЫЙ, И.В. МАНАЕНКОВ

**ПНЕВМОУДАРНАЯ ШТАМПОВКА СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ
ЛИСТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ**

57

ПІДГІРНА В.О.

**АНАЛІЗ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗАГОТОВАНOK ДЕТАЛЕЙ ТИПУ СТАКАН ДЛЯ
ПРОЦЕСУ ВИДАВЛЮВАННЯ**

62

ВАСИЛЬЕВ К.И., ЯБЛОНОВСКАЯ А.В., ОХРИМЕНКО М.А.

**РАСЧЕТ ДИАМЕТРА ЗАГОТОВКИ ДЛЯ ЛИСТОВОЙ ВЫТЯЖКИ ОСЕСИМ-
МЕТРИЧНОЙ ДЕТАЛИ С ОБРАЗУЮЩЕЙ ПРОИЗВОЛЬНОЙ КОНФИГУРА-
ЦИИ.**

66

КУЗЬМЕНКО В.И., ЛЫЖНИКОВ Е.И. ПРОЦЕССЫ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ ВЗАМЕН ЛИТЬЯ	70
АРТЕС А.Э. НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ШТАМПОВАННЫХ ПОКОВОК	72
ТИТОВ В.А., ТИТОВ А.В. НЕКОТОРЫЕ ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ПРОЦЕССОВ ВЫГЛАЖИВАНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	78
Н.Ю. КАЛИНИЧЕНКО, С.Е. МАРКОВИЧ ПРОБЛЕМЫ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЙ АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ СПЕЦИАЛЬНЫХ СПЛАВОВ И ДЕТАЛЕЙ С ГАЗОДЕТОНАЦИОННЫМИ ПОКРЫТИЯМИ	86
В.Я. ДАНИЛЕНКО, В.О. ЄВСТРАТОВ, В.І. КУЗЬМЕНКО ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРТЯ ПРИ ХОЛОДНІЙ ПЛАСТИЧНІЙ ДЕФОРМАЦІЇ	96
ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ, МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ	107
СМИРНОВ Е.Н., СНИТКО С.А., СПИРИДОНОВ Д.В., ЭТИГИН С.О. ОЦЕНКА ПЛАСТИЧНОСТИ СПЛАВА CuZn39Pb3 МЕТОДОМ ИСПЫТАНИЯ ОБРАЗЦОВ С КОНЦЕНТРАТОРОМ НАПРЯЖЕНИЯ	107
ГАРЬКАВЫЙ В.В. НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ ЗАГОТОВОК КЛЮЧ К ПОВЫШЕНИЮ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОКАТНОГО И КУЗНЕЧНО-ШТАМПОВОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА	110
ГУЛЯЕВ Ю.Г., ГАРМАШОВ Д.Ю. ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА КРУПНОГАБАРИТНЫХ ТРУБ ДЛЯ КОРПУСОВ ПЭН И ПЭД	112
КАЛЮЖНИЙ О.В. ПРОГНОЗУВАННЯ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ ВИРОБІВ В ПРОЦЕСАХ ВІДБОРТУВАННЯ	118
МАКОВЕЙ В.А., ВАСИНЮК И.М., ВАСИНЮК С.И. ДЕФЕКТОСКОПИЯ ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ШТАМПОВ	122
ПЛЕСНЕЦОВ Ю.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДЕФОРМАЦИОННОГО УПРОЧНЕНИЯ И ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ	126
КИРИЕНКО А. И. ДСТУ ISO 9001:2009, СЕРТИФИКАЦИЯ – СВИДЕТЕЛЬСТВО НАПРАВЛЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ НА ВЫСОКУЮ КОНКУРЕНТНУЮ СПОСОБНОСТЬ	133
Г.М. ТРИЩ, С.И. КОРОБКО ПРОЦЕССНЫЙ ПОДХОД В УПРАВЛЕНИИ КАЧЕСТВОМ	136

Наукове видання

**ВІСНИК НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ "ХПІ"**

Збірник наукових праць

Тематичний випуск

"Нові рішення в сучасних технологіях"

Випуск №32

Технічний редактор Т.Л. Коворотный

Відповідальний за випуск В.М. Луньова

Обл.-вид. №132-09

Підписано до друку 18.11.2009. Формат 60х84/16. Папір офсетний.
Друк офсетний. Ум.-друк. арк. 8.

Надруковано у видавництві "Технологічний центр".
61145 Харків, вул. Новгородська 3а
Тел./факс (057) 750-89-90