

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

ВІСНИК
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
«ХПІ»

*Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки
матеріалів у машинобудуванні та металургії*

№ 47 (1166) 2015

Збірник наукових праць

Видання засновано у 1961 році

Харків
НТУ «ХПІ» 2015

Вісник Національного технічного університету «ХПІ»

Збірник наукових праць. Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 47 (1166)– 97 с.

Державне видання

Свідоцтво Держкомітету з інформаційної політики України

КВ № 5256 від 2 липня 2001 року

Збірник виходить українською та російською мовами.

Вісник Національного технічного університету «ХПІ». внесено до «Переліку наукових Фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук», затвердженого постановою президії ВАК «України від 26 травня 2010 р. №1 – 05/4. (Бюлетень ВАК України Ноб, 2010 р. стор. 3 № 20)

Координаційна рада:

Л. Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, д-р техн. наук, проф. (**голова**)

К. О. ГОРБУНОВ, канд. техн. наук, доц. (**секретар**)

А. П. Марченко, д-р техн. наук, проф.; Є. І. Сокол, чл. -кор. НАНУ, д-р техн. наук, проф.; Є. Є. Александров, д-р техн. наук, проф.; А. В. Бойко, д-р техн. наук, проф.; Ф. Ф. Гладкий, д-р техн. наук, проф.; М. Д. Годлевський, д-р техн. наук, проф.; А. І. Грабченко, д-р техн. наук, проф.; В. Г. Данько, д-р техн. наук, проф.; В. Д. Дмитриєнко, д-р техн. наук, проф.; І. Ф. Домнін, д-р техн. наук, проф.; В. В. Єпіфанов, канд. техн. наук, проф.; Ю. І. Зайцев, канд. техн. наук, проф.; П. О. Качанов, д-р техн. наук, проф.; В. Б. Клепиков, д-р техн. наук, проф.; С. І. Кондрашов, д-р техн. наук, проф.; В. М. Кошельник, д-р техн. наук, проф.; В. І. Кравченко, д-р техн. наук, проф.; Г. В. Лісачук, д-р техн. наук, проф.; О. К. Морачковський, д-р техн. наук, проф.; В. І. Николаєнко, канд. іст. наук, проф.; П. Г. Перерва, д-р екон. наук, проф.; В. А. Пуляєв, д-р техн. наук, проф.; М. І. Рищенко, д-р техн. наук, проф.; В. Б. Самородов, д-р техн. наук, проф.; Г. М. Сучков, д-р техн. наук, проф.; М. А. Ткачук, д-р техн. наук, проф.; Ю. В. Тимофєєв, д-р техн. наук, проф.

Редакційна колегія серії:

Відповідальний редактор: А. П. Марченко, д-р техн. наук, проф.

Заступник відповідального редактора: Ю. О. Плеснецов, канд. техн. наук, ст.н.с.

Відповідальний секретар: В. М. Левченко, канд. техн. наук, доц.

Члени редколегії: І. С. Алієв, д-р техн. наук, проф.; Г. А. Баглюк, д-р техн. наук, проф.; Бар Рюдигер, д-р техн. наук, проф.; О. М. Головка, д-р техн. наук, проф.; В. В. Драгобецький, д-р техн. наук, проф.; С. В. Єршов, д-р техн. наук, проф.; В. Л. Калюжний, д-р техн. наук, проф.; В. К. Лобанов, д-р техн. наук, проф.; М. Є. Тараненко, д-р техн. наук, проф.; Є. М. Смирнов, д-р техн. наук, проф.; Г. М. Сучков, д-р техн. наук, проф.; В. А. Тітов, д-р техн. наук, проф.; О. І. Тришевський, д-р техн. наук, проф.; С. В. Федоров, д-р техн. наук, проф.; Є. А. Фролов, д-р техн. наук, проф.; В. Хомберг, д-р техн. наук, проф.; В. В. Чигиринський, д-р техн. наук, проф.

У квітні 2013 р. Вісник Національного технічного університету «ХПІ», серія «Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії», включений у довідник періодичних видань бази даних Ulrich's Periodicals Directory (New Jersey, USA).

Рекомендовано до друку вченою радою НТУ «ХПІ»

Протокол № 9 від 31 жовтня 2015 р.

© Національний технічний університет «ХПІ», 2015

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY
«KHARKIV POLYTECHNIC INSTITUTE»

BULLETIN
OF
THE NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY
«KHARKIV POLYTECHNIC INSTITUTE»

*Series: Innovative technologies and equipment handling
materials in mechanical engineering and metallurgy*

No 47 (1166) 2015

Collected Works

The publication was founded in 1961

Kharkiv
NTU "KhPI" 2015

Collected Works. Series: Innovative technologies and equipment handling materials in mechanical engineering and metallurgy. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2015. – No 47 (1166) – 97 p.

State Edition

Certificate of State Committee of Ukraine for Information Policy

KB No 5256 from July 2, 2001

The collection is published in Ukrainian and Russian.

Bulletin of the National Technical University "KhPI" included in the "List of scientific professional editions of Ukraine", which can be published results of dissertations for the degree of doctor and candidate of sciences, approved by order of the (MES of Ukraine) of 26 May 2010 r. No1 – 05/4. (Bulletin of HAC of Ukraine #6, 2010, p. 3 No 20)

Coordinating Council:

L.L. Tovazhnyansky, Dr. of Sciences, professor. (head)

K.A. Gorbunov, PhD. (secretary)

A.P. Marchenko, Dr. of Sciences, professor; E.I. Sokol, correspondent-member of National Academy of Sciences, Dr. of Sciences, professor.; E.E. Aleksandrov, Dr. of Sciences, professor.; A. Boyko, Dr. of Sciences, professor.; F.F. Gladkiy, Dr. of Sciences, professor.; Godlevskiy M.D., Dr. of Sciences, professor.; A.I. Grabchenko, Dr. of Sciences, professor.; V.G. Danko, Dr. of Sciences, professor.; V.D. Dmytryyenko, Dr. of Sciences, professor.; J.F. Domnina, Dr. of Sciences, professor.; V. Epifanov, PhD., professor.; Y.I. Zaitsev, PhD., professor.; P. Kachanov, Dr. of Sciences, professor.; Klepikov V.B., Dr. of Sciences, professor.; S. Kondrashov, Dr. of Sciences, professor.; V.M. Koshelnyk, Dr. of Sciences, professor.; V. Kravchenko, Dr. of Sciences, professor.; G.V. Lisachuk, Dr. of Sciences, professor.; O.K. Morachkovskiy, Dr. of Sciences, professor.; V. Nikolaenko, PhD., Prof.; P.G. Pererva, Dr. of Sciences, professor.; V.A. Pulyaev, Dr. of Sciences, professor.; M.I. Rischenko, Dr. of Sciences, professor.; V.B. Samorodov, Dr. of Sciences, professor.; G.M. Suchkov, Dr. of Sciences, professor.; M.A. Tkachuk, Dr. of Sciences, professor.; V. Timofeev, Dr. of Sciences, professor.

The editorial board of the series:

Editor: A.P. Marchenko, Dr. of Sciences, professor.

Deputy managing editor: Y.O. Plesnetsov, PhD., senior scientist

Secretary: V.N. Levchenko, PhD., Sciences Assoc.

Members of the Editorial Board: I.S. Aliyev, Dr. of Sciences, prof., G.A. Bahlyuk, Dr. of Sciences, professor.; Bar Ryudyher, Dr. of Sciences, professor.; A. Golovko, Dr. of Sciences, professor.; Drahobetsky V., Dr. of Sciences, professor.; SV Ershov Dr. of Sciences, professor.; B. JI. Kalyuzhny, Dr. of Sciences, professor.; N.E. Taranenko, Dr. of Sciences, professor.; E.M. Smirnov, Dr. of Sciences, professor.; G.M. Suchkov, Dr. of Sciences, professor.; V.A. Titov, Dr. of Sciences, professor.; O.I. Trishevsky, Dr. of Sciences, professor.; S.V. Fedorov, Dr. of Sciences, professor.; E.A. Frolov, Dr. of Sciences, professor.; Homberh V., Dr. of Sciences, professor.; V. Chigirinsky, Dr. of Sciences professor.

Recommended for publication by the Academic Council of NTU "KhPI"

Protocol No 9 from October 31, 2015

Памяти Виктора Константиновича Лобанова



4 декабря 2015 года преждевременно прервалась жизнь талантливого ученого и инженера, Лауреата Государственной премии Украины в области науки и техники, Заслуженного изобретателя Украины, академика Украинской академии наук (УАН), доктора технических наук, руководителя Центральной лаборатории Государственного предприятия «Завод имени В.А. Малышева», профессора кафедры «Обработка металлов давлением» Национального технического университета «Харьковский политехнический институт» **Лобанова Виктора Константиновича.**

В.К. Лобанов родился 14 августа 1937 года в п.г.т. Сузун, Сузунского района, Новосибирской области. Закончив с отличием в 1960 году Харьковский политехнический институт, начал свой трудовой путь инженером-конструктором в кузнечном цехе Харьковского завода имени В.А. Малышева, где вскоре стал начальником конструкторской группы. Под его руководством и при его непосредственном участии была разработана штамповая оснастка для изготовления деталей танка Т-64, двигателя 5ТДФ, дизелей 2Д70 и 5Д70, пусковых установок ракет ПР11А, ПР11Б, 5Ю24 и др.

Через несколько лет после начала работы В.К. Лобанов был направлен на обучение в батальон спец. назначения Киевского танкотехнического училища, где прошел полный курс военной подготовки. Вернувшись на предприятие, поступил в заочную аспирантуру, и через два года без отрыва от производства в 1969 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Накопив значительные знания и опыт, В.К. Лобанов в 1970 году был переведен в Центральную лабораторию ГП «Завод имени В.А. Малышева» в качестве начальника лаборатории материаловедения кованого металла, где широко развернул работы по разработке новых схем горячего формообразования металла.

При этом В.К. Лобанов проявил себя инициативным, талантливым, высококвалифицированным специалистом. Значительная часть внедренных в производство работ выполнены на уровне изобретений. Он автор 132 патентов Украины и авторских свидетельств на изобретения СССР, внедрил в производство более 250 рационализаторских предложений, позволивших предприятию получить значительный экономический эффект.

В 1983 году за успехи в изобретательной деятельности ему было присвоено почетное звание «Заслуженный изобретатель Украинской ССР», в 1984 году за разработку и внедрение в производство высокоэффективных процессов изготовления тяжело нагруженных деталей боевых гусеничных машин присуждена Государственная премия Украины в области науки и техники.

В 1989 году Виктор Константинович защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук. В 2000 г. В.К. Лобанов был назначен заместителем начальника Центральной лаборатории ГП «Завод имени В.А. Малышева», где и работал до последних дней. В 1996 г. ему было присвоено звание старшего научного сотрудника, в 2001 г. – научное звание профессора, в 2004 г. он был избран действительным членом (академиком) Украинской академии наук (УАН).

Его трудовые заслуги отмечены Государственными наградами, многочисленными благодарностями и почетными грамотами, в том числе Грамотой и знаком Министерства оборонной промышленности СССР, медалью ВДНХ, золотым знаком ВСНТО, знаком «Изобретатель СССР» и др. Он удостоен звания «Почетный дизелестроитель». Информация о Викторе Константиновиче Лобанове включена в книгу «Науковці уславили Харківщину».

Основные теоретические и технологические разработки В.К. Лобанова посвящены специальным методам формообразования заготовок и структур деталей специального назначения, а также созданию и внедрению в производство новых технологических процессов

изготовления тяжело нагруженных деталей. Он выполнил комплекс исследований формообразования заготовок деталей сложной конфигурации с использованием разнообразных формообразующих операций, что позволило широко внедрить разработанные технологии в промышленное производство, предложил методы изготовления биметаллических деталей и упрочнения материалов деталей средами высокого давления. Эти разработки направлены на экономию металла, повышение стойкости штамповой оснастки, снижение себестоимости, улучшение качества и работоспособности деталей.

Особенностью этих научных разработок являлось органичное объединение теоретических и технологических исследований с последующей промышленной реализацией. Результаты научно-исследовательских работ и методических рекомендаций В.К. Лобанова используются во многих отраслях промышленности Украины, стран ближнего зарубежья, Индии, Германии, Японии.

В.К. Лобанов принимал активное участие также в научно-педагогической работе. Работал старшим научным сотрудником на кафедре «Технология самолетостроения» НАКУ «ХАИ», с 1969 года – старшим преподавателем, а с 1990 года – профессором кафедры «Обработка металлов давлением» НТУ «ХПИ». Подготовил 5 учебных программ и лекционных курсов по специальности ОМД.

Как ведущий специалист в области материаловедения и обработки металлов давлением В.К. Лобанов опубликовал 4 монографии, более 330 научно-технических работ. Под его непосредственным руководством защищено 5 кандидатских диссертаций, подготовлено большое количество специалистов и магистров. Его научные и методические работы используются в НТУ «ХПИ», в НАКУ «ХАИ», в МВТУ им. Баумана и в др. вузах.

В.К. Лобанов входил в состав докторских ученых Советов по присуждению ученых степеней НТУ «ХПИ» и НАКУ «ХАИ», был ученым секретарем производственно-технического совета ГП «Завод имени В.А. Малышева».

Виктор Константинович обладал бесспорно высокими качества руководителя и организатора, и при этом был человеком очень доброжелательным, щедро делился своим научным, производственным и жизненным опытом с коллегами и студентами, пользовался всеобщим уважением и любовью.

Трудно представить, что нет больше с нами этого чудесного человека, умного, интеллигентного, благожелательного, учителя и друга. Светлая память о нем навсегда сохранится в наших сердцах.

УДК 621.735.36

І. С. АЛІЄВ, М. О. МАРКОВА, В. М. ЗЛИГОРЄВ, Ю. О. ЯЧМІНЬ

РОЗПОДІЛ ІНТЕНСИВНОСТІ ДЕФОРМАЦІЙ ПРИ КУВАННІ БОЙКАМИ З ВИПУКЛИМ ПРОФІЛЕМ

Запропоновано новий технологічний процес кування пустотілих поковок вирізними бойками зі скосами. Досліджувалися різні кути скосів бойків (10, 20 і 30 градусів) і довжини горизонтальних ділянок цих бойків. При кутах скоса бойків в 10° і вузьких деформуючих крайках відбувається рівномірний розподіл деформацій в об'ємі поковки. Рациональною геометрією інструменту є бойки з кутом скосів $10...20^\circ$ і величиною подачі $b/D = 0,1$. Хвилястість поверхні отвору не перевищує величину припуску на механічну обробку.

Ключові слова: кування, протягування, оправка, вирізні бойки, кут вирізу, кут скосу, ступінь деформації, величина подачі, ступінь обтиснення.

Вступ. В сучасних умовах необхідно підвищувати якість і знижувати витрати на виготовлення великих деталей особливо відповідального призначення, які застосовуються в енергетиці та важкому машинобудуванні. До таких деталей відносяться пустотілі циліндри і циліндри з дном.

Аналіз літератури. Пустотілі циліндри виготовляються куванням на оправці, а циліндри з дном передбачають приварювання або заковування дна [1]. Зварні деталі поступають за якістю цільнокованим і застосування їх в якості деталей особливо відповідального призначення має певні складнощі. Підвищення експлуатаційних характеристик, даних деталей, вимагає розробки нових схем деформування для забезпечення високої якості заготовок [2; 3].

Куванням-протягуванням пустотілих поковок займався Ю. М. Антощенков [4–6], чиї дослідження були спрямовані на вдосконалення технології кування-протягування за рахунок оптимізації конфігурації інструменту. Поширеним способом виготовлення поковок циліндрів з дном є спосіб кування циліндра на оправці з подальшим заварюванням дна [7].

Існуючі методи виготовлення пустотілих циліндрів з дном не забезпечують усунення дефектів металургійного походження. Недоліками даних способів є складність забезпечити повне заковування дна, необхідність використання дорогої оправки, недостатня надійність зварювального шва. Виготовлення деталей з високим комплексом експлуатаційних характеристик можливо за рахунок застосування нового способу отримання цількованих поковок без оправки [8].

Метою роботи є визначення напружено-деформованого стану в процесі протягування пустотілих заготовок без оправки при різних геометричних параметрах заготовки та інструменту. Деформований стан заготовки дозволить розробити рекомендації для проектування нових технологічних процесів кування пустотілих заготовок.

Метод дослідження. Дослідження процесів протягування здійснювалося методом скінчених елементів. При протягуванні завжди відбувається

зменшення площі поперечного перерізу і збільшення довжини заготовки. Ця умова має зберігатися і для протягування пустотілих заготовок. Отже, при збільшенні початкової площі поперечного перерізу заготовки (для малих співвідношень d_0/D) і при однаковому ступені деформації заготовки довжина заготовки після протягування буде більше (виконання закону сталості обсягу в процесі пластичної деформації).

Протягування пустотілих заготовок класичними вирізними бойками не сприяє інтенсивному подовженню заготовки, а навпаки сприяє інтенсивному заковуванню отвору пустотілої заготовки. У цьому зв'язку необхідно удосконалювати схему кування пустотілих заготовок без оправки для збільшення інтенсивності подовження металу заготовки, а відповідно, зменшення величини заковування за рахунок зменшення інтенсивності збільшення товщини стінки пустотілої заготовки (рис. 1).

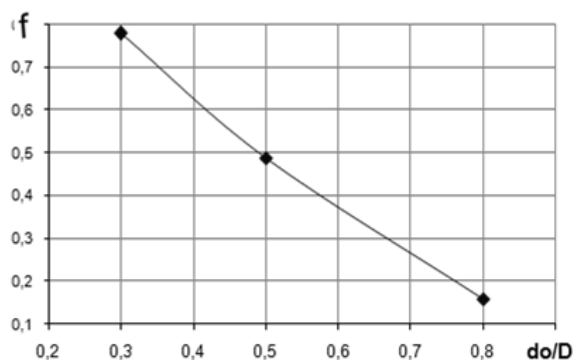


Рис. 1 – Вплив відносного діаметру отвору заготовки на інтенсивність заковування отвору поковки вирізними бойками

Вихідні дані для розрахунку: сталь 34ХНМ4; швидкість деформування $v = 40$ мм / с. Температурний інтервал кування $1200...800$ °С, щільність при кімнатній температурі 7840 кг / м³; модуль Юнга $2 \cdot 10^5$ МПа; коефіцієнт Пуассона $0,3$.

Заготовки протягувалися вирізними бойками з кутами вирізу $\alpha = 90^\circ, 115^\circ, \text{ та } 140^\circ$ (рис. 2) і різною довжиною горизонтальної полиці деформуючої частини, яка визначає величину подачі $b = 100, 200, 300$ мм (відносна подача $0,1D; 0,2D; 0,3D$,

відповідно). Ступінь деформації (обтиснення ϵ) – в діапазоні 20...60 %.

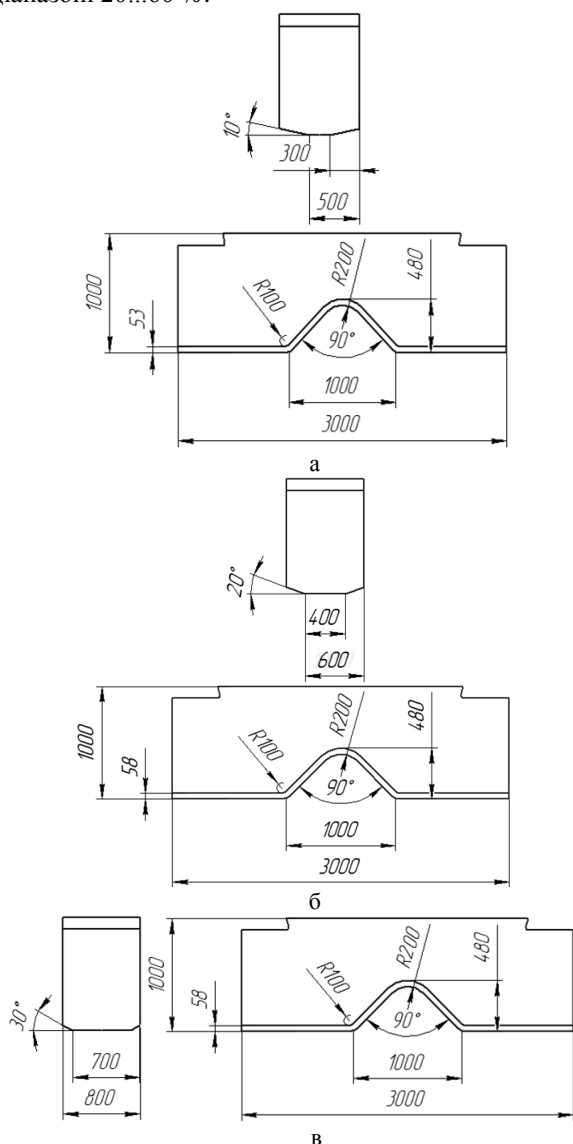


Рис. 2 – Інструмент для протягування з різними кутами скосів шириною та довжиною деформуючої частини: а – 0,1D; б – 0,2D; в – 0,3D

Зменшити ступінь заковування отвору в поковці можна за рахунок інтенсифікації подовження при протягуванні. Збільшити витяжку при протягуванні можна за рахунок застосування вирізних бойків зі скошеними кромками, зменшення подачі і обтиснення.

Ідея застосування вирізних бойків зі скосами полягає в тому, що така геометрія деформуючого інструменту забезпечує опрацювання поверхневих шарів заготовки і завдяки невеликим подачам плин металу відбувається уздовж осі заготовки, що забезпечує її подовження і виключає повне заковування отвору.

Для забезпечення високої якості поверхні і виключення освіти затискачів при протягуванні вирізними бойками, обтиснення має становити не більше 10% від діаметра заготовки, подача 10%. Деформування здійснювалося поетапно, з обтисненням за прохід 10 % від діаметра зразка.

Протягування здійснювалося наступним чином: прохід → кантування на 90° → прохід → кантування на 90° → прохід → кантування на 45° → прохід. При такій схемі кування на кінцевому етапі отримали заготовку, що має в поперечному перерізі форму багатокутника за формою близькою до кола. Для даної геометрії інструменту в процесі протягування на поверхні поковки не утворюються затискачі і метал плине інтенсивно уздовж осі заготовки. По закінченні процесу деформування поковка має поверхню близьку до циліндричної.

У дослідженні використовувалися циліндричні сталеві порожнисті заготовки. Діаметр заготовок $D = 1000$ мм, а діаметр отвору – $d_0 = 800$ мм, висота заготовок $H_1 = 480$ мм. Досліджувався вплив трьох факторів, які варіювалися на трьох рівнях.

У результаті моделювання було встановлено розподіл деформацій в об'ємі заготовки та формозміна отвору при протягуванні без застосування оправки. Ступінь деформації заготовки – 20 %, 40 % і 60 %.

Процес кування пустотілих поковок без оправки характеризується тривимірним плином металу. Протягування заготовки вирізними бойками призводить до її подовження і збільшення товщини стінки. Інтенсифікувати подовження при протягуванні, а відповідно знизити ступінь заковування отвору в заготовці можна за рахунок застосування вирізних бойків зі скосами, а також застосування малих подач. Тому варіювалася додатково величина подачі. З досвіду кування плит плоскими бойками зі скосами ефективний кут складає $10...30^{\circ}$ [9]. На подовження і розширення при протягуванні значний вплив робить величина відносної подачі заготовки в бойки (ϵ_D). Для інтенсифікації подовження при протягуванні слід застосовувати малі подачі. Перевищення величини подачі довжини горизонтальної полиці бойків призведе до утворення хвилястості і зажимів на поверхні поковки. Відносна подача становила 0,1; 0,2; 0,3 від діаметра заготовки, відповідно. Тому дослідження можна розділити на три схеми, при яких буде варіюватися величина подачі. Формозміна заготовки та заковування отвору залежить від напружено-деформованого стану (НДС). НДС, в свою чергу, залежить від схеми деформування, геометрії інструменту та режимів кування.

Аналіз результатів моделювання процесу кування тонкостінних заготовок ($d_0/D = 0,8$) вирізними бойками з кутом $\alpha = 90^{\circ}$ дозволив зробити висновок, що деформації при обтисненні 40 % розподіляються в тілі заготовки рівномірно.

Однак при обтисненні 60 % градієнт деформацій в стінці і дні поковки відрізняється – максимальні деформації локалізуються з боку дна циліндра (рис. 3). При цьому деформації зосереджуються в периферійних шарах заготовки. Це пояснюється тим, що бойки зі скосами не сприяють глибокому проникненню зони пластичної деформації до осі заготовки. Максимальний градієнт деформацій виникає при куванні бойками з

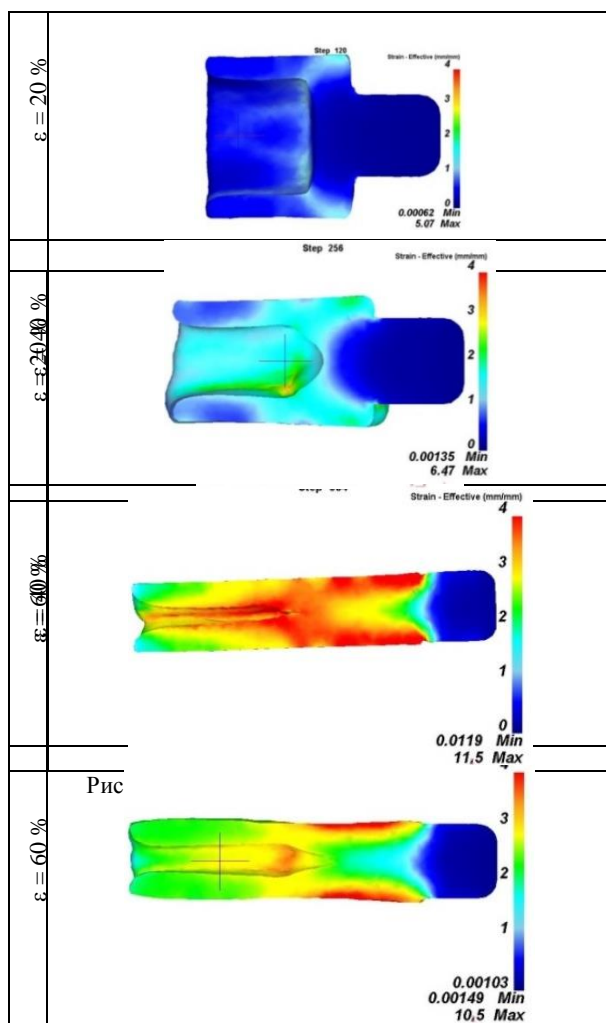


Рис. 3 – Розподіл інтенсивності деформацій при величині подачі 0,1D

кутом скосів $\beta = 20^\circ$ і досягає значення 11,5 одиниць (рис. 4). Високий рівень накопичення пластичних деформацій у тілі заготовки з високою рівномірністю їх розподілу спостерігається при використанні бойків з кутами скосів $\beta = 10^\circ$ (рис. 3), тому надалі можна розглядати цю схему для розробки технологічного процесу кування пустотілих циліндрів з дном.

При протягуванні відбувається збільшення товщини стінки заготовки, проте повного заковування отвору при уковах, рівних 2,5 не спостерігається.

Особливо ця закономірність характерна для схем протягування з малими подачами (рис. 3), які складають 0,1D. Для схеми кування з малими подачами відсутність оправки не призводить до утворення різновтовщинності стінки заготовки, що перевищує вимоги креслення поковки. Однак, слід зазначити зміни форми дна заготовки в процесі протягування, що потребує збільшення напуску на механічну обробку отвору.

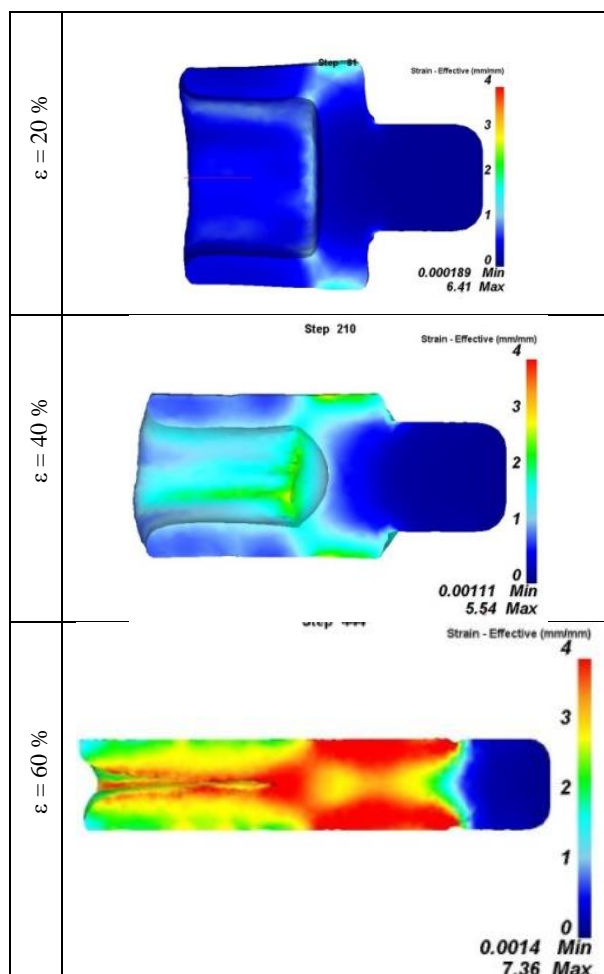


Рис. 5 – Розподіл інтенсивності деформацій при величині подачі 0,3D

Збільшення подачі призводить до більшого заковування отвору і спотворення його форми (рис. 4, 5). Це пояснюється глибоким проникненням зони пластичної деформації при збільшенні подачі. Ковка пустотілих глухоніжних заготовок призводить до збільшення товщини дна в процесі кування, що також слід враховувати при розробці технологічного процесу одержання таких поковок.

Висновки

1. Вибрані геометричні параметри заготовки та інструменту (відносний діаметр отвору заготовки, вирізні бойки з кутом 90° і величиною відносної подачі 0,1D) забезпечують рівномірний розподіл деформацій і не призводять до повного заковування отвору.

2. Для схем кування з малими подачами відсутність оправки не призводить до утворення різновтовщинності стінки заготовки, яка б перевищувала вимоги креслення поковки. Хвилястість поверхні отвору не перевищує величину припуску на механічну обробку, що буде гарантувати отримання заданих розмірів поковки без оправки. Збільшення подачі призводить до більшого заковування отвору і спотворення його форми.

3. Слід зазначити зміни форми дна заготовки в процесі протягування, що потребує збільшення

напуску на механічну обробку отвору. Ковка пустотілих глухдонних заготовок призводить до збільшення товщини дна в процесі кування.

4. Аналіз результатів теоретичних і експериментальних досліджень дозволив встановити закономірності напружено-деформованого стану порожнистих заготовок в процесі протягання вирізними бойками зі скосами, та розробити рекомендації для проектування технологічного процесу кування порожнистих заготовок з дном.

Список літератури: 1. Новые технологические процессы ковки крупных прессовых поковок : монография / П. П. Кальченко, О. Е. Марков. – Краматорск : ДГМА, 2014. – 100 с. – ISBN 978-966-379-692-5. 2. Марков О. Е. Ресурсосберегающие технологические процессы ковки крупных валов и плит : монография / О. Е. Марков, И. С. Алиев. – Краматорск : ДГМА, 2012. – 324 с. – ISBN 978-966-379-583-6. 3. Кобелев О. А. Изготовление толстостенных трубных поковок и заготовок для производства плит / О. А. Кобелев, В. А. Тюрин // Кузнечно-штамповочное производство. – 2008. – № 1. – С. 27–30. 4. Антощенко Ю. М. Влияние внешних зон на формоизменение заготовки при ковке / Ю. М. Антощенко // Кузнечно-штамповочное производство. – 2001. – № 6. – С. 19–21. 5. Сидоров А. Н. Распределение напряжений в очаге деформации при ковке плоскими бойками сплошных и полых цилиндрических заготовок / А. Н. Сидоров, Ю. М. Антощенко // Кузнечно-штамповочное производство. – 1996. – № 9. – С. 32–34. 6. Антощенко Ю. М. Результаты промышленной ковки полых заготовок бойками с непрямолинейным фронтом подачи / Ю. М. Антощенко // Кузнечно-штамповочное производство. – 2001. – № 7. – С. 26–27. 7. Каргин Б. С. Сравнение производительности при протяжке пустотелых поковок на оправке комбинированными и вырезными бойками. / Б. С. Каргин, Е. С. Котова // Вісник приазовського державного технічного університету, 2013 р. – № 27. – С. 9–13. 8. Пат. 86881 Україна, МПК (2013.01) В 21 J 5/00. Спосіб кування порожнистих циліндрів з дном / Марков О. Є., Маркова М. О.; заявник та власник Марков О. Є., Маркова М. О., Краматорськ. –

№ u201309697; заявл. 05.08.13; опубл. 10.01.14, Бюл. № 1. – 5 с. : іл. 9. Марков О. Е. Деформированное состояние при протяжке укороченных слитков бойками со скосами [Электронный ресурс] / О. Е. Марков // Научный вестник ДГМА : сб. науч. трудов. – Краматорск, 2013. – № 2 (12Е). – С. 70–78. – Режим доступа: [http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/science_vesnik/№2\(12E\)_2013/article/12.pdf](http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/science_vesnik/№2(12E)_2013/article/12.pdf).

Bibliography (transliterated): 1. Novye tekhnologicheskie processy kovki krupnyh pressovyh pokovok: monografiya. P. P. Kal'chenko, O. E. Markov. Kramatorsk : DGMA, 2014. 100 p. 2. Markov O. E. Resursosberegayushchie tekhnologicheskie processy kovki krupnyh valov i плит : monografiya. O. E. Markov, I. S. Aliev. Kramatorsk : DGMA, 2012. 324 p. 3. Kobelev O. A. Izgotovlenie tolstostennyh trubnyh pokovok i zagotovok dlya proizvodstva плит. O. A. Kobelev, V. A. Tyurin. Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. 2008. No 1. P. 27–30. 4. Antoshchenkov Yu. M. Vliyaniye vneshnih zon na formoizmeneniye zagotovki pri kovke. Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. 2001. No 6. P. 19–21. 5. Sidorov A. N. Raspredeleeniye napryazheniy v ochage deformatsii pri kovke ploskimi bojkami sploshnyh i polyh cilindricheskikh zagotovok. A. N. Sidorov, Yu. M. Antoshchenkov. Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. 1996. No 9. P. 32–34. 6. Antoshchenkov Yu. M. Rezul'taty promyshlennoy kovki polyh zagotovok bojkami s nepryamolineynym frontom podachi. Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. 2001. N 7. P. 26–27. 7. Kargin B. S. Sravneniye proizvoditel'nosti pri protyazhke pustotelyh pokovok na opravke kombinirovannymi i vyreznymi bojkami. B. S. Kargin, E. S. Kotova. Visnik priazov'skogo derzhavnogo tekhnichnogo universiteta, 2013. No 27. P. 9–13. 8. Markov O. E., Markova M. O. Sposib kuvannya porozhnistih cilindriv z dnom. Pat. 86881 Ukraina, MPK (2013.01) B 21 J 5/00. 10.01.14. 9. Markov O. E. Deformirovannoye sostoyaniye pri protyazhke ukorochennyh slitkov bojkami so skosami [Elektronnyy resurs] / O. E. Markov. Nauchnyy vestnik DGMA: sb. nauch. trudov. Kramatorsk, 2013. No 2 (12E). P. 70–78. Rezhim dostupa: [http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/science_vesnik/№2\(12E\)_2013/article/12.pdf](http://www.dgma.donetsk.ua/science_public/science_vesnik/№2(12E)_2013/article/12.pdf).

Надійшла (received) 01.11.2015

Відомості про авторів / About the Authors

Алієв Іграмотдін Серажутдінович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри «Обробка металів тиском» Донбаської державної машинобудівної академії, м. Краматорськ, тел.: (0626) 41-67-20.

Aliiev Igramotdin Serazhutdinovich, Doctor of Technical Sciences, Full Professor. Professor at the Department of “Metal Forming” of Donbas State Engineering Academy, Kramatorsk, tel.: (0626) 41-67-20.

Маркова Марина Олександрівна, аспірант кафедри «Обробка металів тиском» Донбаської державної машинобудівної академії, м. Краматорськ, тел.: (0626) 41-67-20. e-mail: markova.mar.alex@mail.ru

Markova Marina Oleksandrivna, Postgraduate Student at the Department of “Metal Forming” of Donbas State Engineering Academy, Kramatorsk, tel.: (0626) 41-67-20. markova.mar.alex@mail.ru

Злигорєв Віталій Михайлович, аспірант кафедри «Обробка металів тиском» Донбаської державної машинобудівної академії, м. Краматорськ.

Zligorev Vitalij Mihajlovich, Postgraduate Student at the Department of “Metal Forming” of Donbas State Engineering Academy, Kramatorsk.

Ячмінь Юлія Олегівна, студентка Донбаської державної машинобудівної академії, м. Краматорськ.

Yachmin Yuliya Olegivna, Student at the Department of “Metal Forming” of Donbas State Engineering Academy, Kramatorsk.

УДК 621.961.01

І. В. БЕНЬ, М. В. ОРЛЮК

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ СІТКИ СКІНЧЕНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ПРОЦЕСУ ВИРУБУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ В СЕРЕДОВИЩІ DEFORM 3D

В роботі досліджується вплив параметрів моделювання процесу вирубування (пробивання) в програмному середовищі DEFORM 3D на достовірність результатів, для оцінки результатів використані експериментальні та теоретичні дані. Для порівняння обрано найбільш важливі параметри процесу завдяки яким можна провести аналіз. Відзначається значний вплив параметрів сітки скінчених елементів на результати моделювання, так для отримання достовірних результатів сітка має складатись із рівновісних елементів, ущільнених в осередку деформації.

Ключові слова: вирубка, комп'ютерне моделювання, DEFORM 3D, сітка скінчених елементів, критерій руйнування, деформація, компоненти напружень, перестроювання сітки, сколююча тріщина.

Вступ. Останнім часом при розробці технологічних процесів виготовлення складних деталей і проектуванні штампового оснащення все частіше використовується попереднє комп'ютерне моделювання формують операцій у середовищі DEFORM 3D. Завдяки високій достовірності одержуваних результатів моделювання дозволяє встановити нові особливості та закономірності процесів, які аналітично і експериментально визначити складно, а іноді й неможливо.

Отримані в результаті моделювання дані можуть бути використані і для вирішення актуальної проблеми підвищення точності штампованих деталей, в тому числі деталей, що отримують вирубуванням (пробиванням). Підвищення якості і точності виробів на стадії вирубування дозволяє зменшити або повністю усунути витрати на подальшу обробку деталей з метою підвищення їх точності, що веде до значної економії, особливо в масовому та серійному виробництві.

Мета дослідження. Основною задачею даного дослідження є встановлення достовірності результатів моделювання процесу вирубування (пробивання) в середовищі DEFORM 3D відносно експериментальних та класичних теоретичних даних з метою подальшого використання моделювання для встановлення особливостей процесу вирубування (пробивання) та визначення параметрів, що впливають на точність деталей, що виготовляються.

Результати дослідження. Моделювання у середовищі DEFORM 3D виконувалось після попереднього експерименту по вирубуванню круглої деталі діаметром 21.6 мм. Вирубування здійснювалось з різними зазорами (з оптимальним зазором Z_{opt} , з зазорами більше та менше оптимального [1]), матеріал вихідної заготовки – смуга із сталі 45 товщиною 5 мм. Результати експерименту представлені на рис. 1. Як видно з рисунку, геометрія та форма бічної поверхні отриманих деталей повністю відповідають даним літературних джерел [1–7], а саме: при зазорі меншому за оптимальний на бічній поверхні деталі утворюється подвійний блискучий пояс (рис. 1, а), що виникає при прошовуванні деталі крізь

матрицю; при оптимальному зазорі утворюється єдина поверхня сколювання (рис 1, б); зі збільшенням зазору (рис. 1, в) спостерігається збільшення викривлення деталі.

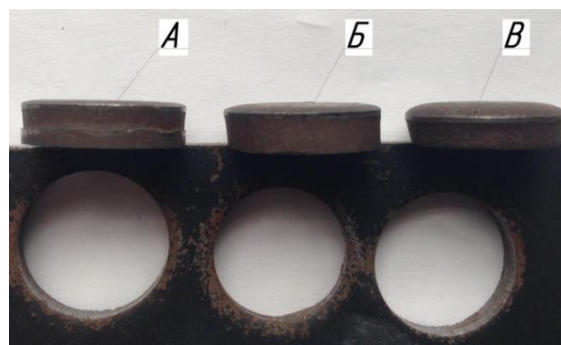


Рис. 1 – Деталі після вирубування з різним зазором
А – $z < Z_{opt}$, Б – $z = Z_{opt}$, В – $z > Z_{opt}$

Оскільки вирубування-пробивання необхідно виконувати за оптимальних зазорів між пуансоном і матрицею, тому подальше моделювання та порівняння з отриманими результатами виконано для процесу вирубування з оптимальним зазором.

При моделюванні матеріал розглядався як пружно-пластичний, а кількість (розмір) елементів при побудові сітки вибиралась із умови не менше 5-ти елементів по товщині заготовки [8–10]; перебудова сітки відбувалась при відносній величині деформації елемента більшою ніж 0,7.

Результати моделювання представлені на (рис. 2–6).

Отримані результати моделювання показали, що на кінцевий результат суттєво впливають параметри вихідної сітки (розмір та форма елементів) та поведінка сітки після перебудови. Значне збільшення розмірів елементів сітки після її перебудови призводить до суттєвої зміни розрахованих значень компонент напружено-деформованого стану (рис. 2–5) та стрибків значень на графіку технологічного зусилля (рис. 6), що в кінцевому результаті зменшує точність проведених розрахунків.

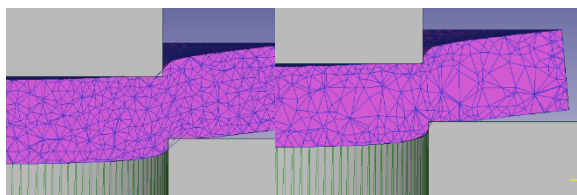


Рис. 2 – Загальний вигляд сітки кінцевих елементів в поперечному перерізі заготовки:
а – до перебудови сітки; б – після перебудови сітки

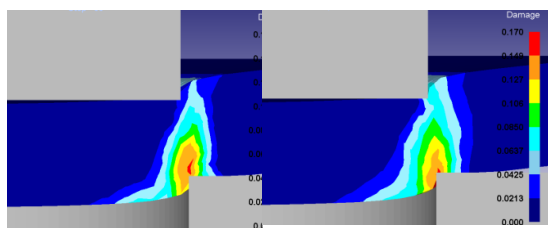


Рис. 3 – Розподіл критерія руйнування в поперечному перерізі заготовки:
а – до перебудови сітки; б – після перебудови

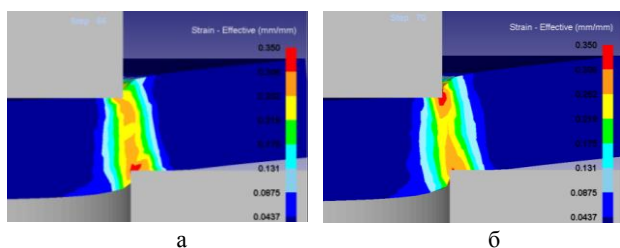


Рис. 4 – Розподіл інтенсивності деформацій в поперечному перерізі заготовки:
а – до перебудови сітки; б – після перебудови сітки

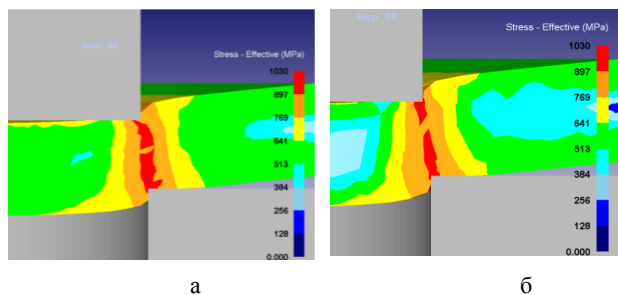


Рис. 5 – Розподіл інтенсивності напружень в поперечному перерізі заготовки:
а – до перебудови сітки; б – після перебудови сітки

Крім того значення критерію руйнування (Cockroft@Latham) в момент руйнування становлять 0,17...0,23, хоча в літературних джерелах [8–10] зустрічається значення 0,4.

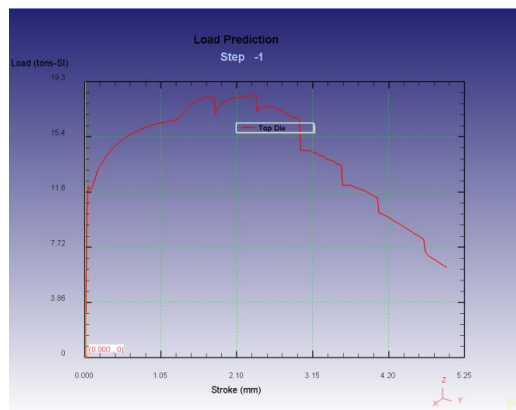
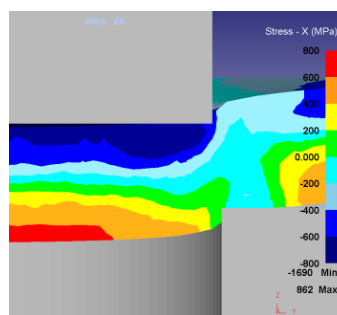
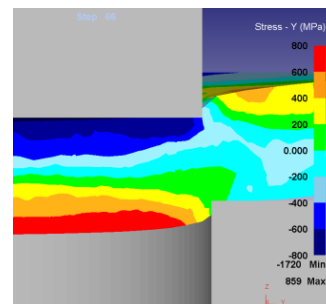


Рис. 6 – Графік технологічного зусилля

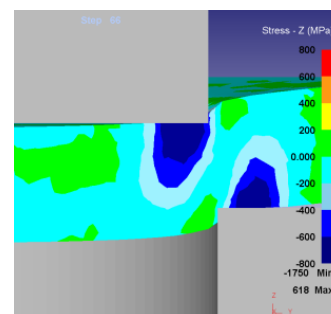
Існує також відмінність визначених компонент напруженого стану за результатами моделювання (рис. 7) та літературними даними [1] (рис. 8).



а



б



в

Рис. 7 – Розподіл напружень в поперечному перерізі заготовки по осях:

а – σ_x окружні; б – σ_y радіальні; в – σ_z вертикальні

Як видно з рисунків схеми напруженого стану в точках 1 і 2, які розташовані на осі деталі та в точці 3 (під ріжучою кромкою пуансона) співпадають: в точці 1 схема напруженого стану близька до

двовісного стиску; в точці 2 – до двовісного розтягу; в точці 3 – всебічний стиск).

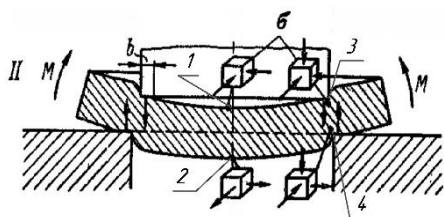


Рис. 8 – Напружений стан в контрольних точках в поперечному перерізі

Для точки 4, що знаходиться біля ріжучої кромки матриці, результати розрахунків відрізняються від даних літературних джерел. І якщо за результатами моделювання в точці 4 по осям X та Y (в окружному та радіальному напрямках відповідно) діють напруження розтягу, а по осі Z (в вертикальному напрямку) – стискаючі напруження, то згідно літературних даних маємо в точці 4 лише одне напруження розтягу по осі Y, два інші напруження – стискаючі.

Така значна кількість невідповідностей викликає сумніви в достовірності отриманих результатів і потребує перевірки за інших параметрів моделювання.

Подальше моделювання процесу вирубання з різними параметрами сітки показало, що найкращі результати досягаються, якщо після перебудови сітки розміри її елементів не змінюються (покращена внутрішня сітка), а поблизу ріжучих кромки інструмента сітка ущільнюється за допомогою вікон щільності.

Результати моделювання процесу вирубання з оптимальними параметрами сітки представлені на (рис. 9–13).

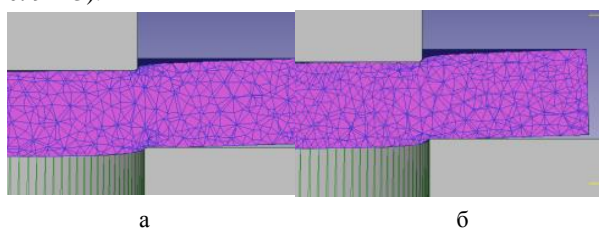


Рис. 9 – Загальний вигляд сітки кінцевих елементів в поперечному перерізі заготовки: а – до перебудови сітки; б – після перебудови сітки

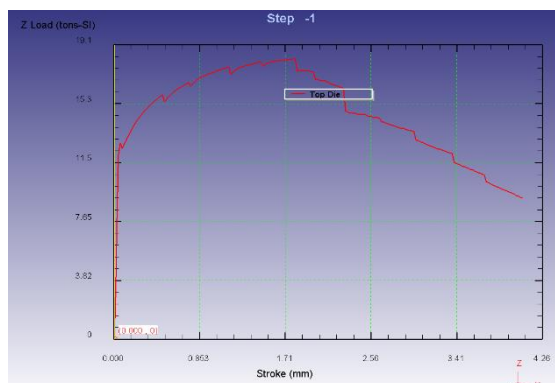


Рис. 10 – Графік технологічного зусилля після зміни параметрів

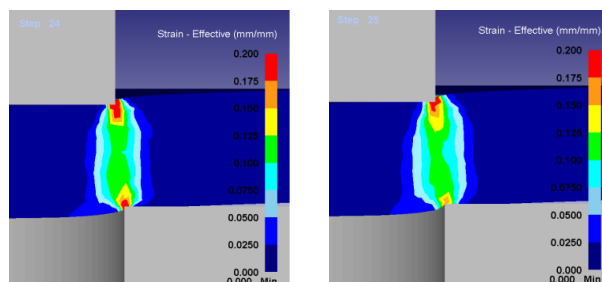


Рис. 11 – Розподіл інтенсивності деформацій в поперечному перерізі заготовки: а – до перебудови сітки; б – після перебудови сітки

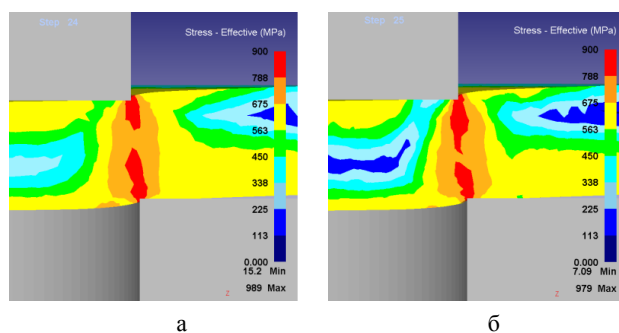


Рис. 12 – Розподіл інтенсивності напружень в поперечному перерізі заготовки: а – до перебудови сітки; б – після перебудови сітки

Після зміни параметрів сітки кінцевих елементів розраховане значення критерію руйнування в момент утворення сколюючої тріщини знаходиться в діапазоні 0,38...0,42 (рис. 13).

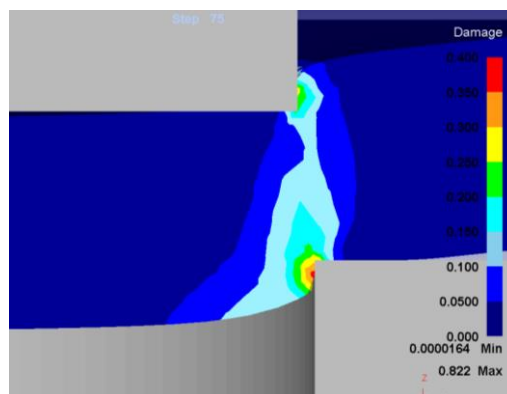


Рис. 13 – Розподіл критерія руйнування в поперечному перерізі заготовки в момент руйнування після зміни параметрів

Також відрізняються від попередніх і результати розрахунку компонент напруженого стану.

Так за результатами моделювання в точці 4 по осям X, Y та Z (в окружному, радіальному та вертикальному напрямках відповідно) діють напруження стиску, але по мірі віддалення від контактної зони в бік центра заготовки відбувається зміна знака напружень і з'являється зона з великими напруженнями розтягу в вертикальному напрямку (рис. 14).

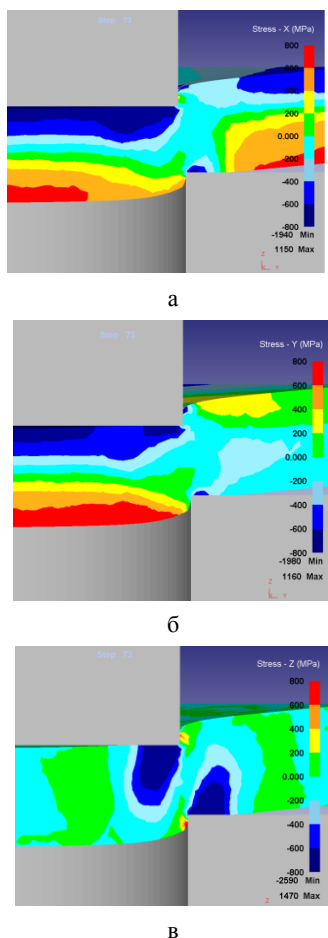


Рис. 14 – Розподіл напружень в поперечному перерізі заготовки по осях:
а- σ_x окружні; б- σ_y радіальні, в- σ_z вертикальні

Така ж зона з'являється і біля ріжучої кромки пуансона. В цих зонах і мають починатись сколюючі тріщини. Дані результати моделювання не суперечать експериментальним даним [5], коли сколюючі тріщини беруть початок не з ріжучої кромки інструменту, а на певному віддаленні з бічної поверхні деталі (заготовки) (рис. 15).

Висновки. За результатами проведеного дослідження можна стверджувати, що моделювання в програмному середовищі DEFORM 3D може бути використано для аналізу і дослідження процесу вирубування-пробивання. Але при цьому слід враховувати, що на кінцевий результат суттєво впливають параметри сітки кінцевих елементів. Для отримання достовірних результатів сітка має складатись із рівновісних елементів, ущільнених в осередку деформації.

Крім того в процесі дослідження встановлені параметри процесу моделювання, що стосуються

сітки кінцевих елементів, бажано не змінювати, оскільки така зміна може суттєво вплинути на результати моделювання та їх достовірність.

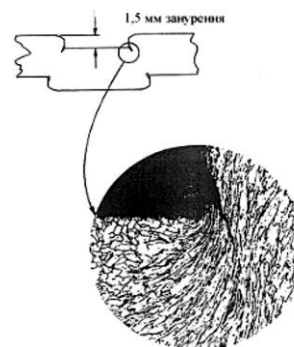


Рис 15 – Момент утворення сколюючої тріщини

Список літератури: 1. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. Л.: Машиностроение, 1979. – 520 с. 2. Попов Е.А. Основы теории листовой штамповки. М.: Машиностроение, 1977. – 278 с. 3. Зубцов М.Е. Листовая штамповка. Л.:Машиностроение,1980. – 432 с. 4. Залесский В.И., Губарев В.В. Механизм деформации при резке листового металла в штампах// Технологические процессы обработки стали и сплавов. – 1955. – №61. – С. 409–452. 5. Donald F. Eary, Edward A. Reed. Techniques of Pressworking Sheet Metal (An engineering approach to die design). – Gene: RAL Motors Institute. Industrial Engineering Department, 1976. – pp. 1–19. 6. В.К.Борсевич, В.В.Драгобецкий Анализ разделительных процессов листовой штамповки // КШП, ОМД. – 2009. – № 12. – С. 9–12. 7 Михайленк Ф.П., Антонов Ю.В. Напряженное состояние материала при резке в штампах-// Вестник машиностроения, 1973 8. Liang Xue Ductile Fracture Modeling – Theory, Experimental Investigation and Numerical Verification / Xue. Liang // Massachusetts Institute of Technology. – 2007. – 228 p. 9. Мамутов В.С. Компьютерное моделирование разрушения при вырубке-пробивке особо тонколистовых материалов. Журн. «Современное машиностроение. Наука и образование», 2012 – №2, –изд Санкт-Петерб.политех.инст., с.465–471. 10. DEFORM 3D Version 6.1 User's Manual

Bibliography (transliterated) 1. Romanovskyy V.P. Spravochnyk po kholodnoy shtampovke. L.: Mashynostroenyie, 1979. – 520 p. 2. Popov E.A. Osnovy teoryy lystovoy shtampovky. Moscow: Mashynostroenyie, 1977. – 278 p. 3. Zubtsov M.E. Lystovaya shtampovka. Leningrad. Mashynostroenyie, 1980. – 432 p. 4. Zaleskyy V.Y., Hubarev V.V. Mekhanyzm deformatsyy pry rezke lystovoho metalla v shtampakh// Tekhnolohycheskye protsessy obrabotky staly y splayvov. – 1955. – No 61. – P.409–452. 5. Donald F. Eary, Edward A. Reed Techniques of Pressworking Sheet Metal (An engineering approach to die design). – Gene: RAL Motors Institute. Industrial Engineering Department, 1976. – pp. 1–19. 6. V.K.Borsevych, V.V.Drahobetskiy. Analyz razdelytel'nykh protsessov lystovoy shtampovky // KShP, OMD. – 2009. – No 12. – P. 9–12. 7. Mykhaylenko F.P., Antonov Yu.V. Napryazhennoe sostoyanye materyala pry rezke v shtampakh.–“Vestnyk mashynostroenyuya”, 1973 Liang Xue. Ductile Fracture Modeling – Theory, Experimental Inverstigation and Numerical Verification / Xue. Liang // Massachusetts Institute of Technology. – 2007. – 228 p. 8. Mamutov V.S. Komp'yuternoe modelyrovanye razrushenyua pry virubke-probyvke osobo tonkolystovykh materyalov. Zhurn. «Sovremennoe mashynostroenyie. Nauka y obrazovanye», 2012, No 2, yzd Sankt-Peterb.polytezh.ynst., – p. 465–471. 9. DEFORM 3D Version 6.1 User's Manual

Надійшла (received) 02.11.2015

Відомості про авторів / About the Authors

Бень Ігор Володимирович – аспірант, НТУУ «КПІ», м. Київ, e-mail: 0671253007@ukr.net

Ben Igor Volodymyrovich – Ph. D student, National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute” E-mail: 0671253007@ukr.net

Орлюк Михайло Володимирович – кандидат технічних наук, доцент, НТУУ «КПІ», м. Київ, e-mail: minorKhPI@ukr.net

Orliuk Mikhailo Volodymyrovich – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute” E-mail: minorKhPI@ukr.net

УДК 621.967.2

П. В. БОРОВИК, М. Е. СЕЛЕЗНЕВ

ТРЕХМЕРНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПРОДОЛЬНОЙ РЕЗКИ НА СДВОЕННЫХ КРОМКООБРЕЗНЫХ НОЖНИЦАХ С КАТЯЩИМСЯ РЕЗОМ

Разработана трехмерная конечно-элементная математическая модель симулирующая обрезку боковых кромок полос на ножницах с катящимся резом. На примере сдвоенных кромкообрезных ножниц стана 2800 ПАО «Ашинский металлургический завод» (Россия) конструкции НКМЗ рассмотрен процесс разделения четырех марок стали 45, 75, 28Х3СНМВФА и 18Х2Н4ВА. Указывается, что при расчете максимальной толщины разрезаемых листов недостаточно учитывать только предел прочности разрезаемой стали. Сделаны выводы, что предложенная модель будет способствовать углублению представления о процессе и расширению сортамента разрезаемых листов, а также позволит снизить вероятность перегрузок оборудования.

Ключевые слова: ножницы с катящимся резом, продольная резка, разделение, лист, конечно-элементная модель.

Введение. Разделительные операции широко применяются в прокатном производстве и определяют качество и себестоимость металлопродукции. В частности, при производстве листов и полос применяют продольные разделительные операции, направленные на обрезку боковых кромок и роспуск на полосы меньшей ширины [1, 2].

Анализ состояния вопроса. Процесс продольной резки толстых листов в настоящее время преимущественно реализуется на дисковых ножницах, либо на ножницах с катящимся резом [1].

Основным недостатком в работе дисковых ножниц является вероятность возникновения дефекта «серповидность», который достаточно эффективно решается методом установки системы подающих роликов, которые сдерживают движение листа в направлении перпендикулярном его движению. Однако дисковые ножницы позволяют осуществить процесс обрезки боковых кромок на всей длине раската с одной установки, что не представляется возможным сделать на ножницах, работающих по принципу катящегося, в силу ограниченной длины ножа. В этом случае также используют систему подающих роликов, чтобы минимизировать вероятность возникновения уступов в областях перехода от одного реза к другому.

Кроме того, резка дисковыми ножами еще имеет и ограничение по толщине разрезаемых раскатов в холодном состоянии. Как известно [3], расширить сортамент возможно при условии реализации процесса в горячем состоянии.

Очевидно, что применение катящегося реза более предпочтительно, даже при условии того, процесс реализуется в несколько шагов, путем разделения раската на большей части длины ножа и частичного надреза на заключительном этапе с последующим перемещением листа на длину разделенного участка, и повторением процесса. Особенно, учитывая, тот факт, что на широкополосных станах в ряде случаев могут производить роспуск полосы на листы меньшей ширины.

В то же время существующие на сегодняшний день методики расчета далеко не всегда позволяют рационально определить сортамент разрезаемой

продукции, что в большинстве случаев не позволяет в полной мере использовать их технологические возможности, а в ряде, даже приводит к некоторым перегрузкам.

В настоящее время, благодаря росту возможностей современной вычислительной техники и успешному развитию подходов теоретических исследований, широко используют моделирование различных технологических процессов обработки давлением с целью их более глубокого изучения и совершенствования.

Поэтому, для расширения представления о протекании процесса катящегося реза целесообразно использовать современные теоретические подходы и методы, среди которых особое место занимает метод конечных элементов [4, 5].

Цель работы. В качестве цели данной работы ставилась задача на базе метода конечных элементов разработать математическую трехмерную модель процесса катящегося реза и получить представление о технологических возможностях ножниц.

Методика исследований. Для достижения указанной цели проводились теоретические исследования на базе конечно-элементного программного комплекса ABAQUS.

При разработке математической модели процесса продольной резки дугвыми ножами на ножницах с катящимся резом за основу была взята кинематическая схема механизма резания сдвоенных кромкообрезных ножниц (СКОН) стана 2800 ПАО «Ашинский металлургический завод» (Россия) конструкции НКМЗ (рис. 1,а).

Сдвоенные кромкообрезные ножницы с катящимся резом состоят из подвижных и неподвижных ножниц, установленных друг против друга на опорных балках механизма перемещения. Опорные балки закреплены на фундаменте.

Неподвижные ножницы закреплены жестко на опорных балках, а подвижные крепятся с помощью гидропружинных зажимов. Перемещение подвижных ножниц осуществляется с помощью гидропривода механизма перемещения, при этом ножницы освобождаются от фиксации гидропружинных зажимов.

Подвижные и неподвижные ножницы по конструкции аналогичны, но выполнены в зеркальном исполнении.

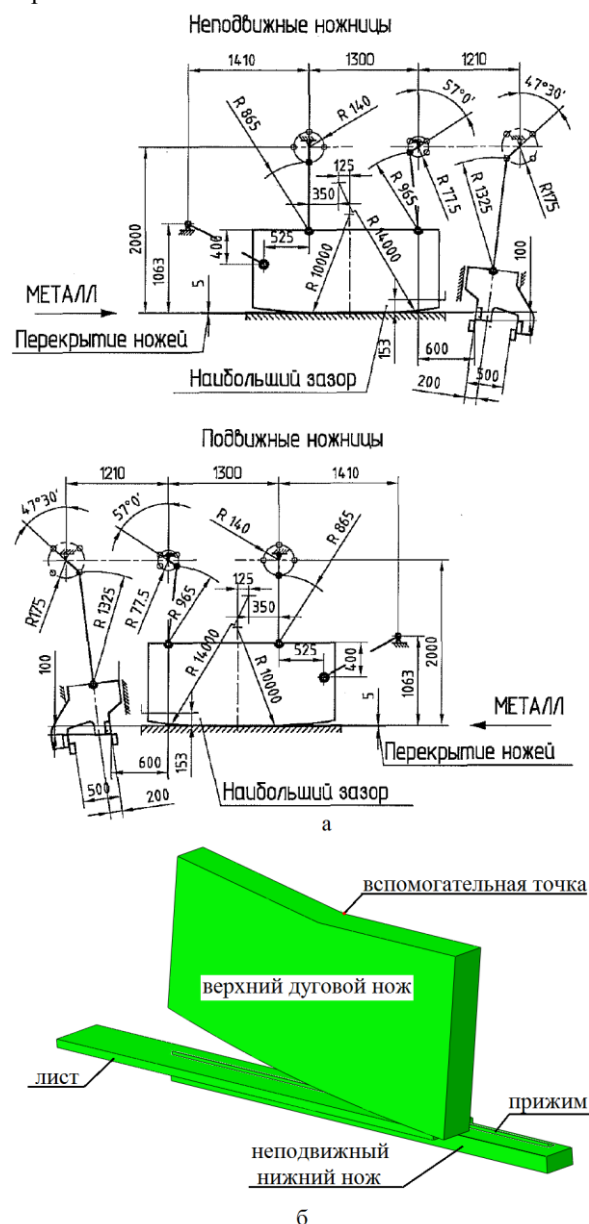


Рис. 1 – СКОН стана 2800 ПАО «Ашинский металлургический завод» (Россия) конструкции НКМЗ: а – кинематическая схема механизмов резания, б – общий вид модели процесса обрезки кромок дуговым ножом на ножницах с катящимся резом

В конструкции ножниц предусмотрены два механизма резки, работающие от одного привода. Один механизм осуществляет продольную резку кромки, а второй ее поперечную (скрапную) резку на мерные длины. При этом следует указать, что скрапных реза два и осуществляются они по очереди на завершающем этапе продольного реза.

В рамках данной работы рассматривали только продольную резку кромки, которая осуществляется по принципу катящегося реза с дуговым ножом и переменным радиусом. При этом начало реза осуществляет часть ножа радиусом 14 м, а завершение реза – радиусом 10 м.

Собственно конечно-элементная модель (рис. 1, б) состоит из трех абсолютно жестких недеформируемых тел – прижим, верхний (дуговой) и нижний неподвижный ножи, а также деформируемого бруса, моделирующего лист и обрезаемую кромку.

Прижим, верхний (дуговой) и нижний неподвижный ножи описываются как дискретные недеформируемые поверхности, состоящие из жестких трехмерных четырехузловых билинейных четырехугольных элементов (R3D4).

При описании деформируемого бруса строилась сетка из изопараметрических шестигранных восьмиузловых линейных элементов с редуцированной схемой интегрирования (C3D8R), имеющих свойства сплошной деформируемой среды. Структура сетки неравномерная, сгущающаяся в области реза (рис. 2).

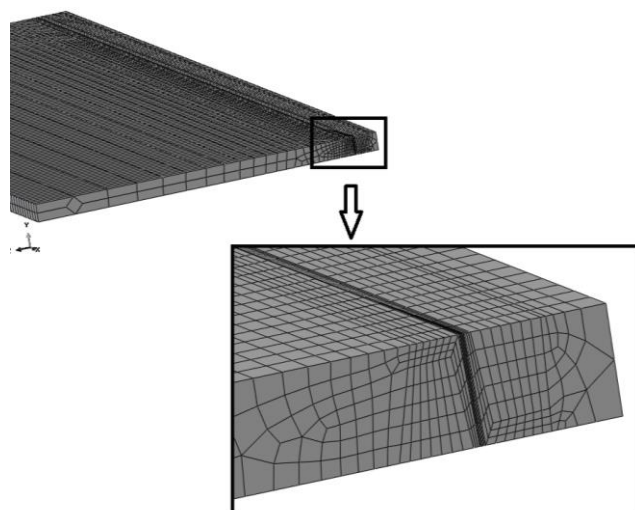


Рис. 2 – Исходная структура сетки

Трение между контактными поверхностями моделирует закон трения Кулона. Разрушение материала моделировали методом исключения элементов из расчета, после исчерпания ресурса пластичности в соответствии с диаграммой пластичности.

При построении кривых текучести учет влияния скорости деформации производился по известной зависимости [6]:

$$\sigma_u = \sigma_{cm} K_v, \quad (1)$$

где σ_{cm} – сопротивление деформации при статических испытаниях;

K_v – скоростной коэффициент.

Сопротивление деформации при статических испытаниях определялось из уравнения, предложенного в работе [7]:

$$\sigma_{cm} = \sigma_{0,2} (\bar{\epsilon}_p / 0,002)^{n_0}, \quad (2)$$

где $\bar{\epsilon}_p$ – степень истинной пластической деформации;

m_0 – показатель упрочнения, который зависит от соотношения предела прочности к пределу текучести $\sigma_b/\sigma_{0,2}$.

Для определения показателя упрочнения, по данным работы [7], была получена следующая аппроксимация:

$$m_0 = 0,008 + 0,2515 \ln(\sigma_b/\sigma_{0,2})^{0,818} \quad (3)$$

Скоростной коэффициент, определялся из выражения [6]:

$$K_v = (\dot{\epsilon}/\dot{\epsilon}_{cm})^{m_1}, \quad (4)$$

где $\dot{\epsilon}$ – текущая скорость деформации;

$\dot{\epsilon}_{cm}$ – скорость деформации при статических испытаниях;

m_1 – степенной показатель, определяемый механическими свойствами материала [6].

В ходе моделирования в качестве разрезаемого материала были рассмотрены четыре марки стали 45, 75, 28Х3СНМВФА и 18Х2Н4ВА, характеристики которых и толщина листов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристика материала листов и условия реализации процесса продольной резки боковых кромок на СКОНах

№ п/п	Марка стали	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_b , МПа	δ	Толщина листа, мм
1	45	347	660	0,197	50
2	75	574	989	0,108	40
3	28Х3СНМВФА	860	1000	0,09	40
4	18Х2Н4ВА	910	1128	0,09	27

Кроме параметров, указанных в таблице, был ряд общих для всех случаев параметров, а именно ширина отрезаемой кромки – 150 мм; длина моделируемой части – 2600 мм; перемещение листа

после первого и каждого последующего реза – 1100 мм. Скорость вращения кривошипов назначалась из условия номинальной частоты вращения двигателя 744 об/мин, что с учетом передаточного числа привода 38,58 составило $2,0195 \text{ c}^{-1}$.

Для осуществления процесса резки в данной модели, по аналогии с реальной конструкцией ножниц, движения вспомогательной точке верхнего (дугового) ножа сообщалось движение по определенной траектории, а также вращение в плоскости движения. Траектория движения вспомогательной точки, а также ее вращение были рассчитаны на базе известных методик [8] по расчету кинематических параметров работы ножниц.

В качестве начального положения кривошипов, с целью минимизации холостого хода модели, был выбран угол поворота кривошипов от «нулевого» (как показано на рис. 1) положения на величину 205° . Так на рис. 3 представлены расчетная траектория движения вспомогательной точки (рис. 3, а) и угол поворота ножа в плоскости реза (рис. 3, б).

Остальные недеформируемые элементы модели – нижний нож и прижим оставались неподвижными.

Результаты моделирования. На рисунке 4 в качестве примера для стали 45 при обрезке боковых кромок листа толщиной 50 мм, представлены несколько положений процесса обрезки кромки дуговым ножом.

Собственно процесс начинается в исходном положении ножа (см. рис. 4, а). После поворота эксцентриков на угол 156° завершается этап внедрения дугового ножа в лист (см. рис. 4, б). Затем, после полного выхода ножа из контакта с листом в период холостого движения дугового ножа осуществлялось перемещение листа с надрезанной кромкой на 1100 мм, что соответствует повороту кривошипов на угол 347° (см. рис. 4, в).

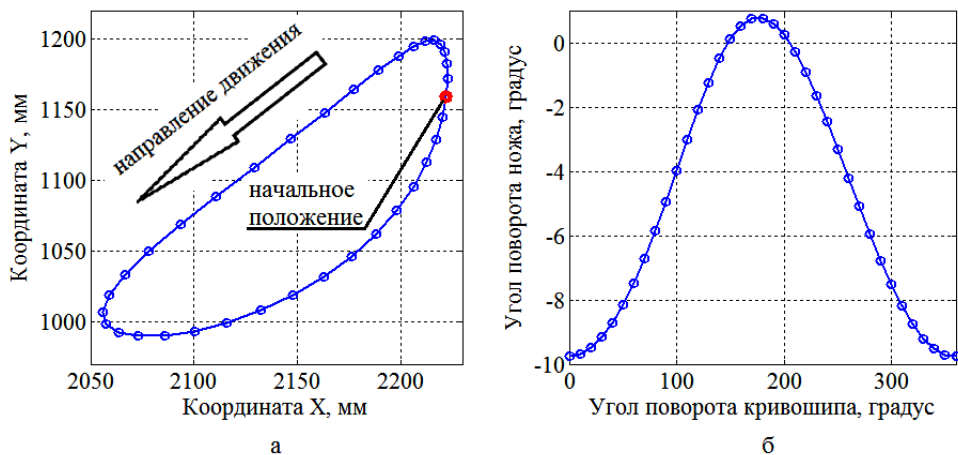


Рис. 3 – Расчетная траектория движения: а – вспомогательной точки; б – угол поворота ножа в плоскости движения с дискретным шагом поворота кривошипов 10°

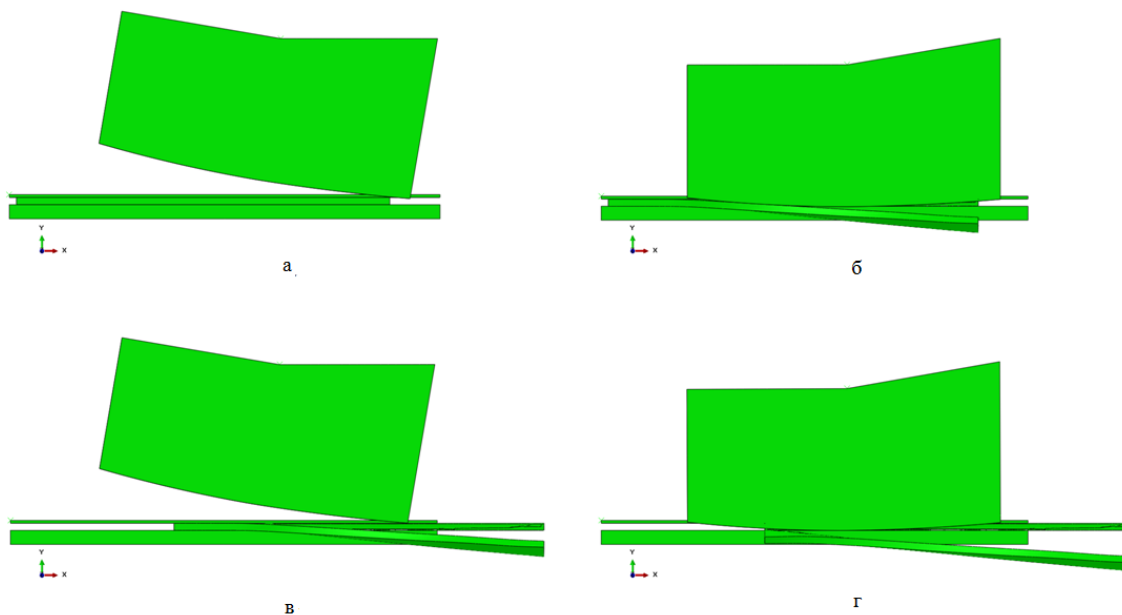


Рис. 4 – Общий вид модели на примере стали 45 для различных этапов процесса: а – начальное положение (эксцентрики повернуты на 205° относительно «нулевого» положения (см. рис. 3, а)); б – завершение первого надреза на 1,40 с (поворот кривошипов 162°); в – новое положение листа после смещения на 3,05 с (поворот кривошипов 353°); г – полное отделение кромки от листа на 4,5 с (поворот кривошипов 520°)

На следующем цикле движения ножа реализовывалось полное отделение кромки, что в данных условиях соответствовало углу поворота кривошипов на 520° (см. рис. 4, г).

На рисунке 5, в качестве примера также для стали 45 при обрезке боковых кромок листа толщиной 50 мм, представлено НДС листа и кромки на 0,7 с этапа установившегося процесса (см. рис. 5, а) и по завершению первого этапа внедрения на 1,4 с (см. рис. 5, б), а также показана зависимость силы резки в ходе первого этапа (см. рис. 5, в). Подобные результаты моделирования были получены и для других условий (см. табл. 1).

Полученные результаты моделирования показали, что при определении предельной толщины разрезаемого металла на ножницах недостаточно учитывать только предел прочности разрезаемой стали и толщину листа. Так, при прочих равных условиях наибольшее значение силы резки было получено для стали 75 при толщине листа 40 мм, которое на $\approx 3\%$ превысило силу резки для стали 45 при толщине 50 мм

В то же время при резке стали 28ХЗСНМВФА, имеющей несколько более высокий предел прочности по отношению к стали 75, сила резки была ниже на $\approx 9\%$. При этом следует отметить, что толщина

данных листов была равна 40 мм. Кроме того, при резке стали 18Х2Н4ВА толщиной 27 мм максимальная сила, несмотря на большее значение предела прочности, была еще ниже.

Обобщая полученные результаты можно утверждать, что при расчете максимальной толщины разрезаемых листов недостаточно учитывать только предел прочности разрезаемой стали.

При этом можно отметить, что при разделении холодного металла на ножницах с катящимся резом энергосиловые параметры процесса зависят от поведения материала в ходе резки, которое может существенно отличаться при близких значениях предела прочности, но различных значениях предела текучести. Очевидно, что данное явление оказывает слабое влияние при резке параллельными ножами, но более существенно сказывается на энергосиловых параметрах процессов резки наклонными, дисковыми и дуговыми ножами. Кроме того, данное влияние может существенно меняться при изменении величины относительно удлинения материала при растяжении, поскольку оно в совокупности с пределом прочности и пределом текучести материала может иметь неоднозначное влияние на относительное внедрение ножей в металл до скола.

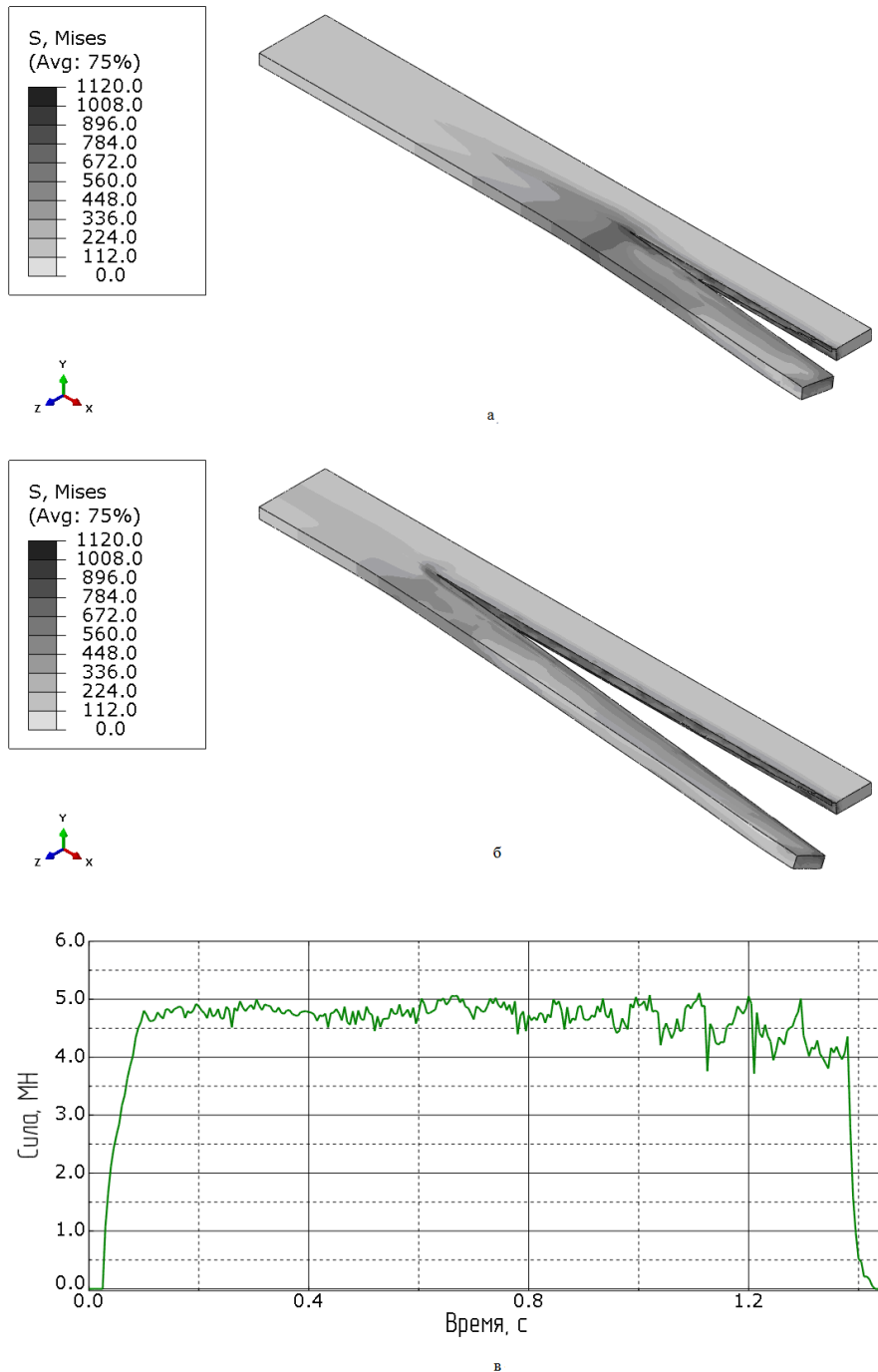


Рис. 5 – НДС листа и кромки из стали 45: а – при резке дуговым ножом на 0,7 с в установившемся состоянии процесса, б – на 1,4 с после завершения первого этапа и в – соответствующая первому этапу зависимость силы резки

Разработка предложенных моделей будет способствовать расширению представления о процессе резки дуговыми ножами, а также позволит повысить точность и научную обоснованность при расчете максимальных толщин листов, допускаемых к порезке. Это в большинстве случаев будет способствовать расширению сортамента разрезаемых листов, а в ряде случаев позволит существенно снизить вероятность перегрузок оборудования.

Выводы. По результатам работы можно отметить следующее:

– неотъемлемой составляющей листопркатного производства являются разделительные операции продольной резки;

– рост возможностей современной вычислительной техники и развитие подходов теоретических исследований, позволяют более глубоко изучать разделительные операции в прокатном производстве;

– применение метода конечных при разработке математических моделей процесса продольной резки дуговым ножом на ножницах с катящимся резом позволяет повысить

точность производимых расчетов и повысить научную обоснованность при принятии технологических решений;

– при расчете максимальной толщины разрезаемых листов недостаточно учитывать только предел прочности разрезаемой стали, поскольку при разделении холодного металла его поведение зависит не только от предела прочности, но и от предела текучести, а также относительного удлинения.

Результаты работы могут быть полезны при исследовании процесса разделения дуговыми ножами на ножницах с катящимся резом, а также при разработке практических рекомендаций по их эксплуатации.

Список литературы: 1. Лукашин Н. Д. Конструкция и расчет машин и агрегатов металлургических заводов: учебник для вузов / Н. Д. Лукашин, Л. С. Кохан, А. М. Якушев – М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. – 456 с. 2. Ginzburg V. B. Flat-rolled steel processes: Advanced Technologies / V. B. Ginzburg. – CRC Press, 2009. – 372 p. 3. Боровик П. В. Совершенствование технологии и оборудования процесса продольной резки толстых горячекатаных листов на дисковых ножницах : дис. на соискание учен. степени канд. техн. наук, спец. 05.03.05 / Боровик Павел Владимирович. – Краматорск, 2008. – 225 с. 4. Liu G. R. The Finite Element Method: A Practical Course / G. R. Liu, S. S. Quek. – 2003. – 348 p. 5. Боровик П. В. Теоретичні дослідження процесів обробки металів тиском на основі методу скінчених елементів: Навч. Посіб. / П. В. Боровик. – Алчевськ: ДонДТУ, 2012. – 170 с. 6. Ушаков М. В. Учет влияния скорости деформации и температуры на процессы, происходящие в зоне первичной деформации при резании металлов / М. В. Ушаков, С. Ю. Ильяхин, И. А. Воробьев // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 4. Ч. 2. – Тула : ТулГУ, 2010 – С. 89–93. 7. Механические свойства сталей и сплавов при нестационарном нагружении. Справочник / Д. А. Гохфельд, Л. Б. Гецов, К. М. Кононов и др. – Екатеринбург : УрО РАН, 1996. – 408 с. 8. Численное математическое моделирование процесса резания

листового металлопроката на ножницах с дугообразным ножом / В. Д. Нотченко, А. Н. Бойденко, Е. А. Емченко и др. // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні: темат. зб. наук. пр. – Краматорськ, 2001. – С. 454–457.

Bibliography (transliterated): 1. Lukashin N. D. Konstrukcija i raschet mashin i agregatov metallurgicheskikh zavodov: uchebnik dlja vuzov / N. D. Lukashin, L. S. Kohan, A. M. Jakushev – Moscow: IKC «Akademkniga», 2003. – 456 p. 2. Ginzburg V. B. Flat-rolled steel processes: Advanced Technologies. CRC Press, 2009. Print. 3. Borovik P. V. Sovershenstvovanie tehnologii i oborudovanija processa prodol'noj rezki tolstyh gorjacekatanyh listov na diskovyh nozhnicah : dis. na soiskanie uchen. stepeni kand. tehn. nauk, spec. 05.03.05 / Borovik Pavel Vladimirovich. – Kramatorsk, 2008. – 225 p. 4. Liu G. R., and Quek S. S. The Finite Element Method: A Practical Course, 2003. Print. 5. Borovik P. V. Teoretychni doslidzhennja protsesiv obrobky metaliv tyskom na osnovi metodu skinchenykh elementiv: Navch. Posib. / P. V. Borovik. – Alchevs'k: DonDTU, 2012. – 170 p. 6. Ushakov M. V. Uchet vlijanija skorosti deformacii i temperatury na processy, proishodjashhie v zone pervichnoj deformacii pri rezanii metallov / M. V. Ushakov, S. Ju. Il'juhina, I. A. Vorob'ev // Izvestija TulGU. Tehniceskie nauki. Vyp. 4. Ch. 2. – Tula : TulGU, 2010 – P. 89–93. 7. Mehaniceskie svojtva stalej i splavov pri nestacionarnom nagruzhenii. Spravochnik / D. A. Gohfel'd, L. B. Gecov, K. M. Kononov i dr. – Ekaterinburg : UrO RAN, 1996. – 408 p. 8. Chislennoe matematicheskoe modelirovanie processa rezanija listovogo metalloprokata na nozhnicah s dugoobraznym nozhom / V. D. Notchenko, A. N. Bojdenko, E. A. Emchenko i dr. // Udoskalennja protsesiv i obladdannja obrobky tyskom v metalurhiji i mashynobuduvanni : temat. zb. nauk. pr. – Kramators'k – P. 454–457.

Поступила (received) 20.10.2015

Сведения об авторах / About the Authors

Боровик Павел Владимирович – кандидат технических наук, доцент, докторант кафедры «Автоматизированные металлургические машины и оборудование» Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск; тел.: (050) 108-89-08; e-mail: borovikpv@mail.ru.

Borovik Pavel Vladimirovich – candidate of technical Sciences (*Ph. D.*), *Docent*, doctoral candidate of the department «Automated metal forming process and machinery» the Donbass state engineering Academy, Kramatorsk; tel: (050) 108-89-08; e-mail: borovikpv@mail.ru.

Селезнев Максим Евгеньевич – аспирант кафедры «Автоматизированные металлургические машины и оборудование» Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск; тел.: (050) 804-44-21; e-mail: seleznevme@mail.ru.

Seleznev Maxim Evgen'evich – postgraduate student of the department «Automated metal forming process and machinery» the Donbass state engineering Academy, Kramatorsk; tel: (050) 804-44-21; e-mail: seleznevme@mail.ru.

УДК 621.771

Г. В. БЕРГЕМАН, А. А. САМСОНЕНКО, О. А. РЕМЕЗ, Ю. Ю. ЗУБКО

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОМПЛЕКСНОГО ВЛИЯНИЯ
ТЕМПЕРАТУРНЫХ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОКАТКИ
НА ЭНЕРГОСИЛОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА**

В работе проведено экспериментальное исследование совместного влияния температуры начала прокатки и различных режимов деформации на изменение силы и момента прокатки для условий горячей прокатки квадратных образцов с пониженной температурой нагрева из стали Ст3пс на гладких валках. Размеры заготовки 25×25×200 мм. Диаметр валков 205 мм. Длина бочки валка 400 мм. Получены данные о распределении температуры раската, силы и момента прокатки по проходам. Получены качественные зависимости измерения температуры, силы и момента прокатки по проходам. Результаты измерения силы прокатки показали наименьшие значения силы прокатки для убывающего режима деформаций. Приведенные в статье данные могут быть использованы для расчета энергосиловых параметров при проектировании или усовершенствовании клетей прокатных станов.

Ключевые слова: горячая прокатка, температура нагрева, режим деформаций, сила прокатки, момент прокатки.

Постановка задачи: Важным направлением развития современного сортопрокатного производства является расширение сортамента производимой продукции. Одним из направлений повышения механических свойств фасонного проката является внедрение процессов регулируемой прокатки за счет изменения температурных и деформационных режимов прокатки. Теория и технология использования регулируемой прокатки в сортовом производстве требуют дальнейшего развития, поскольку на данный момент не существует четкого представления о комплексном влиянии температурных и деформационных параметров процесса на технологические параметры производства и механические свойства проката [1].

При разработке новых температурных и деформационных режимов прокатки фасонных профилей существенное значение имеет их влияние на энергосиловые параметры процесса, в частности на силу и момент прокатки. Большинство исследователей при этом рассматривают отдельно влияние температурных и деформационных режимов прокатки [2–9]. Исследованиям совместного влияния вышеуказанных факторов для условий многопроходной прокатки уделялось недостаточное внимание.

Цель работы: экспериментальное исследование комплексного влияния температуры начала прокатки и распределения деформаций по проходам на энергосиловые параметры процесса.

Метод исследования: экспериментальный.

Исследование проводилось на лабораторном стане 200 кафедры обработки металлов давлением НМетАУ. Нагрев образцов перед прокаткой осуществлялся в лабораторной камерной электропечи СНОЛ-2,5.4.1,4/11-И1.

При разработке плана эксперимента были рассмотрены следующие режимы деформации (рис. 1): 1) прокатка заготовок с одинаковой вытяжкой в каждом проходе; 2) с уменьшением вытяжки; 3) с увеличением вытяжки. Наиболее характерными для технологий, применяемых в современном производстве, являются режимы 1 и 2.

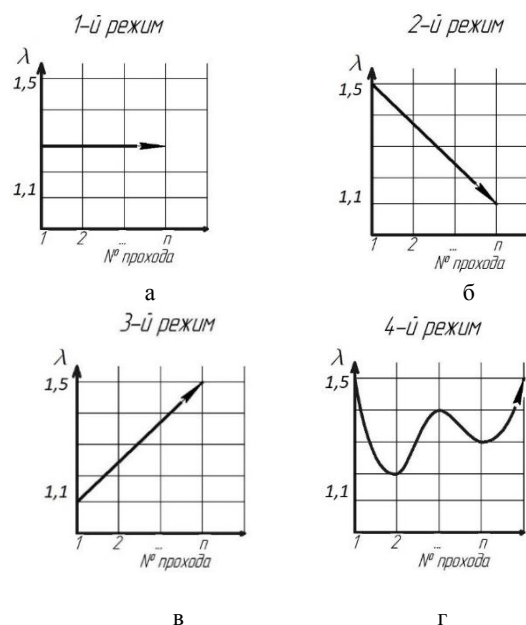


Рис. 1 – Схемы режимов прокатки в несколько проходов: а – прокатка с постоянными вытяжками; б – прокатка с уменьшением вытяжек; в – прокатка с увеличением вытяжек; г – прокатка с переменными вытяжками

Передача данных на ПК осуществлялась через аналого-цифровой преобразователь (АЦП) WAD-AIK-BUS-Tenso. Правка образцов осуществлялась на двухколонном гидравлическом прессе 2ПГ-125. В качестве измерительного инструмента использовались электронный штангенциркуль Mitutoyo с точностью измерения до 0,01 мм (DIN 862: 1988), а также измерительная линейка. Измерения температуры раската во время прокатки производились с помощью ручного пирометра «Термоскоп-300-2С-ВТ0». Измерение силы и момента прокатки производились с использованием датчиков сопротивления.

Изменение температурного режима прокатки было реализовано путем изменения температуры нагрева заготовок перед прокаткой. Следует отметить, что изменение температурного режима прокатки может быть реализовано также путем подстуживания проката на воздухе или в охлаждающей среде в междеформационных

періодах. Указанні технології потребують глибокого теоретичного і експериментального обґрунтування, а реалізація на діючих виробництвах пов'язана з удосконаленням існуючого і встановкою нового обладнання. В свою чергу зміна температури початку прокатки, як спосіб зміни температурного режиму, не потребує суттєвих змін технології і обладнання, і може бути реалізовано в умовах існуючих виробств без яких-небудь капітальних вкладень.

Проведені експерименти по прокатці квадратної заготовки на гладких валках без кантовки. Матеріал заготовки – Ст3пс. Розміри заготовки 25×25×200 мм. Діаметр валків 205 мм. Довжина бочки валка 400 мм. Частота обертання 12,5 об/хв.

Деформація зразків здійснювалася в 4 проходах по режимам, наведеним в таблиці 1. Реалізація того чи іншого режиму деформацій здійснювалася в 2 і 3 проходах.

Перший проход призначався для вирівнювання висоти проката і імітував обжимний калібр (в режимах з зменшенням і збільшенням обжаття). Четвертий проход був чистовим. В усіх проходах виникали високі і середні очаги деформації ($l_d/h_{cp} = 0,7 \dots 1,8$), характерні для сортової прокатки.

Прокатка проводилася для трьох температур початку прокатки: 1200°C, 1100°C і 1000°C. По кожному режиму прокатувалося 3 зразки. Фіксувалися: температура зразка перед кожним проходом, сила прокатки по проходах, момент прокатки на верхньому і нижньому валках. Отримані дані оброблялися методами статистичного аналізу. Аналіз отриманих результатів наведено на рис. 2–4.

Вплив на температуру кінця прокатки (рис. 2) має температура початку прокатки, так і режим деформацій. Різниця в температурах кінця прокатки при різних режимах становить 11–75 °С.

Таблиця 1 – Деформація по проходах для різних режимів прокатки

Режим деформації	Степень деформації, %				Зазор між валками, мм			
	1 пр.	2 пр.	3 пр.	4 пр.	1 пр.	2 пр.	3 пр.	4 пр.
С зменшенням обжаття	30	30	10	10	17	12	10	9
С збільшенням обжаття	30	10	30	10	17	15	10	9
С рівними обжаттями	10	30	30	10	22	15	10	9

Причому найбільша різниця спостерігається при температурі початку прокатки 1200 °С, а найменша – при 1000°C (рис. 2, а–в). Також при температурі 1200°C спостерігається суттєвий вплив режиму деформацій в останніх

проходах відсутній. При однакових режимах деформації температура початку прокатки не впливає на якісний характер кривих (рис. 2, г–е). Найменшу різницю в температурах кінця прокатки показує режим з зменшенням деформацій (38°C), а найбільшу – з збільшенням деформацій (109°C).

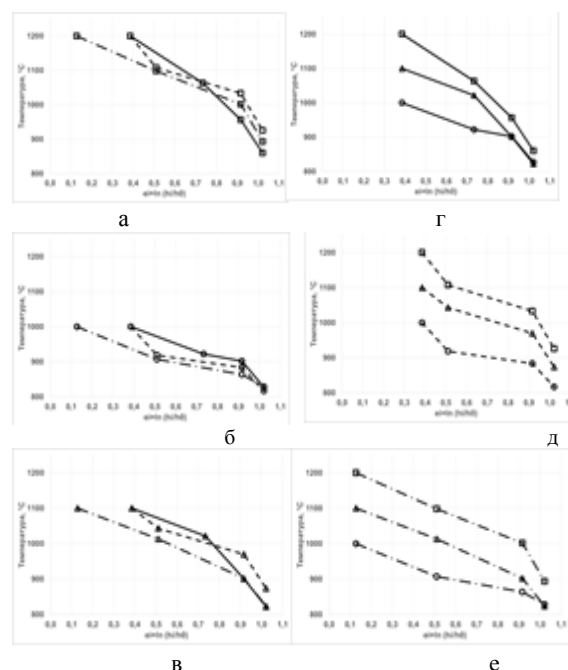


Рис. 2 – Зміна температури прокатки по проходах: температура початку прокатки: а – 1200°C, б – 1100°C, в – 1000°C; режим деформацій: – зменшувальний, д – збільшувальний, е – рівний

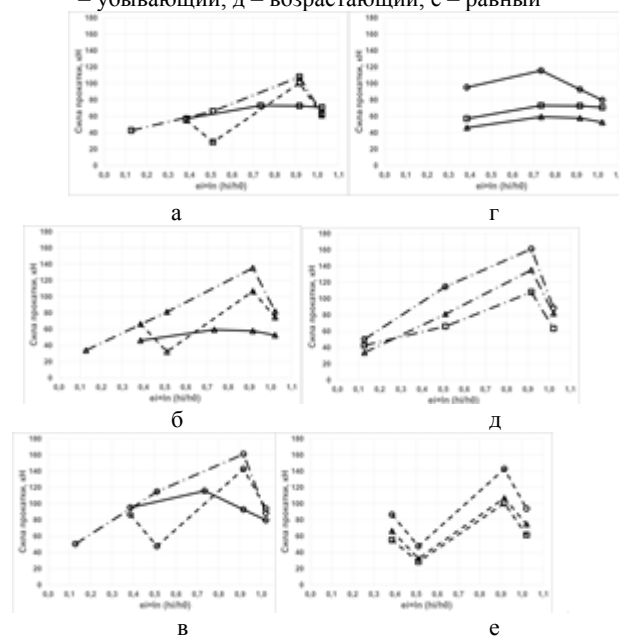


Рис. 3 – Зміна сили прокатки по проходах: температура початку прокатки: а – 1200°C, б – 1100°C, в – 1000°C; режим деформацій: г – зменшувальний, д – збільшувальний, е – рівний

Результати дослідження: Результати вимірювання сили прокатки показали найменші значення сили прокатки для зменшувального режиму

деформацій (рис. 3, а–в). Наиболее невыгодным с позиций возрастания силы прокатки является режим с равными деформациями: происходит увеличение силы прокатки на 20–50% (по сравнению с убывающим режимом). При режиме с возрастанием деформаций в первых проходах наблюдается снижение силы, а в последних возрастание силы прокатки. Обращает на себя внимание то, что площади под кривыми сил для убывающего и возрастающего режима примерно равны. Эти площади можно интерпретировать как качественный показатель значения суммарной работы прокатки. То есть, работы прокатки при убывающем и возрастающем режиме равны. При режиме равных деформаций работа прокатки больше. Для всех деформационных режимов прокатки наибольшие силы проявляются в проходах с максимальными обжатиями (рис. 3, г–е). Качественный характер кривых при каждом деформационном режиме одинаков. При режиме деформаций с возрастанием обжатий наблюдается сближение кривых, соответствующих температурам начала прокатки 1200°C и 1100°C. При двух других режимах для этих кривых наблюдается одинаковый характер (практически параллельность) и максимальная разница в значении силы прокатки составляет 18–27 кН. Разница в значениях максимальных сил для различных значений температуры начала прокатки для одинаковых деформационных режимов колеблется в пределах 40...60 кН.

Для построенных по результатам эксперимента зависимостей изменения момента прокатки (рис. 4) качественно справедливы те же выводы что и для сил прокатки.

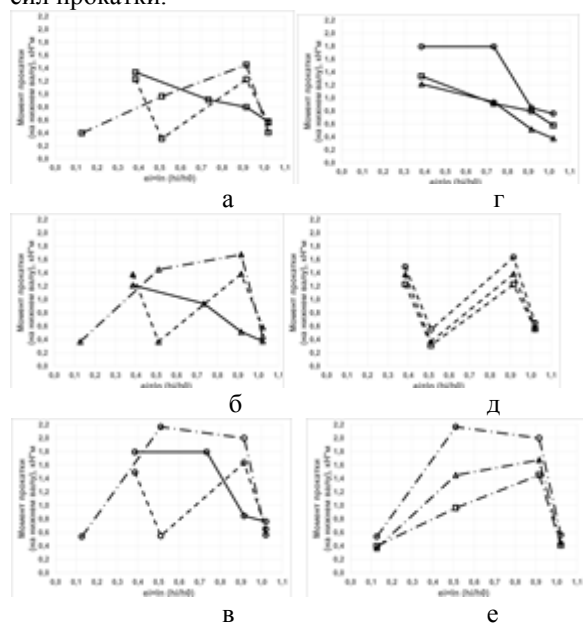


Рис. 4 – Изменение момента прокатки по проходам: температура начала прокатки: а – 1200°C, б – 1100°C, в – 1000°C; режим деформаций: г – убывающий, д – возрастающий, е – равный

Выводы. Проведены лабораторные исследования энергосиловых параметров для

условий прокатки заготовок из стали СтЗпс с пониженной температурой нагрева и с различными схемами деформации. Получены качественные зависимости измерения температуры, силы и момента прокатки по проходам. Анализ результатов исследований силы и момента прокатки показывает, что максимальные величины силы и момента возникают при температуре нагрева заготовки 1000 °С и использовании режима с равными деформациями. При использовании возрастающего режима возможно снижение температуры начала прокатки до 1100 °С без существенного повышения энергосиловых параметров прокатки. Приведенные в статье данные могут быть использованы для расчета энергосиловых параметров при проектировании или усовершенствовании клетей прокатных станов.

Список літератури: 1. Бергеман Г. В. Способы повышения механических свойств фасонных профилей из углеродистых сталей обыкновенного качества / Бергеман Г. В. // Пластическая деформация металлов: коллективная монография. – Днепропетровск: Акцент ПП, 2014. – С. 56–65. – ISBN 978-617-7109-18-0. 2. Валквист Г. Исследование энергосиловых параметров при горячей прокатке металла / Г. Валквист. – М.: Металлургия, 1957. – 112 с. 3. Чекмарев А. П. Исследование энергосиловых параметров при прокатке экономичных фланцевых профилей / А. П. Чекмарев, Р. А. Машковцев, Г. Г. Шломчак // Обработка металлов давлением: сборник научных трудов. – М.: Металлургия, 1965. – № 49. – С. 255–278. 4. Чекмарев А. П. Исследование среднесортного стана 550 / А. П. Чекмарев, Р. А. Машковцев, Г. Г. Шломчак // Обработка металлов давлением: сборник научных трудов. – М.: Металлургия, 1965. – № 49. – С. 279–294. 5. Режимы нагружения и прочность прокатных станов / Клименко В. М., Коновалов Ю. В., Горелик В. С. [и др.]. – К.: Издательство «Техніка», 1976. – 173 с. 6. Исследование энергосиловых и технологических параметров прокатки профилей на сортовом стане 550 металлургического завода им. Петровского / Ю. М. Юхновский, В. С. Медведев, Ю. Е. Кулак [и др.] // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2000. – № 6. – С. 25–31. 7. Данько В. М. Низкотемпературная прокатка швеллеров на стане 600 / В. М. Данько // Сборник научных трудов ДонГТУ. – Алчевск, 2004. – Вып. 18. – С. 225–230. 8. Ноговицин О. В. Эффективність переводу сортових станів на прокатку з низкотемпературним нагрівом заготовок / Ноговицин О. В., Сталінський Д. В., Вакула Л. А. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2006. – № 2. – С. 38–42. 9. Современные технологии производства швеллеров с применением развернутой калибровки валков. Монография / Г. В. Бергеман, С. М. Антонюк, М. В. Краев [и др.]. – Днепропетровск: АРТ-ПРЕСС, 2007. – 64 с. – ISBN 978-966-348-123-4.

Bibliography (transliterated): 1. Bergeman G. V. Spособы povysheniya mehanicheskikh svoystv fasonnykh profilej iz uglerodistykh stalej obyknovennogo kachestva / Bergeman G. V. // Plasticheskaja deformacija metallov: kolektivnaja monografija. – Dnepropetrovsk: Akcent PP, 2014. – P. 56–65. – ISBN 978-617-7109-18-0. 2. Valkvist G. Issledovanie jenergosilovykh parametrov pri gorjachej prokatke metalla / G. Valkvist. – Moscow: Metallurgija, 1957. – 112 p. 3. Chekmarev A. P. Issledovanie jenergosilovykh parametrov pri prokatke jekonomichnykh flancevykh profilej / A. P. Chekmarev, R. A. Mashkovcev, G. G. Shlomchak // Obrabotka metallov davleniem: sbornik nauchnykh trudov. – Moscow: Metallurgija, 1965. – No 49. – P. 255–278. 4. Chekmarev A. P. Issledovanie srednesortnogo stana 550 / A. P. Chekmarev, R. A. Mashkovcev, G. G. Shlomchak // Obrabotka metallov davleniem: sbornik nauchnykh trudov. – Moscow: Metallurgija, 1965. – No 49. – P. 279–294. 5. Rezhimy nagruzenija i prochnost' prokatnykh stanov / Klimentko V. M., Konovalov Ju. V., Gorelik V. S. [i dr.]. – Kiev: Izdatel'stvo «Tehnika», 1976. – 173 p. 6. Issledovanie jenergosilovykh i tehnologicheskikh parametrov prokatki profilej na sortovom stane 550

metallurgicheskogo zavoda im Petrovskogo / Ju. M. Juhnovskij, V. S. Medvedev, Ju. E. Kulak [i dr.] // Metallurgicheskaja i gornorudnaja promyshlennost'. – 2000. – No 6. – P. 25-31. 7. Dan`ko V.M. Ny`z`koterperaturna prokatka shveleriv na stani 600 / V.M. Dan`ko // Sborny`k nauchnyx trudov DonGTU. – Alchevsk, 2004. – Vyp. 18. – P. 225–230. 8. Nogovicy`n O.V. Efekty`vnist` perevodu sortovy`x staniv na prokatku z ny`z`koterperaturny`m nagrivotom zagotovok / Nogovicy`n O.V., Stalins`ky`j D.V., Vakula L.A. // Metallurgy`cheskaya y` gornorudnaya

promyshlennost`. – 2006. – No 2. – P. 38-42. 9. Sovremennye tehnologii proizvodstva shvellerov s primeneniem razvernutoj kalibrovki valkov. Monografija / G. V. Bergeman, S. M. Antonjuk, M. V. Kraev [i dr.]. – Dnepropetrovsk: ART-PRESS, 2007. – 64 p. – ISBN 978-966-348–123-4.

Поступила (received) 31.10.2015

Сведения об авторах / About the Authors

Бергеман Геннадий Владимирович, кандидат технических наук, генеральный директор, ПАО «ЕВРАЗ – Днепропетровский металлургический завод им. Петровского», г. Днепропетровск,

Bergeman Gennady Vladimirovich, Ph.D., CEO of PJSC "EVRAZ – Dnepropetrovsk Metallurgical Plant Petrovsky, Dnepropetrovsk.

Самсоненко Андрей Анатоліевич, кандидат технических наук, доцент кафедры обработки металлов давлением им. акад. А.П. Чекмарёва, г. Днепропетровск,

Samsonenko Andrey Anatolyevich, Candidate of Technical Sciences Associate Professor of Department of metal forming them. Acad. A.P. Chekmaryov, Dnepropetrovsk.

Ремез Олег Анатоліевич, заведующий лабораторией кафедры обработки металлов давлением им. акад. А. П. Чекмарева, НМетАУ, г. Днепропетровск,

Remez Oleg Anatolyevich, Head of the Laboratory of the Department of metal forming them. Acad. A.P. Chekmareva, NMetAU, Dnepropetrovsk.

Зубко Юрий Юриевич, аспирант первого года обучения при кафедре обработки металлов давлением им. акад. А.П. Чекмарёва, г. Днепропетровск.

Zubko Yuri Yuriyevich, PhD first year student at the Department of metal forming them. Acad. AP Chekmaryov Dnepropetrovsk.

УДК 621.778

О. В. ГРУШКО, Ю. О. СЛОБОДЯНЮК

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ОБМІДНЕНОГО ЗВАРЮВАЛЬНОГО МАЛОВУГЛЕЦЕВОГО ДРОТУ

Наведено порівняльну характеристику основних показників якості обмідненого зварювального дроту згідно основних світових діючих стандартів: радянського ГОСТ 2246-70, американського AWS A5.18:2005 та європейського ISO 14341:2009. Проаналізовано основні чинники, які формують якість обмідненого зварювального дроту та прокласифіковано на три групи: показники якості сировини, показники якості, що нормуються при виробництві дроту та показники якості пов'язані із технологічною спадковістю.

Ключові слова: обміднений зварювальний дріт, якість, стандарт, показники якості

Вступ. На сьогоднішній день якість, надійність, конкурентоздатність і безпека продукції розглядаються не тільки зі сторони споживача, а й зі сторони виробника. Якщо підприємство не може забезпечити конкурентоздатності своєї продукції, то в умовах ринкової економіки ніякі інвестиції не зможуть спасти підприємство. Основою конкурентоздатності є якість продукції.

Багато виробників обмідненого дроту ідуть на добровільну сертифікацію своєї продукції у різних органах: УКРСЕПРО, Морський Регістр, НАКС, ГОСТ Р, TUV та ін., а також сертифікують свою систему якості згідно вимог ISO 9001. Це дає підприємству-виробнику збільшення попиту на ринку збуту за рахунок отримання більшої довіри споживачів при виборі конкретних видів зварювальних конструкцій, підтвердження якості та інших характеристик зварювальних матеріалів.

Але при виробництві своєї продукції на підприємстві зіштовхуються з рядом проблем, які значно погіршують якість зварювального дроту та його конкурентоздатність. До того ж на сьогоднішній день ринок обмідненого зварювального дроту досить широкий – представлена продукція вітчизняного, європейського виробництва, а також велика кількість зразків китайських виробників.

Метою роботи є наведення порівняльної характеристики основних показників якості обмідненого зварювального дроту згідно основних світових діючих стандартів та аналіз чинників, які формують якість обмідненого дроту.

Основний текст. Відмітимо стандарти, які висувають вимоги до якості обмідненого зварювального дроту: у країнах пострадянського простору дріт виготовляють згідно ГОСТ 2246-70, у європейських країнах згідно ISO 14341:2009 (цей стандарт вже вступив у дію в Україні), у США, Китаї та у країнах Тихоокеанського простору згідно американського стандарту AWS A5.18:2005. Кожен із цих стандартів має свої вимоги до обмідненого дроту. Порівняльний аналіз вимог вищевказаних стандартів до якості обмідненого дроту, на прикладі діаметра дроту 1,2 мм наведено у табл. 1.

Як видно із таблиці 1 радянський ГОСТ 2246-70 значно збільшує допуски відхилення по діаметру та овальності дроту у порівнянні з європейським ISO

14341:2009 та американським AWS A5.18:2005, що негативно впливає на якість зварювально-технологічний властивостей. Дріт занадто низького діаметру може спричинювати сплавлення дроту із внутрішньою поверхнею контактної наконечника, що призводить до швидкого зношування останнього.

Найжорсткіші вимоги до хімічного складу обмідненого дроту висуває стандарт ISO 14341:2009, а найменше вимог – у стандарту ГОСТ 2246-70. Крім того ISO 14341:2009 висуває жорсткіші вимоги до таких шкідливих домішок як сірка (у порівнянні з AWS A5.18:2005) та фосфор (у порівнянні з ГОСТ 2246-70). Надлишковий вміст сірки та фосфору у обмідненому дроті збільшує їхній вміст у зварювальному шві, що має негативні наслідки. Адже підвищений вміст сірки призводить до утворення гарячих тріщин, а фосфору – до утворення холодних тріщин [1].

Найбільший сумарний вміст міді регламентує AWS A5.18:2005, менший – ISO 14341:2009, а ГОСТ 2246-70 висуває вимоги лише до міді в катанці. Великий сумарний вміст міді призводить збільшення вмісту міді у зварювальному шві, що є недопустимим у ряді відповідальних конструкцій [2]. На практиці при виробництві дроту контролюють такий показник, як товщина мідного покриття, оптимальне значення якої становить 0,15-0,20 мкм та значення має бути стабільним по довжині дроту, що намотаний на котушки. За стабільність даного показника відповідає розчин ванни міднення та її робоча температура. Велике значення товщини мідного покриття призводить до його розшарування, осипання та більшого розбризкування дроту при зварюванні.

Якість намотування обмідненого дроту має забезпечувати рівномірну подачу дроту при механізованих способах зварювання. Показниками якості намотування є діаметр витка дроту, що лежить вільно на плоскій поверхні та висота кінця якого піднімається над поверхнею (спіральність дроту). ГОСТ 2246-70 (див. табл. 1) не регламентує вимог до якості намотування дроту, на відміну від AWS A5.18:2005, що нормує намотування дроту за двома показниками, а ISO 14341:2009 висуває вимоги лише до спіральності дроту

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз стандартів до якості обмідненого зварювального дроту для дроту 1,2мм

Стандарт Показник	ГОСТ 2246-70	ISO 14341:2009 (вимоги до розмірів та спіральності дроту) ISO 544:2003	AWS A5.18:2005
Хімічний склад дроту, який класифікується по маркам (наведено найпоширеніші марки дроту, які є аналогами)	Св-08ГС (C ≤ 0,10%; Si=0,6-0,85%; Mn=1,4-1,7%) Св-08Г2С (C=0,05-0,11%; Si=0,70-0,95%; Mn=1,8-2,1%) Також нормується максимальний вміст P; S; Ni; Cr	G3Si1 (C=0,06-0,14%; Si=0,7-1,0%; Mn=1,3-1,6%) G4Si1 (C=0,06-0,14%; Si=0,8-1,2%; Mn =1,6-1,9%) Також нормується максимальний вміст P; S; Ni; Cr; Mo; V; Al; Ti+Zr	ER70S-6 (C=0,06-0,15%; Si=0,8-1,15%; Mn=1,4-1,85%) ER70S-7 (C=0,07-0,15%; Si=0,5-0,8%; Mn=1,5-2,0%) Також нормується максимальний вміст P; S; Ni; Cr; Mo; V
Тимчасовий опір розриву дроту, МПа	882-1323	Не регламентується	Не регламентується
Сумарний вміст міді	Вміст міді у катанці не більше 0,25%	Не більше 0,35%	Не більше 0,50%
Механічні властивості наплавленого металу	Не регламентується	Границя текучості, границя міцності, відносно видовження та ударна в'язкість при мінусових температурах	
Спіральність дроту	Не регламентується	Для котушки діаметром 300 мм не більше 50 мм, для котушки діаметром 200 мм не більше 25мм	Не більше 25 мм
Діаметр кільця дроту, що вільно лежить на плоскій поверхні	Не регламентується	Не регламентується	Не менше 380мм
Відхилення по діаметру	-0,09 мм	+0,01 – 0,04 мм	+0,01 – 0,04 мм
Овальність	не більше половини допустимого відхилення по діаметру		

Згідно [2] при великій спіральності дріт виходить із зварювального пальника «ривками» та зі згином у вигляді спіралі – як наслідок це спричиняє неможливість отримати зварювальний шов із заданими геометричними розмірами. Показником якісної намотки є така спіральність дроту, що не перевищує 20 мм.

Діаметр витка дроту також впливає на зварювально-технологічні властивості дроту: як вказано у роботі [3] – якщо діаметр витка дуже низький, то можуть бути наступні проблеми: надмірне зношування наконечника та «гуляння» дуги. Якщо діаметр дуже великий то це може призвести до непостійного контакту дроту наконечнику, в наслідок чого відбувається нестабільний процес зварювання. Діаметр витка залежить від розмірів касети на яку намотаний. Так для касети із зовнішнім діаметром 300 мм діаметр витка має становити 900-1000 мм.

Дріт з непостійним хімічним складом не гарантує добрі зварювально-технологічні властивості та високу якість зварних з'єднань. [2]

Поверхневі дефекти зварювальної катанки суттєво впливають на технологічний процес виробництва дроту: призводять до частих обривів, виходу із ладу волок та частій їх заміні. В результаті це призводить до підвищеної їх витрати та зниження продуктивності праці [4].

Згідно [5] основним структурним фактором частих обривів дроту при волочінні є наявність підвищеної кількості надтвердих складових – дислокаційного мартенситу та нижнього бейніту.

Погана підготовка поверхні перед омідненням (травлення дроту) спричинює погане зчеплення

мідного покриття з основою. Згідно [4, 5] мідь осипається, при цьому забиває шлангові канали і контактні наконечники – як наслідок процес зварювання через втрату стійкого горіння дуги стає нестабільним або просто неможливим. Наслідками таких дефектів є зниження продуктивності праці зварювальника через часті зупинки з метою почистити обладнання та унеможливити зварювання швів великої довжини (8–10 м) зварювальними роботами через припинення подачі дроту.

Неправильно підібрані маршрути використання волоочильних мастил, несвоєчасна їх заміна може призвести до великих їх залишків на поверхні дроту. Як наслідок – підвищене розбризкування, швидке зношування подаючих механізмів та направляючих рукавів зварювального обладнання. На поверхні обмідненого дроту залишок мастильних матеріалів має становити не більше 0,01% від маси дроту.

ГОСТ 2246-70 регламентує вимоги до тимчасового опору розриву дроту на відміну від ISO 14341:2009 та AWS A5.18:2005. Так, для дроту діаметром 0,8-1,2 мм тимчасовий опір має становити 882-1323 МПа. У роботах [6,7] вказується, що дріт з такими показниками міцності характеризується достатньою жорсткістю, здатністю безперешкодно проходити по каналах подаючих механізмів напівавтоматичного зварювального обладнання і виходити з пальника строго прямолінійно. Остання технологічна властивість дроту дуже важлива для забезпечення необхідних геометричних розмірів і форми зварного шва, в тому числі для виключення розвиненої «гускатості» поверхні і відсутності бризг

в околшовній зоні. Якщо тимчасовий опір розриву менший, згідно [3], то порушується стабільність подачі дроту по направляючим каналам зварювального обладнання, якщо ж більший – збільшується зношування контактних наконечників.

Це є не зовсім коректно, адже тимчасовий опір розриву не є характеристикою жорсткості дроту. Потрібно враховувати для правильного аналізу границю текучості, пластичність дроту (відносне видовження) тощо [8].

При порівняльному аналізі обмідненого дроту діаметром 0,8 мм китайського виробника, який виготовлений згідно AWS 5.18:2005 із вітчизняним аналогом, що виготовлений згідно ГОСТ 2246-70, було виявлено, що тимчасовий опір розриву зарубіжного виробника становить 1470 МПа, що значно перевищує вимоги ГОСТу. Зварювально-технологічні властивості даного зразка дроту були добрими. Тимчасовий опір розриву для вітчизняного зразка становив 1320 МПа. Відносне видовження у обох зразків становило 3,5%.

На практиці зустрічаються випадки, коли дріт із тимчасовим опором розриву, що відповідає нормам ГОСТ 2246-70 (особливо діаметр 0,8 мм) надто м'який та заминається у роликах зварювального обладнання. Тому для виробництва

якісного, конкурентоздатного дроту повністю виконувати вимоги ГОСТа не є можливим.

ГОСТ 2246-70 не висуває вимог до механічних властивостей наплавленого металу (див. табл. 1), на відміну від європейського стандарту ISO 14341:2009 та американського AWS 5.18:2005. Тобто радянський стандарт не може гарантувати якісний дріт для споживача, адже при проектуванні конструкцій із елементами зварювання механічні властивості наплавленого металу відіграють вирішальну роль при виборі виробника обмідненого дроту.

Мають місце випадки, коли споживач може брати продукт гірший за якістю через нижчу ціну у порівнянні з якісним продуктом. Але використання дроту гіршої якості може мати наступні наслідки: збільшується витрата дорогих струмопідвідних наконечників, знижується продуктивність праці через прості обладнання, значно зменшується період експлуатації зварювальних напівавтоматів, нестабільне горіння дуги, погана геометрія зварювального шва, значно нижчі механічні властивості наплавленого металу.

Таким чином, основні чинники, які впливають та формують показники якості обмідненого дроту можна умовно поділити на три групи (рис. 1).



Рис. 1 – Класифікація чинників, які формують якість обмідненого дроту

Охарактеризуємо детальніше кожну групу чинників, з якими зіштовхуються виробники обмідненого дроту та зазначимо їх вплив на якість готової продукції.

Якість сировини є першочерговим фактором, який впливає на якість кінцевого продукту. Катанка для виробництва обмідненого дроту повинна мати стабільний хімічний склад для забезпечення стабільного процесу зварювання. Поверхневі дефекти катанки (вус, вм'ятини, грубі потертості) та різноманітні включення або надтверді складові у структурі призводять до частих обривів дроту, зниження стійкості волок та зменшення продуктивності праці. Сучасна технологія виробництва обмідненого дроту включає в себе очищення катанки механічним способом, а не хімічним способом як раніше. Хімічний спосіб

очищення катанки від окалини значно шкідливий та трудомісткіший на відміну від механічного способу. Також підвищує собівартість дроту та ускладнює технологічний процес виробництва проміжний відпал. Тому деформованість катанки при волочінні без проміжного відпалу є важливим показником при виборі постачальника сировини.

Показники якості, що нормуються в процесі виробництва дроту впливають із нормативної документації (діючий стандарт або технічні умови) згідно якої виробляється продукція. Для забезпечення стабільного технологічного процесу необхідно сповнення вимог до якості сировини. Контроль повинен вестися на всіх етапах технологічного процесу. Механічні властивості дроту впливають із оптимально підібраних маршрутів волочіння. Несвоєчасна заміна волок спричинює великі відхилення по діаметру та

овальності дроту. Наслідки даних дефектів є наступними: дестабілізація процесу зварювання через непостійність густини струму та ймовірності заклинювання дроту у контактному наконечнику.

Зварювально-технологічні властивості дроту та механічні властивості наплавленого металу цікавлять в першу чергу виробників зварних металоконструкцій. Формування даних показників якості впливає зі стандарту, відповідно якого виготовляється дріт, потреб споживачів продукції та здатності витримати конкуренцію на ринку.

Ступінь очищення катанки від окалини механічним способом є також важливим фактором у формуванні вимог до якості сировини. На підприємстві ПАТ «ПлазмаТек» зіштовхнулися із проблемою, коли механічний спосіб очищення катанки від окалини не справлявся повністю зі своєю функцією. Залишки окалини забруднювали волочильні мастила, розчини із ваннами, погіршилась якість мідного покриття – як наслідок, спостерігалось збільшення витратних матеріалів, які необхідні для виробництва дроту, зниження продуктивності праці та підвищення собівартості готової продукції. Вирішенням цієї проблеми стало установлення обладнання для плазмової вакуумно-дугової очистки, яка забезпечує ефективне очищення поверхні дроту. В результаті цього поверхня обробленого дроту набуває характерний сріблястий колір і високу адгезійну здатність, що при подальшому обмідненні забезпечує суцільне та однорідне покриття.

Висновки. Якість обмідненого дроту для зварювання в середовищі захисних газів є результатом технологічного процесу, який складається з багатьох факторів. Основні чинники, які формують якість дроту та підвищують його конкурентоздатність можна розділити на три групи: показники якості сировини, показники якості, що нормуються при виробництві дроту та показники якості пов'язані із технологічною спадковістю.

Асортимент ринку зварювального обмідненого дроту досить широкий: тут представлено зразки, які виготовлені у країнах пострадянського простору згідно ГОСТ 2246-70, зразки європейського виробництва, які відповідають вимогам стандарту ISO 14341:2009, а також великий вибір продукції китайського виробництва, які задовольняють вимоги американського стандарту AWS 5.18:2005. Але якість продукції повинна відповідати не тільки вимогам стандарту, а й задовольняти експлуатаційні вимоги споживачів. Так дріт виготовлений згідно

радянського ГОСТа не зовсім відповідає європейському стандарту ISO 14341:2009 та американському AWS 5.18:2005 вимоги яких до якості своєї продукції значно жорсткіші.

Список літератури: 1. Кононенко В.Я. Сварка в среде защитных газов плавящимся и неплавящимся электродом / В.Я. Кононенко. – Киев: ТОВ «Ника-Принт», 2007. – 266 с. 2. Анализ показателей качества сварочной проволоки методом статистической оценки стабильности ее химического состава / В.А. Медюшко, О.Н. Разорёнов, В.И. Криворотов, Ю.В. Медюшко // Индустрия. – Санкт-Петербург, 2007. – №2(49). – С.76-77. 3. Воропай Н.М. Технологические свойства омедненной сварочной проволоки / Н.М. Воропай, М.В. Бринюк // Сварщик. – Киев, 2002. – №4. – С. 16–20. 4. Влияние поверхностных дефектов, наследованных с катанки, на качество холоднотянутой проволоки / А.Н. Савенок, Т.П. Куренкова, И. В. Борисовец, А. А. Сахарная // Литье и металлургия. – Минск, 2012. – №4(68). – С. 35-39. 5. Нестеренко А.М. Исследование причин разрушения при волочении катанки-проволоки из стали Св-08Г2С / А.М. Нестеренко, А. Б. Сычков, С. Ю. Жукова // Металлургическая и горнорудная промышленность. – Днепропетровск, 2006. – №6. – С.60-63. 6. Медюшко В.А. Некоторые особенности производства и применения проволоки типа Св-08Г2С / В.А. Медюшко // Метизы. – Москва, 2009. – №2(18). – С.64-66. 7. Римский С.Т. Методика определения количественных показателей, характеризующих сварочно-технологические свойства проволоки при механизированной сварке в защитных газах / С.Т. Римский, В.И. Галинич, Р.Н.Шевчук // Сварщик. – Киев, 2015. – №1. – С.16–22. 8. Грушко О.В. Феноменологичні аспекти створення карт матеріалів для процесів холодного пластичного деформування / О. В. Грушко // Обработка материалов давлением : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2013. – № 1 (34). – С. 85–95. – ISSN 2076-2151.

Bibliography (transliterated): 1. Kononenko V.Ja. Svarka v srede zashhitnyh gazov pлавjashhimsja i nepлавjashhimsja jelektrodom / V.Ja. Kononenko. – Kiev: TOV «Nika-Print», 2007. – 266 p. 2. Analiz pokazatelej kachestva svarocnoj provoloki metodom statističeskoj ocenki stabil'nosti ee himičeskogo sostava / V.A. Medjushko, O.N. Razorjonov, V.I. Krivorotov, Ju.V. Medjushko // Industrija. – Sankt-Peterburg, 2007. – No 2(49). – P. 76–77. 3. Voropaj N.M. Tehnologičeskie svojstva omednennoj svarocnoj provoloki / N.M. Voropaj, M.V. Brinjuk // Svarshhik. – Kiev, 2002. – No4. – P. 16–20. 4. Vlijanie poverhnostnyh defektov, nasledovannyh s kataniki, na kachestvo holodnotjanutoj provoloki / A.N. Savenok, T.P. Kurenkova, I. V. Borisovec, A. A. Saharnaja // Lit'e i metalurgija. – Minsk, 2012. – No4(68). – P. 35–39. 5. Nesterenko A.M. Issledovanie prichin razrushenija pri volocchenii kataniki-provoloki iz stali Sv-08G2S / A.M. Nesterenko, A.B. Sychkov, S.Ju. Zhukova // Metallurgičeskaja i gornorudnaja promyšlennost'. – Dnepropetrovsk, 2006. – No6. – P. 60–63. 6. Medjushko V.A. Nekotorye osobennosti proizvodstva i primenenija provoloki tipa SV-08G2S / V.A. Medjushko // Metizy. – Moscow, 2009. – No2(18). – P. 64–66. 7. Rimskij S.T. Metodika opredelenija kolichestvennyh pokazatelej, harakterizirujušhijh svarocno-tehnologičeskie svojstva provoloki pri mehanizirovannoj svarke v zashhitnyh gazah / S.T. Rimskij, V.I. Galinich, R.N.Shevchuk // Svarshhik. – Kiev, 2015. – No 1. – P.16–22. 8. Grushko O. V. Fenomenologični aspekty stvorennja kart materialiv dlja protsesiv kholodnoho plastyčnogo deformuvannja / O. V. Grushko // Obrabotka materialov davleniem : sb. nauch. tr. – Kramatorsk : DGMA, 2013. – No 1(34). – P. 85–95. – ISSN 2076-2151.

Надійшла (received) 22.10.2015

Відомості про авторів / About the Authors

Грушко Олександр Володимирович – доктор технічних наук, професор, Вінницький національний технічний університет, професор кафедри опору матеріалів та прикладної механіки; тел.: (0432) 598-465; e-mail: grushko@svitonline.com.

Grushko Oleksandr Volodymyrovych – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Vinnitsa National Technical University, Professor of the Chair of Resistance of Materials and Applied Mechanics; tel.: (0432) 598-465; e-mail: grushko@svitonline.com.

Слободянюк Юлія Олегівна – інженер-технолог, ПАТ «ПлазмаТек», м. Вінниця; e-mail: juliya_slobodyanyuk@mail.ru.

Slobodyanyuk Yuliya Olegivna – processing engineer; PJSC PlasmaTec, Vinnits, e-mail: juliya_slobodyanyuk@mail.ru.

В. Г. ЗАГОРЯНСКИЙ, Л. Э. ДИКАЯ

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МЕДНО-АЛЮМИНИЕВЫХ КОМПОЗИЦИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ПЛАКИРОВАНИЕМ ВЗРЫВОМ

В статье исследованы электрические свойства медно-алюминиевых композиций, полученных плакированием взрывом. Получена закономерность влияния отношения толщин слоев биметалла на его удельное электрическое сопротивление. Удельное электрическое сопротивление данного биметалла с отношением толщин слоев меди к алюминию 0,2...0,5 находится между значениями этого параметра для меди и алюминия. Разность между теоретическими и экспериментальными значениями удельного электрического сопротивления при увеличении толщины биметалла возрастает. С увеличением доли плакирующего слоя меди в общей толщине биметалла теоретическое удельное электрическое сопротивление биметалла монотонно понижается, тенденция уменьшения экспериментальных значений также в основном сохраняется, кроме случаев максимальной толщины биметалла.

Ключевые слова: медно-алюминиевый биметалл, плакирование взрывом, отношение толщин слоев, удельное электрическое сопротивление

Введение. Одним из основных направлений производства и потребления биметаллов традиционно являются проводниковые и контактные биметаллы на основе меди, алюминия и других металлов и сплавов [1].

В биметалле медь-алюминий основной слой выполняется из более дешевого алюминия и, имея большую, чем медный плакирующий слой, толщину, выполняет функцию силового элемента. Плакирующий слой из более дорогой и дефицитной меди имеет несколько более высокую электропроводность (в 1,52...1,64 раза) [2]. Таким образом, данный биметалл в силу сочетания в нем двух проводящих слоев эффективен как проводник. При этом благодаря поверхностному эффекту, даже при невысокой доле медного слоя в толщине биметалла, обеспечивается высокая проводимость биметалла и его экономичность.

Основными материалами контактных соединений (мест соединения шин между собой, а также с выводами электрооборудования) являются медь и ее сплавы (латунь, бронза) и алюминий электротехнического назначения.

Соединение токоведущих участков электрических цепей из разных металлов неизбежно приводит к значительным потерям электроэнергии в контактном узле, что обуславливается высоким значением переходного электросопротивления в контакте разнородных металлов, прогрессирующем во времени вследствие протекания контактной коррозии (например, при соединении «напрямую» медных и алюминиевых проводов, шин, аппаратных зажимов и др.).

Контакт алюминия и его сплавов с другими металлами может вызвать интенсивную контактную коррозию, особенно в растворах электролитов или в очень влажной атмосфере, поскольку большинство металлов является катодами в отношении к алюминию.

В соответствии с ГОСТ 5272-68 «Коррозия металлов. Термины», контактная коррозия – это электрохимическая коррозия, вызванная контактом металлов, имеющих разные стационарные потенциалы в данном электролите. Контактная коррозия представляет собой локализуемое вблизи контакта ускоренное разрушение металла, вызываемое соприкосновением в электролите двух

разнородных металлов, образующих замкнутый гальванический элемент.

Особенно опасен в этих условиях для алюминия и его сплавов контакт с медью, сплавами меди и нержавеющей сталью. Так, в морской воде значения стационарных электродных потенциалов составляют: для алюминия $E_n = -0,53$ В, для дюралюминия $E_n = -0,5$ В, для меди $E_n = -0,08$ В, для латуни (40% Zn) $E_n = -0,2$ В, для бронзы (5-10% Al) $E_n = -0,1$ В, для нержавеющей стали (12X18H9, пассивное состояние) $E_n = +0,2$ В.

В сухой атмосфере, например, в отопляемом помещении, контакт алюминия с медью практически не влияет на скорость коррозии. Это доказано опытом эксплуатации мест контакта алюминиевых электрических шинопроводов с медными, а также достаточно широким применением алюминия, плакированного медью.

В результате контактной коррозии ухудшается качество контакта, как следствие, происходит нагрев места соединения и потеря электроэнергии. По этой причине контактные соединения алюминия и меди необходимо защищать от проникновения влаги специальными пастами или покрывать антикоррозионным слоем (кадмирование, цинкование, цинко-оловянистое лужение, фосфатирование с последующей покраской).

Использование биметаллических контактов медь-алюминий позволяет свести к минимуму, а в ряде случаев и полностью устранить эти недостатки.

Специфические свойства металлов композиции (их интенсивное окисление на воздухе, интенсивное окисление меди при повышенных температурах) и характер их взаимодействия при соединении (возникновение хрупких интерметаллидных фаз) обуславливают определенные трудности при получении биметалла медь-алюминий традиционными методами (холодной и горячей прокаткой) [3].

Дополнительные трудности, связанные с выбором термомеханического режима пластической деформации, температур совместной рекристаллизации и т. д., при получении биметаллического соединения создают разница в температурах плавления обоих металлов и в рекомендуемых температурах пластической обработки (для алюминия – 400...500 °С, для меди – 800...900 °С).

Кроме того, прочность соединения медно-алюминиевого биметалла, получаемого прокаткой, ниже прочности на разрыв не только меди, но и алюминия (рис. 1, по данным [3]).

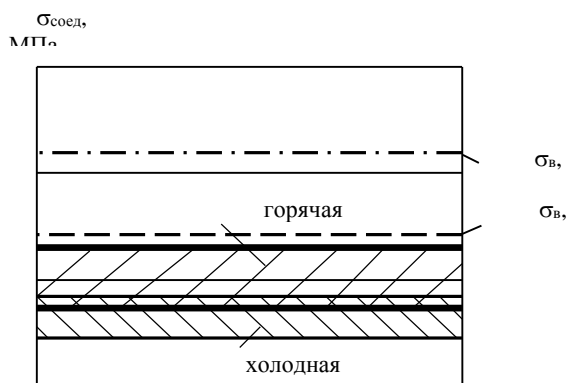


Рис. 1 – Прочность соединения слоев $\sigma_{\text{соед}}$ медно-алюминиевого биметалла, получаемого холодной и горячей прокаткой в сравнении с пределами прочности металлов слоев (по данным [3])

Обзор последних источников исследований и публикаций. Перспективным методом получения данного биметалла является плакирование взрывом [4]. На основе анализа большого количества работ, посвященного проблемам плакирования взрывом, выделены основные направления исследований в этой области [5], одним из которых является исследование служебных характеристик биметаллов, полученных плакированием взрывом.

Удельное электрическое сопротивление ρ металла является постоянной величиной, характеризующей его электрические свойства [6]. В случае проводникового и контактного биметалла, которым является композиция медь-алюминий, этот параметр определяет его эксплуатационные свойства.

Кроме того, значение удельного электрического сопротивления (величины, обратной электропроводности) биметалла применяется при расчетах, реализуемых при контроле расслоения методом электрического потенциала [7]. Метод электрического потенциала применяется для контроля проводниковых материалов.

Согласно ГОСТ 25315-82 «Контроль неразрушающий электрический. Термины и определения», электропотенциальный метод – метод электрического неразрушающего контроля, основанный на регистрации распределения потенциалов по поверхности объекта контроля.

Путем измерения падения потенциала на некотором участке проводника контролируется толщина проводящего слоя и наличие несплошностей вблизи поверхностей проводника [8]. Метод основан на том, что при огибании электрическим током поверхностного дефекта увеличивается падение потенциала на дефектном участке, что позволяет определить глубину несплошности с погрешностью в несколько процентов.

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы. Несмотря на интерес исследователей к

эксплуатационным свойствам (в первую очередь, очевидно, электрическим) данного биметалла, закономерности влияния соотношения слоев в биметалле, полученном плакированием взрывом, на его электрические свойства не проанализированы. Изучение закономерностей изменения удельного электрического сопротивления медно-алюминиевого биметалла от соотношения толщин его слоев актуально как для обеспечения эксплуатационных свойств данного биметалла, так и для эффективного контроля его качества.

Постановка задачи. Таким образом, целью работы является исследование влияния соотношения толщин слоев медно-алюминиевых композиций, полученных плакированием взрывом, на их удельное электрическое сопротивление.

Основной материал и результаты. Режимы плакирования взрывом для получения требуемой производством (в настоящее время внедренной) слоистой медно-алюминиевой композиции (основной слой – лист из алюминия АД0 толщиной 8 мм, плакирующий слой – лист из меди М1 толщиной 2 мм) были рассчитаны по уточненной методике, приведенной в работе [9]. Данная методика расчета апробирована экспериментально, с ее использованием получены качественные композиции. Исследования электрических свойств данной композиции, приведенные в этой работе, выполнялись на образцах, полученных плакированием взрывом с использованием этой методики.

Как известно, удельное электрическое сопротивление ρ металла может быть получено измерением сопротивления r на образце длиной l и сечением s ; вычисляется ρ из зависимости [6]

$$r = \frac{\rho l}{s}, \quad (1)$$

где для металлических проводников r в Ом; длина l – в м, сечение s – в мм². В этом случае ρ будет выражено в Ом·мм²/м.

Использовалось измерение электрического сопротивления по методу двойного моста [6].

Удельное электрическое сопротивление использованных в экспериментах листов меди ρ_1 составило (среднее по листам толщиной 2 и 3 мм) 0,0178 Ом·мм²/м. Удельное электрическое сопротивление использованных в экспериментах листов алюминия ρ_2 составило (среднее по листам толщиной 7, 8 и 10 мм) 0,0271 Ом·мм²/м. Отметим, что в справочнике [2] приводятся значения удельного электрического сопротивления при 20 °С: меди – 0,01724...0,018 мкОм·м, алюминия – 0,0262...0,0295 мкОм·м. Измеренные значения соответствуют табличным диапазонам, что подтверждает корректность измерений.

Измерение удельного электрического сопротивления ρ проводилось на установке МВТ-3. Размеры образцов, в соответствии с

рекомендаціями роботи [7], приймалися 10...13×20×100 мм.

Теоретическое (расчетное) удельное электрическое сопротивление биметалла определялось по зависимости [10]

$$\rho = \rho_1 \frac{\left(1 + \frac{\delta_1}{\delta_2}\right)}{\frac{\rho_1 + \delta_1}{\rho_2 + \delta_2}}, \quad (2)$$

где δ_1 – толщина плакирующего слоя биметалла, δ_2 – толщина плакирующего слоя биметалла, ρ_1 – удельное сопротивление металла плакирующего слоя, ρ_2 – удельное сопротивление металла основного слоя.

Полученные по зависимости (2) теоретические значения удельного электрического сопротивления для композиций с разными вариантами соотношения толщин приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Исходные данные и результаты экспериментов

Параметр	Вариант				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Толщина слоя меди δ_1 , мм	2	3	2	3	2+2
Толщина слоя алюминия δ_2 , мм	8	7	10	10	8
Отношение толщин слоев δ_1/δ_2	0,25	0,43	0,2	0,3	0,5
Отношение толщины плакирующего слоя к толщине биметалла $\delta_1/(\delta_1+\delta_2)$	0,2	0,3	0,17	0,23	0,33
Удельное электрическое сопротивление биметалла $\rho_{12} \times 10^{-2}$, Ом·мм ² /м (теоретическое)	2,45	2,34	2,49	2,42	2,31
Удельное электрическое сопротивление биметалла $\rho_{12} \times 10^{-2}$, Ом·мм ² /м (экспериментальное)	2,55	2,44	2,64	2,65	2,47
Разность между экспериментальным и теоретическим значением, %	3,9	4,1	5,9	9,6	7

Также в табл. 1 приведены измеренные (экспериментальные) значения удельного электрического сопротивления для полученных плакированием взрывом композиций с разными вариантами отношения толщин слоев δ_1/δ_2 (зачастую в работах, посвященных биметаллам, используется близкий параметр – отношение толщины плакирующего слоя к общей толщине биметалла $\delta_1/(\delta_1+\delta_2)$).

Как следует из данных табл. 1, удельное электрическое сопротивление биметалла ниже, чем у алюминия, и выше, чем у меди. Таким образом подтверждается полученная ранее закономерность, что значение удельного электрического

сопротивления двухслойной композиции лежит между значениями этого параметра для металлов слоев. На примере коррозионностойких биметаллов установлено [7], что при удельном электрическом сопротивлении 0,345 Ом·мм²/м основного слоя (стали 14Х2ГМ) и 0,746 Ом·мм²/м плакирующего слоя (сталь 12Х18Н10Т) при отношении толщины плакирующего слоя к общей толщине биметалла 0,27 (1,6 мм/6 мм), удельное электрическое сопротивление биметалла 0,4 Ом·мм²/м. Установлено [7] хорошее совпадение расчетных (по зависимости (2)) и экспериментальных данных для этой композиции, а также для композиций плакирующей слой 12Х18Н10Т + основной слой 17Г2СФ или 16Г2АФ.

На рис. 2 показано влияние отношения толщин слоев медно-алюминиевого биметалла на его удельное электрическое сопротивление в сопоставлении расчетных значений с результатами измерений.

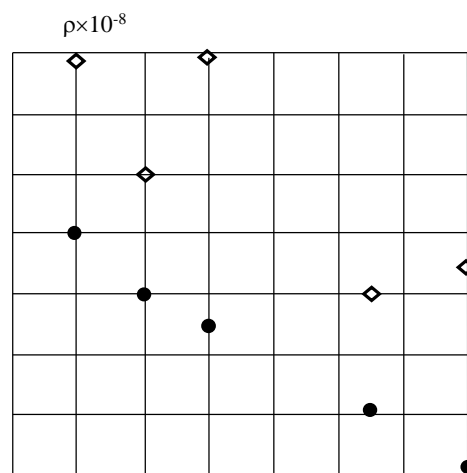


Рис. 2 – Зависимость удельного электрического сопротивления медно-алюминиевого биметалла от отношения толщин слоев (круги – теоретические значения, ромбы – экспериментальные значения)

При увеличении отношения толщины плакирующего слоя меди к общей толщине биметалла теоретическое удельное электрическое сопротивление биметалла монотонно понижается, занимая промежуточное положение между удельными электрическими сопротивлениями металлов слоев. Экспериментальное удельное электрическое сопротивление биметалла при увеличении отношения толщины плакирующего слоя меди к общей толщине биметалла имеет более сложный характер.

Из данных табл. 1 следует, что разность между расчетными и экспериментальными значениями удельного электрического сопротивления биметалла составляет 3,9...9,6%. Можно предположить, что разность возникает вследствие характерных для плакирования взрывом явлений – в частности, образования интерметаллидов и литых включений расплавленного вследствие нагрева при плакировании металла.

Отметим, что с увеличением толщины биметалла разность между теоретическими и экспериментальными значениями удельного электрического сопротивления возрастает. Это происходит, предположительно, в связи с увеличением удельной энергии W_2 , затрачиваемой на пластическую деформацию металла в зоне соединения свариваемых элементов при плакировании взрывом. Удельная энергия W_2 определяется в соответствии с известной зависимостью [11]

$$W_2 = \frac{m_1 \cdot m_2}{2(m_1 + m_2)} v_c^2 \left[1 - \left(\frac{v_k}{C_0} \right)^2 \right], \quad (3)$$

где m_1 – масса метаемой пластины; $m_1 = \rho_1 \delta_1$, ρ_1 – плотность металла метаемой пластины, δ_1 – толщина металла метаемой пластины; m_2 – масса неподвижной пластины, где $m_2 = \rho_2 \delta_2$, ρ_2 – плотность металла неподвижной пластины, δ_2 – толщина металла неподвижной пластины; v_k – скорость точки контакта; v_c – скорость соударения пластин; C_0 – скорость звука в металле.

Как следует из зависимости (3), при прочих равных условиях с увеличением толщины биметалла повышается удельная энергия W_2 , что, видимо, служит причиной создания дефектов в зоне соединения, повышающих удельное электрическое сопротивление биметалла.

Выводы. Установлено, что удельное электрическое сопротивление полученных плакированием взрывом слоистых медно-алюминиевых композиций (с отношением толщины слоя меди к толщине слоя алюминия 0,2...0,5) ниже, чем у алюминия, и выше, чем у меди.

С увеличением толщины данного биметалла разность между теоретическими и экспериментальными значениями удельного электрического сопротивления возрастает.

С увеличением доли плакирующего слоя меди в общей толщине биметалла теоретическое удельное электрическое сопротивление биметалла монотонно понижается, тенденция уменьшения экспериментальных значений также в основном сохраняется, кроме случаев максимальной толщины биметалла.

Список литературы: 1. Трыков Ю. П. Слоистые композиты на основе алюминия и его сплавов / Ю. П. Трыков, Л. М. Гуревич, В. Г. Шморгул. – М. : Металлургиздат, 2004. – 230 с. 2. Алиев И. И. Справочник по электротехнике и электрооборудованию / И. И. Алиев. – Ростов н/Д : Феникс, 2004. – 480 с. 3. Тодоров Р. П. Биметаллические контакты / Р. П. Тодоров, Л. И. Кюнстлер, Г. И. Бакалов. – М. : Металлургия, 1976. – 87 с. 4. Загорянский В. Г. Влияние основных технологических параметров на прочность соединения слоев биметалла алюминий-медь / В. Г. Загорянский // Металл и литье Украины. – 2014. – № 11 (258). – С. 30–35. 5. Конон Ю. А. Сварка взрывом / Ю. А. Конон, Л. Б. Первухин, А. Д. Чудновский; Под ред. В. М. Кудинова. – М. : Машиностроение, 1987. – 216 с. 6. Лившиц Б. Г. Физические свойства металлов и сплавов / Б. Г. Лившиц, В. С. Крапошин, Я. Л. Линецкий. – М. : Металлургия, 1980. – 320 с. 7. Некоторые физические свойства коррозионностойких биметаллов / Маслов А. М., Устименко В. А., Быков А. А. [и др.] // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1983. – № 3. – С. 106–109. 8. Каневский И. Н. Неразрушающие методы контроля / И. Н. Каневский, Е. Н. Сальникова. – Владивосток : Изд-во ДВГТУ, 2007. – 243 с. 9. Драгобецкий В. В. Расчет режимов сварки взрывом слоистой медно-алюминиевой композиции / В. В. Драгобецкий, В. Г. Загорянский, В. Е. Загирняк // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – № 13 (184). – Ч.1. – Луганськ : СХУ імені Володимира Даля, 2012. – С. 60–69. 10. Перепелица И. В. Основные зависимости для разработки технологии производства термобиметаллов / И. В. Перепелица, А. И. Гришков // Сталь. – 1971. – № 11. – С. 1023–1025. 11. Процессы обработки материалов взрывом / А. В. Крупин, С. Н. Калужин, Е. У. Атабеков [и др.]. – М. : Металлургия, 1996. – 336 с.

Bibliography (transliterated): 1. Trykov Ju. P., L. M. Gurevich and V. G. Shmorgun. *Sloistye kompozity na osnove aljuminija i ego splavov*. Moscow : Metallurgizdat, 2004. Print. 2. Aliev I. I. *Spravochnik po jelektrrotehnike i jelektrrooborudovaniju*. Rostov n/D : Feniks, 2004. Print. 3. Todorov R. P., L. I. Kjunstler and G. I. Bakalov G. I. *Bimetallicheskie kontakty*. Moscow : Metallurgija, 1976. Print. 4. Zagorjanskij V. G. «Vlijanie osnovnyh tehnologicheskikh parametrov na prochnost' soedinenija sloev bimetalja aljuminij-med'». *Metall i lit'e Ukrainy*. No 11 (258). 2014. 30–35. Print. 5. Konon Ju. A., L. B. Pervuhin, A. D. Chudnovskij. *Svarka vzryvom*. Moscow: Mashinostroenie, 1987. Print. 6. Livshic B. G., V. S. Kraposhin and Ja. L. Lineckij. *Fizicheskie svojstva metallov i splavov*. Mokok: Metallurgija, 1980. Print. 7. Maslov, A. M., et al. «Nekotorye fizicheskie svojstva korrozionnostojkih bimetallov.» *Metallovedenie i termicheskaja obrabotka metallov*. No 3. 1983. 106–109. Print. 8. Kanevskij I. N. and E. N. Sal'nikova. *Nerazrushajushhie metody kontrolja*. Vladivostok : Izd-vo DVG TU, 2007. Print. 9. Dragobeckij V. V., V. G. Zagorjanskij and V. E. Zagirnjak. «Raschet rezhimov svarki vzryvom sloistoj medno-aljuminievoj kompozicii». *Visnik Shidnoukrajns'kogo nacional'nogo universitetu imeni Volodimira Dalja*. No. 13 (184). Ch. 1. 2012. 60–69. Print. 10. Perepelica I. V. and A. I. Grishkov. «Osnovnye zavisimosti dlja razrabotki tehnologii proizvodstva termobimetallov». *Stal'*. No. 11. 1971. 1023–1025. Print. 11. Krupin A. V., et al. *Processy obrabotki materialov vzryvom*. Moscow: Metallurgija, 1996. Print.

Поступила (received) 31.10.2015

Сведения об авторах / About the Authors

Загорянский Владимир Георгиевич – кандидат технических наук, доцент, докторант кафедры технологии машиностроения Кременчугского национального университета им. Михаила Остроградского, тел.: (050) 874-87-48; e-mail: zagor_vlad@ukr.net.

Zagoryanskiy Vladimir Georgievich – Candidate of Technical Sciences, Associated Professor, Person working for doctor's degree, department of technology of machine-building of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University, tel.: (050) 874-87-48; e-mail: zagor_vlad@ukr.net.

Дикая Луиза Эхматовна – ассистент кафедры технологии машиностроения Кременчугского национального университета им. Михаила Остроградского, тел.: (096) 254-20-90; e-mail: lu.di@mail.ru.

Dikaya Luiza Ehmatozna – assistant of department of technology of machine-building of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskiy National University, tel.: (096) 254-20-90; e-mail: lu.di@mail.ru.

УДК 621.983

О. В. КАЛЮЖНИЙ

КОМБІНОВАНЕ ВИТЯГУВАННЯ ВІСЕСИМЕТРИЧНИХ ВИРОБІВ ІЗ АЛЮМІНІЮ AL-3003 В ДВОХКОНУСНІЙ МАТРИЦІ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРОФІЛЯ

Методом скінченних елементів проведений аналіз комбінованого витягування із алюмінію AL-3003 вісесиметричних виробів в двоконусній матриці спеціального профіля без притискача. При витягуванні заготовок різного діаметра з однаковою товщиною встановлені раціональні профілі деформуючих поверхонь матриць та величини мінімальних односторонніх зазорів між матрицею і пуансоном, при яких деформування проходить без руйнування та отримуються вироби з максимальною висотою. Моделюванням виявлені енергосилові режими витягування, кінцеві форми і розміри виробів та напружено-деформований стан в zdeформованих заготовках. Використання матриці спеціального профіля дозволяє зменшити кількість переходів витягування в порівнянні з традиційною двоконусною матрицею.

Ключові слова: комбіноване витягування, двоконусна матриця спеціального профіля, зазор між матрицею і пуансоном, комп'ютерне моделювання, метод скінченних елементів, зусилля витягування, форма і розміри виробів, ресурс пластичності zdeформованого металу.

Вступ. Традиційне витягування вісесиметричних виробів із алюмінію та його сплавів в радіальних матрицях, які викладені в джерелах [1–4], не відповідають вимогам сучасного виробництва по продуктивності штампування та по точності форми і розмірів виробів. Використання комбінованого витягування в одноконусній і двоконусній матрицях дозволяє збільшити глибину витягування за один перехід та підвищити точність виробів завдяки потоншенню стінки при формоутворенні [5]. Вплив геометричної форми традиційної двоконусної матриці на процес формоутворення, форму і розміри виробів із сталі та зусилля деформування наведені в роботі [6]. Використання двоконусної матриці спеціального профіля, в якій деформуюча поверхня утворена перетином торів, дозволяє інтенсифікувати процес комбінованого витягування в напрямку збільшення ступеня деформації за один перехід та зменшення кількості переходів штампування [7, 8]. В роботі [9] приведена матриця з деформуючою поверхнею, яка суттєво зменшує вірогідність утворення складок при формоутворенні витягуванням. Однак, в літературних джерелах практично відсутні дані по витягуванню виробів із алюмінію в матриці спеціального профіля.

Метою даного дослідження є встановлення параметрів комбінованого витягування в двоконусній матриці спеціального профіля вісесиметричних виробів із листових заготовок різного діаметра з алюмінію AL-3003.

Схема комбінованого витягування в двоконусній матриці спеціального профілю показана на рис. 1. Вихідна листовая заготовка 1 діаметром $D_3=2R_3$ встановлена в матриці 2. На відміну від традиційної двоконусної матриці, у матриці спеціального профіля деформуюча поверхня утворена перетином торів діаметром d , які розташовані з необхідними кроками l і n . Дотичні до деформуючої поверхні утворюють кути α та β . В місці перетину дотичних поверхонь матриця має діаметр $D_K=2R_K$. Перехід плоскої поверхні матриці 2 в конусну під кутом α відбувається на діаметрі $D_o=2R_o$. Витягування виконується за допомогою пуансона діаметром

$D_{II}=2R_{II}$ з радіусом заокруглення r_f . Для встановлення параметрів витягування використане комп'ютерне моделювання з використанням методу скінченних елементів (МСЕ) та програми DEFORM. Застосована пружно-пластична модель формоутворення ізотропного металу із коефіцієнтом тертя $\mu=0,08$.

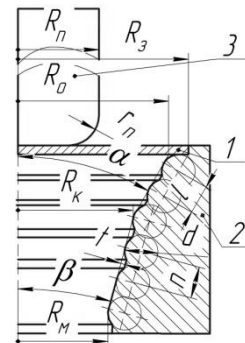


Рис. 1 – Схема витягування в двоконусній матриці

Витягуванню підлягали заготовки із алюмінію AL-3003, який має умовну межу текучості $\sigma_{0,2}=80$ МПа, діаметрами $D_3=110, 120, 130, 140$ та 150 мм і товщиною $S_o=1,7$ мм. Діаметр пуансона D_{II} з радіусом заокруглення $r_f, r_{II}=15$ мм вибирався в залежності від величини одностороннього зазору z між пуансоном і матрицею. Діаметр матриці D_K для вказаних заготовок був однаковий і складав $D_K=59,2$ мм. Деформуюча поверхня матриці утворена перетином торів діаметром $d=11$ мм, які розташовані з кроками $l \approx n=11$ мм. Дотичні до деформуючої поверхні утворюють кути $\alpha=30^\circ$ та $\beta=15^\circ$ по рекомендаціях джерела [5]. Розмір зазору t , який необхідний для запобігання утворення складок при формоутворенні виробів завдяки розвантаженню торця zdeформованої заготовки, був величиною $1,5$ мм. Діаметри матриці $D_o=2R_o$ і $D_K=2R_K$ також визначалися згідно рекомендацій роботи [5] та для кожної заготовки мали різні значення. Для заготовки з $D_3=110$ мм – $D_o=99$ мм і $D_K=80$ мм; з $D_3=120$ мм – $D_o=108$ мм і $D_K=81$ мм; з $D_3=130$ мм – $D_o=117$ мм і $D_K=82$ мм; з $D_3=140$ мм –

$D_o=126$ мм і $D_k=83$ мм; з $D_3=150$ мм – $D_o=135$ мм і $D_k=84$ мм. При даних розмірах в традиційній двохконусній матриці за один перехід можна отримати виріб із заготовки з $D_3=110$ мм.

Розрахунком для кожного діаметра заготовки D_3 були встановлені мінімальні величини зазорів z , при яких витягування проходить без руйнування та отримуються вироби з максимальною висотою. При витягуванні заготовки діаметром $D_3=110$ мм величина такого зазору склала $z=0,9$ мм. При цьому діаметр пуансона був $D_{II}=57,4$ мм. Для інших діаметрів заготовок отримано: для $D_3=120$ мм – $z=1$ мм і $D_{II}=57,2$ мм; для $D_3=130$ мм – $z=1,1$ мм і $D_{II}=57$ мм; для $D_3=140$ мм – $z=1,2$ мм і $D_{II}=56,8$ мм; для $D_3=150$ мм – $z=1,3$ мм і $D_{II}=56,6$ мм.

На рис. 2 показані розрахункові залежності зусилля витягування від переміщення пуансонів, які отримані при витягуванні заготовок різного діаметра. На стадії згинання заготовки і деформування по верхній конусній поверхні зусилля витягування зростає. Чим більший діаметр заготовки, тим менше зусилля згинання. Далі, при формоутворенні zdeформованої заготовки в місці переходу верхнього конуса в нижній, зусилля дещо знижується. Зі збільшенням діаметра D_3 зусилля витягування та переміщення пуансона зростають.

Моделюванням встановлені причини руйнування zdeформованої заготовки при витягуванні.

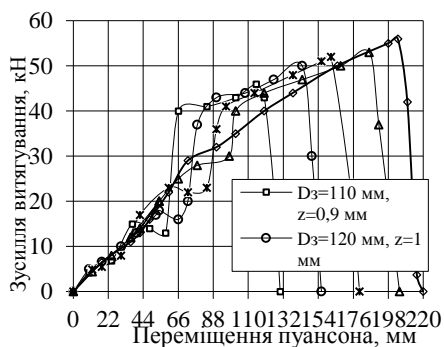


Рис. 2 – Залежності зусилля витягування від переміщення пуансона

Для прикладу, на рис. 3 зображена zdeформована заготовка діаметром $D_3=120$ мм в момент руйнування. Розподіл ступеня використання ресурсу пластичності по об'єму заготовки у цей момент приведений на рис. 3, а. В стінці zdeформованої заготовки виникає область, в якій повністю вичерпується ресурс пластичності zdeформованого металу, досягаючи значення $\psi=1$. Це є причиною відриву донної частини заготовки (рис. 3, б).

Послідовність формоутворення виробу в матриці спеціального профіля із заготовки з $D_3=120$ мм показана на рис. 4.

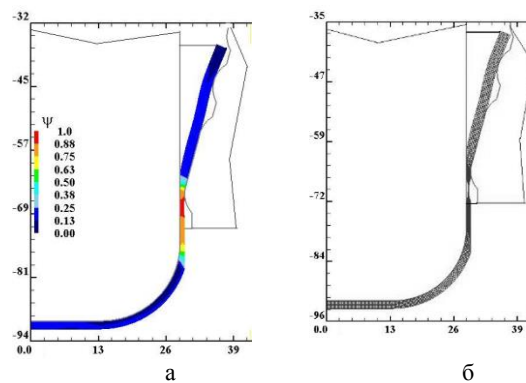


Рис. 3 – Zдеформована заготовка діаметром $D_3=120$ мм в момент руйнування: а – розподіл ступеня використання ресурсу пластичності, б – відрив донної частини заготовки

Тонкими лініями зображений деформуючий інструмент. На початку витягування (рис. 4, а) заготовка деформується по поверхні верхнього конуса матриці. При цьому початку витягування (рис. 4, а) заготовка деформується по поверхні верхнього конуса матриці. При цьому торець zdeформованої заготовки розвантажується та заповнює зазор величиною $z=1,5$ мм між виступами деформуючої поверхні матриці, що запобігає утворенню складок при витягуванні.

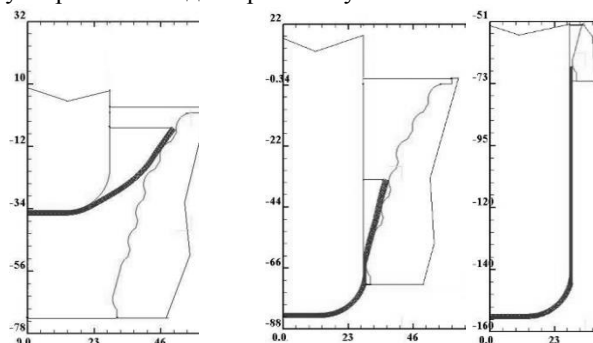


Рис. 4 – Послідовність формоутворення виробу в матриці спеціального профіля

На вичерпаний ресурс пластичності zdeформованого металу в процесі витягування суттєво впливають розтягувальні осьові напруження σ_z , які виникають в стінці циліндричної частини zdeформованої заготовки. Найбільші величини цих напружень мають місце при максимальному значенні зусилля витягування. На рис. 5 зображені розподіли вказаних напружень по об'єму zdeформованих заготовок при витягування заготовок з $D_3=110, 130$ та 150 мм. Максимальні зусилля витягування отримуються при торканні торців zdeформованих заготовок бокової поверхні пуансона. В цей момент товщини стінок торців zdeформованих заготовок для наведених діаметрів D_3 відповідно склали: 2,5; 2,7 та 2,9 мм. При витягуванні заготовки з $D_3=110$ мм розтягувальні осьові напруження у стінці циліндричної частини знаходяться в межах $\sigma_z=171\div 210$ МПа (рис. 5, а). У стінці на початку радіуса заокруглення донної частини величини цих напружень досягають значень $\sigma_z=55\div 93$ МПа. При витягуванні заготовки

з $D_3 = 130$ мм у стінці здеформованої заготовки, яка знаходиться в зазорі між матрицею і пуансоном, є невелика зона з величиною осевих напружень в межах $\sigma_z = 171 \div 210$ МПа (рис. 5. б). При цьому у стінці на радіусі заокруглення донної частини здеформованої заготовки отримано $\sigma_z = 73 \div 120$ МПа. Збільшення діаметра до $D_3 = 150$ мм приводить до подальшого зменшення розтягувальних напружень у стінці, яка знаходиться в зазорі між матрицею та пуансоном.

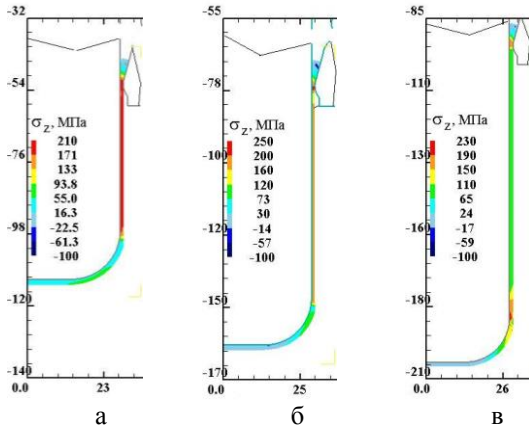


Рис. 5 – Розподіли осевих напружень σ_z у здеформованих заготовках при максимальному зусиллі витягування: а – $D_3 = 110$ мм, б – $D_3 = 130$ мм, в – $D_3 = 150$ мм. Розміри по вісях в міліметрах

Тут отримано $\sigma_z = 55 \div 93$ МПа. Але в місці переходу донної частини в циліндричну частину здеформованої заготовки виникає зона з розтягувальними напруженнями в межах $\sigma_z = 190 \div 230$ МПа, що при зменшенні зазору між пуансоном та матрицею приводить до відриву донної частини

Пропрацювання структури металу холодною пластичною деформацією можна оцінити по розподілу інтенсивності деформацій. З іншої сторони по цьому розподілу та з використанням експериментальної діаграми істинних напружень можна прогнозувати механічні властивості здеформованого металу. На рис. 6 приведені розподіли інтенсивності деформацій ϵ_i у здеформованому металі після витягування заготовок з $D_3 = 110, 130$ та 150 мм. Вигляд розподілів практично однаковий для розглянутих діаметрів заготовок, але досягнуті величини ϵ_i дещо відрізняються. У стінці на радіусі заокруглення донних частин здеформованих заготовок значення інтенсивності деформацій знаходяться в межах $\epsilon_i = 0,25 \div 0,51$. Після витягування заготовки з $D_3 = 110$ мм в зоні торця виникає інтенсивність деформацій в межах $\epsilon_i = 1,6 \div 1,8$ (рис. 6, а). Збільшення діаметра до $D_3 = 130$ мм приводить до отримання в цьому місці зони з $\epsilon_i = 1,8 \div 2,0$ (рис. 6, б).

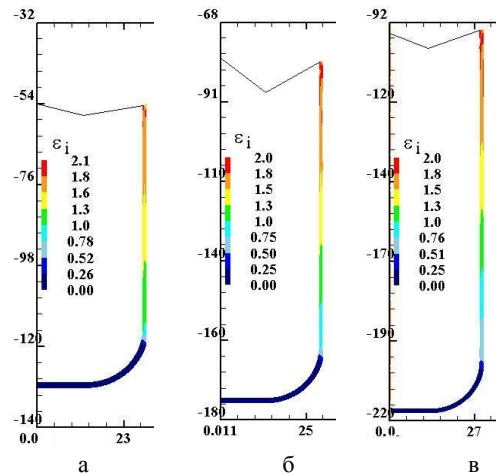


Рис. 6 – Розподіли інтенсивності деформацій у здеформованому металі після витягування заготовок різного діаметра: а – $D_3 = 110$ мм, б – $D_3 = 130$ мм, в – $D_3 = 150$ мм. Розміри по вісях в міліметрах

Подальше зростання величини D_3 приводить до розширення вказаної зони по висоті циліндричної частини здеформованої заготовки (рис. 6, в).

Моделюванням встановлені кінцеві форми та розміри виробів після витягування. На рис. 7 зображені форма та розміри виробів, які отримані після витягування заготовок з $D_3 = 110, 130$ та 150 мм.

Вироби, які отримані комбінованим витягуванням в матриці спеціального профілю мають однакову товщину стінки по всій висоті циліндричної частини. Зовнішній діаметр виробів має однакову величину $59,2$ мм. Зі збільшенням діаметра заготовки зростає потоншення стінки на радіусі заокруглення пуансона та висота виробів. Після витягування заготовки з $D_3 = 110$ мм на радіусі заокруглення стінка потоншила з вихідної товщини $S_0 = 1,7$ мм до $1,65$ мм (рис. 7, а). Висота виробу склала 79 мм. Збільшення діаметра до величини приводить до товщини стінки $1,58$ мм на радіусі заокруглення та до висоти виробу 101 мм (рис. 7, б). Після витягування заготовки діаметром $D_3 = 110$ мм товщина стінки в указаному місці зменшилася до $1,42$ мм, а висота виробу збільшилася до 122 мм. Необхідно відмітити, що після витягування заготовки $D_3 = 120$ мм висота виробу склала 91 мм, а після витягування заготовки з $D_3 = 140$ мм – 111 мм.

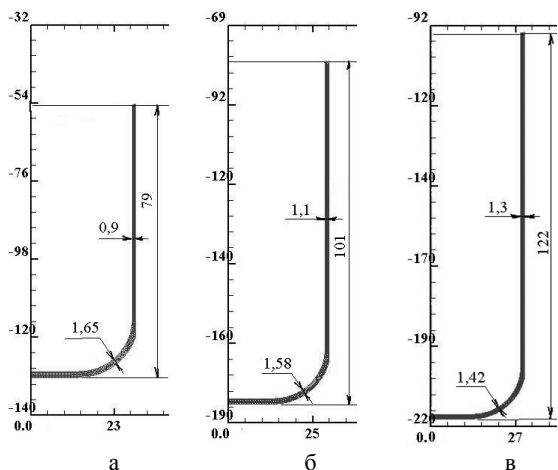


Рис. 7 – Форма та розміри в міліметрах виробів після витягування заготовок різного діаметра: а – $D_3 = 110$ мм, б – $D_3 = 130$ мм, в – $D_3 = 150$ мм
Розміри по всіах в міліметрах

Загальні вигляди виробів в розрізі, які отримані витягуванням із заготовок діаметром $D_3 = 110, 130$ та 150 мм зображені на рис. 8.

По результатах розрахунків було спроектоване та виготовлене штампове оснащення для комбінованого витягування в матриці спеціального профілю. На рис. 9 зображений ескіз матриці спеціального профілю для витягування вісесиметричних виробів із заготовки $D_3 = 150$ мм. На плиті 1 штампа встановлена витяжна матриця 2. На матриці 2 розміщені деформуючі вставки 3, 5, 7, 9, 11, 13 та 15, які виготовлені із штампових сталей.

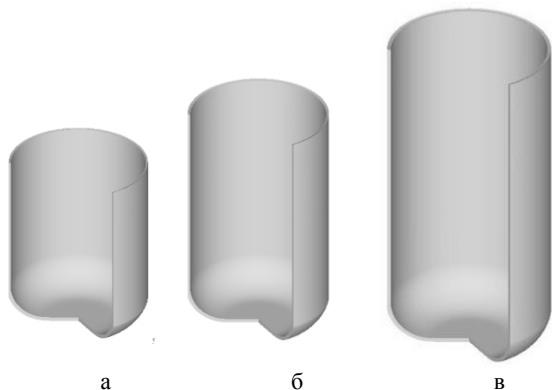


Рис. 8 – Загальні вигляди виробів в розрізі, які отримані після витягування заготовок різного діаметра: а – $D_3 = 110$ мм, б – $D_3 = 130$ мм, в – $D_3 = 150$ мм

Між вставками розміщені кільця 2, 4, 6, 8, 10, 12 та 14 із середньовуглецевої сталі. Вставки і кільця центруються між собою та зафіксовані до плити 1 за допомогою обойми 16, шпильок 17, шайб 18 та гайок 19. В обоймі виконаний отвір для направлення пуансона відносно матриці, а у вставці 15 має місце паз для встановлення вихідної заготовки. Деталі 9–15 утворюють верхню деформуючу поверхню матриці спеціального профілю, дотична до якої складає кут $\alpha = 30^\circ$ з віссю симетрії. А деталі 2–8 утворюють нижню деформуючу поверхню матриці з дотичною під кутом $\beta = 15^\circ$.

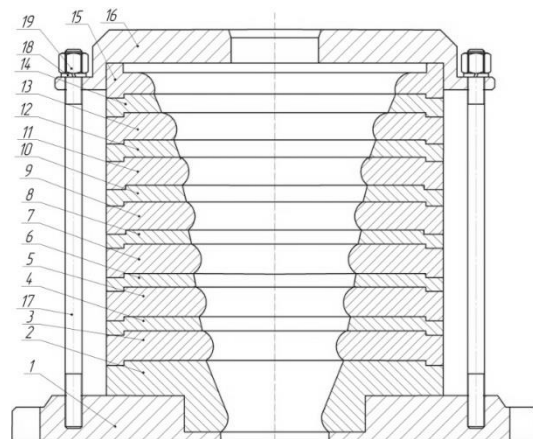


Рис. 9 – Ескіз матриці спеціального профілю

Фотографія матриці спеціального профілю, яка розміщена на проміжній плиті штампа для витягування, приведена на рис. 10. Штмп встановлюється на гідравлічний прес ДБ 2432 зусиллям $1,6$ МН.



Рис. 10 – Фотографія матриці спеціального профілю, яка розміщена на проміжній плиті штампа для витягування

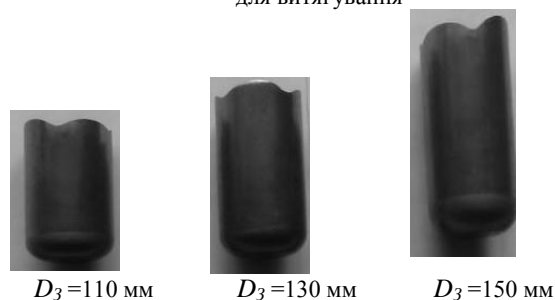


Рис. 11 – Деталі, які отримані із заготовок різного діаметра D_3

Результати експериментальних досліджень підтвердили розрахункові дані по зусиллю витягування, а також по можливості витягування виробів за один перехід. В традиційній двох конусній матриці можна отримати за один перехід виріб тільки із заготовки з $D_3 = 110$ мм. Деталі, які отримані із заготовок діаметром $D_3 = 110, 130$ та 150 мм зображені на рис. 11.

Висновки. Методом скінченних елементів проведений розрахунковий аналіз комбінованого витягування в матриці спеціального профілю вісесиметричних виробів із заготовок різного

діаметра з алюмінію AL-3003. Встановлені величини мінімальних зазорів між матрицею та пуансоном, які дозволяють виконати формоутворення без руйнування та отримати вироби з найбільшою висотою. Моделюванням встановлені силові режими витягування, напружено-деформований стан в здеформованому металі та кінцеві форми і розміри виробів. По результатах розрахунків спроектоване та виготовлене штампове оснащення та проведені експериментальні дослідження по витягуванню дослідної партії виробів. Встановлено, що використання матриці спеціального профіля дозволяє. Скоротити кількість переходів витягування в порівнянні з традиційною двохконусною матрицею.

Список літератури: 1. Романовский В. П. Справочник по холодной штамповке. 6-е изд., перераб. и доп. / В. П. Романовский. – Ленингр. отд-ние: Машиностроение. 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. 3. Аверкиев Ю. А. Холодная штамповка / Ю. А. Аверкиев. Издательство Ростовского университета, 1984. – 288 с. 4. Аверкиев Ю. А. Технология холодной штамповки / Ю. А. Аверкиев., А. Ю. Аверкиев. – М: Машиностроение, 1989. – 304 с. 5. Валиев С. А. Комбинированная глубокая вытяжка листовых материалов / С. А. Валиев. – М.: Машиностроение, 1973. – 176 с. 6. Калюжный В. Л. Визначення оптимального кута двоконусної матриці для комбінованого витягування вісесиметричних виробів / В. Л. Калюжный, А. С. Запорожченко // Збірник наукових праць (галузеve машинобудування, будівництво), Полтава, НТУ. – 2013. – №. 2(37), – С. 99–105. 7. Калюжный О.В. Зменшення кількості переходів витягування вісесиметричних виробів з використанням матриці спеціального профілю / О.В. Калюжный // Обработка материалов давлением.

Сборник научных трудов, Краматорск, ДГМА. – 2013. – №4 (37). – С. 93–97. 8. Калюжный О.В. Зменшення зусилля та підвищення продуктивності формоутворення при комбінованому витягуванні вісесиметричних виробів / О.В. Калюжный // Вісник НТУ «ХПІ», Серія «Нові рішення в сучасних технологіях». Харків. – 2013. – № 42. – С. 126–131. 9. Патент 101348, Україна, МПК (2015) В21F 1/00. Спосіб витягування порожнистих виробів в профільованій матриці / О.В.Калюжный, Я.С. Олександренко, І.П. Куліков. – Заявка № u2011101215, заявл. 2.03.2015, опубл. 10.09.2015, Бюл. №17.

Bibliography (transliterated): 1. Romanovskiy V. P. Spravochnik po holodnoy shtampovke. 6-e izd., pererab. i dop. / V. P. Romanovskiy. – Leningrad. otd-nye: Mashinostroenie. 1979. – 520 p. 2. Kovka i shtampovka: Spravochnik: Vol. 4. Listovaya shtampovka/ Pod red. A.D. Matveeva; Red. sovet: E.I. Semenov (pred.) i dr. – Moscow: Mashinostroenie, 1985–1987. – 544 p. 3. Averkiev Yu. A. Holodnaya shtampovka / Yu. A. Averkiev. Izdatelstvo Rostovskogo universiteta, 1984. – 288 p. 4. Averkiev Yu. A. Tehnologiya holodnoy shtampovki / Yu. A. Averkiev., A. Yu. Averkiev. – Moscow: Mashinostroenie, 1989. – 304 p. 5. Valiev S. A. Kombinirovannaya glubokaya vytyazhka listovyih materialov / S. A. Valiev. – Moscow.: Mashinostroenie, 1973. – 176 p. 6. Kalyuzhniy V. L. Viznachennya optimalnogo kuta dvokonusnoyi matritsi dlya kombinovanoogo vityaguvannya visesimetricnih virobiv / V. L. Kalyuzhniy, A. S. Zaporozhchenko // Zbİrnik naukovih prats (galuzeve mashinobuduvannya, budivnitstvo), Poltava, NTU. – 2013. – No 2(37),. – P. 99–105. 7. Kalyuzhniy O.V. Zmshennya kilkostI perehodiv vityaguvannya visesimetricnih virobiv z vikoristannyam matritsi spetsialnogo profilyu / O.V. Kalyuzhniy // Obrabotka materialov davleniem. Sbornik nauchnyih trudov, Kramatorsk, DGMA. – 2013. – No4 (37). – P. 93–97. 8. Kalyuzhniy O.V. Zmshennya zussillya ta pIdvischennya produktivnosti formoutvorennya pri kombinovanoomu vityaguvanni visesimetricnih virobiv / O.V. Kalyuzhniy // Visnik NTU «KHPI», SerIya «Novi rishennya v suchasnihi tehnologiyah», Kharkiv. – 2013. – No 42. – P. 126–131. 9. Patent. 101348? Ukraina, MPK (2015) V21F 1/00. Sposib vityaguvannya porozhnistih virobiv v profilovaniy matritsi / O.V.Kalyuzhniy, Ya.S. Oleksandrenko, I.P. Kulikov. – Zayaka No u2011101215, zayavl. 2.03.2015, opubl. 10.09.2015, Byul. No17.

Надійшла (received) 05.02.2015

Відомості про авторів / About the Authors

Калюжений Олександр Володимирович – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», доцент кафедри динаміки і міцності машин та опору матеріалів; тел.: (067) 771-88-62; e-mail: Av-k@ukr.net.

Klyuzhny Olexsandr Vladimirovych – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Associate Professor at the Department of Dynamics and durability of machines and resistance materials Kyiv; tel.: (067) 771-88-62; e-mail: Av-k@ukr.net.

УДК 621.733

О. С. КОРЧАК

РОЗРОБКА СИСТЕМ ГІДРОЛІНІЙ ЗВОРОТНИХ І ВРІВНОВАЖУЮЧИХ ЦИЛІНДРІВ ГІДРАВЛІЧНИХ ПРЕСІВ З НАСОСНО-АКУМУЛЯТОРНИМ ПРИВОДОМ

Розглянуті основні фактори, що визначають швидкісні параметри та якість керування системами гідроліній зворотних і врівноважуючих циліндрів гідравлічних пресів з насосно-аккумуляторним приводом. Наведено схему швидкодіючої системи керування зворотними та врівноважуючими циліндрами. Викладено методику підбору її параметрів, що дозволяє досягти підвищені значення коефіцієнта якості гідросистеми. Надано практичні рекомендації зі створення швидкодіючих систем керування гідравлічними пресами з насосно-аккумуляторним приводом для реалізації у виробництві.

Ключові слова: прес гідравлічний, циліндр, клапан регулюючий, гідролінія, привод, аккумулятор.

Аналіз стану питання. Гідравлічні преси з насосно-аккумуляторним приводом (НАП) є машинами статичної дії, які використовують у якості джерела енергії рідину високого тиску [1]. Перетворення її параметрів у відповідні показники руху плунжера робочого циліндра здійснюється системою керування [2]. При цьому в пресах з НАП необхідні швидкісні параметри систем керування значною мірою залежать від правильного вибору дросельних регулюючих клапанів, їх характеристик та раціонального розташування в межах системи відносно аккумулятора та виконавчого органу [3].

Зворотні та врівноважуючі циліндри відносяться до силових вузлів гідравлічних пресів з НАП. Вони працюють в умовах високих внутрішніх тисків збоку робочої рідини [4, 5]. До зворотних циліндрів тиск подається тільки в період зворотного ходу для підйому рухомої поперечини у верхнє положення, тому ці циліндри часто називають підйомними. Що стосується врівноважуючих, то ці циліндри постійно з'єднані гідролініями з аккумулятором, являючи таким чином безперервно діючу гідравлічну пружину [6, 7].

Постановка проблеми. Дослідження гідравлічних пресів з НАП показують, що зворотні та врівноважуючі циліндри суттєво впливають на динаміку роботи гідравлічних пресів на різних етапах машинного циклу [8].

На практиці існує спосіб визначення параметрів зворотних та врівноважуючих циліндрів [7, 9], згідно з яким їх активні площі розраховують як частки від загальної площі робочих циліндрів – 10% площі робочих циліндрів приходить на зворотні, а 8% приходить на врівноважуючі. При цьому теоретично за наближеними формулами визначають відповідні параметри системи гідроліній зворотних і врівноважуючих циліндрів. На базі визначених параметрів їх проектують, виготовляють в металі, здійснюють монтаж та випробування. Після цього експериментально досліджують побудовані системи та на базі отриманих експериментальних даних їх коректують для отримання необхідних швидкісних параметрів та випробують знову. Для цього процесу характерним є низька ефективність, а іноді і неможливість реалізації способу внаслідок необхідності проведення експериментальних досліджень. При цьому не враховується

диференціація гідроліній, адже кожна з них відповідає за досягнення необхідних параметрів руху поперечини на кожному етапі машинного циклу преса, тому неможливо необхідно не обгрунтовано завищувати або занижувати величини прохідних перетинів окремих гідроліній. Тому важливим є підвищення ефективності роботи систем гідроліній зворотних і врівноважуючих циліндрів шляхом чіткого визначення параметрів окремої гідролінії як елемента, що відповідає за досягнення необхідних параметрів руху поперечини на кожному етапі машинного циклу преса.

Результати досліджень та їх обговорення. Розглянемо методику проектування систем гідроліній зворотних і врівноважуючих циліндрів (рис. 1) на прикладі ковальських гідравлічних пресів з НАП різних номінальних зусиль (табл. 1).

На рис. 1 та в табл. 1 введені наступні позначення: 1 – гідролінія «аккумулятор – клапанний розподільник зворотних циліндрів»; 2 – гідролінія «клапанний розподільник зворотних циліндрів – зворотні циліндри»; 3 – гідролінія «клапанний розподільник зворотних циліндрів – зливний бак»; 4 – гідролінія «аккумулятор – врівноважуючі циліндри»; 5 – циліндр зворотний; 6 – циліндр врівноважуючий; 7 – клапан напірний; 8 – клапан зливний.

Проектування починають з теоретичного визначення відповідних параметрів систем гідроліній преса на базі відомих методик та рекомендацій, а саме:

- сумарної площі робочих, зворотних та врівноважуючих циліндрів [7–9];
- максимальної швидкості рухомої поперечини на холостому та зворотному ходах;
- максимальної швидкості робочої рідини високого та низького тисків.

При цьому використовують дані з паспортів пресів з урахуванням креслень цехових разводок трубопроводів, що розглядаються. Докладний опис методики визначенні параметрів гідроліній пресів на базі разводок трубопроводів наведених в роботі [10] автора та в даній статті не наводиться. Однак послідовні аналітичні залежності було отримано на базі зазначеної методики з використанням виробничого досвіду проектування та експлуатації гідравлічних пресів.

© О.С. Корчак, 2015

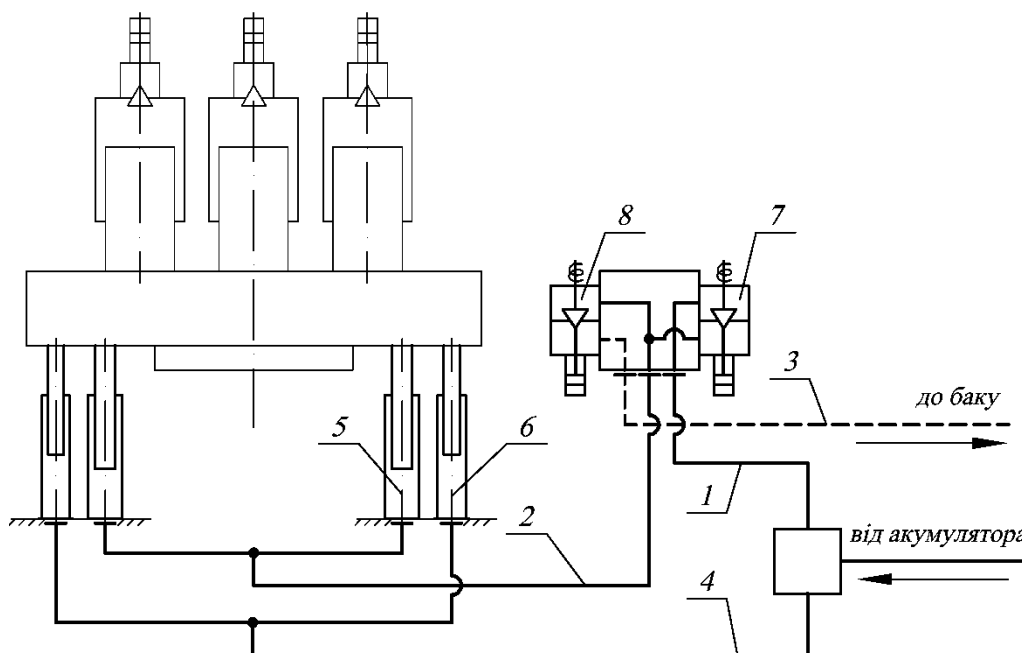


Рис. 1 – Схема системи гідроліній зворотних і врівноважуючих циліндрів

Таблиця 1 – Параметри систем гідроліній зворотних і врівноважуючих циліндрів для пресів різних зусиль

Параметр	Номінальне зусилля ковального преса, МН			
	50	63	100	150
Сумарна площа робочих циліндрів, м ²	1,584305	1,908518	3,336607	5,301438
Сумарна площа зворотних циліндрів, м ²	0,158431	0,190852	0,333661	0,530144
Сумарна площа врівноважуючих циліндрів, м ²	0,126744	0,152681	0,266929	0,424115
Максимальна швидкість холостого ходу, м/с	0,35	0,3	0,25	
Максимальна швидкість зворотного ходу, м/с	0,45	0,4	0,35	
Максимальна швидкість робочої рідини високого тиску, м/с	12,0			
Максимальна швидкість робочої рідини низького тиску, м/с	7,0			
Гідролінія 1 і 2: • площа прохідного перетину, м ² ; • прохідний діаметр, м	0,005941 0,086996	0,006362 0,090023	0,009732 0,111343	0,015463 0,140348
Гідролінія 3: • площа прохідного перетину, м ² ; • прохідний діаметр, м	0,007922 0,100455	0,008179 0,102076	0,011916 0,123208	0,018934 0,155304
Гідролінія 4: • площа прохідного перетину, м ² ; • прохідний діаметр, м	0,003697 0,068624	0,003817 0,069731	0,005561 0,084167	0,008836 0,106093

Розраховують площі наступних прохідних відповідних гідроліній (рис. 1) перетинів:

- для гідроліній 1 і 2 – $f_z = F_{зв} \frac{V_{zx \max}}{[V]_{рвт}}$;
- для гідролінії 3 – $f_z = F_{зв} \frac{V_{zx \max}}{[V]_{рвт}}$;
- для гідролінії 4 – $f_z = F_{зв} \frac{V_{zx \max}}{[V]_{рвт}}$,

де f_z – величина прохідного перетину відповідної гідролінії, м²;

$F_{зв}, F_{зр}$ – сумарні площа зворотних та врівноважуючих циліндрів, м²;

$V_{zx \max}, V_{zx \max}$ – максимальні швидкості рухомої поперечини на зворотному та холостому ходах, м/с;

$[V]_{рвт}, [V]_{рвт}$ – максимальні швидкості течії рідини високого та низького тиску, м/с.

Визначені параметри систем гідроліній зворотних і врівноважуючих циліндрів для пресів різних зусиль наведено в табл. 1.

Закладення в спроектовану систему необхідних швидкісних параметрами здійснюється у відповідності до наступної послідовності [12].

1. На базі даних табл. 1 проектують систему керування гідравлічним пресом. При цьому необхідним є врахування наступних рекомендацій:

- гідробалони акумулятора слід максимально наближати до преса;
- гідролінії 1–4 (рис. 1) необхідно розвантажити від зайвих гідравлічних опорів;
- основну частку загального опору гідроліній 1–3 зосереджують на дросельних регулюючих

клапанах 7 і 8 (рис. 1) з досягненням значення коефіцієнта α якості гідросистеми не нижче, ніж 0,6.

2. У відповідності до прийнятого значення величини коефіцієнта α проектують гідролінії 1 – 3.

Визначають коефіцієнт гідравлічного опору дросельного регулюючого клапана за формулою

$$\xi_{кл} = \alpha \cdot \xi_m,$$

де $\xi_{кл}$ – приведений до плунжерів зворотних циліндрів коефіцієнт опору регулюючого клапана;

ξ_m – загальний коефіцієнт опору магістралі, де встановлено клапан.

Коефіцієнт ξ_m визначають у відповідності до формули Вейсбаха

$$\xi_m = \frac{\Delta p}{0,5 \cdot \rho \cdot V_{\max}^2},$$

де Δp – гранично припустимий перепад тисків між акумулятором та зворотним циліндром при переміщенні поперечини з найбільшою швидкістю, МПа;

ρ – щільність робочої рідини, кг/м³.

Компонування гідроліній 1 – 4 необхідними для їх нормальної експлуатації елементами здійснюють за допомогою значення коефіцієнту $\xi_{арм}$ опору труб та арматури цієї гідролінії за формулою

$$\xi_{арм} = \xi_m - \xi_{кл}.$$

3. Будують швидкісну характеристику дросельних регулюючих клапанів 7 і 8 (рис. 1) за залежністю

$$V_n = \frac{V_{\max}}{\sqrt{1 + \alpha \left(\frac{h_{кл}^2}{h_{ном}^2} - 1 \right)}},$$

де V_n – поточне значення швидкості переміщення рухомої поперечини, м/с;

V_{\max} – найбільша швидкість переміщення рухомої поперечини преса на відповідному етапі машинного циклу, м/с;

$h_{кл}$ – найбільша висота підйому клапана, м;

$h_{ном}$ – поточне значення висоти підйому дросельного регулюючого клапана, м;

α – коефіцієнт якості гідросистеми.

Параметр α є важливою характеристикою системи керування, показуючи частку гідравлічного опору регулюючого клапана у загальному опорі гідроліній 1 – 3. При значній довжині магістралей систем гідроліній зворотних і врівноважуючих циліндрів, які для пресів з НАП сягають 100 м і навіть більше у випадку потужних пресів, та великій кількості місцевих опорів коефіцієнт α не перевищує значення 0,1. При цьому швидкісні характеристики регулюючих клапанів значною

мірою викривляються, погіршуючи їх регулювальні властивості.

На рис. 2 показано групу швидкісних характеристик регулювальних клапанів, побудованих при різних значеннях коефіцієнта α [8].

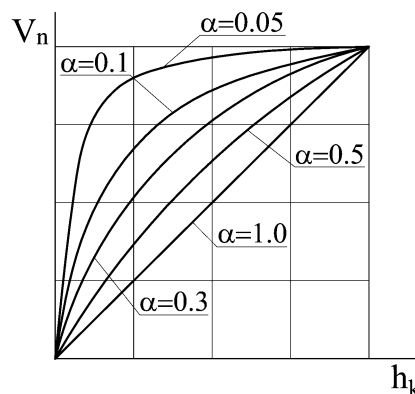


Рис. 2 – Швидкісні характеристики клапана при різних значеннях коефіцієнта α

Вихідна конструктивна характеристика клапана (рис. 2) лінійна та при $\alpha = 1,0$ вона співпадає зі швидкісною – це ідеальний варіант, коли в системі керування окрім регулюючого клапана відсутні будь-які інші гідравлічні опори. Однак на практиці таку гідросистему створити неможливо – гідробалон акумулятора завжди розташований на деякій відстані від преса, а в гідролінії 1 – 3 необхідно встановити низку пристроїв, обумовлених вимогами техніки безпеки та зручності обслуговування.

При $\alpha = 0,5$ швидкісна характеристика регулюючого клапана наближається до лінійної та досить прийнятна для експлуатації преса з НАП.

Таким чином, магістралі систем керування (рис. 1) необхідно проектувати, забезпечуючи якомога більшу частку гідравлічного опору дросельних регулюючих клапанів 7 і 8 в загальному опорі гідроліній 1–3. Чим вище ця частка, тим більшою мірою швидкісна характеристика клапана наближується до конструктивної, а отже і вище чутливість керування пресом, нижче рівень гідравлічних ударів, вище швидкодія та продуктивність.

В сучасних умовах виробництва реальним є досягнення значень коефіцієнта α в діапазоні 0,6...0,8. Для цього необхідно систему гідроліній зворотних і врівноважуючих циліндрів спроектувати або удосконалити у відповідності до викладеної методики.

Висновки. Визначенням величин прохідних перетинів окремих гідроліній, виходячи з максимальної швидкості поперечини на тому етапі машинного циклу, за досягнення необхідних параметрів якого ця гідролінія відповідає, та максимальних швидкостей течії рідини високого і низького тиску в системі керування пресом у відповідності до сумарних площ зворотних і врівноважуючих циліндрів, забезпечується:

- виконання ходу наближення до поковки з максимальною швидкістю при відсутності рідинного голодування робочих циліндрів;

- висока швидкість зворотного ходу;

- мінімальний опір збоку зворотних та врівноважуючих циліндрів на робочому ході.

Наведена методика створення систем гідроліній зворотних і врівноважуючих циліндрів з необхідними швидкісними параметрами є основою для удосконалення їх конструкцій та принципів дії. При цьому завчасно до створення системи в металі є можливість закласти в неї потрібні значення коефіцієнту якості гідросистеми α та відповідних параметрів швидкодії. Це забезпечує суттєве підвищення якості керування гідравлічними пресами з НАП.

Список літератури: 1. Cold and hot forging : fundamentals and applications / *Taylan Altan, Gracious Ngai, Gangshu Shen.* – ASM International, 2004. – 334 p. 2. An investigation of highly pressurized transient fluid flow in pipelines / *Z. Ouchiha, J. C. Loraud, A. Ghezal* [et al.] // International Journal of Pressure Vessels and Piping. – Elsevier, 2012. – Vol. 92. – P. 106–114. 3. *Spellman Frank R.* Fundamentals for the Water and Wastewater Maintenance Operator Series: Piping and Valves / *Frank R. Spellman, Joanne Drinan.* – Lancaster, U.S.A. : TECHNOMIC Publishing Company, Inc., 2001. – 184 p. 4. *Vullo V.* Circular Cylinders and Pressure Vessels : Stress Analysis and Design. – Switzerland: Springer International Publishing, 2014. – 409 p. ISBN 2195-3511. 5. *Altamura A.* Reliability assessment of hydraulic cylinders considering service loads and flaw distribution / *A. Altamura, S. Beretta* // International Journal of Pressure Vessels and Piping. – Elsevier, 2012. – Vol. 98. – P. 76–78. 6. *Гойдо М.Е.* Влияние уравновешивающих гидроцилиндров на работу гидравлического ковочного пресса / *М.Е. Гойдо, В.В. Бодров, Р.М. Багаудинов* // Заготовительные производства в машиностроении. – М. : Машиностроение, 2008. – №12. – С. 27–31. 7. *Корчак Е.С.* Влияние параметров системы уравновешивающих цилиндров на динамику хода приближения ковочных прессов с насосно-аккумуляторным приводом / *Е.С. Корчак* // Обработка материалов давлением : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2014. – №1 (38). – С. 222–225. 8. *Шинкаренко О.М.* Совершенствование гидравлических приводов прессов : монография / *О. М. Шинкаренко, Е. С. Корчак.* – Краматорск : ДГМА, 2014. – 142 с. ISBN 978-966-379-671-0. 9. *Korchak E.S.* Creating reliable control systems of hydraulic presses return cylinders / *E.S. Korchak* // Proceedings of the 10th International Conference “Research and Development in Mechanical Industry” RaDMI 2010, 16–19 September 2010, Donji Milanovac, Serbia. – Vol. 1. – P. 274–277. 10. *Korchak E.S.* Inverse Pass of Hydraulic Presses and Pressure Unloading of Working Cylinders / *E.S. Korchak* // Russian Engineering Research. – 2011. – Vol. 31, №2. – P. 113–115. Article personal DOI 10.3103/S1068798X11020110 Springer. 11. Пат. 93951 України, МПК В30В15/00. Спосіб створення системи гідроліній зворотних та врівноважуючих циліндрів ковальських пресів з

насосно-аккумуляторним приводом / *Корчак О.С.* ; заявник та патентовласник Донбаська державна машинобудівна академія. – №U2014104322; заявл. 22.04.2014; опубл. 27.10.2014, Бюл. №20. 12. Пат. 69050 України, МПК F16K17/00. Спосіб створення систем керування гідравлічними пресами з необхідними швидкісними параметрами / *Шинкаренко О.М., Корчак О.С.*; заявник та патентовласник Донбаська державна машинобудівна академія. – №201109273; заявл. 25.07.2011; опубл. 25.04.2013, Бюл. №8.

Bibliography (transliterated): 1. Cold and hot forging : fundamentals and applications / *Taylan Altan, Gracious Ngai, Gangshu Shen.* – ASM International, 2004. – 334 p. 2. An investigation of highly pressurized transient fluid flow in pipelines / *Z. Ouchiha, J. C. Loraud, A. Ghezal* [et al.] // International Journal of Pressure Vessels and Piping. – Elsevier, 2012. – Vol. 92. – P. 106–114. 3. *Spellman Frank R.* Fundamentals for the Water and Wastewater Maintenance Operator Series: Piping and Valves / *Frank R. Spellman, Joanne Drinan.* – Lancaster, U.S.A. : TECHNOMIC Publishing Company, Inc., 2001. – 184 p. 4. *Vullo V.* Circular Cylinders and Pressure Vessels : Stress Analysis and Design. – Switzerland: Springer International Publishing, 2014. – 409 p. ISBN 2195-3511. 5. *Altamura A.* Reliability assessment of hydraulic cylinders considering service loads and flaw distribution / *A. Altamura, S. Beretta* // International Journal of Pressure Vessels and Piping. – Elsevier, 2012. – Vol. 98. – P. 76–78. 6. *Gojdo M.E.* Vlijanje uravnoveshivajuschih gidrocilindrov na rabotu gidravlicheskogo kovochного пресса / *M.E. Gojdo, V.V. Bodrov, R.M. Bagautdinov* // Zagatovitelnije proizvodstva v mashinostrojenii. – Moscow: Mashinostrojenie, 2008. – No12. – P. 27–31. 7. *Korchak E.S.* Vlijanie parametrov sistemy uravnoveshivajuschih cilindrov na dinamiku hoda priblizeniya kovochnih pressov s насосно-аккумуляторным приводом / *E.S. Korchak* // Obrabotka materialov davlinijem : sb. nauch. tr. – Kramatorsk : DGMA, 2014. – No1 (38). – P. 222–225. 8. *Shinkarenko O.M.* Sovershenstvovanie gidravlicheskih privodov pressov : monografija / *O.M. Shinkarenko, E.S. Korchak.* – Kramatorsk : DGMA, 2014. – 142 p. ISBN 978-966-379-671-0. 9. *Korchak E.S.* Creating reliable control systems of hydraulic presses return cylinders / *E.S. Korchak* // Proceedings of the 10th International Conference “Research and Development in Mechanical Industry” RaDMI 2010, 16–19 September 2010, Donji Milanovac, Serbia. – Vol. 1. – P. 274–277. 10. *Korchak E.S.* Inverse Pass of Hydraulic Presses and Pressure Unloading of Working Cylinders / *E.S. Korchak* // Russian Engineering Research. – 2011. – Vol. 31, No2. – P. 113–115. Article personal DOI 10.3103/S1068798X11020110 Springer. 11. Pat. 93951 Ukraini, MPK B30B15/00. Sposib stvorennia sistemi gidrolinij zворотnih ta vrvnovazujuchih cilindriv koval's'kih presiv z насосно-аккумуляторним приводом / *Korchak O.S.* ; заявник та патентовласник Donbas'ka derzhavna mashinobudivna akademija. – NoU2014104322; zajavl. 22.04.2014; opubl. 27.10.2014, Bjul. No20. 12. Pat. 69050 Ukraini, MPK F16K17/00. Sposib stvorennja sistem keruvannja gidravlichnimi presami z neobhidnimi shvidkisnimi parametrami / *Shinkarenko O.M., Korchak O.S.*; заявник та патентовласник Donbas'ka derzhavna mashinobudivna akademija. – No201109273; zajavl. 25.07.2011; opubl. 25.04.2013, Bjul. No8.

Надійшла (received) 05.02.2015

Відомості про авторів / About the Authors

Корчак Олена Сергіївна – кандидат технічних наук, доцент, Донбаська державна машинобудівна академія, докторант кафедри механіки пластичного формування, м. Краматорськ, 050-815-79-05, helen_korchak@ukr.net

Korczak Elena – Ph.D., associate professor, Donbass State Engineering Academy, doctoral student of mechanics plastic forming, Kramatorsk, 050-815-79-05, helen_korchak@ukr.net

УДК 621.771.06

Д. О. КРУГЛЯК

ПРОКАТКА МІДНИХ СПЛАВІВ З БАГАТОКОМПОНЕНТНИМИ СВС-ПОКРИТТЯМИ

У статті представлений спосіб одержання хромоалюмосиліційованих і титаноалюмосиліційованих захисних покриттів на мідних сплавах в умовах саморозповсюджувального високотемпературного синтезу з наступною прокаткою. У роботі проведені дослідження з визначення оптимальних умов обтиснення прокатки мідних сплавів з захисними покриттями. Особливістю процесу холодної прокатки заготівель мідних сплавів з дифузійними багатокомпонентними захисними покриттями є істотна пошарова анізотропія механічних властивостей, а також висока міцність з'єднання шарів, що підвищує рівень взаємного впливу компонентів, що деформуються, і що впритул наближає величину коефіцієнта міжшарового тертя до теоретичного максимуму.

Ключові слова: саморозповсюджувальний високотемпературний синтез, прокатка, обтиснення, захисне покриття, деформація, низька пластичність, мідні сплави.

Вступ. Підвищення надійності сучасної техніки, зниження собівартості її обслуговування, забезпечення конкурентоздатності, продовження ресурсу експлуатації, а також її реновація шляхом застосування сучасних технологій для відновлення працездатності вузлів до рівня нових виробів – найбільш пріоритетні напрямки розвитку техніки [1].

Поверхні деталей, що перебувають у безпосередньому контакті з газоподібними й рідкими агресивними середовищами різного состава, при різних температурі й швидкості відносного руху, і корозійною активністю зношуються досить інтенсивно [2, 3].

Розробка теорії зносостійких покриттів, а також удосконалення технологій і встаткування для їхнього нанесення дозволили значно підвищити тривалість роботи, ефективність і надійність черв'ячних вінців, дисків муфт зчеплення, втулок вихлопних клапанів авіамоторів, поршнів і ін. Усі ці деталі виготовляються з мідних сплавів марок: БрОФ 10-1, БрОНС 11-4-3, БрАЖМц 10-3-1,5, БрАЖ 9-4-1, ЛАМцЖ66-6-3-2, ЛМцЖ 55-3-1.

Метою роботи є отримання багатокомпонентних хромованих захисних покриттів в умовах високотемпературного синтезу, що самопоширюється (СВС) на мідних сплавах і визначити оптимальні режими обтиснення цих матеріалів при обробці металів тиском.

Технологія отримання покриттів в умовах СВС забезпечує необхідні експлуатаційні характеристики при мінімальному часі їх формування, тому є актуальною на сьогодні. Разом з цим актуальною також є проблема обробки тиском отриманих виробів з багатокомпонентними захисними покриттями, що дозволить отримати пористі шари, які забезпечать ще більш високі механічні властивості деталей.

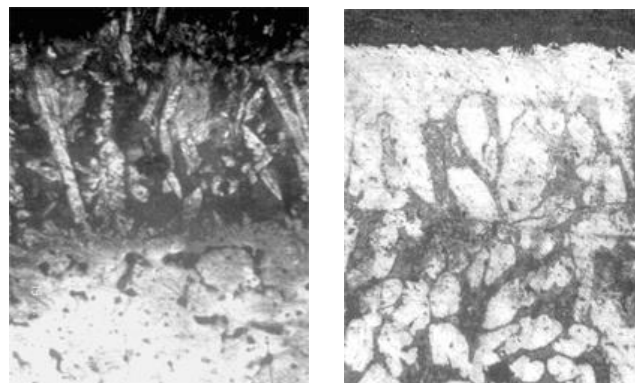
Була розроблена технологія отримання і подальша обробка тиском багатокомпонентних хромованих покриттів на основі алюмінію і нікелю, оскільки вказані покриття, згідно даним роботи, відрізняються високою стійкістю проти дії кисню, морської води і розчинів кислот, утворюючи при окисленні скловидні, поверхневі оксидні плівки, що міцно утримуються.

Хіміко-термічну обробку мідних сплавів в режимі теплового самозаймання проводили в

реакторі відкритого типу з продуванням інертним газом – аргоном. Як насичуюче середовище використовували суміш порошків наступних матеріалів: Cr_2O_3 , Al_2O_3 , Ni, Al, NH_4Cl , J_2 . Дисперсність порошків складала 200...300 мкм.

Насичення зразків проводили в режимі теплового самозаймання, який полягає в поєднанні хімічних транспортних реакцій [4] з процесом теплового самозаймання порошкових сумішей [3]. Мікроструктуру зміцнених шарів досліджували на мікроскопі «Neophot-2».

В результаті хіміко-термічної обробки були отримані алюмохромонікелеві покриття на мідних сплавах. Товщина покриття складає від 160 до 220 мкм. Мікроструктури отриманих покриттів приведені на рис 1.



а – ЛМцЖ-55-4-1; б – БрАЖ-9-4

Рис. 1 – Мікроструктури багатокомпонентних хромованих покриттів на мідних сплавах, $\times 100$

Наступним етапом досліджень було визначення оптимальних режимів обжимання зразків з отриманими багатокомпонентними захисними покриттями. Виконання цього етапу дозволить отримати пористе хромоване покриття, що має сітку мікроскопічних тріщин.

Основна особливість процесу холодної прокатки заготівель мідних сплавів з дифузійними багатокомпонентними захисними покриттями полягає в істотній пошаровій анізотропії механічних властивостей, а також високої міцності з'єднання шарів, що підвищує рівень взаємного впливу компонентів, що деформуються, і що впритул наближає величину коефіцієнта міжшарового тертя

до теоретичного максимуму (по суті, в даному випадку міжшарового тертя є міжзеренне тертя). Спочатку міцність з'єднання покриття і основи виключає розшарування заготовки в процесі деформації і незалежну (виборчу) деформацію шарів при будь-яких ступенях обжимання. Проте значна відмінність в механічних властивостях шарів обумовлює нерівномірну деформацію двошарової заготовки. Нерівномірна деформація призводить до фрагментації малопластичного покриття при певному обжиманні [5].

Так було встановлено, що при товщині багатокомпонентного хромованого шару вище 50 мкм не виникає зростання пор, але у цьому випадку хромове покриття не упорядковано розтріскується у всіх напрямках, переважно перпендикулярно основі.

Було встановлено, що пористе хромоване покриття у порівнянні з звичайним має наступні переваги:

1. добра приробка до іншої не хромованої поверхні;
2. велика здатність до змочування маслом та утриманню його у каналах та порах в період роботи пари тертя;
3. гарне зчеплення з основним металом у товстих шарах у наслідок значного зменшення в них внутрішніх напружень, завдяки чому виключається можливість зкалування та крихкості хрому при роботі деталей.
4. велика зносостійкість при високому тиску та температурі до 800° С в корозійних середовищах;
5. велика теплопровідність, що сприяє підтриманню невеликої температури поверхні робочої деталі та сприяє на якість змащення;
6. зменшення площі фактичного контакту пар тертя на 15-40%.

Сутність процесу хромування з отриманням «пористості» механічним методом полягає в наступному: якщо після хромування на поверхню деталі накатати невеликі, але відносно глибокі лунки, завдяки прокатки при невеликих обтисненнях. Це досягається завдяки м'якій структурі оброблюємої деталі, що дозволяє покриттю мати велике зчеплення з основою. Таким чином отримана хромована поверхня буде поцяткована поглибленнями (порами), що поліпшують властивості змащування деталі.

Обробці тиском підвергалась тільки опорна (несуча) частина хромованої поверхні деталі. Розподіл поглиблень на поверхні (їх число, величина та форма) при механічному методі отримання пористості визначаються в основному ступеню обтиску.

З метою оцінки антифрикційних властивостей звичайного хромового покриття та пористого, отриманого механічним методом, було проведено дослідження на зносостійкість мідних сплавів при терті по пористохромованій поверхні та звичайному покритті. В наслідок проведення досліджень було встановлено, що знос мідного сплаву в другому випадку був в 2,5 рази більшим, ніж в першому випадку.

Частіше пористе хромування механічним методом застосовується для покриття поверхні вкладишів дисків.

Встановлено, що фрагментація відбувається по різних механізмах: з утворенням тріщин і без такого. В першому випадку при деякому обжиманні в покритті з'являються поперечні тріщини, при продовженні деформації тріщини розвиваються і проходять крізь все покриття, що після чого утворилися в покритті розриви починають заповнюватися більш пластичним металом основи. В другому випадку поверхня прокатаного зразка на всьому протязі деформації залишається гладкою (тріщини не утворюються), але в ньому нерівномірно утворюються локальні зменшення товщини захисного шару, по якому при продовженні деформації утворюються розриви. Зрештою, зразки з по різних механізмах покриттями, що дробляться, набувають аналогічний вигляд: штаба з вкатаними фрагментами багатокомпонентних захисних шарів. Слід зазначити, що, навіть роздроблюючись, покриття не втрачають прикладної цінності, оскільки за рахунок багатокомпонентних захисних шарів фрагментів зносостійкість композиту залишається більш високою, ніж у незахищеної основи [6]. Проте задачею даної роботи було отримання зміцненого (наклепаного) композиту з суцільним покриттям. Тріщини в покритті починають з'являтися вже після перших проходів (обжимання 12...18 %), тому подальші дослідження проводили на більш пластичних матеріалах підкладки ЛМцЖ-55-4-1.

В ході експериментів варіювали ступінь сумарного обжимання (до 80%), дробову деформації і відношення товщини шарів. Пошарову нерівномірність деформації прокатних зразків досліджували на подовжніх мікросліфах. На базі в 6...10 мм з кроком 0,1 мм заміряли товщину захисного шару, таким чином для зразків, що прокотили з різними обжиманнями, одержували профілі міжшарової межі. Вид останніх (рис. 2) дозволяє припустити, що формозмінення захисного покриття, взагалі, відбувається не під дією стискаючих сил з боку валів, а під дією сил, що розтягують з боку основи, що подовжується.

Низька пластичність захисного шару, що розтягується, приводить до появи вже згаданих локальних стоншувань, аналогічних по своїй природі «шийкам», що з'являються на останній стадії розтягування циліндрових зразків при класичних випробуваннях на розривній машині.

Середню висотну деформацію інтерметалідного шару, згідно авторам роботи [7], оцінювали з урахуванням часток окремого тертя товщини шару:

$$\varepsilon_h = h_0 - I_{h0}^* \quad (1)$$

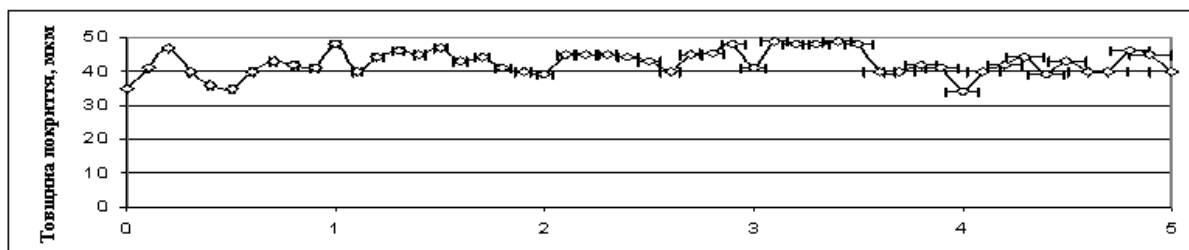
$$h_{h0}^* = \frac{\sum_{i=1}^n h_i w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i^2}{n} \quad (2)$$

де h_0 – товщина захисного шару до деформації;
 h_i – товщина захисного шару після деформації в
 i -том вимірюванні;
 h_{cp} – середнє арифметичне вимірювань товщини
захисного шару;
 h_{cp}^* – середня скоректована товщина захисного
шару;
 n – кількість вимірювань.

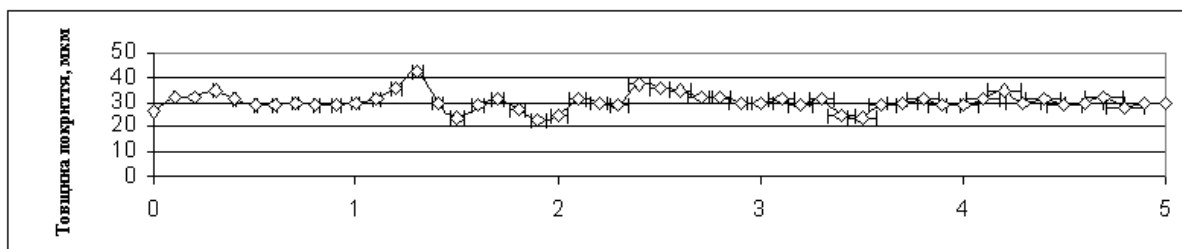
$$S = \frac{\varepsilon_h^T}{\varepsilon_h^M} \quad (3)$$

де ε_h^T – обтиснення твердого (захисного) шару;
 ε_h^M – обтиснення м'якого шару підкладки.

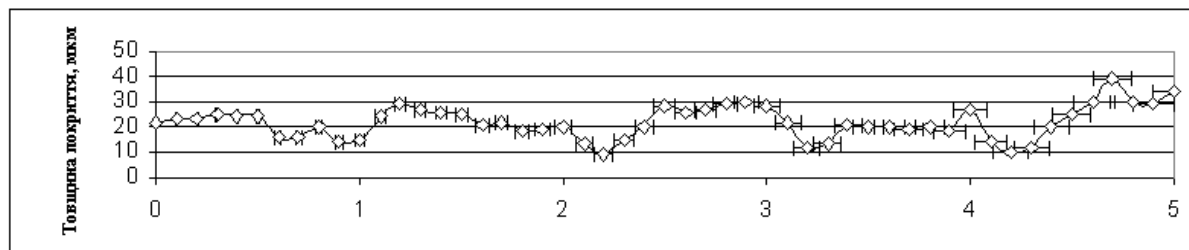
Чим ближче значення S до одиниці, тим більш
рівномірно розподіляються висотні деформації між
шарами.



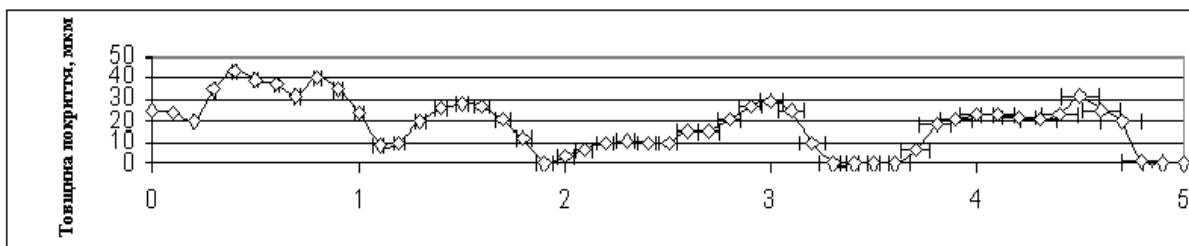
а



б



в



г

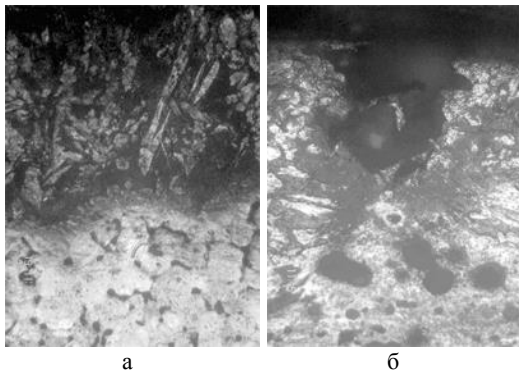
а – $\varepsilon = 0,2$; б – $\varepsilon = 0,4$; в – $\varepsilon = 0,6$; г – $\varepsilon = 0,8$.

Рис. 2 – Профіль міжшарової границі зразка з багатокомпонентним покриттям товщиною 50 мкм після прокатки з обтисненням

В нашому випадку S завжди менше одиниці (порядку 0,7...0,8), тобто обжимання захисного шару менше обжимання основи; при цьому зв'язок на межі «покриття-основа виключає істотну різницю в подовженнях шарів [8]. Невідповідність висотних і подовжніх деформацій частково компенсується тим, що розширення зразка відбувається майже повністю за рахунок компоненти основи. До фрагментації покриття при виході з валів зразки згинаються (покриттям всередину), із зростанням сумарного обжимання радіус вигину зразків зменшується і

після фрагментації, з черговим проходом, зразки вирівнюються (рис. 3).

Відомо, що одним з найважливіших показників прокатки є максимальний ступінь обжимання, що не супроводжується фрагментацією покриття.



а – $\varepsilon = 0,4$; б – $\varepsilon = 0,8$.

Рис. 3 – Мікроструктури захисних покриттів на латуні ЛМцЖ–55–4–1, отримані після плющення з різними обтисненнями, $\times 200$

З'ясовано, що ця величина сильно залежить від початкового співвідношення товщини шарів в заготівлі і від дробової деформації. Фрагментація покриття з'являється від кромки смуги і починається тим раніше (при меншому обжиманні), чим тонше покриття (при постійній товщині заготівки) і чим більше обжимання за один прохід (чим менше дробова деформація). Для заготовок з покриттями товщиною від 40 мкм і вище (при постійній товщині заготівки 5 мм) були підібрані режими холодної деформації, що дозволяє уникнути фрагментації покриття при сумарних обжиманнях аж до 80% (подальша холодна деформація заготовок не призводить до значного зміцнення основи і тому недоцільна).

Висновки. 1. Обробка сплавів на основі міді алюмінієм, нікелем та хромом в режимі саморозповсюджувального високотемпературного синтезу сприяє зміцненню їх поверхневого шару. Запропонований метод зміцнення сприяє значному підвищенню зносостійкості мідних сплавів в умовах тертя. В зміцненому шарі утворюються залишкові напруження стиснення. При цьому поверхнева твердість мідних сплавів збільшується до $12000 \div 15000$ МПа.

2. Режим зміцнення поверхневого шару зразків з бронз та латуней, має невелику тривалість та є найбільш економічним серед аналогів, рекомендується використовувати замість традиційних способів хіміко-термічної обробки мідних сплавів.

3. Проводити деформацію заготовель з покриттями без ризику розшарування можливо завдяки пластичності матеріалу основи та високій міцності зчеплення дифузійних покриттів з основою.

4. Нерівномірність деформації в анізотропних заготівлях в певних межах управляється режимом деформації і конфігурацією самої заготівлі. Відповідно, підбором режимів можна локалізувати негативні наслідки нерівномірної деформації, у тому числі і уникнути фрагментації покриття навіть при великих ступенях деформації.

Список літератури: 1. Серєда Б.П., Кругляк І.В., Жеребцов О.А., Белоконов Ю.О. Обработка металлов тиском при нестационарных температурных условиях. Монография. Запорожье: ЗДИА, 2009 – 252 с. 2. Серєда Б.П. Металлознавство та термічна обробка чорних та кольорових металів. Підручник – Запорожье: ЗДИА, 2008. – 302 с. 3. Шефер Г. Химические транспортные реакции. – М.: Мир, 1964. – 248 с. 4. Еременко В. Н. Многокомпонентные сплавы титана. – Киев, Изд-во АН СССР, 1962. 5. Кобелев А. Г. Особенности холодной прокатки композиционных материалов с резкой послышной анизотропией механических свойств / Кобелев А. Г., Титлянов А.Е., Кузнецов В.Е. // Труды III конгресса прокатчиков. М.; 2000. 6. Серєда Б.П. Прокатка заготовок медных сплавов с покрытиями, полученными в условиях самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) / Серєда Б.П., Кругляк И.В., Святодух А.Н. // Удосконалення процесів і обладнання обробки металів тиском в металургії і машинобудуванні: тематичний сб. научн. праць. – Краматорськ: ДДМА. – 2007. С. 480-484.

Bibliography (transliterated): 1. B. Sereda, I. Kruglyak, A. Zherebtsov, Y. Belokon' Processing of metals by pressure in not stationary temperature conditions. The monography. Zaporozhye: ZGIA, 2009 – 252 p. 2. B. Sereda Metallurgical science and thermal processing black and nonferrous metals. – Zaporozhye: ZGIA, 2008. – 302 p. 3. Shefer G. Chemical transport reactions. – Moscow: Mir, 1964. – 248 p. 4. Eremenko V. N. Multicomponent alloys of the titan. – Kiev, Publishing house AN of the USSR, 1962. 5. Kobelev A.G. Feature cold proskating rinks of composite materials with sharp level-by-level anisotropy mechanical properties / Kobelev A.G., Titljanov A.E, Kuznetsov V. E. //Works III of the congress. Moscow: 2000. 6. B. Sereda Proskating rink of preparations of copper alloys with the coverings received in the conditions of self-extending high-temperature syntheses (SHS) / by Sereda B. P, Krugljak I.V., Svjatoduh A.N.// Improvement of processes and the equipment of processing of metals pressure in metallurgy and Mechanical engineering – Kramatorsk: DDMA. – 2007. p. 480-484.

Надійшла (received) 04.11.2015

Відомості про авторів / About the Authors

Кругляк Дмитро Олегович – кандидат технічних наук, доцент, Запорізька державна інженерна академія, доцент кафедри «Обробки металів тиском»; тел.: (095) 74-332-47; e-mail: krugly@ukr.net.

Kruglyak Dmytro Olehovych – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Zaporizhzhya State Engineering Academy, Associate Professor at the Department of Metal Forming; tel.: (095) 74-332-47; e-mail: krugly@ukr.net.

УДК: 21.983.3.001 – 621. 983.7.004

В. О. МАКОВЕЙ, В. С. МЕЛЬНИК

ПРОФІЛЮВАННЯ ДОВГОМІРНИХ ГВИНТОПОДІБНИХ ТРУБ ТЕПЛОБМІННИКІВ ОБКАТКОЮ РОЛИКАМИ БЕЗ ВИКОРИСТАННЯ ОПРАВОК

Розглянуті дві технології та оснащення для виготовлення довгомірних гвинтоподібних трубок теплообмінників довжиною 2...4 м без використання оправок шляхом деформування одночасно двома обкатними головками та методом профілювання гвинтових канавок обкатною головкою з планетарним обертанням роликів при переміщені труби в осьовому напрямку, проведено ряд експериментальних досліджень і встановлена можливість виготовлення якісних гвинтових профілів на трубах теплообмінників з латуні та алюмінієвого сплаву глибиною до 1,5 мм за 1 прохід, що достатньо для підвищення теплопередачі на 30...50 %.

Ключові слова: трьохроликів обкатна головка, однороликів обкатна головка, гвинтоподібна труба, гвинтова канавка, теплообмінник

Вступ. При розробці нових теплообмінних апаратів, як правило, намагаються досягнути високої інтенсивності теплопередачі при мінімальній витраті енергії на прокачування теплоносіїв. Аналіз робіт в цьому напрямку показує, що найбільш ефективними виявились гвинтоподібні труби – турбулізатори [1, 2]. Масового виробництва їх у теперішній час не існує. Відповідно ГОСТ 27590, ТУ 400-28-27-90Е и ТУ 400-28-132-90 у теперішній час масово виробляються промисловістю водно-водяні теплообмінники для підігріву води. В якості поверхні теплообміну використовуються головним чином циліндричні латунні трубки діаметром 16 × 1 мм, довжиною 2 та 4 м. В дослідних зразках теплообмінників, де встановлюють профільні трубки, коефіцієнт теплопередачі збільшується на 30 – 50%. Виникає необхідність масового виробництва профільних трубок довжиною 2...4 м.

Аналіз останніх досліджень і літератури. Відомим способом виготовлення гвинтоподібних труб є роликів обкочування на оправці з використанням одно та трьох роликів обкатних головок та оправок [3, 4]. Виробництво таких труб виконувалось на токарно-гвинторізному верстаті 16К20 із застосуванням обкатної головки, що кріпилась в різцетримачі, та оправки, яка встановлювалась в середину труби і закріплювалась з одного боку разом з трубою в трьохкулачковому патроні верстату, а з іншого – підпиралась центром задньої бабки верстата. Технологія виробництва 3х західних гвинтоподібних трубок трьох роликів обкатною головкою без оправки з використанням наповнювача наведена в роботі [4]. В якості основного деформуючого інструменту використовується трьох роликів обкатна головка на базі трьох кулачкового патрону, яка закріплена на супорті токарного верстату.

Існуючі технології виготовлення гвинтоподібних профілів на трубах в даний час малопродуктивні, потребують гвинтових оправок, спеціального обладнання або наповнювачів, що значно збільшує собівартість виготовлення таких трубок. Тому розробка високопродуктивної та універсальної технології виготовлення гвинтоподібних трубок різних діаметрів 16...20 мм с товщиною стінки 1 мм та довжиною 2...4 м є

досить актуальною. В роботі [5] розглянута можливість виготовлення латунних трубок одночасно двома обкатними головками без використання оправок и наповнювача.

Недоліком наведених способів є відсутність досліджень по встановленню оптимальних параметрів процесу обкочування гвинтових канавок на трубах без використання оправок, впливу його на якість виробів.

Ціль дослідження, постановка проблеми. Метою роботи є створення нових технологій отримання довгомірних гвинтоподібних трубок без використання оправок та будь яких наповнювачів, порівняння можливостей виготовлення довгомірної гвинтоподібної трубки при деформуванні одночасно двома обкатними головками та методом профілювання гвинтових канавок в радіальному напрямку обкатною головкою з планетарним обертанням роликів при одночасному переміщені труби в осьовому напрямку.

В роботі розглянуті дві технології та оснащення для виготовлення довгомірних гвинтоподібних трубок теплообмінників без використання оправок та проведено ряд експериментальних досліджень по отриманню гвинтоподібних трубок роликів обкочуванням без оправки і встановлена можливість виготовлення якісних гвинтових профілів на трубах теплообмінників з латуні діаметром 16 x 1 мм глибиною до 1,5 мм за 1 прохід, що достатньо для підвищення теплопередачі на 30...50 %.

В першому варіанті в якості деформуючого інструменту використовуються дві профілюючі головки: трьох роликів та одно роликів. Дане оснащення встановлюється на токарно – гвинторізний верстат 16К20. Принципова схема даного оснащення представлена на рис.1.

Воно включає трьох роликів обкатну головку 7, яка кріпиться на супорті 8 токарно – гвинторізного верстату, та одно роликів обкатну головку, що розміщена у різцетримачі 9 даного верстату. Трубка 1 розміщується між роликів 5 головки 7 та фіксується на стержні – подовжувачі 2, який закріплений в патроні верстату. Так як області деформування трьох роликів обкатної головки 7 та одно роликів 4 знаходяться на значній відстані, то необхідно використовувати

стержень – подовжувач 2, який допомагає мінімізувати відхід та запобігає скручуванню трубки.

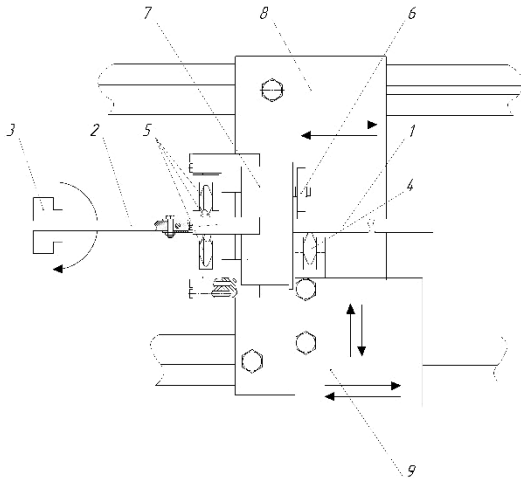


Рис. 1 – Схема роботи оснащення з двома обкатними головками: 1 – трубка – заготовка, 2 – стержень-подовжувач, 3 – трьох кулачковий патрон, 4 – однороликова обкатна головка, 5 – ролики трьох роликової обкатної головки, 6 – упор, 7 – трьох роликова обкатна головка, 8 – супорт токарно-гвинторізного верстату, 9 – різцетримач

Таким чином відбувається попереднє формування гвинтової канавки на глибину 0,5 мм однороликовою головкою та подальше її профілювання на глибину 1 мм трьох роликовою головкою.

Латунна та алюмінієва гвинтоподібні труби, які отримані за даною технологією, представлені на рис.2.

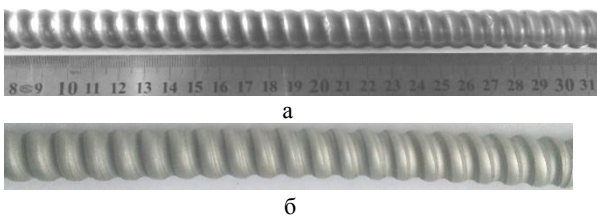


Рис. 2 – Фотографії довгомірних гвинтоподібних труб а – з латуні та б – з алюмінієвого сплаву, які виготовлені за один прохід

Таблиця 1 – Результати аналізу геометричних параметрів труби після багато перехідного деформування

№	Діам. вист, D_B , мм	Діам. запад, d_3 , мм	Глибина канавки, h , мм	Ширина канавки, B , мм	Радіус заокруглення виступів, R_B
1	16	13	1,5	7	1
2	16	12,5	1,75	8,3	0,4
3	16	12	2	8,2	0,25

Подальше деформування труби не призводить до позитивного ефекту. Геометричні розміри такої труби представлено в табл. 1, для зручності опрацювання результатів дана труба розбита на три характерні зони, які зображені на рис. 3.

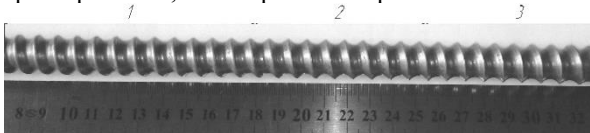


Рис. 3 – Труба з гвинтоподібним профілем після декількох переходів

Дані, які приведені в таблиці показують, що використання багато перехідного деформування (більше 5 проходів) при профілюванні гвинтоподібного профілю на таких трубках призводить до неоднорідності геометричних розмірів по довжині труби. Так, якщо діаметр виступів та крок профілю зберігається сталим на всій довжині трубки, то інші параметри змінюються. Глибина та ширина канавок збільшується, а радіус заокруглень виступів зменшується.

Другий варіант отримання довгомірних гвинтоподібних труб (до 2 м) без використання оправки та наповнювача обкатною головкою з планетарним обертанням роликів при одночасному переміщенні труби в осьовому напрямку, що вирішується шляхом використання трьохроликової обкатної головки, яка закріплюється в патроні токарно-гвинторізного верстату, при цьому крутний момент передається від шпинделя верстату на обкатну головку, на якій розміщуються деформуючі ролики, а трубу переміщують в осьовому напрямку за допомогою кінематичних зв'язків верстату.

На рис. 4 зображено оснащення для профілювання довгомірних гвинтоподібних труб обкатною головкою з планетарним обертанням роликів та осьовому переміщенню труби.

Технологія реалізується наступним чином:

Трьохроликову обкатну головку 1 закріплюють в патроні токарно-гвинторізного верстату 2, трубу – заготовку 3 розміщують між роликами 4 трьохроликової обкатної головки 1 та жорстко фіксують притискною планкою 7 тримача 5, при цьому тримач 5 закріплюють на супорті 6 верстату, тим самим унеможливають обертання трубки – заготовки 3 в радіальному напрямку. Ролики 4 радіально переміщують до вісі труби – заготовки 3, тим самим формуючи канавки заданої глибини.

При формуванні канавки трьохроликовою обкатній головці 1 передають крутний момент від шпинделя верстату, а осьове переміщення труби – заготовки 3 виконують за допомогою кінематичних зв'язків верстату. Таким чином профілювання довгомірних гвинтоподібних труб виконують без використання оправки. Довжина труби обмежується тільки величиною ходу супорту верстату, але використання тримача такої конструкції дозволить виконувати профілювання труб в декілька етапів з переміщенням супорта в початкове положення, що дозволить виготовляти довгомірні гвинтоподібні труби.

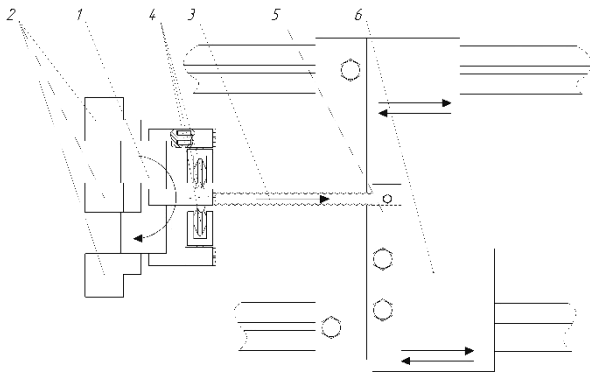


Рис. 4 – Схема роботи оснащення для профілювання гвинтоподібних труб обкатною головкою з планетарним обертанням роликів: 1 – трьохроликів обкатна головка, 2 – патрон токарно-гвинторізного верстату, 3 – труба-заготовка, 4 – ролики, 5 – тримач, 6 – супорт, 7 – притискальна планка

На рис. 5 представлена фотографія гвинтоподібної труби, яка виготовлена за даною технологією за один прохід.



Рис. 5 – Фотографія гвинтоподібної труби, яка отримана при профілюванні обкатною головкою з планетарним обертанням роликів

Розроблена технологія та оснащення дозволяє розширити технологічні можливості та підвищити продуктивність профілювання гвинтоподібних труб.

Висновки.

• Розроблені технології та оснащення для профілювання довгомірних гвинтоподібних трубок теплообмінників довжиною 2...4 м без використання оправок шляхом деформування одночасно двома обкатними головками та методом профілювання гвинтових канавок обкатною головкою з планетарним обертанням роликів при одночасному переміщенні труби в осьовому напрямку.

• Проведено ряд експериментальних досліджень за двома схемами по отриманню

гвинтоподібних труб роликів обточуванням без оправки та встановлена можливість виготовлення якісних гвинтових профілів на трубках теплообмінників з латуні та з алюмінієвому сплаву діаметром 16 x 1 мм глибиною до 1,5 мм за 1 прохід, що достатньо для підвищення теплопередачі на 30...50 %.

Список літератури: 1. Демчук Л.В. Теплоаеродинамічна ефективність гвинтоподібних труб з рівно розвиненою поверхнею / Л. В. Демчук, В.А. Рогачов, О.М. Терех, О.І Руденко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий – 2011 – №5/8 (53) – С. 26-29. 2. Письменний С.М. Теплообмін пучків труб з рівно розвиненою поверхнею / С.М. Письменний, В.А. Рогачов, О.М. Терех, В.І. Коньшин, Д.С. Омельчук // Восточно-Европейский журнал передовых технологий – 2013 – № 1/8. 3. Маковей В.О. Профілювання гвинтоподібних труб обточуванням / В.О. Маковей, Ю.П. Бородій, А.В. Кліско, П.Ю. Проценко // Вісник Київського політех. ін-та. Машинобудування. – 2010. – №60. – С. 55–60. 4. Маковей В.О. Перспективи удосконалення технологічних процесів профілювання гвинтових канавок на трубах / В.О. Маковей, В.С. Мельник, П.Ю.Проценко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ», 2014. – № 44 (1087). – С. 93–103. 5. Маковей В.О. Удосконалення технологічного процесу виготовлення трубок з гвинтоподібним профілем / В.О.Маковей, В.С.Мельник //Обработка материалов давлением. – Краматорск: ДГМА, 2015 – 31(40). – С. 81–84.

Bibliography (transliterated): 1. Demchuk L.V. Teploaerodynamichna efektyvnist' hvyntopodibnykh trub z rivno rozvynenoyu poverkhneyu / L. V. Demchuk, V.A. Rohachov, O.M. Terekh, O.I. Rudenko // Vostochno-Evropeysky zhurnal передовыkh tekhnolohyy – 2011 – No 5/8 (53) – P. 26–29. 2. Pys'mennyy Ye.M. Teploobmin puchkiv trub z rivno rozvynenoyu poverkhneyu/ Ye.M. Pys'mennyy, V.A. Rohachov, O.M. Terekh, V.I.Kon'shyn, D.S. Omel'chuk // Vostochno-Evropeysky zhurnal передовыkh tekhnolohyy – 2013 – No 1/8. 3. Makovey V.O. Profilyuvannya hvyntopodibnykh trub obkochuvannyam / V.O. Makovey, Yu.P. Borodiy, A.V. Klisko, P.Yu. Protsenko // Visnyk Kyivskoho politekhn. in-ta. Mashynobuduvannya. – 2010. – No 60. – P. 55–60. 4. Makovey V.O. Perspektivy udoskonalennya tekhnolohichnykh protsesiv profilyuvannya hvyntovykh kanavok na trubakh / V.O. Makovey, V.S. Mel'nyk, P.Yu.Protsenko // Visnyk NTU «KhPI». Seriya: Novi rishennya v suchasnykh tekhnolohiyakh. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2014. – No 44 (1087). – P. 93–103. 5. Makovey V.O. Udoskonalennya tekhnolohichnoho protsesu vyhotovlennya trubok z hvyntopodibnym profilem/ V.O.Makovey, V.S.Mel'nyk //Obработка материалов давлением. – Kramatorsk: DHMA, 2015 – 31(40). – P. 81–84.

Надійшло (received) 05.11.2015

Відомості про авторів / About the Authors

Маковей Валерій Олексійович – кандидат технічних наук, доцент, НТУУ «КПІ», кафедра МПМ і РП, м. Київ, тел.: (044) 4549611, e-mail: makovei@ukr.net

Makovej Valerij Olekseevich – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, National Technical University "Kyiv Polytechnic Institute", Associate Professor at the Department of Mechanics of Plasticity of Metals and Processes with Save Resources; Kyiv, tel.: (044) 4549611, e-mail: makovei@ukr.net

Мельник Володимир Сергійович – аспірант, НТУУ «КПІ», кафедра МПМ і РП, м. Київ, тел.: (096)964-89-13, e-mail: v.s.melnyk@i.ua

Melnyk Volodymyr Serhiyovych – PhD student, National Technical University "Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv tel.: (096)964-89-13, e-mail: v.s.melnyk@i.ua

УДК. 621. 771. 01

О. П. МАКСИМЕНКО, Д. И. ЛОБОЙКО

**ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ПРОДОЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПОЛОСЫ
В ОЧАГЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ПРОКАТКЕ С НАТЯЖЕНИЕМ**

Предложена методика оценки продольной устойчивости процесса прокатки с натяжением. На основе новой методики по опытным данным был проведен анализ влияния заднего натяжения на продольную устойчивость процесса прокатки. Анализ показал, что с увеличением заднего натяжения результирующая продольных сил по абсолютной величине уменьшается и, следовательно, снижается устойчивость процесса прокатки. Результат работы показывает, что необходимо учитывать величину средней результирующей внутренних сил при назначении режимов натяжения полосы, особенно в случаях непрерывной прокатки.

Ключевые слова: натяжение, продольная устойчивость, очаг деформации, непрерывная прокатка.

Введение. В работе [1] разработана методика оценки продольной устойчивости простого процесса прокатки и предельной захватывающей способности валков, которая связана с определением среднеинтегральной результирующей продольных сил пластически деформируемого металла. Эта результирующая представляет собой силу сопротивления, реакцию на действие внешних сил. Поэтому если продольная результирующая направлена противоположно движению полосы, то прокатка будет устойчивой, без пробуксовок. В случае равенства её нулю – процесс совершается в предельных условиях, а при положительном векторе этой силы (по ходу прокатки) деформация металла становится невозможной. Кроме того, как следует из [1], потеря равновесия полосы в зоне контакта её с валками может возникать при наличии зоны опережения.

Постановка задачи. Разовьем идею о продольной устойчивости процесса на случай прокатки с натяжением полосы. Пусть в этих условиях деформации выполнено численное решение уравнения Т. Кармана и получена эпюра распределения давления по длине очага деформации, имеющая вид, приведенный на рис. 1, б. Заметим, что в сечениях ψ_1 и ψ_2 давление p_x равно среднему сопротивлению деформации $2k$. На входной части очага деформации действует сила заднего натяжения полосы Q_0 и соответственно продольные напряжения натяжения $\frac{\sigma_0}{2k}$, а на выходной – сила переднего полного и

удельных натяжений Q_1 и $\frac{\sigma_1}{2k}$. Выделим текущий объем металла вблизи входа металла в валки ($\alpha - \varphi_1$) (рис. 1, а). Действие отброшенной правой части заменим продольными нормальными напряжениями в безразмерной форме $\frac{\sigma_x}{2k}$. Если процесс является стационарным, то равновесие текущего объема возможно только в том случае, когда напряжения $\frac{\sigma_x}{2k}$ направлены по ходу прокатки. Это направление продольных нормальных напряжений будет неизменным вплоть до сечения ψ_1 . Тогда, в соответствии с уравнением

пластичности, напряжения $\frac{\sigma_x}{2k}$ на участке $\alpha - \psi_1$ будут изменяться так, как показано на рис. 1, в и указанное направление будем считать положительным. Далее рассмотрим участок $\psi_1 - \psi_2$ (рис. 1). Здесь, в соответствии с

уравнением пластичности, напряжения $\frac{\sigma_x}{2k}$ являются сжимающими и направлены против движения полосы, т.е. так, как показано на рис. 1, в.

На участке очага деформации, характеризуемом сечениями $0 - \psi_2$, продольные напряжения существенно зависят от силы переднего натяжения полосы. Как и раньше, выделим текущий объем металла $0 - \varphi_3$, равновесие его возможно,

если $\frac{\sigma_x}{2k}$ будут направлены противоположно движению полосы. Тогда, в целом, эпюра распределения напряжений $\frac{\sigma_x}{2k}$ приобретает вид, показанный на рис. 1, в.

Имея картину распределения продольных нормальных напряжений σ_x нетрудно рассчитать текущие продольные силы пластически деформируемого металла.

$$Q_{x \text{ пр.}} = \sigma_x h_x b,$$

или в безразмерной форме:

$$Q_{x \text{ пр.}}^* = \frac{Q_{x \text{ пр.}}}{2k \cdot R \cdot b} = \frac{\sigma_x}{2k} \left(\frac{h_1}{R} + \varphi^2 \right). \quad (1)$$

Изменение текущей силы по длине очага деформации приведено на рис. 2.

Имея эпюру изменения текущих продольных сил $Q_{x \text{ пр.}}^*$, нетрудно определить среднеинтегральную результирующую при прокатке полосы с натяжением:

$$Q_{x \text{ пр.}}^{*н} = \frac{1}{\alpha - \psi_1} \int_{\psi_1}^{\alpha} Q_{x \text{ пр.}}^* d\varphi - \frac{1}{\psi_1 - \psi_2} \int_{\psi_2}^{\psi_1} Q_{x \text{ пр.}}^* d\varphi - \frac{1}{\psi_2} \int_0^{\psi_2} Q_{x \text{ пр.}}^* d\varphi. \quad (2)$$

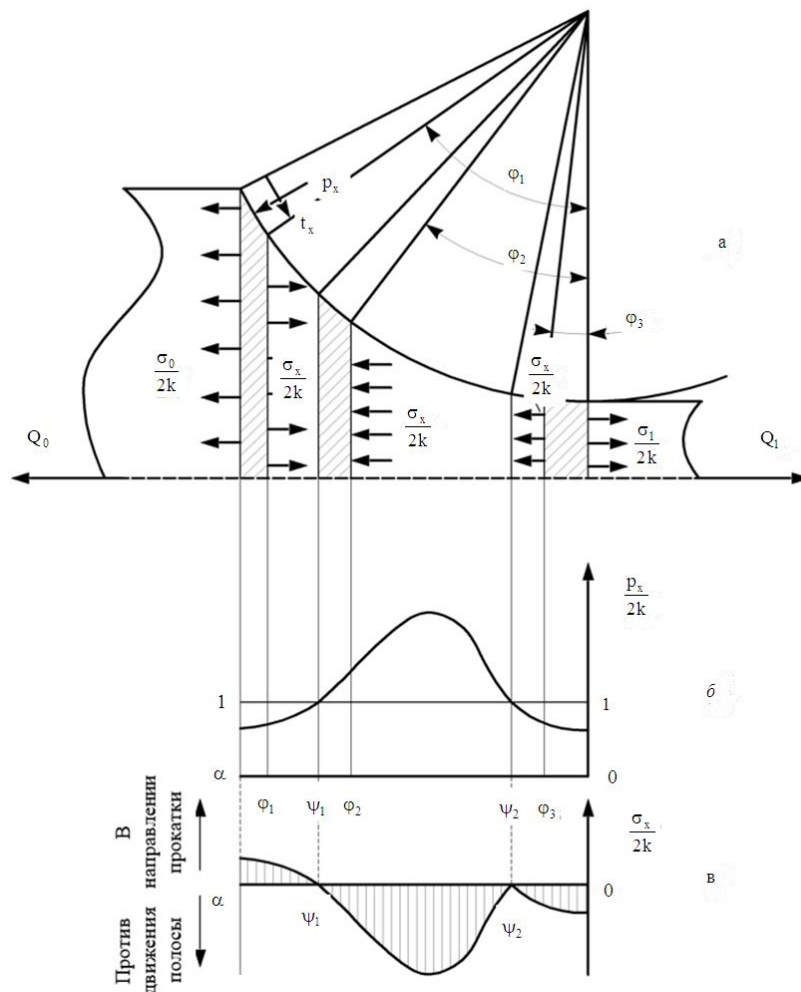


Рис. 1 – Схема очага деформации, распределение давления и продольных напряжений в нем

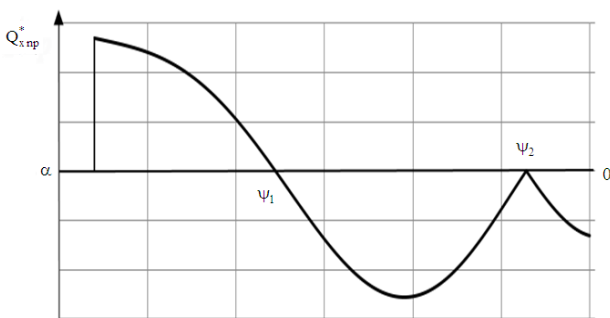


Рис. 2 – Эпюра текущей продольной силы в очаге деформации

Геометрически выражение (2) представляет собой алгебраическую сумму отношений площадей под кривой $Q_{хпр}^*$ на участках $\alpha - \psi_1$; $\psi_1 - \psi_2$ и $\psi_2 - 0$ к длине этих участков (рис. 2). Зная величину и направление действия результирующей $Q_{хпр}^{*н}$, в соответствии с [1], можно дать оценку продольной устойчивости полосы в очаге деформации при прокатке с натяжением. Если эта внутренняя сила направлена противоположно движению полосы, т.е. $Q_{хпр}^{*н} < 0$, то металл в валках будет вести себя устойчиво без потери равновесия. При $Q_{хпр}^{*н} = 0$

процесс будет протекать в предельных условиях. В случаях, когда $Q_{хпр}^{*н} > 0$, т.е. результирующая внутренних сил направлена по ходу прокатки, процесс невозможен.

Результаты работы. Проанализируем конкретные значения продольной результирующей силы при деформации полосы с разным натяжением и сравним результаты расчетов с опытными данными, приведенными в [2]. В работе [2] приведены экспериментальные эпюры распределения давления при холодной прокатке стальных образцов высотой 1,95 мм в валках радиусом $R = 124,3$ мм.

При решении дифференциального уравнения Т. Кармана в качестве модели трения была использована функция [3]:

$$\frac{t_x}{2k} = n_2 f \frac{p_x}{2k} + \frac{1}{2} \sin \left[2n_1 \left(\varphi - \frac{\alpha}{2} \right) \right] \frac{\alpha - \varphi}{\alpha}, \quad (3)$$

где n_1 и n_2 – постоянные коэффициенты при заданных условиях прокатки,

$$n_1 = \left(\frac{2f}{\alpha} \right)^2; \quad n_2 - \text{определяется из граничных}$$

условий на выходе из валков;

φ – текущий угол в очаге деформации;

f – коэффициент трения при упругом транспортировании металла;

α – угол захвата.

Заметим, что f в (3) является условным коэффициентом, и он не равен среднему коэффициенту трения в очаге деформации, полученному как отношение площадей эпюр удельных сил трения и нормального давления:

$$f_{cp} = \int_{\gamma}^{\alpha} \frac{t_x}{2k} d\varphi + \left| \int_0^{\gamma} \frac{t_x}{2k} d\varphi \right| / \int_0^{\alpha} \frac{p_x}{2k} d\varphi,$$

где γ – угол нейтрального сечения.

Решение осуществляли с применением метода Рунге-Кутты, для чего была составлена программа

Таблица 1 – Режимы обжатий, кинематические и силовые параметры при холодной прокатке стальных образцов

№ фигуры	Высота полосы, мм		$\frac{\sigma_0}{\sigma_{T_0}}$	$\frac{P_{cp}}{2k}$	l_{cp} , мм	α_{cp} , рад	R_{cp} , мм	v_B , мм/с	f_{cp}	S , %	$Q_{cp пр.}^{*н}$
	h_0	h_1									
91	1,95	1,32	0,389	1,39	13,92	0,0453	307,6	47	0,121	4,3	-0,002
				1,49						5,2	
92	1,95	1,3	0,674	1,06	13,06	0,0498	262,4	43	0,143	3,5	-0,00063
				1,1						4,6	
95	1,95	1,36	0,0156	1,51	13,86	0,0425	325,6	45	0,106	5	-0,00349
				1,77						5,45	

Примечание: в числителе – опытные данные; в знаменателе – расчетные.

Анализ изменения текущей продольной силы $Q_{хпр.}^{*н}$ для образца №91 по длине очага деформации показывает, что вблизи входа металла в валки эта сила положительная, направлена по ходу прокатки. Далее она меняет свое направление. Причем площадь под кривой отрицательных значений $Q_{хпр.}^{*н}$ больше положительных, т.е. $Q_{cp пр.}^{*н} < 0$ и равна - 0,002, следовательно, в данных условиях деформации процесс прокатки образца совершался устойчиво без частичных пробуксовок, что подтверждают результаты опыта. Обратим внимание на то, что опытные и расчетные значения среднего давления $\frac{P_{cp}}{2k}$ и опережения S достаточно близки (табл. 1).

Аналогичные расчеты были проведены и для остальных образцов приведенных в табл. 1. Для анализа из [2] были выбраны образцы, которые прокатывались по близкому режиму обжатия, но с разной величиной заднего натяжения. Сравнительные результаты приведены на рис. 4. Из

расчета на ЭВМ. Для случая прокатки стального образца 91 (номер фигуры 91) [2] результаты расчета эпюр распределения нормального давления, удельных сил трения и текущей продольной силы пластически деформированного металла приведены на рис. 3. Образец прокатывался со значительным

задним натяжением полосы $\frac{\sigma_0}{\sigma_{T_0}} = 0,389$

(σ_{T_0} – напряжение текучести на входе в очаг деформации). Параметры деформации, некоторые результаты опытов и расчетов приведены в табл. 1.

этого рисунка видно, что с увеличением заднего удельного натяжения полосы средняя результирующая продольных сил $Q_{cp пр.}^{*н}$ по абсолютной величине уменьшается, следовательно, уменьшается и продольная устойчивость процесса прокатки. Об этом можно судить и по опытному опережению S . Важно отметить, что одним из ограничений на величину натяжения полосы при прокатке может быть продольная устойчивость металла в валках. Это обстоятельство необходимо особо учитывать при непрерывной прокатке листовой стали.

Выводы. Разработан метод оценки продольной устойчивости полосы в очаге деформации при прокатке с натяжением. Показано, что с увеличением заднего натяжения результирующая продольных сил по абсолютной величине уменьшается и, следовательно, снижается устойчивость процесса прокатки. Последнее необходимо учитывать при назначении режимов натяжения полосы, особенно в случаях непрерывной прокатки.

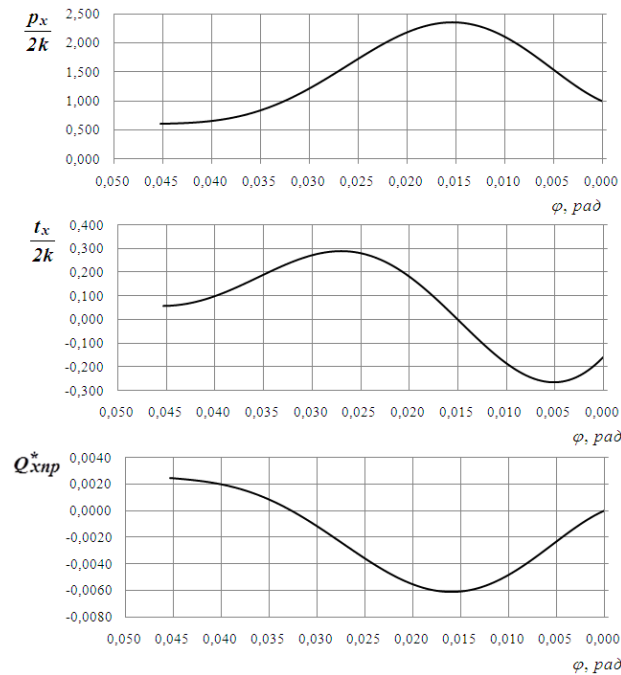


Рис. 3 – Эпюры распределения нормального давления, удельных сил трения и текущей продольной силы пластически деформируемого металла для образца №91

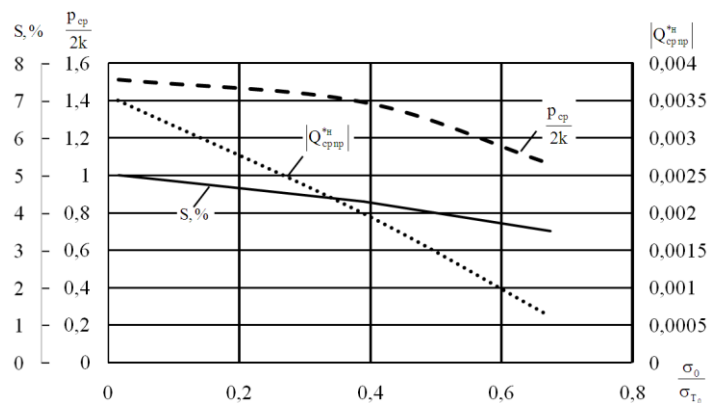


Рис. 4 – Влияние заднего натяжения полосы на некоторые параметры прокатки

Список литературы: 1. Максименко О. П. Анализ силового взаимодействия в очаге деформации при прокатке / О. П. Максименко, Д. И. Лобойко, Р. Я. Романюк // Металлург. и горноруд. пром-сть. – 2013. – №6. – С. 47–49. 2. Королев А. А. Новые исследования деформации металла при прокатке / А. А. Королев. – М. : Машгиз, 1953. – 267 с. 3. Максименко О. П. Продольная устойчивость процесса прокатки с натяжением полосы при двухзвенной модели трения в очаге деформации / О. П. Максименко, М. К. Измайлова, Д. И. Лобойко. // Металлург. и горноруд. пром-сть. – 2015. – №4. – С. 59–62.

Bibliography (transliterated): 1. Maksimenko O. P., D. I. Lobjoko and R. Ja. Romanjuk. “Analiz silovogo vzaimodejstija v ochage deformacii pri prokatke”. *Metallurg. i gornorud. prom-st’*. No.6. 2013. 47–49. Print. 2. Korolev A. A. *Novye issledovanija deformacii metalla pri prokatke. Moscow. : Mashgiz, 1953. Print.* 3. Maksimenko O. P., M. K. Izmajlova and D. I. Lobjoko. “Prodol'naja ustojchivost' processa prokatki s natjazheniem polosity pri dvuhzvennoj modeli trenija v ochage deformacii”. *Metallurg. i gornorud. prom-st’*. No.4. 2015. 59–62. Print.

Поступила (received) 02.11.2015

Сведения об авторах / About the Authors

Максименко Олег Павлович, доктор технических наук, профессор, кафедры Обработки металлов давлением Днепропетровского государственного технического университета, тел. (097)677-63-79.

Maksimenko Oleg Pavlovich, Ph.D., Professor, Dneprodzerzhinsk State Technical University, tel. 8(097)677-63-79.

Лобойко Дарья Игоревна, Днепропетровский государственный технический университет, аспирант, тел. (097)497 -6083, e-mail: darlobojko@gmail.com

Loboiko Daria Igorevna, Dneprodzerzhinsk State Technical University, Postgraduate student, tel. (097) 497-60-83, e-mail: darlobojko@gmail.com

В. М. МИХАЛЕВИЧ, Ю. В. ДОБРАНЮК

АНАЛІТИЧНИЙ ОПИС ДИНАМІКИ ФОРМОЗМІНИ ЦИЛІНДРИЧНИХ ЗАГОТОВОК ПІД ЧАС ТОРЦЕВОГО СТИСНЕННЯ

У цій праці розроблено методику побудови математичної моделі динаміки формозміни бічної поверхні циліндричної заготовки під час торцевого стиснення із бочкоутворенням. На основі розробленої методики отримано аналітичний опис динаміки формозміни циліндричних заготовок під час деформування та розроблено рекомендації стосовно експериментального визначення його параметрів. Показано, що отримана модель динаміки формозміни може бути покладена в основу удосконаленої методики експериментально-аналітичного дослідження процесу торцевого стиснення.

Ключові слова: торцеве стиснення, формозміна, бічна поверхня, циліндрична заготовка, коефіцієнт тертя, нестационарне деформування

Вступ. Одним із найпоширеніших процесів деформування є торцеве стиснення, яке використовується і як складова частина технологічного процесу виготовлення деталей, так і в якості способу дослідження фізико-механічних властивостей матеріалів [1–4]. Як відомо [1–9], під час стиснення циліндричних заготовок із малопластичних матеріалів на бічній поверхні утворюються тріщини. При чому ступінь стиснення, при якому з'являються тріщини, залежить від інтенсивності бочкоутворення на бічній поверхні, яке залежить як від геометричних параметрів заготовки, так і від умов тертя на торцях. Наукові напрацювання стосовно цього процесу є базовими для створення та удосконалення переважної більшості теоретичних методик розрахунку технологічних параметрів різноманітних процесів пластичного деформування. Тому отримані дані про особливості та закономірності вказаного процесу деформування мають значний теоретичний та практичний інтерес [1–5].

Під час торцевого стиснення, у зв'язку із нерівномірністю деформацій, відбувається викривлення форми вільної поверхні, так зване бочкоутворення, від якого залежить напружено-деформований та граничний стани матеріалу заготовки. Комплексна характеристика процесу торцевого стиснення включає як аналіз напружено-деформованого та граничного станів, так і отримання аналітичного опису геометричних параметрів заготовки під час процесу деформування.

Аналіз останніх досліджень та літератури. При цьому досить велику перевагу науковці надають задачам дослідження напружено-деформовано та граничного станів матеріалу бічної поверхні циліндричних заготовок. Для розв'язання цієї задачі було удосконалено експериментально-аналітичну методику дослідження НДС небезпечної, стосовно накопичення розсіяних пошкоджень, частини заготовки, розроблено та апробовано різні моделі для опису граничних деформацій бічної поверхні циліндричних заготовок під час торцевого стиснення, а також отримано ряд практичних рекомендацій стосовно покращення параметрів якості отриманих деталей [1–7].

На відмінно від НДС та граничних деформацій, задачам аналітичного опису та аналізу геометричних параметрів заготовки не приділено

потрібної уваги. Хоча аналітичний опис заготовки під час нестационарного деформування є не менш важливою задачею під час дослідження та удосконалення технологічних процесів, в основу виготовлення яких покладено процес торцевого стиснення. Зокрема для прогнозування якості поверхонь, можливості їх руйнування, а також забезпечення певної конфігурації деталей під час їх виготовлення [2–7]. Проведений аналіз свідчить про те, що під час моделювання форми бічної поверхні циліндричних заготовок при осадженні використовується велика кількість підходів [3–5, 8, 9]. Найвідомішими серед них є варіаційний метод, метод жорстких макроблоків та ін. Значна кількість досліджених методик аналізу формозміни вільної поверхні циліндричних заготовок базуються на отриманні співвідношень для обчислення одного із геометричних розмірів бічної поверхні при деформуванні.

Наприклад, в роботі [9] розроблено аналітичні залежності опису форми бічної поверхні, які відтворюють експериментальні дані вісесиметричного осадження в межах допустимої похибки їх визначення. Розглянута методика базується на експериментально отриманих значеннях декількох діаметрів бічної поверхні заготовки, при цьому не отримано залежностей усіх геометричних параметрів заготовки від умов тертя на торцях та інших фізичних особливостей вказаного процесу деформування. В роботі [10] приведено методику аналітичного опису геометричних параметрів заготовки під час деформування. Проте в цій методиці відсутнє обґрунтування ключових аспектів побудови математичної моделі формозміни циліндричної заготовки під час процесу торцевого стиснення. Один із основних кроків для отримання аналітичного опису геометричних параметрів заготовки під час торцевого стиснення зроблено в роботі [8], в якій отримано залежність максимального радіуса циліндричної заготовки під час торцевого стиснення із бочкоутворенням від основних параметрів процесу. Але аналітичного опису всієї бічної поверхні заготовки під час деформування ще не було отримано.

Мета дослідження, постановка проблеми. Однією із основних задач є розробка методики для отримання математичної моделі динаміки формозміни циліндричних заготовок в залежності

від умов тертя та ступеня стиску під час торцевого стиснення.

Розробка аналітичного представлення геометричних параметрів заготовки під час стиснення базується на врахуванні таких припущень [8, 10]:

1) забезпечення умови незмінного об'єму заготовки

$$V = S_0 \cdot H = const ; \quad (1)$$

де S_0 , H – площа поперечного перерізу та висота заготовки до деформування;

2) течія матеріалу має лише радіальний та осьовий компоненти;

3) під час стиснення забезпечується симетрія заготовки відносно її вісі, тобто розглядається торцеве стиснення;

4) k – коефіцієнт тертя на торцях заготовки:

4.1) $k=1$ – тертя відсутнє. Бічна сторона паралельна вісі заготовки, при цьому радіус торців набуває максимально можливого значення:

$$r_f = r_0 \cdot \sqrt{\frac{H}{h}}, \quad (2)$$

де r_0 , r_f – початковий та поточний радіуси торця, h – висота zdeформованої заготовки (параметр, що характеризує стадію процесу стиснення (рис. 1)).

4.2) $k=0$ – максимальне тертя. Основа не змінює початкові розміри

$$r_f = r_0 = const , \quad (3)$$

а бічна сторона максимально деформується.

4.3) $0 < k < 1$ – радіуси торців збільшуються, бічна сторона деформується (рис. 1). При цьому радіуси торців задовольняють нерівність:

$$r_0 < r_f < r_0 \cdot \sqrt{\frac{H}{h}}, \quad (4)$$

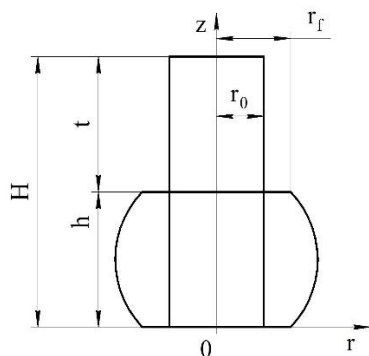


Рис. 1 – Схематичне представлення процесу торцевого стиснення

Значення радіуса торців під час процесу торцевого стиснення залежить від початкових параметрів заготовки, поточної висоти заготовки в процесі деформування та умов тертя на торцях заготовки [8]:

$$r_f = r_f(H, r_0, h, k) = r_0 \cdot \sqrt{1 + k \cdot \left(\frac{H}{h} - 1\right)}. \quad (5)$$

Для фіксованого значення висоти zdeформованої заготовки під час деформування представимо радіус бічної поверхні співвідношенням:

$$Rh(z, h) = A_0(h) + A_1(h) \cdot z + A_2(h) \cdot z^2; \quad 0 \leq z \leq h, \quad (6)$$

де z – параметр, що характеризує радіус zdeформованої заготовки по її висоті h .

При цьому для отриманої залежності (6) мають виконуватися граничні умови:

1) при значенні параметра $z=0$, повинна виконуватися рівність:

$$Rh(z=0, h) = r_f. \quad (7)$$

В результаті отримуємо вираз для знаходження однієї із функцій співвідношення (6):

$$A_0(h) = r_f, \quad (8)$$

з урахуванням якого співвідношення (6) набуває вигляду

$$Rh(z, h) = r_f + A_1(h) \cdot z + A_2(h) \cdot z^2; \quad (9)$$

2) при значенні параметра $z=h$, повинна виконуватися рівність:

$$Rh(z=h, h) = r_f. \quad (10)$$

В результаті отримуємо залежність між іншими невідомими функціями співвідношення (9), яке набуває вигляду:

$$Rh(z, h) = r_f + A_2(h) \cdot z \cdot (z - h); \quad \begin{cases} 0 < h \leq H; \\ 0 \leq z \leq h. \end{cases} \quad (11)$$

Для отриманого співвідношення (11) зробимо проміжну перевірку. Оскільки було прийнято, що $Rh(z=0, h) = Rh(z=h, h) = r_f$, то має виконуватися умова симетричності:

$$\left. \frac{\partial Rh(z, h)}{\partial z} \right|_{z=h/2} = 0. \quad (12)$$

Дійсно

$$\frac{\partial Rh(z, h)}{\partial z} = A_2(h) \cdot (z - h + z) = A_2(h) \cdot (2 \cdot z - h).$$

$$\left. \frac{\partial Rh(z, h)}{\partial z} \right|_{z=h/2} = A_2(h) \cdot \left(2 \cdot \frac{h}{2} - h\right) \equiv 0. \quad (13)$$

З урахуванням співвідношення (2) отримаємо:

$$\begin{cases} k = 1, & A_1(h) = A_2(h) \equiv 0, \\ 0 < k < 1, & A_1(h), A_2(h) \neq 0 \end{cases} \quad (14)$$

Отже, співвідношення (11) необхідно представляти у вигляді:

$$Rh(z, h) = \begin{cases} r_0 \cdot \sqrt{\frac{H}{h}}, & k=1, \\ r_f + A_2(h) \cdot z \cdot (z-h); \end{cases} \begin{cases} 0 \leq k < 1, \\ 0 < h \leq H, \\ 0 \leq z \leq h. \end{cases} \quad (15)$$

При цьому має виконуватися рівність:

$$A_2(h=H) = 0. \quad (16)$$

Введемо ще одну умову. Із механіки процесу торцевого стиснення відомо, що радіус бочки здеформованої заготовки є найбільшим, тобто $r_f < r_b$, отже, відповідно до співвідношення

Ошибка! Источник ссылки не найден. отримаємо

$$\begin{aligned} r_f < Rh\left(z = \frac{h}{2}, h\right) = \\ = r_f + A_2(h) \cdot \frac{h}{2} \cdot \left(\frac{h}{2} - h\right) = r_f - A_2(h) \cdot \frac{h^2}{4}. \end{aligned}$$

Звідки випливає

$$A_2(h) < 0. \quad (17)$$

Вигляд функції $A_2(h)$ знаходимо із умови постійності об'єму (1).

$$V_0 = \pi \cdot r_0 \cdot H.$$

$$V_0 = V(h) = \pi \cdot \int_0^h Rh^2(z, h) \cdot dz.$$

На основі попереднього співвідношення з використанням (15) отримаємо рівняння

$$r_0 \cdot H = h \cdot \left[\frac{1}{30} \cdot h^4 \cdot A_2^2(h) - \frac{1}{3} \cdot r_f \cdot h^2 \cdot A_2(h) + r_f^2 \right],$$

із розв'язання якого отримуємо вираз для функції $A_2(h)$:

$$A_2(h) = \frac{5 \cdot r_f \pm \sqrt{30 \cdot r_0^2 \cdot \frac{H}{h} - 5 \cdot r_f^4}}{h^2}. \quad (18)$$

Знак перед коренем визначаємо за допомогою урахування нерівності (17), тоді

$$A_2(h) = \frac{5 \cdot r_f - \sqrt{30 \cdot r_0^2 \cdot \frac{H}{h} - 5 \cdot r_f^4}}{h^2}. \quad (19)$$

В результаті отримаємо модель динаміки формозміни циліндричної заготовки під час торцевого стиснення із бочкоутворенням

$$Rh(z, h) = \begin{cases} r_0 \cdot \sqrt{\frac{H}{h}}, & k=1; \\ r_f + \frac{5 \cdot r_f - \sqrt{30 \cdot r_0^2 \cdot \frac{H}{h} - 5 \cdot r_f^4}}{h^2} \cdot z \cdot (z-h); \end{cases} \quad (20)$$

where $\begin{cases} 0 < h \leq H; \\ 0 \leq z \leq h; \\ r_f = r_0 \cdot \sqrt{1+k \cdot \left(\frac{H}{h} - 1\right)}; \\ 0 \leq k < 1. \end{cases}$

Використовуючи модель (20), при $z = \frac{h}{2}$

отримаємо співвідношення для обчислення радіуса бочки.

$$\begin{aligned} R_b = Rh\left(z = \frac{h}{2}, h\right) = \\ = r_f + \frac{5 \cdot r_f - \sqrt{30 \cdot r_0^2 \cdot \frac{H}{h} - 5 \cdot r_f^4}}{h^2} \cdot \left(-\frac{h^2}{4}\right). \\ R_b = -\frac{1}{4} \cdot r_f + \frac{1}{4} \cdot \sqrt{30 \cdot r_0^2 \cdot \frac{H}{h} - 5 \cdot r_f^4}. \end{aligned} \quad (21)$$

Для певної заготовки та умов тертя маємо фіксовані значення k, r_0, H . На кожній стадії стиснення, що характеризується окремими значеннями, експериментально визначаємо радіус бочки R_{be} . Використовуючи отримані значення за допомогою методу найменших квадратів визначаємо значення коефіцієнта тертя k , ($0 \leq k \leq 1$). Якщо експериментальні дані отримано для радіуса торців r_f , то коефіцієнт тертя потрібно визначати за допомогою методу найменших квадратів на основі співвідношення (5). Якщо експериментальні дані є для R_{be}, r_{fe} , то значення коефіцієнта тертя k визначаємо на основі співвідношення (5), а значення R_{be} можемо використати для оцінки адекватності побудованої моделі.

Висновки. Розроблена методика побудови математичної моделі динаміки формозміни бічної поверхні циліндричної заготовки під час торцевого стиснення із бочкоутворенням надала можливість отримати аналітичний опис динаміки формозміни циліндричних заготовок під час деформування, а також розробити рекомендації стосовно експериментального визначення його параметрів. Отримана модель динаміки формозміни покладено в основу удосконаленої методики експериментально-аналітичного дослідження процесу торцевого стиснення.

Список літератури: 1. Смирнов-Аляев Г. А. Сопротивление материалов пластическому деформированию. Инженерные методы расчета операций пластической обработки материалов /

Г. А. Смирнов-Аляев – М. – Л. : Машгиз, 1961. – 463 с.
2. Огородников В. А. Деформируемость и разрушение металлов при пластическом формоизменении / В. А. Огородников – К. : УМК ВО, 1989. – 152 с. 3. Матвиychuk В. А. Совершенствование процессов локальной ротационной обработки давлением на основе анализа деформируемости металлов: монография / В. А. Матвиychuk, И. С. Алиев. – Краматорск : ДГМА, 2009. – 268 с. ISBN 978-966-379-317-7. 4. Михалеvич В. М. Тензорні моделі накопичення пошкоджень / В. М. Михалеvич. – Вінниця : УНІВЕРСУМ–Вінниця, 1998. – 195 с. – ISBN 966-7199-20-7.
5. Михалеvич В. М. Моделювання напружено-деформованого та граничного станів поверхні циліндричних зразків при торцевому стисненні: монографія / В. М. Михалеvич, Ю. В. Добранюк. – Вінниця: ВНТУ, 2013. – 180 с. ISBN 978-966-641-532-8.
6. Михалеvич В. М. Моделирование пластического деформирования цилиндрического образца при торцевом сжатии / В. М. Михалеvич, А. А. Лебедев, Ю. В. Добранюк // Пробл. прочности. – 2011. – № 6. – С. 5–22. 7. Mikhalevich V. M. Modeling of plastic deformation in a cylindrical specimen under edge compression / V. M. Mikhalevich, A. A. Lebedev and Yu. V. Dobranyuk // Strength of Materials. – Volume 43, Number 6 (2011), P. 591–603, DOI: 10.1007/s11223-011-9332-7.
8. Михалеvич В. М. Аналітичне представлення максимального радіуса циліндричних заготовок під час вісесиметричного осадження із бочкоутворенням / В. М. Михалеvич, Ю. В. Добранюк // Вісник машинобудування та транспорту. – Вінниця: ВНТУ – 2015 – №1 – С. 59–66. 9. Михалеvич В. М. Формозміна бічної поверхні циліндричних заготовок під час вісесиметричного осадження / В. М. Михалеvич, Ю. В. Добранюк, Е. А. Трач // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ» – 2013. – №42(1015) – С. 126 – 131. 10. Walter Gander Solving problems in scientific computing using Maple and Matlab / Walter Gander, Jiri Hrebicek // Springer Berlin Heidelberg New York. – 4th edition. – 2004. – 520 p.

Bibliography (transliterated): 1. Smirnov-Aljaev G. A. Soprotivlenie materialov plasticheskomu deformirovaniyu. Inzhenernye metody

rascheta operacij plasticheskoj obrabotki materialov / G. A. Smirnov-Aljaev – Moscow – Leningrad : Mashgiz, 1961. – 463 p.
2 Ogorodnikov V. A. Deformiruemost' i razrushenie metallov pri plasticheskom formoizmenenii / V. A. Ogorodnikov – Kiev : UMK VO, 1989. – 152 p. 3. Matvijchuk V. A. Sovershenstvovanie processov lokal'noj rotacionnoj obrabotki davleniem na osnove analiza deformiruemos ti metallov: monografija / V. A. Matvijchuk, I. S. Aliev. – Kramatorsk : DGMA, 2009. – 268 p. ISBN 978-966-379-317-7.
4. Mykhalevych V. M. Tenzorni modeli nakopychennya poshkodzen' / V. M. Mykhalevych. – Vinnytsya : UNIVERSUM–Vinnytsya, 1998. – 195 p. – ISBN 966-7199-20-7.
5. Mykhalevych V. M. Modelyuvannya napruzhenno-deformovanoho ta hranychnoho staniv poverkhni tsylindrychnykh zrazkiv pry tortsevomu stysnenni: monohrafiya / V. M. Mykhalevych, Yu. V. Dobranyuk. – Vinnytsya: VNTU, 2013. – 180 p. ISBN 978-966-641-532-8. 6. Mikhalevich V. M. Modelirovaniye plasticheskogo deformirovaniya tsilindricheskogo obraztsa pri tortsevom szhatii / V. M. Mikhalevich, A. A. Lebedev, YU. V. Dobranyuk // Probl. prochnosti. – 2011. – No 6. – P. 5–22. 7. Mikhalevich V. M. Modeling of plastic deformation in a cylindrical specimen under edge compression / V. M. Mikhalevich, A. A. Lebedev and Yu. V. Dobranyuk // Strength of Materials. – Volume 43, Number 6 (2011), P. 591–603, DOI: 10.1007/s11223-011-9332-7.
8. Mykhalevych V. M. Analitychne predstavleniya maksimal'noho radiusa tsylindrychnykh zahotovok pid chas visesyetrychnoho osadzheniya iz bochkoutvorennyam / V. M. Mykhalevych, Yu. V. Dobranyuk // Visnyk mashynobuduvannya ta transportu. – Vinnytsya: VNTU – 2015 – No1 – P. 59–66. 9. Mykhalevych V. M. Prohnozuvannya hranychnoho stanu bichnoyi poverkhni tsylindrychnykh zrazkiv pry tortsevomu stysnenni / V. M. Mykhalevych, V. A. Matvijchuk, YU. V. Dobranyuk, Ye. A. Trach // Obrabotka metallov davleniem : sbornyk nauchnykh trudov. – Kramatorsk : DHMA.– 2012. – No1(30). – P. 24–30. 10. Walter Gander Solving problems in scientific computing using Maple and Matlab / Walter Gander, Jiri Hrebicek // Springer Berlin Heidelberg New York. – 4th edition. – 2004. – 520 p.

Надійшла (received) 15.11.2015

Відомості про авторів / About the Authors

Михалеvич Володимир Маркусович, доктор технічних наук, професор, Вінницький національний технічний університет, завідувач кафедри вищої математики ВНТУ, м. Вінниця, e-mail: vmykhal@gmail.com, тел. +380973874944.

Mykhalevych Volodymyr Markusovych, Doctor of Technical Science, Professor, the Vinnytsya National Technical University, Head of Department of Higher Mathematics of VNTU, Vinnytsya, e-mail: vmykhal@gmail.com, tel. +380973874944.

Добранюк Юрій Володимирович, кандидат технічних наук, Вінницький національний технічний університет, старший викладач кафедри вищої математики ВНТУ, м. Вінниця, e-mail: dobranuk@mail.ru, тел. +380989962730.

Dobraniuk Yurii Volodymyrovych, Candidate of Science (Engineering), the Vinnytsya National Technical University, Senior Lecture of Department of Higher Mathematics of VNTU, Vinnytsya, e-mail: dobranuk@mail.ru, tel. +380989962730.

УДК 621.771.25

Е. Н. СМІРНОВ, А. И. СЕРОВ, В. А. СКЛЯР, Е. О. ДОМБРОВСКИЙ, О. Е. СМІРНОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ МАКРОСТРУКТУРЫ СОРТОВОЙ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ И ПОВЕДЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ЕЕ ОСЕВОЙ ЗОНЫ ВО ВРЕМЯ ПРОКАТКИ

Приведены результаты заводских исследований макроструктуры сортовой непрерывнолитой сортовой заготовки из сталей 45 и У7. Установлено, что, не смотря на в целом достаточно высокое качество макроструктуры, в осевой зоне присутствует пористость и ликвация которая приводит к проблемам при последующей прокатке. С учетом выявленных дефектов осевой несплошности, разработана математическая модель и исследован процесс прокатки непрерывнолитой заготовки в обжимной клети.

Ключевые слова: сортовая заготовка, макроструктура, моделирование, осевая пористость, охлаждение, прокатка.

Постановка проблемы. На предприятиях, которые начали использовать непрерывнолитую заготовку из качественных конструкционных марок стали, появилась потребность не только в оценке достигаемого качества конечной металлопродукции, но и в определении границ типоразмеров действующего и вновь вводимого сортамента профилей, в пределах которого качество последних будет соответствовать востребованному потребителями, исходя из достигнутого на предприятии уровня качества исходной заготовки. К основным направлениям улучшения технологии производства непрерывнолитой сортовой заготовки относят: стабильность химического состава стали и макроструктуры по сечению непрерывнолитого слитка [1, 2]; снижение содержания вредных примесей [3, 4]; снижение количества «опасных» неметаллических включений и минимизация поверхностных дефектов [5, 6].

В тоже время, несмотря на огромный объем исследований, связанных с оценкой качества непрерывнолитой заготовки, создание эффективных технологических схем и моделей производства стальной металлопродукции, позволяющих корректировать технологию последующего передела в зависимости от результатов предыдущего, невозможно без комплексного предварительного исследования качества металлопродукции на каждом из этапов вновь созданной технологической схемы.

Начиная с 2009 года, ПАО «Донецкий металлургический завод» осуществил перевод стана 500/370 на использование непрерывнолитой заготовки малого сечения с существенным расширением марочного состава прокатываемых марок сталей: качественные углеродистые, низколегированные, рессорно – пружинные и т. д. Проведенные мероприятия по реконструкции позволили в целом повысить качество готового проката, однако, по-прежнему периодически встречаются случаи раскрытия торцов непрерывнолитой заготовки в первых проходах (рис. 1, а), которые при дальнейшей прокатке превращаются в расслоения (рис. 1, б).

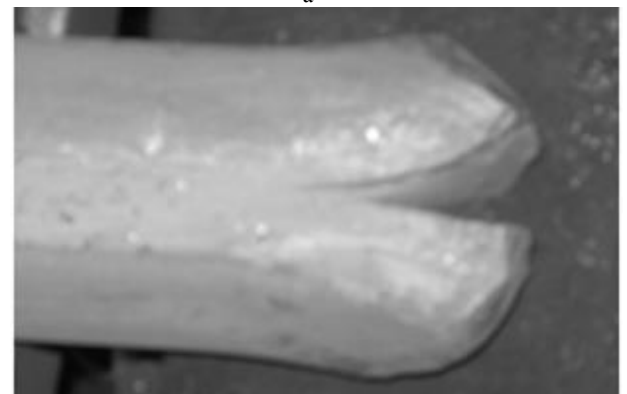
В настоящее время существуют различные точки зрения на причину раскрытия передних концов раскатов из непрерывнолитых слитков в процессе первичного деформирования, а именно – в

первых проходах. К наиболее часто встречаемым причинам относятся:

- усадочные дефекты [7]
- быстрое охлаждение и порезка при температурах ниже 200 °С [8].
- формируемое напряженно-деформируемое состояние (НДС), которое определяется условиями деформации отдельных слоев металла [9].



а



б

Рис. 1 – Внешний вид переднего торца подката:
а – с растрескиванием после трех проходов
и б – расслоение раската после девяти проходов:
сталь 60С2, заготовка сечением 130х130 мм

Таким образом, проведенный анализ однозначно свидетельствует, что причина раскрытия передних концов имеет, скорее всего, комплексную природу и, применительно к условиям прокатки непрерывнолитых сортовых заготовок

малого сечения, нуждается в дальнейшем исследовании, особенно в части совместного влияния неравномерного температурного поля на торцах заготовки и осевых дефектов несплошности.

Цель (задачи) исследования. Целью настоящих исследований являлась оценка качества макроструктуры по сечению непрерывнолитой сортовой заготовки и исследование влияния величины дефектов осевой области НЛЗ температуры нагрева и времени выдержки перед задачей в первую клетку на формируемое температурное состояние ее торцевых областей и поведение центральной несплошности в процессе прокатки.

Основной материал исследований. В качестве объекта исследования была выбрана непрерывнолитая заготовка, отлитая через трёхплитный шибберный затвор с полной защитой, струи от вторичного окисления на участке «сталь – ковш – кристаллизатор» в условиях ПАО «Электросталь» (г. Курахово, Украина) [10]. На первом этапе исследования ограничили двумя марками стали:

- сталь 45 по ГОСТ 1050–88, сечение заготовки 130x130 мм;
- сталь У7 по ДСТУ 3833–98, сечение заготовки 125x125 мм.

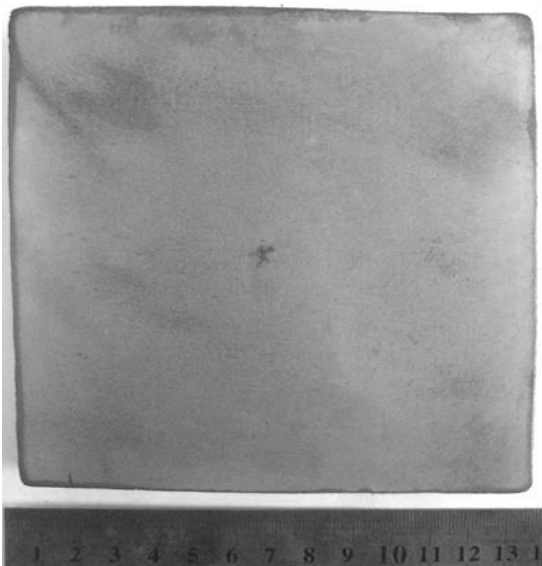


Рис. 2 – Макроструктура непрерывнолитой заготовки сечением 130x130 мм из стали 45

Из каждой отобранной пробы изготавливались поперечные темплеты (рис. 2.) для оценки макроструктуры заготовки по СОУ МПП 77.040-199:2007, а также продольные темплеты (рис. 3) – для исследования характера ликвации химических элементов в поперечном и продольном направлениях.

Первичная сопоставительная оценка уровня параметров, по которым производился контроль макроструктуры непрерывнолитых заготовок из стали 45 и У7, показала, что исследуемые плавки имеют весьма близкий уровень качества, который может характеризоваться величинами, представленными в табл. 1. Анализ приведенных в

табл. 1 данных позволяет говорить о достаточно высоком качестве полученной непрерывнолитой заготовки.

В свою очередь, анализ макроструктуры металла на продольных темплетах показал, что качество осевой зоны непрерывнолитой заготовки имеет нестабильный характер. Вследствие этого балл осевой пористости и осевой ликвации во многом предопределяется местом вырезки темплета и, что естественно, может иметь достаточно широкий диапазон колебаний. В рассматриваемом случае ширина диапазона колебаний параметров составила 1,5 балла.

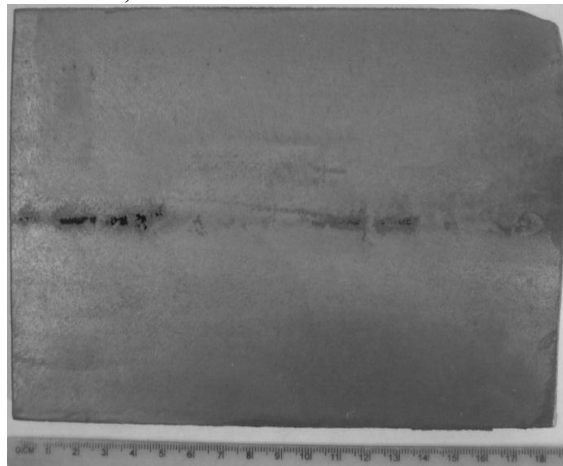


Рис. 3 – Макроструктура непрерывнолитой заготовки (продольный темплет) сечением 130x130 мм из стали 45

Однако следует особо отметить, что имеющиеся колебания имели место в первой половине шкалы (0–2 балла), используемой для описания макроструктуры заготовки, имеющей достаточно высокое качество [11]

Подобные исследования непрерывнолитой заготовки из стали 60С2 сечением 150x150 мм позволили создать первичную классификацию видов осевых нарушений сплошности (рис. 4). На основании этого, для численного моделирования были приняты три диаметра осевых дефектов: 3, 5 и 8 мм.

Исследование неоднозначных процессов теплового состояния заготовки в течение пластического деформирования наиболее часто реализуется с использованием методов математического моделирования. В этом случае, любая математическая модель традиционно состоит из 3 частей: температурное состояние металла; вязкопластическая деформация заготовки; термическое воздействие рабочего вала.

На первом шаге рассматриваемого исследования решалась задача, связанная с оценкой температурного состояния торца кратной НЛЗ на участке "нагревательная печь – обжимная клетка" в зависимости от следующих факторов: наличия слоя печной окалины на поверхности и дефектов макроструктуры, визуально наблюдающихся на заготовке, а также времени выдержки перед прокаткой.

Таблица 1 – Параметры макроструктуры непрерывнолитой заготовки сечением 125x125 мм из стали У7 (согласно СОУ МПШ.77.040-199:2007)

Контролирующая лаборатория		Предприятие-изготовитель		Предприятие-потребитель	Предприятие-изготовитель		Предприятие-потребитель
Место отбора темплета		Плавка 1		Плавка 1	Плавка 2		Плавка 2
% от массы плавки		20,0	70,0	Выборочно	20,0	70,0	Выборочно
Макроструктура, балл	ОП	0,0	1,0	2	0,0	0,0	1,5
	ОЛ	0,5	0,5	2	0,5	0,5	2,0
	ТО	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1,0
	ПТС	0,0	1,5	1,5	0,5	0,5	0,0
	ПТУ	0,0	0,0	0	0,0	0,0	0,0
	ТНК	0,5	0,0	1,0	0,0	0,5	0,0
	ВНХ	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Примечание		-	-	Наблюдаются 3 подкорковых пузыря	На обратной стороне темплета имеется усадка 1x3мм		Подкорковых пузырей нет

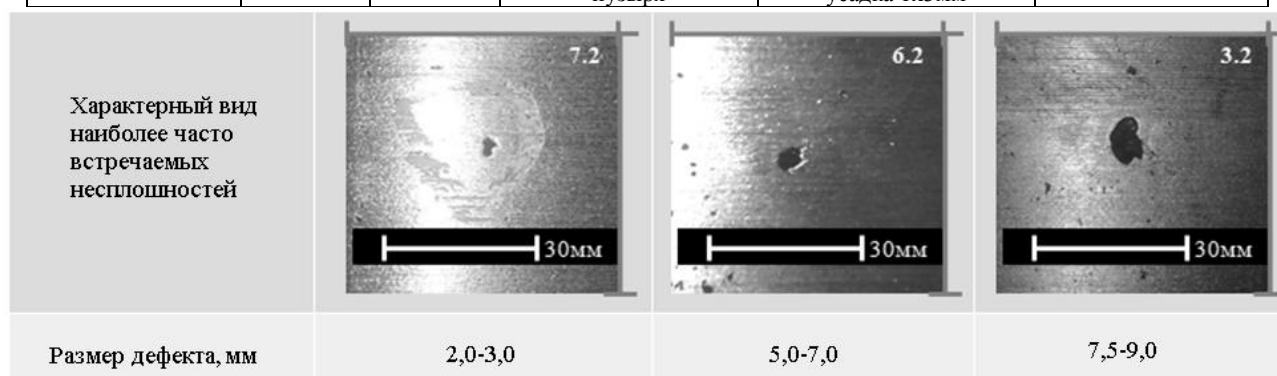


Рис. 4 – Вид типичных визуально наблюдаемых дефектов на торце кратной непрерывнолитой сортовой заготовке из стали 60С2: порезка на пилах

Время технологической выдержки, равное времени транспортировки от окна выдачи печи до первой клетки, изменялось в пределах от 20...120 с. Температура начала прокатки для численного эксперимента принимала следующие фиксированные значения: 1050 °С, 1100 °С, 1150 °С, 1200 °С.

Разработанная математическая модель реализована с использованием МКЭ в программном комплексе ANSYS. При создании модели осевой несплошности в заготовке принимали, что она имеет цилиндрическую форму с вышеуказанными дефектами и распространяется внутрь заготовки от торца, взаимодействующего с валками, на глубину не более длины очага деформации.

Для корректного учета фактической толщины слоя окалины на поверхности заготовки в разработанной модели после выдачи из печи выполнили промышленные замеры. Установлено, что толщина слоя окалины может колебаться от 0,6 мм в нормальном режиме работы печи до 5,7 мм в случае сбоя или неполадок. Анализ литературных источников показал, что при таких толщинах слоя, его не учет наличия на заготовке может приводить к существенной ошибке при определении теплового состояния. Для дальнейшего моделирования приняли следующие характеристики: плотность 4400 кг/м³, удельная теплопроводность 1,16 Вт/м·К; удельная теплоемкость 740 Дж/кг·К [12]. Толщину слоя при моделировании принимали равной 0,6 мм.

Анализ результатов исследования. Характер распределения температурного поля по сечению торца заготовки при отсутствии учета слоя окалины (а) и с ее учетом (б) приведен на рис. 5. Установлено, что разница между значениями температур составляет 10...20 °С.

В этой связи, в дальнейшем все расчеты выполнялись с использованием модели, которая учитывает наличие окалины на поверхности заготовки.

В результате численных экспериментов были получены температурные поля распределения на торцах заготовки для различных начальных условий. Обработку результатов осуществляли путем нахождения разницы между температурами в данной точке поперечного сечения торца заготовки и температурой нагрева t_n .

При этом наибольшее внимание было уделено областям металла, непосредственно расположенных рядом с осевым дефектом макроструктуры. Результаты обработки экспериментальных данных представляли в виде столбчатых диаграмм (рис. 6) для каждого из принятых условных диаметров осевого дефекта D.

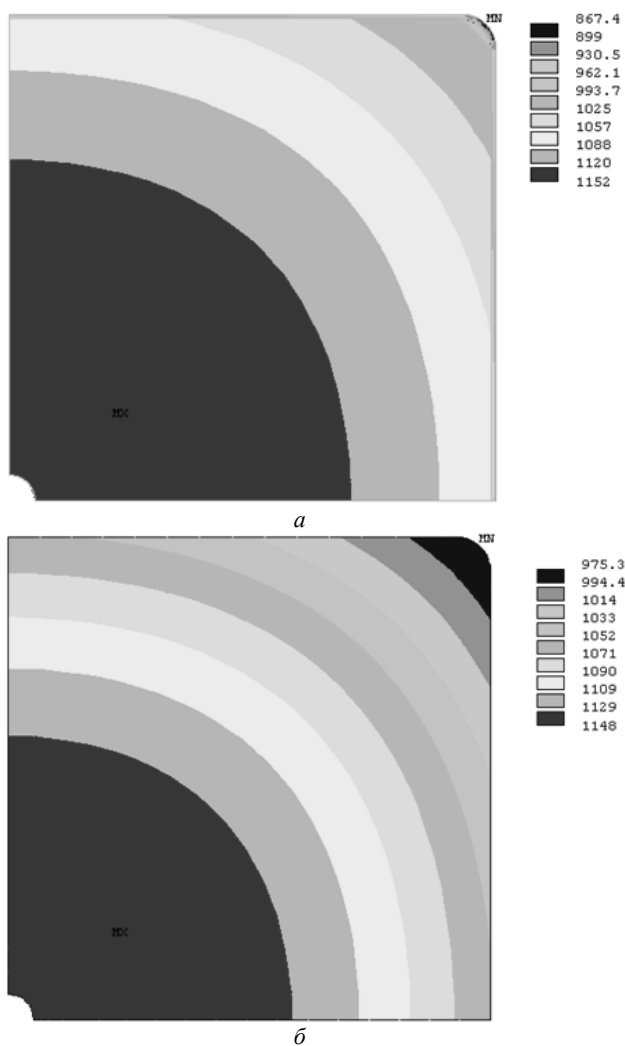


Рис. 5 – Температурне поле по сеченню торця заготовки: а – без учета слоя окалины и б – с окалиной толщиной 0,6 мм: начальная температура нагрева 1200°С

Анализ полученных результатов показал, что по мере снижения температуры нагрева наблюдается тенденция уменьшения величины температурного градиента. Установлено, что за время технологической выдержки 20 с снижение температуры торца заготовки составляет 45...60°С, за время 40 с – 60...80°С, а за время 60 с – 80...100°С. Данный факт служит прямым доказательством необходимости учета возникающих температурных градиентов в ходе дальнейшего моделирования (2-й этап) процесса вязкопластического деформирования заготовки в первых проходах обжимной клетки.

В тоже время, анализ полученных результатов с точки зрения возможного влияния наличия осевых дефектов на изменение характера температурного поля на торце заготовки показал, что какое-нибудь значимое влияние отсутствует. Наблюдаемый температурный градиент колеблется в пределах 10...15°С и локализуется в очень тонком слое металла, примыкающего к осевому дефекту. Кроме того, столь незначительные значения температурного градиента соизмеримы с погрешностью расчетов. В этой связи нет необходимости в дополнительном его учете на втором этапе исследований.

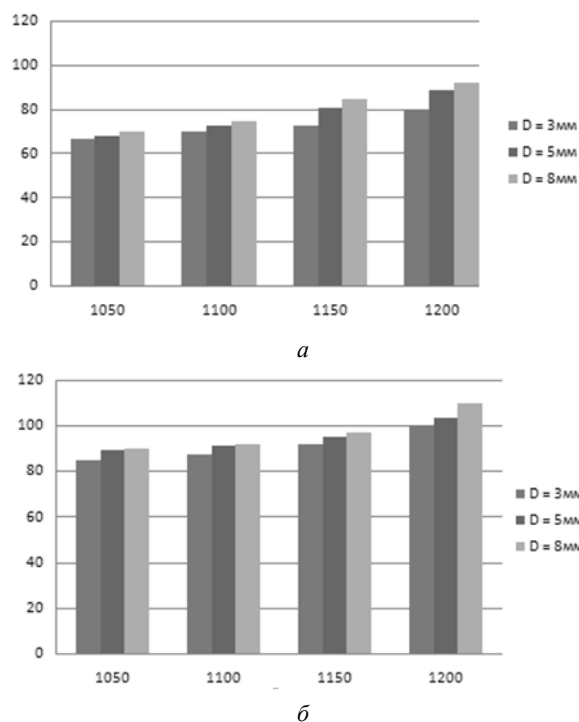


Рис. 6 – Диаграммы градиентов температуры металла на торце заготовки: время технологической выдержки: а – 40 с, б – 60 с

Исследование процесса прокатки проводили с помощью метода конечных элементов в трехмерной постановке. В качестве геометрической модели использовалась заготовка сечением 150x150 мм и длиной 200 мм из стали 60С2. Центральная несплошность представлялась в виде цилиндра диаметром 3, 5 и 8 мм. В качестве граничных условий использовалось тепловое поле, полученное на первом этапе исследования.

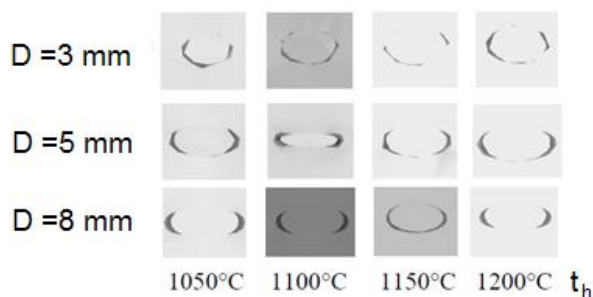


Рис. 7 – Размеры центральной несплошности после прокатки

Установлено что наиболее оптимальной температурой начала прокатки с точки зрения минимизации размеров центральной пористости в случае ее диаметра 3 и 5 мм является температура 1100°С, а при размере поры 8 мм – 1150°С.

Выводы. Представлены результаты промышленных исследований макроструктуры металла непрерывнолитой сортовой заготовки из конструкционных марок стали 45 и У7, а также ликвации химических элементов в её сечении. Установлено, что заготовкам текущего производства присуще достаточно высокое качество

макроструктури, однако качество осевой зоны непрерывнолитой заготовки имеет нестабильный характер. Разработана уточненная математическая модель оценки температурного состояния металла сортовой непрерывнолитой заготовки перед прокаткой на участке "нагревательная печь – обжимная клеть", отличительной особенностью которой является учет наличия окалины и визуально наблюдаемых дефектов литейного происхождения на ее торце. Показано, что не учёт наличия на ее поверхности слоя окалины приводит к заниженным, не менее чем 20°C, значениям температуры. Изменение времени технологической выдержки от 20 до 60 гарантирует рост градиента температуры на торце заготовки (центр – поверхность) с 45 до 100°C. В тоже время, наличие торцевых осевых дефектов вносит дополнительный градиент, величина которого соизмерима с погрешностью эксперимента, что в свою очередь не требует, в отличие от градиентов, вносимых временем технологической выдержки, их обязательного учета. Проведенное моделирование поведения осевой пористости во время прокатки позволило рекомендовать температуру нагрева заготовок с целью обеспечения наиболее благоприятных условий для сокращения размеров осевой несплошности.

Список литературы:1. *Jingxin S.* Effects of FC mold on slab and final product qualities at low throughputs / *S. Jingxin, Ya. Hongliang, L. Xianggui, J-E. Eriksson, H. Helmut* // *AISTech* 2010. – Pittsburgh, May 3–6, 2010: AIST Proceedings. – Vol. 2. – Warrendale (Pa): AIST. 2010. – С.63–70. 2. *Широких Т. А.* Применение технологии "мягкого" обжатия непрерывнолитой заготовки с целью подавления осевой пористости и ликвации / *Т. А. Широких, В. Г. Герасименко* // *Черная металлургия*. – 2011. – N1 – С.40–42. 3. *Kumar C. S.* Influence of modified casting practice on steel cleanliness / *C. S. Kumar* // *ISIJ Int.* – 2011. – N4. – С.557–565. 4. *Королев А. С.* Целесообразность вакуумирования конструкционных сталей в ЭСПЦ ОАО "ММК" / *А. С. Королев, В. Н. Селиванов* // *Энергетики и металлургии настоящего и будущего России: Материалы 11 Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и специалистов, Магнитогорск, 20–22 мая, 2010.* – Магнитогорск: МГТУ. – 2010. – С.74–76. 5. *Yavuz M. M.* Nozzle design for ArcelorMittal Dofasco's No. 1 continuous caster for minimizing sliver defects / *M. M. Yavuz, J. Sengupta* // *AISTech* 2010, Pittsburgh, Pa, May 3–6, 2010: AIST Proceedings. – Vol. 2. – Warrendale (Pa): AIST.

2010. – С.41–51. 6. Высокоэффективные технологические схемы и интеграция – основа повышения качества проката ответственного назначения / *А. А. Минаев, А. Н. Лубенец, Е. Н. Смирнов* [и др.] // *Металл и литье Украины*. – 2002. – №7–8. – С.35–37. 7. *Рудской А. И.* Теория и технология прокатного производства / *А. И. Рудской, В. А. Лунев*. – СПб. : Наука, 2008. – 527с. 8. *Исаев О. Б.* Влияние углерода и малых концентраций примесей цветных металлов на качество непрерывнолитой заготовки / *О. Б. Исаев* // *Металлург*. – 2009. – № 9. – С.69–72. 9. *Чижиков, Ю. М.* Прокатываемость стали и сплавов / *Ю. М. Чижиков*. – М. : Металлургия, 1961. – 451 с. 10. Развитие металлургического мини-завода ООО «Электросталь» и повышение его производительности / *А. Н. Смирнов, А. С. Хобта, А. И. Серов* [и др.] // *Сталь*. – 2011. – № 1. – С. 34–37. 11. Поведение дефектов макро- и микроструктуры непрерывнолитой заготовки при сортовой прокатке / *А. И. Рудской, В. А. Лунев, Е. Г. Щеголева* [и др.] // *Металлообработка*. 2006. – №4. – С.52–54. 12. Моделирование поведения оксидной окалины при горячей прокатке // *Новости чер. металлургии за рубежом*. – 2002. – №3. – С.84–86.

Bibliography (transliterated): 1. *Jingxin, S., Ya. Hongliang, L. Xianggui, J-E. Eriksson, and H. Helmut.* «Effects of FC mold on slab and final product qualities at low throughputs.» *AIST Proceedings* 2(2010):63–70. Print. 2. *Shirokih, T. A., and V. G. Gerasimenko.* «Primenenie tehnologii "mjagkogo" obzhatija nepreryvnolitoj zagotovki s cel'ju podavlenija osevoj poristosti i likvacii.» *Chernaja metallurgija* 1(2011):40–42. Print. 3. *Kumar, C. S.* «Influence of modified casting practice on steel» *ISIJ Int.* 4(2011):557–565. Print. 4. *Korolev, A. S., and V. N. Selivanov.* «Celesoobraznost' vakuumirovanija konstrukcionnyh stalej v JeSPC OAO «MМК». *Jenergetiki i metallurгии nastojashemu i budushhemu Rossii: Materialy 11 Vserossijskoj nauchno–tehničkoj konferencii studentov, aspirantov i specialistov* (2010):74–76. Print. 5. *Yavuz, M. M., and J. Sengupta* «Nozzle design for ArcelorMittal Dofasco's No. 1 continuous caster for minimizing sliver defects» *AIST Proceedings* 2(2010):41–51. Print. 6. *Minaev, A. A., A. N. Lubenev, E. N. Smirnov, and other* «Vysokoeffektivnye tehnologičeskie shemy i integracija – osnova povyšeniya kachestva prokata otvetstvennogo naznachenija.» *Metall i lit'je Ukrainy* 7-8(2002):35–37. Print. 7. *Rudskoj, A. I., and V. A. Lunev.* *Teorija i tehnologija prokatnogo proizvodstva.* Saint Petersburg: Nauka, 2008. Print. 8. *Isaev, O. B.* «Vlijanie ugleroda i malyh koncentracij primesej cvetnyh metallov na kachestvo nepreryvnolitoj zagotovki.» *Metallurg* 9(2009):69–72. Print. 9. *Chizhikov, Ju. M.* *Prokatyvajemost' stali i splavov.* Moscow: Metallurgizdat, 1961. Print. 10. *Smirnov, A. N., A. S. Hobta, A. I. Serov, and other.* «Razvitie metallurgičeskogo mini-zavoda ООО «Jelektrostal'» i povyšenie ego proizvoditel'nosti» *Stal'* 1(2011): 34–37. Print. 11. *Rudskoj, A. I., V. A. Lunjev, E. G. Shhegoleva, and other.* *Povedenie defektov makro- i mikrostrukturny nepreryvnolitoj zagotovki pri sortovoj prokatke.* *Metallrobrabotka* 4(2006):52–54. Print. 12. «Modelirovanie povedeniya oksidnoj okaliny pri gorjachej prokatke.» *Novosti cher. metallurgii za rubezhom.* 3(2002):84–86. Print.

Поступила (received) 02.11.2015

Сведения об авторах / About the Authors

Смирнов Евгений Николаевич, доктор технических наук, профессор, Старооскольский технологический институт (филиал) НИТУ МИСиС, профессор, +7(980) 388-74-89, en_smirnov@i.ua.

Smyrnov Yevgen, Dr. of Engineering Science, Professor, Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) NUST «MISIS», Professor, +7(980) 388-74-89, en_smirnov@i.ua.

Серов Александр Иванович, ПАО «Донецкий металлпрокатный завод», начальник технического отдела.

Serov Alexander, OJSC "Donetsk Metal Rolling Plant", Head of Technical Department.

Скляр Виталий Александрович, кандидат технических наук, доцент, Старооскольский технологический институт (филиал) НИТУ МИСиС, доцент, +7(980) 387-17-24, konfor1@yandex.ru.

Skliar Vitalii, PhD, docent, Stary Oskol Technological Institute named after A.A. Ugarov (branch) NUST «MISIS», Associate professor, +7(980) 387-17-24, konfor1@yandex.ru.

Домбровский Евгений Олегович, ПАО «Енакиевский металлургический завод», инженер технического отдела.

Dombrovsky Yevgen, PJSC «Yenakieve steel», engineer of technical department.

Смирнов Олег Евгеньевич, Донецкий национальный технический университет, магистр.

Smyrnov Oleg, Donetsk National Technical University, masters-student.

УДК 621.983.044:658.56(075.8)

М. Е. ТАРАНЕНКО

ПОСТРОЕНИЕ ШКАЛ КВАЛИМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НА ПРИМЕРЕ ЗЕРКАЛ АНТЕНН КОСМИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

В статье предложен подход к построению шкал параметров качества группы таких свойств, как толщина детали, используемый материал и сложность геометрической формы, определяющие технологичность крупногабаритной листоштампованной детали. Выполнена попытка сравнения значения комплексного показателя качества технологичности зеркала антенны космической связи с ее радиотехническими характеристиками. Проанализировано влияние механических свойств современных высокопрочных сплавов на показатели качества штамповки.

Ключевые слова: показатели качества, технологичность, крупногабаритные листоштампованные детали.

Введение. Зеркала антенн космической связи (АКС) являются особо точными деталями достаточно большого габарита (0,6...2,5 м). Необходимость высокой точности рабочей поверхности зеркала обусловлена высокой частотой принимаемого сигнала от единиц до десятков гигагерц. Высокая точность рабочей поверхности зеркала или отклонение формы этой поверхности от теоретической поверхности параболоида позволяет получать высокие коэффициенты усиления сигнала и достаточно узкую диаграмму направленности.

Анализ состояния проблемы оставление алгоритма формирования показателей качества (ПК) таких деталей позволяет количественно определить величины этого показателя. А это может быть использовано потребителем этой продукции при выборе того или иного поставщика (изготовителя), а последним – для выбора того или иного технологического процесса изготовления подобных деталей.

Как показано в работе [1] одним из основных свойств листовых деталей определяющих их качество (этот термин, в данном случае, принимается в широком понимании) является свойство их технологичности. Это комплексное свойство формируется из ряда частных свойств. К ним, в частности, относятся форма детали в плане, относительная толщина и точность формы рабочей поверхности. В случае рассмотрения листового днища параболического сечения в свойство точности включают суммарное отклонение рабочей поверхности от теоретического профиля, прямолинейность оси параболоида и минимальная депланация входного сечения.

Цель работы. Целью настоящей работы является обоснование и построение шкал показателей качества для комплексного свойства технологичности и ее частных свойств, их граничных (реперных) точек и, по возможности, градации.

В соответствии с положениями теоретической квалиметрии более удобно рассматривать ПК в диапазоне 0...1,0, причем более высокому качеству должно соответствовать большее значение ПК. Для квалиметрического анализа используется ряд шкал: наименований (не количественная), порядка (баллы), интервалов (начало отсчета произвольное,

но уже можно пользоваться цифровой мерой), отношений и абсолютная шкала. Более совершенными являются две последние.

При рассмотрении процессов листовой штамповки автором [1] установлен ряд форм листовых деталей в плане и обоснован ряд количественных показателей формы от круглых в плане деталей до деталей сложной формы.

Методы исследования. Предлагается для ПК формы в плане использовать по оси соотношения площадей величину обратную показателю формы. Тогда такая шкала будет выглядеть следующим образом:

– круглая форма – ПК=1,0;

– шестиугольник – 0,91;

– квадрат – 0,79;

– треугольник (от равностороннего до прямоугольного – 0,60...0,53;

Для сложной формы – 0,5...0,25.

По оси «соотношение сторон» (эллиптическая форма) ПК равен отношению меньшей полуоси эллипса к большей. Для офсетных зеркал ПК формы в плане равен 0,6...0,8.

Детали названного назначения представляют собой днища указанного выше диапазона диаметров и отношением глубины детали к ее диаметру 0,2...0,4. По периферии днища располагается жесткий рифт, препятствующей большой депланации (короблению) ее выходного сечения. Для повышения точности и поводов поверхности от действия остаточных напряжений для их формообразования предпочтительно применять процесс вытяжки, а не формовки. Возможности такого процесса характеризуются коэффициентом вытяжки, равным отношению необходимого диаметра заготовки к диаметру днища.

Теоретически предельным коэффициентом вытяжки является величина 2,72, которая для большинства штампуемых материалов не достижима. При значениях этого параметра равного 1,42 формообразуется полусфера. Можно предложить в качестве нулевой точки и шкалы ПК по глубине взять величину обратную значению 2,72, т.е. 0,368. В качестве единичной точки шкалы можно выбрать плоскую деталь, которую не нужно деформировать. При этом надо учитывать некоторое отступление: листовые детали с очень малыми прогибами штамуются очень трудно из-за действия

сил упругості. Но в практиці штамповка таких деталей зустрічається рідко.

В итоге установленны две крайние точки шкалы отношений ПК по глубине штампуемой детали. Тогда значение ПК по глубине любой детали можно представить к отношению ее коэффициента вытяжки к значению 2,72. Этот параметр является минимизируемым, т.е. его меньшее значение соответствует более высокому качеству. Для его перевода в более удобную форму – максимизируемых его значение следует отнять от единицы.

Требования к точности листоштампованных деталей определяются их функциональным назначением и устанавливаются конструктором. Общеизвестных нормативов точности таких деталей не установлено. Для относительно узкой номенклатуры листовых деталей, а именно днищ, установлено четыре категории точности. Примеры предельных параметров точности приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Величины предельных параметров днищ по точности в зависимости от категорий точности (для крупногабаритных деталей)

Категория точности	Диаметр, мм	I*	II*	III*	IV*
I. Особо точные	300...1000 1000...2000	$\pm 0,8$ $\pm 1,5$	1,0 2,0	0,5 0,8	До 10
II. Повышенной точности	300...1000 1000...2000	$\pm 1,0$ $\pm 2,0$	До 1,5 До 4,0	До 0,8 До 1,5	До 15
III. Нормальной точности	1000...2000	$\pm 5,0$	До 7,0	До 2,0	До 25
IV. Пониженной точности	1000...2000	$\pm 5,0$	$>7,0$	$>2,0$	>25

I* – Допуск на диаметр, мм;

II* – Отклонение контура сечения от теоретических обводов, мм;

III* – Высота гофров или местных вмятин, выпучин, волнистостей, мм;

IV* – Уменьшение исходной толщины стенки днища (утонение), %.

Современная радиотехника требует применения днищ еще более высокой точности. Например, отклонение контура сечения (любого по окружности) параболических антенн не должно превышать 5...10 длин волны электромагнитного сигнала, а это при частоте такого сигнала порядка 10...20 ГГц составляет несколько десятых долей миллиметра.

Если для изготовления днища пониженной точности можно использовать в качестве матрицы только вытяжное кольцо, то для штамповки днищ повышенной точности требуется несколько переходов и несколько комплектов оснастки повышенной точности. По данным НАКУ «ХАИ», показатель $\Pi_{\text{точ}}$ сильно зависит от категории точности (рис. 1).

Зависимость построена по данным трудоемкости процесса штамповки и стоимости изготовления оснастки в процессах импульсной штамповки. За единицу показателя $\Pi_{\text{точ}}$ принят показатель технологичности пониженной точности. Показатель технологичности по точности детали

достаточно весом, т.к. он зависит от схемы штамповки и количества необходимой оснастки.

Эта шкала в силу недостатка статистических данных дает несколько заниженные значения ПК на участке, соответствующем деталям первой категории.

Относительная толщина заготовки детали, т. е. отношение (увеличенное в 100 раз) толщины S к максимальному габаритному размеру детали D_d , определяет схему штамповки, точность применяемой оснастки, требует достаточной жесткости прижимных элементов и отсутствия перекосов.

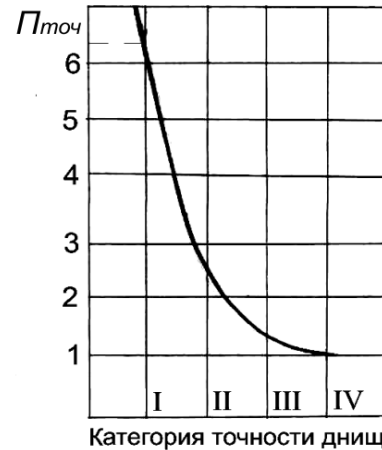


Рис. 1 – Зависимость показателя технологичности по точности листовых днищ

В практике листовой штамповки днищ принята следующая классификация:

- 1) особо тонкостенные – $(S/D_d)100 < 0,15$;
- 2) тонкостенные – $(S/D_d)100 = 0,15 \dots 1,50$;
- 3) среднестенные – $(S/D_d)100 = 1,5 \dots 5,0$;
- 4) толстостенные – $(S/D_d)100 = 5 \dots 50$;
- 5) особо толстостенные – $(S/D_d)100 > 50$.

Наиболее сложна штамповка особо тонкостенных деталей, т.к. при их формообразовании велика возможность потери устойчивой формы, что выражается в возникновении гофров, складок, выпучин и вмятин, которые сложно устранить при калибровке. Деформирование таких деталей нужно вести таким образом, чтобы в заготовке возникали и поддерживались только растягивающие напряжения. При этом возникает опасность появления больших утонений и, как следствие, разрывов заготовки. С другой стороны, при штамповке толстолистовых и особо толстостенных деталей необходима тяжелая и прочная штамповая оснастка, которая часто выполняется составной из нескольких элементов. Это приводит к усложнению и удорожанию процесса штамповки и снижению технологичности детали.

Сложность штамповки тонкостенных деталей демонстрируют следующие примеры.

На рис. 2 показан первый этап формообразования днища диаметром $\sim 1,0$ мм и толщиной 1,5 мм из стали X18H9T. По приведенной

классификации это днище относится к группе особо тонкостенных. На первом этапе при центральном нагружении заготовки на ее фланце образовались многочисленные складки, затрудняющие дальнейшую штамповку-вытяжку. На купольной части в сжато-растянутой кольцевой зоне появились крупные волны (бухтины), примыкающие к перетяжному ребру матрицы. Дальнейшее их выравнивание трудноосуществимо.



Рис. 2 – Первый этап формообразования особо тонкостенного днища

В качестве второго примера рассмотрим отштамповку носка воздухозаборника (рис. 3). Ориентировочная зависимость $\Pi_{\text{тол}}$ от относительной толщины заготовки показана на рис. 4. Более или менее приемлемый диапазон показателя технологичности по толщине соответствует диапазону относительных толщин 1,0...5,0.

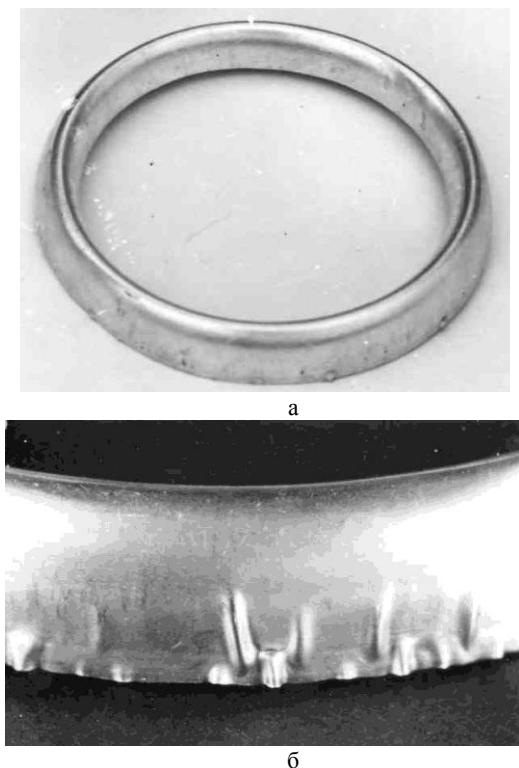


Рис. 3 – Носок воздухозаборника $\varnothing 600$ мм и толщиной 1,8 мм из материала АК4-1: а – общий вид детали; б – участок наружной стенки

Такая деталь относится к нижней границе группы тонкостенных деталей. Ее штамповка по схеме «в матрицу» была усложнена. Поэтому была

предложена отштамповка по схеме «на пуансон» из кольцевой заготовки. Относительная толщина заготовки оценивалась в диапазоне 2...3. Процесс оказался достаточно нестабильным: некоторые детали оказывались некондиционными, а в зонах сжатия на внешней поверхности части деталей появились складки. В период проведения экспериментов был сделан вывод о неустойчивости схемы формообразования. Более подробного анализа проведено не было. Поэтому можно сделать вывод, что технологичность таких деталей невысокая. Для количественной оценки технологичности требуются дополнительные исследования.

Анализ причин возникновения брака показал недостаточную точность прижимающих поверхностей фланца и малую жесткость прижимных устройств. Затем была использована методика локального последовательного нагружения заготовки с дальнейшей калибровкой. Все это значительно усложнило процесс и существенно снизило технологичность таких деталей.

Построение шкалы этого ПК проводится аналогичным образом.

Шкала ПК по КИМ наиболее проста, т.е. сама величина является показателем. Значению 1,0 шкалы соответствует равное единице значение коэффициента использования материала, что в свою очередь, соответствует самому высокому качеству по этому свойству.

На основании теории деформации этот параметр можно оценить, как отношение предела прочности к пределу текучести или к условному пределу пропорциональности (σ_B/σ_T или $\sigma_B/\sigma_{0,2}$). Условия штамповки улучшаются при увеличении такого отношения, при невысоких значениях σ_B (но это противоречит соображениям прочности конструкции) и высоких значениях пластичности материала.

Новые сплавы, разработанные для листовой штамповки, штампуются достаточно хорошо.

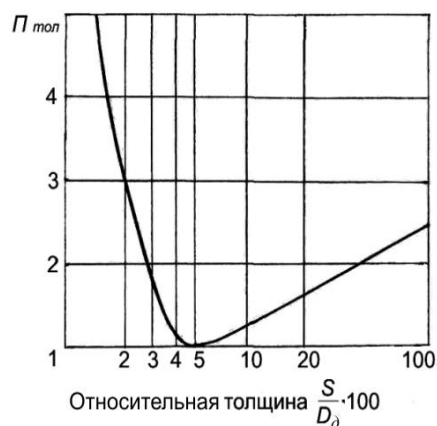


Рис. 4 – Зависимость показателя технологичности по точности от толщины заготовки

Для этих материалов $\sigma_B/\sigma_{0,2} > 1,50$ (за исключением HSLA 50 и ВН 250), но они обладают повышенным деформационным упрочнением и склонны к увеличенному короблению, что связано с высоким и неравномерным полем остаточных напряжений. Более того, для их деформирования требуется оборудование с более высокой энерговооруженностью по сравнению с существующими прессами. Новые сплавы обладают еще рядом положительных свойств, и их начинают широко использовать в производстве автомобильных кузовов. Из традиционных углеродистых сплавов хорошей штампуемостью обладают материалы 08кп, 30ХГСА, для которых отношение $\sigma_B/\sigma_{0,2} > 1,60$. Из алюминиевых сплавов хорошей штампуемостью обладают сплавы АА 5182 ($\sigma_B/\sigma_{0,2} > 2,23$), АМг6М ($\sigma_B/\sigma_{0,2} > 2,00$), АМцАМ ($\sigma_B/\sigma_{0,2} > 2,36$). Исходя из приведенного краткого обзора, можно сделать вывод о том, что показателем технологичности можно считать отношение $\sigma_B/\sigma_{0,2}$ с учетом абсолютных значений временного предела прочности.

ПК по этому свойству удобно считать зависимость $ПК = (1 - \sigma_{0,2}/\sigma_B)$;

Рассмотренные по этой зависимости величины являются значениями такой шкалы. Диапазон шкалы по наиболее принимаемым для листовой штамповки материалов находится в пределах от 0,10 (титановые сплавы) до 0,552 (алюминиевый сплав АА5182).

Комплексный показатель технологичности определенный с помощью разработанных шкал по зависимости

$$P_{\text{компл}}^{\text{техн.}} = (1 - \sum_{i=0}^n P_i),$$

где P_i – ПК по отдельным составляющим

технологичности, равен 0,62.

В работах [2, 3] описаны техпроцессы штамповки зеркал антенн диаметром 900 мм и результаты их экспериментальной радиотехнической проверки. Измеренный коэффициент усиления равен $39,7 \pm 1,2$ дБ для рабочей частоты 12,2 ГГц при ширине диаграммы направленности по уровню 3дБ – 1,8 градуса. Эти значения для указанного диаметра являются достаточно высокими.

Выводы. Разработан подход к построению шкал частных показателей качества технологичности листовых деталей. В настоящее время он косвенно проверен на одном примере – электрогидравлической штамповки зеркал антенн космической связи. Сопоставимость расчетных и экспериментальных значений качества удовлетворительная.

Список литературы: 1. Тараненко, М. Е. Квалиметрия в листовой штамповке [Текст]: учебник / М. Е. Тараненко. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского “Харьк. авиац. ин-т”, 2015. – 133 с. 2. Тараненко, М. Е. Изготовление высокоточных зеркал антенн космической связи [Текст] / М. Е. Тараненко. – М.: Кузнечно-штамповочное производство, 1998, № 11, С. 33-35. 3. Тараненко, М. Е. Электрогидравлическая штамповка: теория, оборудование, техпроцессы [Текст]: монография в 2 ч. / М. Е. Тараненко. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского “Харьк. авиац. ин-т”, 2011. – 272 с.

Bibliography (transliterated): 1. Taranenko, Mykhailo. *Kvalimetrija v listovoj shtampovke*. Kharkiv: National Aerospace University “KhAI”. 2015. Print. 2. Taranenko, Mykhailo. “Izgotovlenie vysokotochnyh zerkal antenn kosmicheskoi svjazi”. *Kuznechno-shtampovocnoe proizvodstvo* No11 (1998): 33-35. Print. 3. Taranenko, Mykhailo. *Jelektrogidravlicheskaja shtampovka: teorija, oborudovanie, tehprocessy*. 2 vols. Kharkiv: National Aerospace University “KhAI”. 2011. Print.

Поступила (received) 05.11.2015

Сведения об авторах / About the Authors

Тараненко Михаил Евгеньевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии производства летательных аппаратов Национального аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского “Харьковский авиационный институт”, тел. +38(096)287-43-08, igoregor@mail.ru.

Taranenko Michael E., Ph.D., Professor, Department of production technology of aircraft of the National Aerospace University. NE Zhukovsky "Kharkiv Aviation Institute", tel. +38(096)287-43-08, igoregor@mail.ru.

УДК 621.77.0141

В. Л. ХОРОЛЬСКИЙ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ СНЯТИЯ ФАСКИ РЕЗКОЙ В ШТАМПАХ НА ЛИСТОВЫХ ЗАГОТОВКАХ ПЕРЕД СВАРКОЙ

Рассмотрены основные прогрессивные методы разделки скосов и снятия фасок на листовых заготовках перед сваркой. Определено напряженно-деформированное состояние системы «нож-заготовка» в штампах с симметричным нагружением и штампах со скользящим пуансоном. Осуществлен выбор более рациональной схемы резки по наименьшим нагрузкам, действующим на инструмент. Проведен расчет бандажирования при использовании твердосплавных вырубных матриц.

Ключевые слова: резка, штамп, напряженно-деформированное состояние, скользящий пуансон, метод конечных элементов.

Введение. Широкое применение сварки в машиностроении обусловлено ее технико-экономическими преимуществами по сравнению с другими способами соединения металлических заготовок и деталей. Разделка скосов и снятие фасок перед сваркой делается для того, чтобы получить шов, имеющий не менее 80 % прочности целой детали. Обработка и скос кромок под сварку сегодня в основном производятся механическим путем на кромкострогальных, продольно-строгальных и фрезерных станках или газокислородным пламенем [1]. Прогрессивным способом обработки кромки является холодный способ обработки при помощи кромкообрабатывающего оборудования. Подготовка кромки под сварку с помощью механической обработки обеспечивает более высокое качество сварного шва при более низких затратах по сравнению с другими способами подготовки.

Анализ литературных данных и постановка проблемы. Одним из путей повышения производительности труда является применение разделительных операций листовой штамповки для обработки кромки в специальных штампах на прессовом оборудовании. Высокая производительность и отработанные технологии позволяют получать высокое качество при невысокой квалификации персонала [2].

Для правильного проектирования штамповой оснастки необходимо иметь ясное представление о механике процесса отрезки и нагрузках, действующих на рабочий инструмент, а также о напряжениях, возникающих в нем при отрезке.

При кромкообразовании (отрезке) в штампах возможно использовать схемы с несимметричным (рис. 1, а) и симметричным (рис. 1, б) нагружением

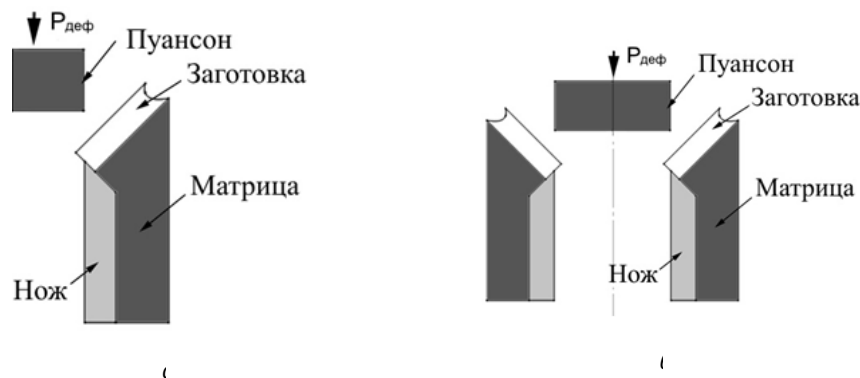


Рис. 1 – Кромкообразование по схеме: а – с несимметричным и б – симметричным нагружением

Из двух представленных схем кромкообразования листовых заготовок предпочтение следует отдавать второй схеме, т.к., несмотря на более высокие силовые параметры штамповки, с точки зрения стойкости штамповой оснастки и качества получаемых деталей эта схема является более рациональной [3, 4].

Другим способом кромкообразования может быть применение штампов (рис. 2), разработанных в Кременчугском национальном университете имени М. Остроградского конструктором Р. С. Ревивили. Эти штампы оснащены скользящим пуансоном,

совершающим поступательное движение одновременно в двух направлениях – горизонтальном и вертикальном.

Численное моделирование быстро протекающих процессов резки позволяет получить дополнительную информацию о сложных физических явлениях, которая недоступна при экспериментальных методах исследований. При решении таких задач широкое распространение получили программные комплексы, использующие явный метод решения уравнений механики сплошной среды [5].

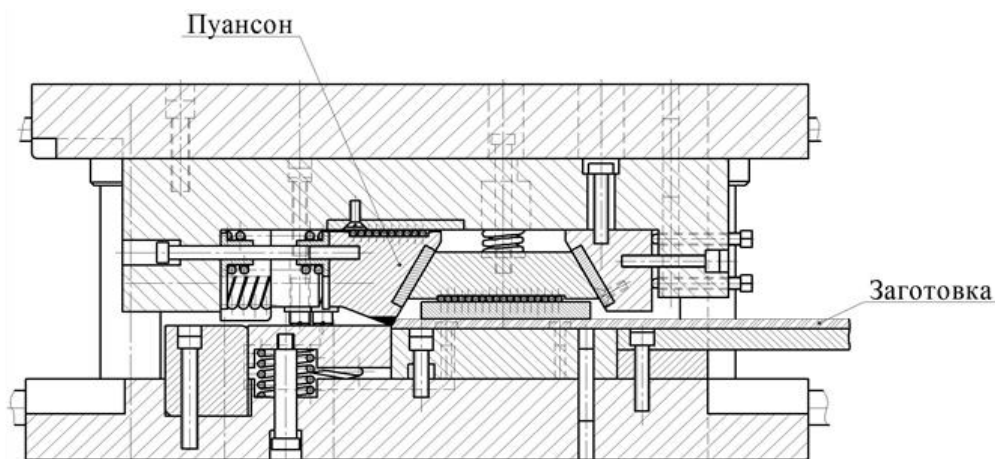


Рис. 2 – Конструкция штампа со скользящим пуансоном

В настоящее время наиболее перспективным методом расчета таких задач является метод конечных элементов (МКЭ). Среди пакетов, позволяющих решать существенно нелинейные задачи МКЭ с реалистичными математическими моделями материалов лидером является LS-DYNA. Возможности этого пакета позволяют решать задачи как в квазистатической, так и в динамической постановке. LS-DYNA является, по существу, лишь решателем, данные для которого готовятся в других программных пакетах. То же самое можно сказать и об анализе результатов расчета (постпроцессинге). Наиболее удачным в настоящий момент препроцессором является ANSYS/LS-DYNA, который по геометрической модели делает сетку конечных элементов необходимого для упруго-пластических задач качества [6]. К достоинствам данного пакета относится также и возможность выполнения постпроцессорной обработки, позволяющей обратиться к результатам решения и интерпретировать их нужным образом, используя набор команд и возможностей интерфейса.

Существенно нелинейные задачи решают явным методом, который реализован в решателе LS-DYNA. Недостатком явного метода является его условная устойчивость, то есть решение задачи не будет зависеть от шага по времени, только если он меньше определенного значения. Это значение определяется из критерия Куранта:

$$\Delta t_{\max} = a\sqrt{\rho/E}, \quad (1)$$

где a – характерный размер конечного элемента;
 ρ – плотность материала;
 E – модуль упругости материала.

Поэтому пакет LS-DYNA сам определяет размер шага по времени, так, чтобы критерий Куранта не нарушался [7].

Цель и задачи исследования. Целью настоящего исследования является проведение расчета напряженно-деформированного состояния

(НДС) системы «нож-заготовка» в процессе отрезки с применением двух приведенных схем, и выбрать более рациональную схему.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- определение оптимальных параметров частей моделей конечно-элементного анализа;
- выбор рациональной схемы кромкообразования по принципу наименьших нагрузок, действующих на инструмент;
- установить влияние геометрии и направления перемещения режущих частей приведенных схем на качество получаемой фаски.

Материалы и методы исследования. При подготовке исходных данных для составления исходного k-файла в данном исследовании руководствовались рекомендациями, изложенными в [8, 9]. Геометрические параметры использованных моделей и направление перемещений их частей в вертикальной секущей плоскости представлены на рис. 3, 4.

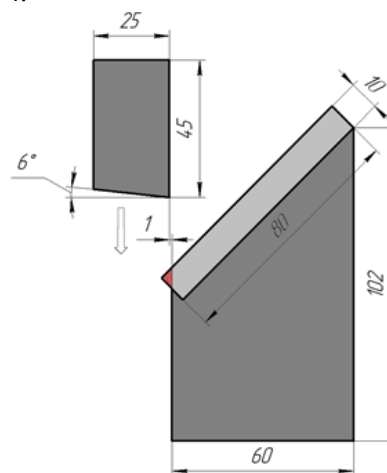


Рис. 3 – Геометрические параметры схемы отрезки в штампе с несимметричным нагружением

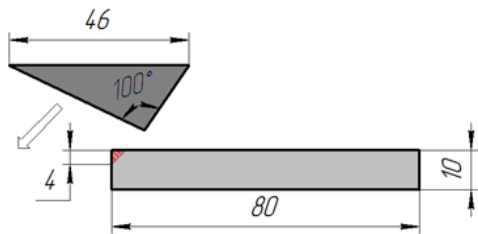


Рис. 4 – Геометрические параметры схемы отрезки в штампе со скользящим пуансоном

В обеих схемах моделировалось снятие фаски с уклоном 45° и высотой катета 4 мм на заготовке размером 80×10 мм. В качестве материала заготовки принималась сталь 45, инструмента – сталь У8. Для заготовки принималась билинейная изотропная модель материала (Bilinear Kinematic). Данная модель используется для описания упругопластических деформаций, ее кривая состоит

из двух элементов – упругой и пластической составляющих. Поскольку деформациями инструмента можно пренебречь (они обрабатываются до высокой твердости), они считались абсолютно твердыми (Rigid). Так как инструмент считается недеформируемым, при создании моделей ножа и матрицы схемы с несимметричным нагружением они выполнялись в виде одной цельной модели. Все части модели вытягивались на 30 мм вдоль оси z. Свойства используемых в моделях материалов приведены в табл. 1. При выборе данных свойств материалов использовались данные ресурса [10] и работ [11, 12]. Следует отметить, в данном случае использовались единицы измерения, отличные от применяемых в системе СИ и их производных. Сравнение этих единиц измерения приведено в табл. 2.

Таблица 1 – Параметры частей моделей конечно-элементного анализа

Схема	Часть	Материал	Параметр	Название	Обозначение	Величина	Количество узлов
Несимметричное нагружение	нож	сталь У8	DENS	плотность	ρ	$7,83e-9$	1000
			EX	модуль Юнга	E	$2,05e5$	
			NUXY	коэффициент Пуассона	μ	0,28	
	матрица	сталь У8	DENS	плотность	ρ	$7,83e-9$	1040
			EX	модуль Юнга	E	$2,05e5$	
			NUXY	коэффициент Пуассона	μ	0,28	
	заготовка	сталь 45	DENS	плотность	ρ	$7,85e-9$	3000
			EX	модуль Юнга	E	$2,05e5$	
			NUXY	коэффициент Пуассона	μ	0,29	
			Yield Stress	предел текучести	σ_s	310	
			Tangent Modulus	модуль пластичности	G	550	
	Штамп со скользящим пуансоном	нож	сталь У8	DENS	плотность	ρ	$7,83e-9$
EX				модуль Юнга	E	$2,05e5$	
NUXY				коэффициент Пуассона	μ	0,28	
заготовка		сталь 45	DENS	плотность	ρ	$7,85e-9$	3000
			EX	модуль Юнга	E	$2,05e5$	
			NUXY	коэффициент Пуассона	μ	0,29	
			Yield Stress	предел текучести	σ_s	310	
			Tangent Modulus	модуль пластичности	G	550	

Таблица 2 – Примеры согласованных единиц измерений

№	Масса	Длина	Время	Усилие	Напряжение	Плотность	Модуль Юнга	Ускорение свободного падения
1	кг	м	с	Н	Па	$7,83e+3$	$2,1e11$	9,8
2	тонна	мм	с	Н	МПа	$7,83e-9$	$2,1e5$	$9,8e3$

Верхняя строка приведенной таблицы соответствует системе СИ. Система единиц измерений во второй строке принята в выполненных расчетах и является наиболее удобной в процессах пластического деформирования.

В случае схемы с несимметричным нагружением кромка ножа (рис. 5, а) имеет уклон 6° , ножу задавалось перемещение вдоль оси Y со скоростью 1 м/с и запрещались перемещения во всех

остальных направлениях. К матрице также прикладывались ограничения на перемещения вдоль оси, перпендикулярной плоскости основания (предполагалось, что матрица находится на жестком основании). Для моделирования работы штампа со скользящим пуансоном (рис. 5, б) задавалось поступательное перемещение ножа вдоль биссектрисы прямого угла, образуемого осями X и Y, со скоростью 1 м/с. К заготовке прикладывались

ограничения на перемещения вдоль оси, проходящей перпендикулярно нижней горизонтальной плоскости заготовки (заготовка лежит на жестком основании). В обеих схемах был определен тип контакта «поверхность – поверхность» между инструментом и заготовкой (Surface to surface – Automatic contact). Данный тип контакта применяется для произвольно расположенных тел, которые могут иметь большие области контакта, и эффективен для тел, которые подвержены большому относительному скольжению относительно друг друга [12–14]. Полученные модели с сеточным разбиением показаны на рис. 5.

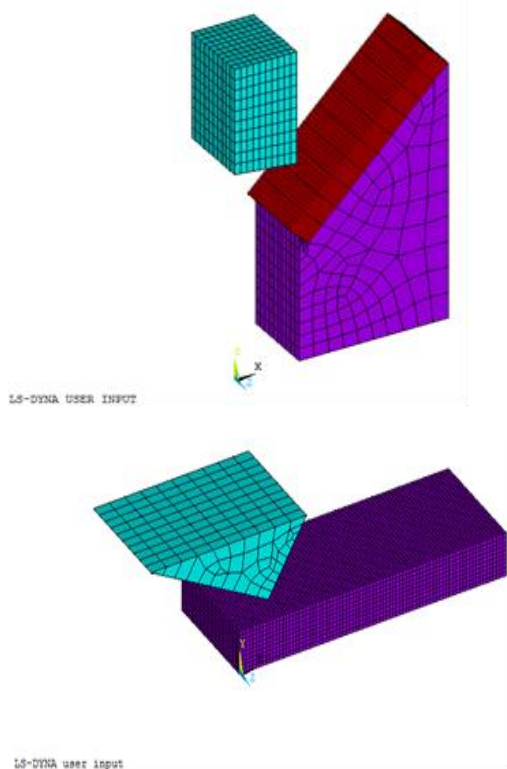


Рис. 5 – Полное сеточное разбиение моделей при кромкообразовании: а – несимметричным методом и б – скользящим пуансоном

Из практики решения подобных задач известно, что приблизительно 1000 шагов интегрирования на один миллиметр продвижения инструмента достаточно для получения адекватного решения. Для решения указанных задач использовался персональный компьютер с центральным процессором Intel Core i5 с тактовой частотой 2,60 ГГц, а объем оперативной памяти машины составлял 4 Гб. При указанных параметрах расчетных моделей решение одной задачи занимало около двух часов непрерывной работы, а общее количество занимаемого дискового пространства составляет около 500 МБ.

Результаты исследований. На рис. 6 (а–в) и 7 (а – в) приведены картины распределения напряжений на последних этапах активного нагружения (непосредственное отделение части заготовки пуансоном) с указанными зонами

максимальных (MX) и минимальных (MN) напряжений в массиве пуансона.

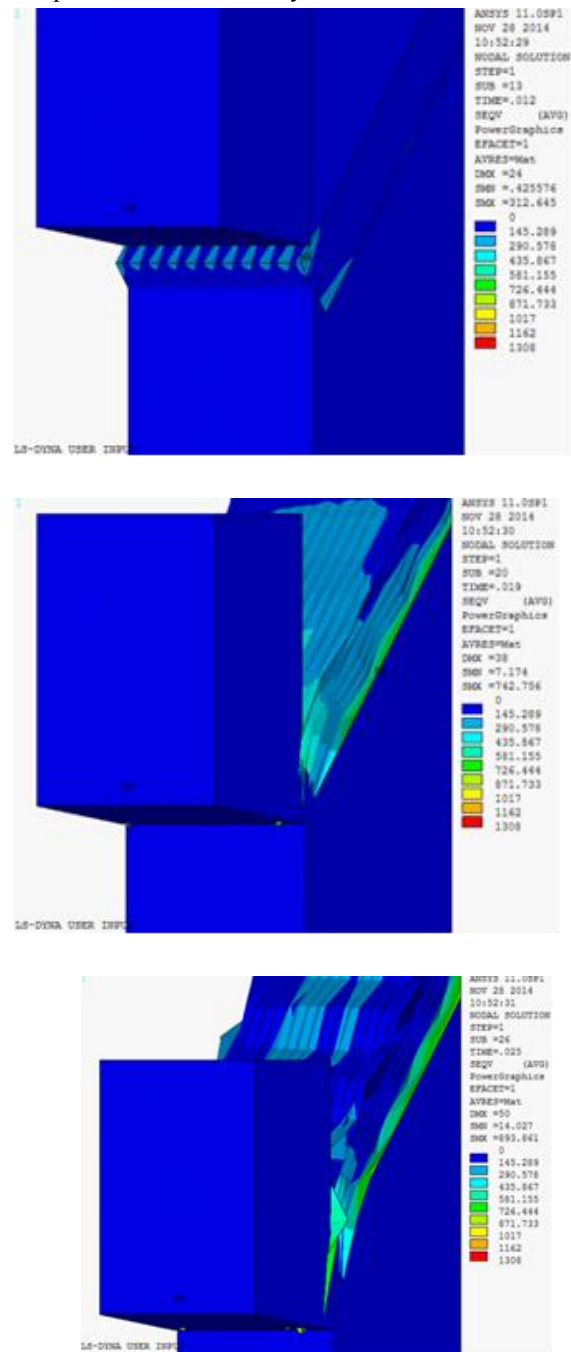


Рис. 6 – Картина распределения эквивалентных (по Мизесу) напряжений при кромкообразовании несимметричным методом в момент времени: а – 0,012 с (касание инструмента); б – 0,019 с; в – 0,025 с

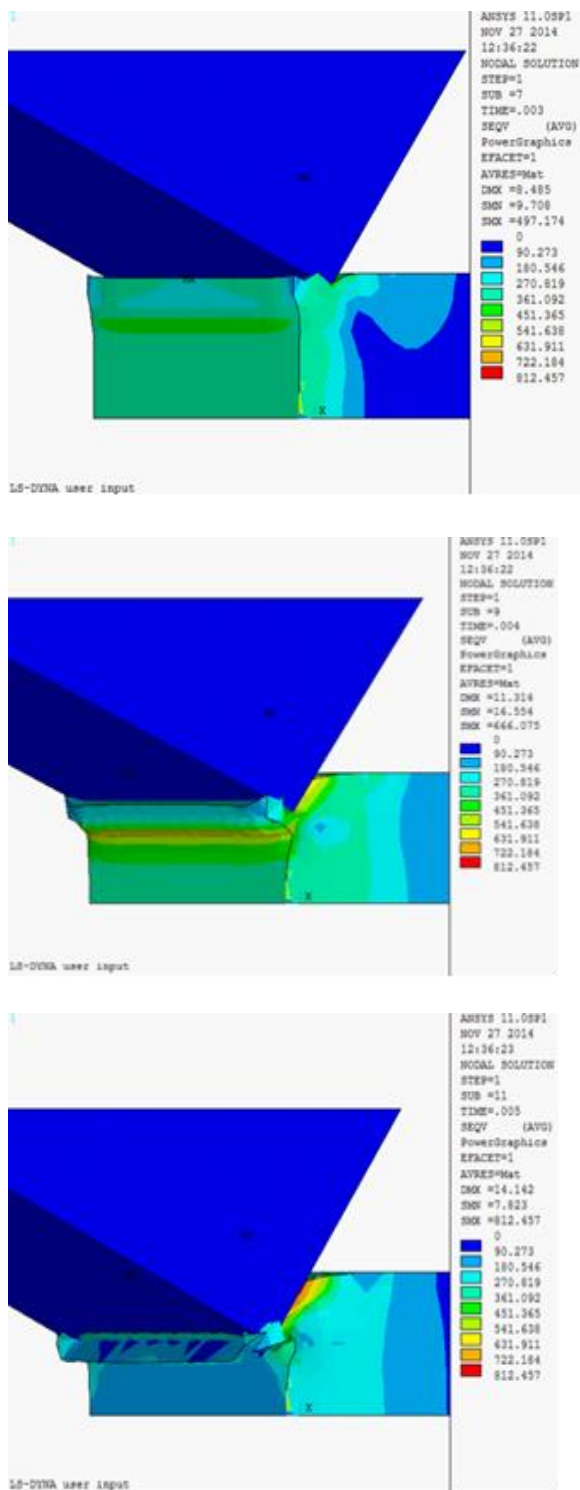


Рис. 7 – Картина распределения эквивалентных (по Мизесу) напряжений при кромкообразовании скользящим пуансоном в момент времени: а – 0,003 с (касание инструмента); б – 0,004 с; в – 0,005 с

На рис. 8, а, б показан график изменения эквивалентных напряжений на кромке пуансона.

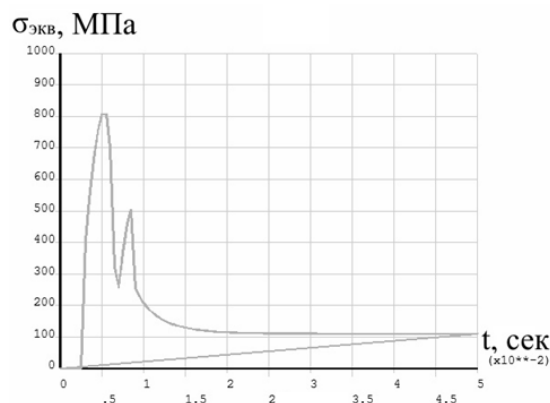


Рис. 8 – График изменения эквивалентных (по Мизесу) напряжений $\sigma_{\text{экв}}$ по времени t на режущей кромке пуансона: а – при несимметричной схеме отрезки; б – при отрезке со скользящим пуансоном

Приведенные графики были получены с использованием внутреннего интерпретатора результатов расчета пакета LS-DYNA выполнением команд просмотрщика «Время – переменная», где в качестве последней задавались суммарные эквивалентные напряжения, а в качестве точек анализа указывались точки, принадлежащие режущей кромке инструмента.

Как видно из полученных эюр и графиков нагружения, при кромкообразовании по схеме со скользящим пуансоном, напряжения, возникающие на режущей кромке пуансона, ниже таковых при использовании несимметричной схемы отрезки примерно на 400 МПа, а также исключается образование заусенца. Кроме того, в случае кромкообразования по несимметричной схеме, усилие отрезки приводит к возникновению в массиве заготовки напряжений, вызывающих образование поперечных гофр на заготовке и ее изгибу, что делает обязательным применение прижимов.

Полученные результаты говорят о повышении стойкости режущей кромки инструмента и более высоком качестве получаемых фасок при использовании при кромкообразовании штампов со скользящим пуансоном, однако остаются актуальными вопросы повышения и самого штампового оборудования. Одним из методов повышения стойкости штампов является

изготовление их из твердосплавных материалов. Поскольку при отрезке на матрицу действует система сил, вызывающая в ней тангенциальные растягивающие и радиальные сжимающие напряжения. Появление растягивающих напряжений особенно опасно для твердосплавных матриц, так как твердые сплавы плохо работают на растяжение.

Для предупреждения появления растягивающих напряжений твердосплавные матрицы запрессовывают в стальные обоймы. Метод предварительно напряженных цилиндрических конструкций теоретически хорошо разработан и применяется для повышения прочности и уменьшения веса труб, орудийных стволов, сосудов высокого давления, контейнеров для прессования и т.п. Применительно к матрицам штампов для объёмной штамповки расчётная методика разработана в работе [15] и др.

Исходным параметром в этих расчётах является величина рабочего давления на внутреннюю стенку матрицы. По аналогии при расчёте величины натяга при бандажировании вырубных матриц последняя принимается как толстостенная обечайка, находящаяся под действием равномерно распределенного внутреннего давления, состоящего из двух слагаемых: распирающего усилия при отрезке и давления застрявшего в матрице отрезанного металла на её стенки.

Силы, действующие на торцовых поверхностях матрицы, в расчёт не принимаются.

По данным технологических рекомендаций, в т.ч. [16], величина натяга при бандажировании твердосплавных отрезных матриц рекомендуется настолько большой, что запрессовка может производиться только после предварительного нагрева обоймы до температуры 370°...400°С. Это вызывает большие затруднения.

В действительности на отрезную матрицу действует система сил, представленная на рис. 9, а.

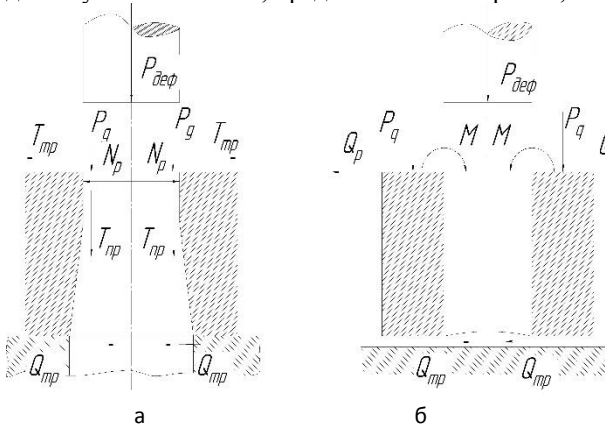


Рис. 9 – Схемы нагрузок, действующих на твердосплавную матрицу при отрезке: а – действительная система сил; б – расчётная схема

Сжимающие тангенциальные напряжения, вызванные запрессовкой, должны быть равны или больше растягивающих напряжений, вызванных системой сил при отрезке, т.е. внутренняя поверхность матрицы не должна получать

положительных радиальных перемещений – положительному значению U соответствует перемещение точек на большее расстояние от центра матрицы.

Для возможности использования основных случаев расчёта коротких цилиндрических оболочек реальную систему сил, действующую на матрицу при отрезке, можно, без большой погрешности, заменить условной расчётной схемой, представленной на рис. 9, б.

Распирающую силу N_p и силу T_{tr} заменим нагрузкой Q_p , равномерно распределенной по периметру срединной окружности на верхнем торце матрицы. Приложенные по режущей кромке матрицы усилие деформации P_q и усилие проталкивания застрявшего отрезанного металла T_{tr} заменим изгибающим моментом M и нагрузкой P_q равномерно распределенными по периметру срединной окружности. На нижнем торце матрицы действует равномерно распределенная сила трения Q_{mp} .

К условиям работы твердосплавной отрезной матрицы наиболее подходит схема, при которой нижний торец оболочки закреплен по скользящей заделке, а верхний – свободный.

Зависимость для определения радиального перемещения внутренней поверхности матрицы по известному перемещению её срединной поверхности будет иметь вид:

$$U_b = 2U_{cp} \frac{1 + K_1^2}{K_1} \frac{(1 - K_1^2) \left(\frac{1 + K_1^2}{1 - K_1^2} + \mu_1 \right)}{(1 - \mu_1)(1 + K_1)^2 + 4(1 + \mu_1)}, \quad (1)$$

где U_{cp} – тангенциальное перемещение точек матрицы в процессе отрезки;

K_1 – функция Крылова [17];

μ_1 – коэффициент Пуассона матрицы.

Выражение для определения необходимой величины натяга при бандажировании отрезных матриц:

$$\delta = 2U_{cp} \left(\frac{1 - K_1^2}{K_1} \right)^2 \frac{(1 + K_1^2) \left(\frac{1 + K_1^2}{1 - K_1^2} + \mu_1 \right)}{(1 - \mu_1)(1 + K_1)^2 + 4(1 + \mu_1)} \times \left[\left(\frac{1 + K_1^2}{1 - K_1^2} - \mu_1 \right) + \frac{E_1}{E_2} \left(\frac{1 + K_1^2}{1 - K_1^2} + \mu_1 \right) \right], \quad (2)$$

где E_1 и E_2 – модули упругости материалов матрицы и обоймы.

Но вышеизложенной методике были определены необходимые величины натягов при запрессовке твердосплавных вырубных матриц в стальные обоймы. Размеры матриц и обойм принимались по рекомендациям [16] в зависимости от толщины вырезаемого металла. Результаты расчётов приведены в таблице 3.

При расчётах принимались: материал матрицы – ВК-20; модуль упругости – $E = 5 \cdot 10^6$ МПа, коэффициент Пуассона – $\mu_1 = 0,22$.

Таблиця 3 – Величини натягов при запресовке твердосплавних вырубных матриц в стальные обоймы

№	Толщина металла, мм	Усилие деформации, кН	Размеры матрицы, мм			K_1	K_2	U_{cp} , мк	Расчетная величина натяга δ , мк	Величина натяга по РТМ, мк
			d_1	d_2	l					
1	3	280	38,5	65	18	0,6	0,425	6,97	52	130...160
2	5	470	38,5	70	20	0,65	0,375	9,5	58	130...160

Сопротивление отрезаемого металла срезу $\sigma_{cp} = 600$ МПа.

Результаты подсчетов увеличены на поправочный коэффициент $m = 1,3$, величина которого найдена экспериментально.

Анализ полученных выражений показывает, что для уменьшения касательных напряжений необходима смазка поверхности отрезаемого металла и рабочего твердосплавного инструмента. Если для стального режущего инструмента рекомендуется исключить течение отрезаемого металла по пояску смятия, чтобы уменьшить износ, то для твердосплавного инструмента, благодаря большой его износостойкости, этого делать не нужно, так как увеличение касательных напряжений может вызвать появление главных растягивающих напряжений, что нежелательно для твердых сплавов.

Таким образом, полученные результаты показали, что необходимая для безопасной работы твердосплавных отрезных матриц величина натяга при запресовке их в стальные обоймы меньше рекомендуемой РТМ 112-63 [16]. Можно применять посадки с небольшим натягом. Запресовку можно производить без предварительного подогрева обоймы.

Так как при запресовке твердосплавных матриц по цилиндрической контактной поверхности происходит срезание неровностей и гребешков или даже снятие стружки, рекомендуется посадочную (контактную) поверхность делать конусной с односторонним углом $1^\circ \dots 1^\circ 30'$. Преимущества матриц с конической посадочной поверхностью подтверждаются опытом применения таких штампов на машиностроительных предприятиях.

Сделанные выводы и рекомендации относятся только к отрезным твердосплавным матрицам при толщине отрезаемого материала до 25 мм. В процессе одновременной отрезки матрица испытывает только напряжения сжатия. Поэтому применение твердых сплавов для матриц в этом случае не имеет практических ограничений. После подъема ползуна прессы в матрице остаются застрявший отрезанный металл, который создает давление на внутреннюю поверхность. Это давление вызывает растягивающие напряжения в матрице, которые и ограничивают возможность применения твердых сплавов для матриц с малой толщиной стенки.

Величина давления, оказываемого застрявшим отрезанным металлом на внутреннюю стенку матрицы зависит от величины радиальных перемещений режущей кромки в процессе отрезки. Для снижения действия распирающих сил,

создаваемых застрявшим отрезанным металлом, провал матрицы необходимо делать коническим. Уклон должен быть в пределах $5' + 30'$.

Результаты проведенного численного моделирования позволили выбрать предпочтительную схему процесса получения фасок в штампах. Разработанная конструкция штампа внедрена и успешно работает на ПАО «Крюковский вагоностроительный завод». Стойкость этого штампа, вероятнее всего, в сотни раз превышает стойкость ранее используемых штампов. В последних использовалась традиционная схема резки с вертикальным движением пуансона и наклонной заготовкой. В этом случае смена пуансона обычно проводилась раз в 3 – 4 смены.

Выводы. Проведено исследование напряженно-деформированного состояния заготовок по методу конечных элементов при кромкообразовании с применением схемы с несимметричным нагружением и схемы, реализуемой конструкцией штампа со скользящим пуансоном. Расчеты проводились с применением программного комплекса ANSYS/LS-DYNA. Для этого были составлены расчетные схемы моделей, определены оптимальные параметры частей моделей и типы их контактного взаимодействия.

На основании полученных с помощью возможностей постпроцессора ANSYS эпюр эквивалентных напряжений и графиков напряжений в точках режущих кромок сделан вывод о более высоких нагрузках, действующих на режущую кромку в случае схемы с несимметричным нагружением.

Также было установлено, что применение штампов со скользящим пуансоном позволяет избежать образование заусенцев и гофр на заготовке, характерных для схемы с несимметричным нагружением.

Полученные результаты говорят о повышении стойкости режущей кромки инструмента и более высоком качестве получаемых фасок при использовании при кромкообразовании штампов со скользящим пуансоном.

Схема кромкообразования со скользящим пуансоном реализована в конструкции штампа, успешно применяемого в заготовительном производстве на ПАО «Крюковский вагоностроительный завод».

Список литературы: 1. Гырдымов Г. П. Автоматизация технологической подготовки заготовительного производства / Г. П. Гырдымов, Л. И. Зильбург, И. Д. Савченко, В. Н. Шальшин. – Л.: Машиностроение, 1990. – 350 с. 2. Драгобецкий В. В. Сопоставление энергетических параметров, процессов термической и механической резки листовых заготовок /

В. В. Драгобецький, О. Б. Марцинюк // Вісник КДПУ. – 2005. – Вип. 1 (30). – С. 64–66. 3. Драгобецький В. В. Количественный анализ процесса резки листового металла в штампах / В. В. Драгобецький, О. Б. Марцинюк, Е. А. Наумова, Д. Л. Пирогов // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2008. – № 6 (124), Ч. 1. – С. 85–88. 4. Драгобецький В. В. Новые методы снижения работы пластической деформации в операциях пробивки и вырубки / В. В. Драгобецький, О. Б. Марцинюк // Вісник КДПУ. – 2005. – Вип. 1 (30). – С. 67–69. 5. Cleary P. W. Modelling of Metal Forging Using SPH / P. W. Cleary, M. Prakash, R. Das, J. Ha // Applied Mathematical Modelling. – 2012. – Vol. 36, Issue 8. – P. 3836–3855. doi: 10.1016/j.apm.2011.11.019 6. Gerber B. Making an impact / B. Gerber, T. C. Yang // ANSYS Advantage. – 2008. – Vol. 2, Issue 4. – P. 40–42. 7. Тыняний А. Ф. Численное моделирование контактной задачи в рамках квазистатического упругопластического деформирования в пакете ANSYS/LS-DYNA / А. Ф. Тыняний // Журнал «Нефтегазовое дело». – 2004. – Вып. 1. 8. Илюшкин М. В. Моделирование процессов обработки металлов давлением в программе ANSYS/LS-DYNA. Учебно-методическое пособие / М. В. Илюшкин. – Ульяновск: УлГУ, 2012 – 91 с. 9. Криворучко Д. В. Основы 3D-моделирования процесів механічної обробки методом скінченних елементів: навчальний посібник / Д. В. Криворучко, В. О. Залого, В. Г. Корбач. – Суми: Вид-во СумДУ, 2009. – 208 с. 10. MatWeb, Your Source for Materials Information [Electronic resource] / Available at: <http://www.matweb.com/> 11. Jones N. An Experimental Study Into the Dynamic Plastic Behaviour of Wide Beams and Rectangular Plates / N. Jones, R. N. Griffin, R. E. Van Duzer // International Journal of Mechanical Sciences. – 1971. – Vol. 13, Issue 8. – P. 721–735. doi: 10.1016/0020-7403(71)90072-5. 12. Jones N. Higher Modal Dynamic Plastic Behaviour of Beams Loaded Impulsively / N. Jones, C. G. Soares // International Journal of Mechanical Sciences. – 1978. – Vol. 20, Issue 3. – P. 35–147. doi: 10.1016/0020-7403(78)90001-2. 13. Sturgess C. E. N. Estimation of Dynamic Forces In High-Speed Compression Using a Free-Flight Impact Forging Device / C. E. N. Sturgess, M. G. Jones // International Journal of Mechanical Sciences. – 1971. – Vol. 13, Issue 4. – P. 309–322. doi: 10.1016/0020-7403(71)90056-7. 14. Jones N. Post-Failure Behaviour of Impulsively Loaded Circular Plates / N. Jones, M. Alves // International Journal of Mechanical Sciences. – 2010. – Vol. 52, Issue 5. – P. 706–715. doi: 10.1016/j.ijmecsci.2009.11.014. 15. Трахтенберг Б. Ф. Стойкость штампов и пути ее повышения / Б. Ф. Трахтенберг. – Куйбышев: Кн. изд-во, 1964. – 280 с. 16. ТМ 112-63. Штампы для холодной штамповки, оснащенные твердыми сплавами. Расчеты и конструирование. – Изд-во стандартов, 1964. 17. Биргер И. А. Расчет на прочность деталей машин. Справочное пособие. 2-е изд. / И. А. Биргер, Б. Ф. Шорр, Р. М. Шнейдерович. – М.: Машиностроение, 1966. – 616 с.

Bibliography (transliterated): 1. Gyrzymov, G. P., Zilburg, L. I., Savcenko, I. D., Shalyshyn, V. D.. *Avtomatizatsiya tehnologicheskoy podgotovki zagotovitel'nogo proizvodstva*. Lviv: Mashinostroyeniye, 1990. Print. 2. Dragobetskiy, V. V., Martsynyuk, O. B. “Sopostavleniye energeticheskikh parametrov, protsessov termicheskoy i mekhanicheskoy rezki listovykh zagotovok” *Visnyk KDPU*. 30. 64–66(2005). Print. 3. Dragobetskiy V. V., Martsynyuk O. B. Naumove Ye. A. Pirogov D. L. “Kolichestvennyy analiz protsessa rezki listovogo metalla v shtampah”. *Visnyk Skhidnoukrayinskogo natsionalnogo universytetu imeni Volodymyra Dalya*, 124,1, 85 – 88(2008). Print. 4. Dragobetskiy, V. V., Martsynyuk, O. B. “Novyye metody snizheniya raboty plasticheskoy deformatsii v operatsiyakh probivki i vyrubki”. *Visnyk KDPU*, 30, 67–69. (2005). Print. 5. Cleary, P. W., Prakash, M., Das, R., Ha, J. “Modelling of metal forging using SPH”. *Applied Mathematical Modelling*, 36 (8), 3836–3855. doi: 10.1016/j.apm.2011.11.019(2012). Print. 6. Gerber, B., Yang, T. C. Making an impact. *ANSYS Advantage*, 2 (4), 40–42. (2008). Print. 7 Tynyanyi, A. F. “Chislennoye modelirovaniye kontaktnoy zadachi v ramkakh kvazistaticheskogo uprugoplasticheskogo deformirovaniya v pakete ANSYS/LS-DYNA”. *Neftegazovoye delo*, 1. (2004). Print. 8. Ilyushkin, M. V. *Modelirovaniye protsessov obrabotki davleniyem v programme ANSYS/LS-DYNA: uchebno-metodicheskoye posobiye*. Ulyanovsk: UIGU, 1, 91. (2012). Print. 9. Kryvoruchko, D. V., Zaloga, V. O., Korbach, V. G. *Osnovy 3D-modelyuvannya protsessiv mekhanichnoyi obrobky metodom skinchenykh elementiv: navchalnyy posibnyk*. Sumy: SumDU, 1, 208. (2009). Print. 10. MatWeb, Your Source for Materials Information. Web Available at: <<http://www.matweb.com/>>. 11. Jones, N., Griffin, R. N., Van Duzer, R. E. “An experimental study into the dynamic plastic behaviour of wide beams and rectangular plates”. *International Journal of Mechanical Sciences*, 13 (8), 721–735. doi: 10.1016/0020-7403(71)90072-5(1971). Print. 12. Jones, N., Soares, C. G. “Higher modal dynamic plastic behavior of beams loaded impulsively”. *International Journal of Mechanical Sciences*, 20 (3), 135–147. doi: 10.1016/0020-7403(78)90001-2(1978). Print. 13. Sturgess, C. E., Jones, M. “Estimation of dynamic forces in high-speed compression using a free-flight impact forging device”. *International Journal of Mechanical Sciences*, 13 (4), 309–322. doi: 10.1016/0020-7403(71)90056-7(1971). Print. 14. Jones, N., Marcilio, A. “Post-Failure Behaviour of Impulsively Loaded Circular Plates. *International Journal of Mechanical Sciences*”, 52 (5), 706–715. doi: 10.1016/j.ijmecsci.2009.11.014(2010). Print. 15. Trahtenberg B. F. *Stoykost shtampov i puti ee povyisheniya*. Kuybyishev. Kn. izd-vo.1964. 280. 16. ТМ 112-63. Shtampyi dlya holodnoy shtampovki, osnaschennyie tverdyimi splavami. Raschety i konstruirovaniye. Izd-vo standartov, 1964. 17. Birger I. A. *Raschet na prochnost detaley mashin. Spravochnoe posobie. 2-e izd.* Moscow. Mashinostroenie. 1966. 616.

Поступила (received) 07.11.2015

Сведения об авторах / About the Authors

Хорольский Владимир Леонидович – ассистент кафедры транспортных технологий, Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского; тел.: (05366)3-63-92; e-mail: vova_men25.ru@inbox.ru.

Khorolskyi Vladimir Leonidovich – assistant of the Department of Transport Technology; Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University; tel.: (05366)3-63-92; e-mail: vova_men25.ru@inbox.ru.

УДК 621.867.427

Д. П. ЧАСОВ

ВИЗНАЧЕННЯ КРИТИЧНОЇ ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ ШНЕКУ ГВИНТОВОГО КОНВЕЄРУ З ДОДАТКОВИМИ ЛОПАТЯМИ

Виконано аналіз сил та параметрів, що впливають на величину критичної частоти обертання шнеку з додатковими лопатями. Досліджено критичні частоти обертання із умов не перекидання стружки за вертикальну вісь конвеєра на інший бік струмка і взаємозв'язку із піднімально-рушійною силою та наповненням жолоба. Отримана графічна залежність критичної частоти обертання шнеку від кута атаки додаткових лопатей. Розроблена математична залежність для визначення критичної частоти обертання шнеку гвинтового конвеєру з додатковими лопатями.

Ключові слова: додаткова лопать, кут атаки, критична частота обертання, шнек.

Постановка проблеми. У сучасному світі торгівельно-ринкових відносин головною вимогою є зниження собівартості продукції за умови сталої якості. Беручи до уваги той факт, що собівартість продукції формується із сукупності всіх операцій технологічного та допоміжного процесів, слід забезпечити і їх здешевлення. Одним із вагомих процесів машинобудівних підприємств є процес переробки відходів – стружки та шламу. Виходячи із умови переробки за межами машинобудівних підприємств, маємо завдання збору, пакування та транспортування стружки. Процес транспортування відбувається за рахунок засобів автоматизації – конвеєрного транспорту, зокрема шнекового, головним недоліком якого є недостатня продуктивність при суттєвих енергозатратах. Маючи умови концепції переходу України до стійкого розвитку мусимо знижувати собівартість продукції за рахунок конструктивних модернізацій, як основних передумов запровадження енергозберігаючих технологій.

Аналіз останніх досліджень. У суттєвому різноманітті представлених праць вітчизняних й закордонних науковців присвячені підвищенню продуктивності та зменшенню енерговитрат у процесі транспортування відходів механічної обробки шнековим транспортом. Однак майже відсутня інформація стосовно конструктивних модернізацій елементів шнеку та їх взаємозв'язків із супроводжувальними процесами та параметрами.

В багатьох наукових працях розглянута взаємодія транспортованого матеріалу з механізмом шнекового конвеєру, за умови його представлення у вигляді транспортуючих труб. Та така розрахункова схема не може у повній мірі відобразити всі процеси, що впливають на продуктивність та енергоємність.

Виділення невирішеної раніше частини загальної проблеми. Частота обертання шнеку безпосередньо впливає на його продуктивність, оскільки забезпечує швидкість та неперервність процесу переміщення стружки у жолобі. Однак, із встановленням додаткових лопатей, ефективний діапазон критичної частоти обертання шнеку обмежений мінімальними показниками з урахування енергетичних затрат виділених на приведення в рух шнеку та максимальними

обертами з умови неперекидання додатковими лопатями транспортованого матеріалу на інший бік струмка через вертикальну вісь конвеєру.

Формулювання мети роботи. Метою роботи є визначення ефективної частоти обертання шнеку з урахуванням кута атаки додаткових лопатей та умови неперекидання стружки на інший бік струмка через вертикальну вісь конвеєру, що в суттєвій мірі впливає на продуктивність.

Виклад основного матеріалу. При обертанні горизонтального шнекового конвеєра, частково заповненого сипучим матеріалом (металевою стружкою), в його поперечному перерізі можна спостерігати такі режими руху матеріалу [1, 2, 3]:

- рух з обваленням, при якому періодично відбувається перерозподіл матеріалу;

- циркуляційний рух, при якому матеріал утворює замкнутий циркуляційний контур (рис. 1). При цьому частина матеріалу рухається або по відкритій поверхні викривленого сегмента, або знаходиться в польоті.

Рух з обваленням спостерігається досить рідко. На практиці найбільш часто використовується циркуляційний рух. Тому розглянемо детальніше саме цей режим.

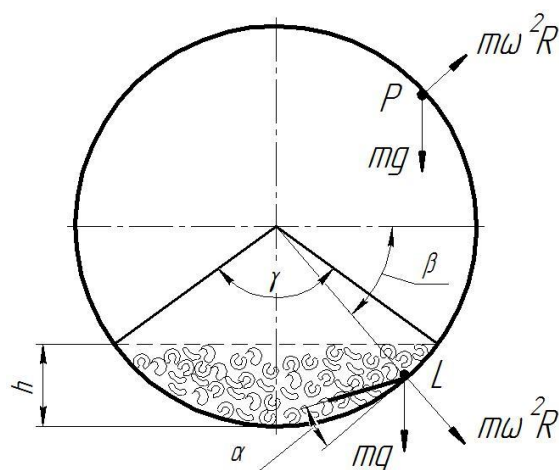


Рис. 1 – Схема сил, діючих на частинку металеві стружки в поперечному перерізі жолоби шнекового конвеєра з додатковими лопатями

Зазвичай даний режим руху стійко існує при кутових швидкостях обертання шнека $(0,1 \dots 0,6) \square_{кр}$.

$\omega_{кр}$ – критична кутова швидкість, при якій металева стружка починає обертатися разом з додатковою лопаттю.

Для визначення чисельного значення $\omega_{кр}$ розглянемо умови рівноваги окремої частки в поперечному перерізі шнекового конвєсера в точках L і P (рис. 1):

– для точки L (знаходиться в завалі)

$$mg - f_{mp} m \omega_{кр}^2 R = 0 \Rightarrow \omega_{кр} = \sqrt{\frac{g}{f_{mp} R}}; \quad (1)$$

– для точки P (знаходиться поза завалу)

$$mg - m \omega_{кр}^2 R = 0 \Rightarrow \omega_{кр} = \sqrt{\frac{g}{R}}; \quad (2)$$

де m – маса частинки;

g – прискорення вільного падіння;

f_{mp} – коефіцієнт тертя частинки об внутрішню поверхню жолоба;

R – відстань від осі обертання шнека до центру ваги частинки (величину R приймають рівним радіусу шнека).

Якщо ступінь заповнення жолоба матеріалом дорівнює h , то кутова швидкість обертання шнека визначається за формулою:

$$\omega_{кр} = \sqrt{\frac{g}{R f_{mp,m} (1-h)^{0.5}}}; \quad (3)$$

де $f_{mp,m}$ – коефіцієнт внутрішнього тертя матеріалу.

Ступінь заповнення жолоба h матеріалом впливає на кут сектора наповнюваності γ (рис. 2).

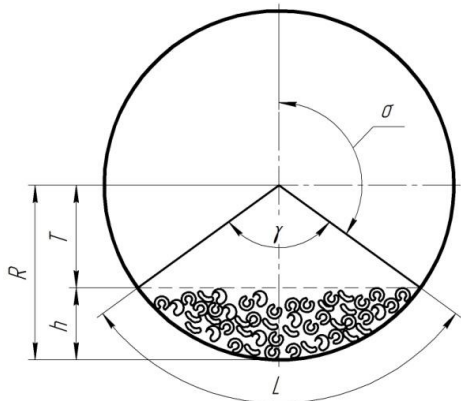


Рис. 2 – Фронтальний розтин жолоба шнекового конвєсера

По перетину жолоба (рис. 2) кут сектора наповнюваності жолоба можна виразити через радіус та рівень наповнюваності [4, 5, 6]:

$$\gamma = \frac{\sqrt{R8h + 4h^2}}{R}; \quad (4)$$

де R – радіус шнека;

h – рівень наповнюваності жолоба.

Розглядаючи найкоротший шлях, як перпендикуляр від точки елементарної частинки на лопаті до кута, що характеризує наповнюваність

жолоба, отримуємо прямокутний трикутник, з якого випливає, що робочий кут з урахуванням траєкторій падіння окремих частинок можна записати:

$$\sigma \leq 180 - \frac{\gamma}{2} \quad (5)$$

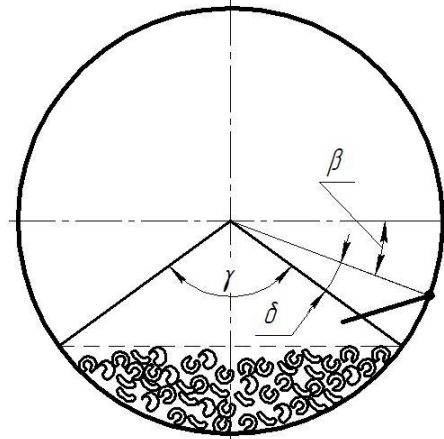


Рис. 3 – Розтин жолоба шнекового конвєсера з урахуванням наповнюваності

Очевидно, що для складання рівняння визначення критичної швидкості обертання необхідно представити рівняння поверхні майданчика додаткової лопаті в загальному вигляді:

$$\cos \alpha_x (x - x_0) + \cos \alpha_y (y - y_0) + \cos \alpha_z (z - z_0) = 0, \quad (6)$$

де $\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z$ – кути між нормаллю і відповідними осями;

x, x_0, y, y_0, z, z_0 – координати проєкцій кута атаки на відповідні вісі.

Якщо відома точка, з координатами (x_0, y_0, z_0) через яку проходить поверхню, то рівняння отримає вигляд:

$$x \cos \alpha_x + y \cos \alpha_y + z \cos \alpha_z - l = 0, \quad (7)$$

де l – відстань до поверхні.

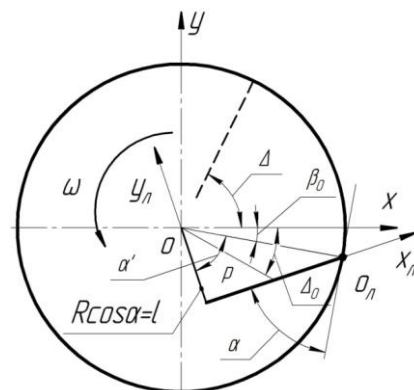


Рис. 4 – Розтин шнеку у фронтальній площині.

За рис. 4 для початкового розміщення точки на лопаті рівняння набуде вигляду:

$$(x - R) \cos \alpha + y \sin \alpha = 0,$$

тоді для нормального витка отримуємо рівняння:

$$x \cos \alpha + y \sin \alpha - R \cos \alpha = 0,$$

де $R \cos \alpha = l$.

Тоді рівняння площини площадки додаткової лопаті з урахуванням кута початку руху матеріалу висловлюємо:

$$x \cos(\alpha + \beta) + y \sin(\alpha + \beta) - R \cos \alpha = 0. \quad (8)$$

Однак, кут β – кут початку руху матеріалу по додатковій лопаті і також кут нахилу майданчика до площини витка, отже майданчик додаткової лопаті має просторове переміщення. Початкове рівняння описує рівнодію сил по осі, що збігається з проекцією майданчиків додаткової лопаті. Об'єднане рівняння сил на перпендикулярній та паралельній осях площині лопаті має вигляд:

$$\omega_{кр}^2 R (\sin \alpha + f_{тр} \cos \alpha) = g [\cos(\alpha + \beta) + f_{тр} \sin(\alpha + \beta)],$$

звідки:

$$\begin{aligned} \omega_{кр} &= \sqrt{\frac{g \cdot \cos(\alpha + \beta) + f_{тр} \sin(\alpha + \beta)}{R \cdot \sin \alpha + f_{тр} \cos \alpha}} = \\ &= \sqrt{\frac{g \cdot \cos(\alpha + \beta - \varphi)}{R \cdot \sin(\alpha + \varphi)}}, \end{aligned} \quad (9)$$

де $\varphi = \arctg f_{тр}$ – кут тертя.

Беручи до уваги коефіцієнти тертя, кут атаки додаткової лопаті та кут розміщення додаткової лопаті, при якому починається рух металевої стружки, отримуємо рівняння критичної частоти обертання шнеку з встановленими додатковими лопатями:

$$\begin{aligned} n_{кр} &\geq \sqrt{\frac{g \cdot [f_{тр.л} \cdot \cos(\alpha + \beta) \cdot f_{ш} - f_{тр.м} \cdot \sin(\delta)]}{R \cdot [f_{ш} \cdot \cos(\beta) + f_{ж} \cdot \sin(\gamma)]}} \cdot \\ &\cdot \frac{30}{\pi} \cdot \cos(\Omega) \end{aligned} \quad (10)$$

де $f_{ш}$ – коефіцієнт тертя о шнек;

$f_{ж}$ – коефіцієнт тертя о жолоб;

$f_{тр.л}$ – коефіцієнт тертя матеріалу о лопать;

$f_{тр.м}$ – коефіцієнт внутрішнього тертя матеріалу.

На рис. 5 приведено порівняльний аналіз критичних частот обертання шнекового конвеєру з додатковими лопатями та з класичною конструкцією.



Рис. 5 – Гістограма розподілення критичних частот обертання шнеків модернізованої та класичної конструкції

Висновки. З гістограми чітко видно суттєве зниження критичної частоти обертання шнекового конвеєру з встановленими додатковими лопатями у порівнянні з класичною конструкцією. Причому маємо найнижчу критичну частоту обертання шнеку при встановлених додаткових лопатях з кутом атаки в межах від 45 до 60°.

Список літератури: 1. *Макевнін М.П.* Дослідження руху сипучих матеріалів в оберткових барабанах: дис. ... кандидата техн. наук: 05.04.09 / Макевнін Михайло Петрович. – М., 1963. 2. *Трофимов А.В.* Дослідження руху сипучих матеріалів в оберткових барабанах без внутрішніх пристроїв: дис. ... кандидата техн. наук: 05.05.11 / Трофимов Олексій Володимирович. – М., 1973. 3. *Коротич В.І.* Рух сипучого матеріалу в обертковому барабані / В.І. Коротич // Сталь. – 1962. – № 8. – С. 680-686. 4. *Часов Д.П.* Обґрунтування параметрів шнекового конвеєра з додатковими лопатями для транспортування стружки: дис. ... кандидата техн. наук: 05.05.05 / Часов Дмитро Павлович. – Дніпродзержинськ, 2015. 5. Пат. 83441 Україна, МПК В 65 G 33/14 Шнековий конвеєр / Д.П. Часов, А.М. Тихонцов; заявник та патентовласник Дніпродзержинський державний технічний університет. – № u201303544; заяв. 22.03.13; опубл. 10.09.13, Бул. № 17. 6. *Рогатинський Р.* Оптимізація параметрів гвинтових транспортно-технологічних систем / Р. Рогатинський, І.Гевко, Л. Рогатинська // Вісник ТНТУ. – 2013. – №1 (69). – С. 123-230.

Bibliography (transliterated): 1. Makevnin M.P. Doslidzhennya ruhu sy'puchy'x materialiv v obertovy'x barabanax: dy's. ... kandy'data texn. nauk: 05.04.09 / Makevnin My'xajlo Petrovy'ch. – Moscow, 1963. 2. Trofy'mov A.V. Doslidzhennya ruhu sy'puchy'x materialiv v obertovy'x barabanax bez vnutrishnix pry'strojiv: dy's. ... kandy'data. texn. nauk: 05.05.11 / Trofy'mov Oleksij Volody'my'rov'y'ch. – Moscow., 1973. 3. Koroty'ch V.I. Rux sy'puchogo materialu v obertovomu barabani / V.I. Koroty'ch // Stal'. – 1962. – No 8. – P. 680-686. 4. Chasov D.P. Obg'runtuvannya parametriv shnekovogo konveyera z dodatkovy'my' lopatyamy' dlya transportuvannya struzhky: dy's. ... kandy'data texn. nauk: 05.05.05 / Chasov Dmy'tro Pavlovy'ch. – Dniprodzerzhyn's'k, 2015. 5. Pat. 83441 Ukrayina, MPK B 65 G 33/14 Shnekovy'j konveyer / D.P. Chasov, A.M. Ty'xoncov; zayavny'k ta patentovlasny'k Dniprodzerzhyn's'ky'j derzhavny'j texnichny'j univ'rsytet. – Nou201303544; zayav. 22.03.13; opubl. 10.09.13, Byul. No 17. 6. Rogaty'ns'ky'j R. Opty'mizaciya parametriv gvy'ntovy'x transportno-texnologichny'x sy'stem / R. Rogaty'ns'ky'j, I. Gevko, L. Rogaty'ns'ka // Visny'k TNТУ. – 2013. – No 1(69). – P. 123-230.

Надійшла (received) 30.10.2015

Відомості про авторів / About the Authors

Часов Дмитро Павлович – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри «Технології машинобудування» Дніпродзержинського державного технічного університету, м.Дніпродзержинськ, тел.: (096) 999-50-09, e-mail: 0969995009@ukr.net.

Chasov Dmitri Pavlovich – Ph.D., senior lecturer in "Engineering Technology" Dneprodzerzhinsk State Technical University, ul. Dniprobudivska 2, of Dneprodzerzhinsk, Dnipropetrovsk region., Ukraine, 51918. Contact tel. : (096) 999-50-09, e-mail: 0969995009@ukr.net

УДК 621.7

В. А. ЧУБЕНКО, А. А. ХІНОЦЬКА, В. А. ЧУБЕНКО

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ СМУГ БЕЗПЕРЕРВНОЮ РОЗЛИВКОЮ У ВАЛКОВІ ЛИВАРНО-ПРОКАТНІ КЛІТІ

Пропонується удосконалення процесу виготовлення смуг безперервно валковою розливкою-прокаткою. Досліджена нова конструкція ливарно-прокатної кліти, де на валки напресовують буртики та насилають здрібнену чавунну стружку з метою використання суспензійного розлиття рідкої сталі. Це дозволяє надійно утримувати рідкий метал на валках-кристалізаторах. Розроблена технологія дозволяє збільшити швидкість кристалізації рідкого металу в умовах безперервної валкової розливки рідкої сталі та зменшити час кристалізації на 18-20 % в порівнянні з розливанням без використання суспензії. Такий процес приводить до зменшення витрат рідкого металу і до збільшення випуску готової продукції, дозволяє підвищити продуктивність процесу та зменшити собівартість виробництва.

Ключові слова: валкова безперервна розливка сталі, ливарно-прокатна кліть, суспензійна розливка, кристалізація металу, швидкість охолодження, технологія розливки, вихід готового продукту.

Вступ. Технологія прокатного виробництва на теперішній час, як в Україні, так і за її межами, досягла суттєвих позитивних результатів зі збільшення продуктивності прокатних станів, покращення якості продукції та зменшення її собівартості.

Це стало можливим завдяки освоєнню ливарно-прокатних модулів. В порівнянні з виробами, що отримані на прокатних станах, використання ливарно-прокатних агрегатів забезпечує: економію металу, збільшення продуктивності роботи машин, зменшення виробничих площин, скорочення чисельності працюючих, покращення якості виробів за рахунок отримання більш однорідної структури сталі, можливість автоматизації та механізації, зменшення терміну окупності при впровадженні нових підприємств та зменшення витрат енергії на виготовлення виробів. Особливо помітні результати дає впровадження безперервної валкової розливки металу у валки-кристалізатори, яка на теперішній час досягла суттєвих позитивних результатів.

Тому удосконалення процесу валкової розливки рідкого металу для виготовлення смуг та валкових ливарно-прокатних машин для здійснення цього способу виробництва штаби є задачею актуальною, вирішення якої дозволить збільшити продуктивність праці та зменшити витрати енергії і собівартість виробництва.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Підвищення вимог до продуктивності прокатних станів та покращення якості виробів привело до розвитку нових технологічних процесів, які відображують в собі суміщення процесів лиття та прокатування [1, 2, 3].

Безперервна розливка сталі в з'єднанні з прокатуванням сприяє економії капіталовкладень у зв'язку з виключенням витрат на парк виливниць, забезпечує економію енергії, яка витрачається на підігрів зливків у нагрівальному колодязі, дозволяє знизити екологічне навантаження на атмосферу, підвищити якість металопродукції, поліпшити умови роботи обслуговуючого персоналу. Такий процес дозволяє скоротити цикл отримання готової продукції від декількох діб до декількох годин, зменшити масу обладнання приблизно в 1,5 разів, скоротити чисельність працівників на 30 %, збільшити продуктивність процесу на 25 %.

Вважається, що першим для виробництва сталевих катанки став ливарно-прокатний модуль (дослідний зразок), який створений у ВНДІМЕТМАШ та введено в дію в 1963 році. Він складався з радіальної машини безперервного лиття заготовок з кристалізатором перерізом 38x45 мм, універсального планетарного стану і чистової групи клітей для прокатування катанки діаметром 6 мм [2].

Схема розміщення основного обладнання ливарно-прокатного модуля показано на рис. 1 [2]

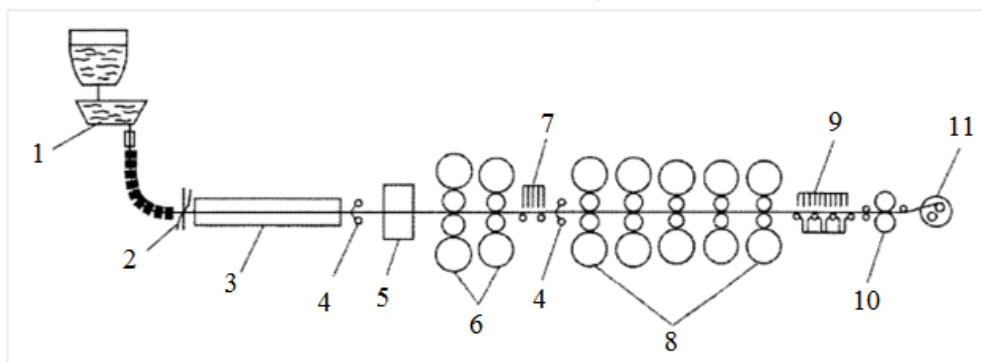


Рис. 1 – Схема агрегата DSP [2]: 1 – машина для лиття тонких слябів; 2 – маятникові ножиці; 3 – нагрівальна тунельна піч; 4 – устаткування для видалення окалини; 5 – кліть з вертикальними валками; 6 – чернові кліти; 7 – устаткування для переміжного охолодження; 8 – безперервна чистова група клітей; 9 – холодильник; 10 – летучі ножиці; 11 – моталка

Ливарно-прокатні агрегати в теперішній час знайшли широке використання і за межами країни [4, 5]. Протягом усього часу свого існування суміщенні процеси лиття-прокатування постійно удосконалювалися.

Пропонуються нові агрегати для отримання листової продукції холодним прокатуванням з алюмінію та його сплавів [6]. Для збільшення продуктивності таких машин пропонуються збільшити ємність ковша і використовувати дворівничову машину безперервного лиття [7].

Подальшим розвитком ливарно-прокатних устаткувань потрібно вважати утворення машин з валковою розливкою сталі. Такий процес є найбільш перспективною і енергозберігаючою технологією

виробництва тонких штаб. Отримання тонкого плоского прокату полягає у формуванні смуги безпосередньо з рідкого металу шляхом кристалізації і деформації його між двома валками, що обертаються. На відміну від звичайного безперервного лиття-прокатування сталевих виробів, при валковому литті має місце два сумішених процесу: кристалізація розплаву і пластична деформація спочатку тієї частини, що закристалізувалася, а потім і всієї маси металу [4].

Загальний вигляд і схема розташування дослідної установки при проведенні досліджень валкової безперервної розливки сталі наведено на рис. 2, де видно, як розливається рідка сталь з ковша у валки кристалізатори [2].

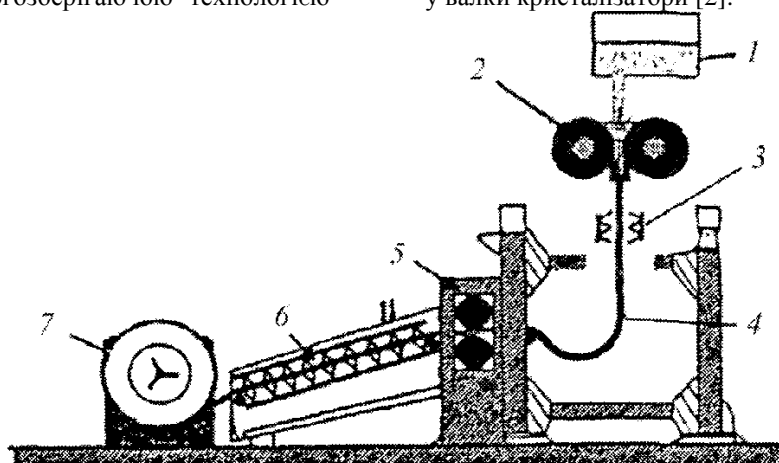


Рис. 2 – Схема дослідної установки: 1 – рідка сталь в ковші; 2 – валковий кристалізатор; 3 – зона охолодження зливка; 4 – петля; 5 – прокатна кліть; 6 – холодильник; 7 – моталка

Дослідження [2] показало переваги використання валкових ливарно-прокатних агрегатів, але нова технологія має і недоліки: ширина смуг не регулюється і коливається за довжиною.

Існують технології, де рідку сталь пропонується розливати безпосередньо в консольні прокатні валки, які є кристалізаторами [2] і швидко зменшувати перегрів металу перед розливанням використовуючи суспензійне розлиття [8]. Однією з переваг суспензійного розлиття є можливість утилізувати металовідходи (стружки, обрізи, недоливи, вирубки). Дослідженнями доведено [8], що швидкість кристалізації розплаву зі сталі 35 при введенні залізомістких добавок збільшується з 0,15 мм/с (при литті без добавок) до 0,2 – 0,8 мм/с (при додаванні залізного порошку).

Виконано патентний пошук на предмет удосконалення ливарно-прокатних модулів [9], що дозволило вивчити динаміку розвитку і впровадження ливарно-прокатних агрегатів в Україні та Росії з 2000 по 2013 года. Даний аналіз дає можливість визначити переваги та недоліки в розвитку таких агрегатів та виявити подальший напрямок дослідження зі зменшення перегріву металу при розливанні у валки-кристалізатори.

Можливість інтенсифікації безперервної розливки сталі лімітується головним чином

обмеженістю швидкості затвердіння безперервнолитого зливка. Цей процес пов'язаний з складністю відведення фізичної та скритої теплоти металу, що кристалізується тому визначається його теплофізичними властивостями: теплопровідністю, температуропровідністю, теплоємністю та інш [8].

Одним з недоліків розливки сталі у валки-кристалізатори є те, що рідку сталь складно утримати в міжвалковому просторі тому, що вона має велику текучість в розплавленому стані і може вилитися, що призводить до втрат готової продукції. Тому необхідно удосконалити конструкцію валків-кристалізаторів, що буде перешкоджати виливанню рідкої сталі при розливанні, а також передбачити дії зі зменшення її перегріву при попаданні в міжвалковий простір, що можливо при утворенні в об'ємі металу додаткових центрів кристалізації у валках – кристалізаторах при валковій безперервній розливці.

Мета роботи – знайти можливість збільшити швидкість охолодження рідкої сталі і уникнути вірогідності виливання металу між валками-кристалізаторами при безперервній валковій розливці сталі при виготовленні штаби.

Для досягнення мети потрібно виконати наступні **задачі**:

1. Проаналізувати можливості введення додаткових центрів кристалізації і використати

оптимальний матеріал для збільшення швидкості охолодження рідкої сталі при валковій безперервній розливці металу.

2. Запропонувати технологію валкової розливки сталі у валки-кристалізатори та визначити обладнання для її здійснення, яке дозволить уникнути вірогідності виливання рідкого металу між валками-кристалізаторами.

3. Визначити швидкість охолодження та час кристалізації металу, коефіцієнт витрати рідкої сталі за новою технологією з використанням пропонуємого обладнання.

Методика дослідження безперервної валкової розливки сталі. В дослідженнях з безперервної валкової розливки використовувалась вуглецева сталь звичайної якості (Сталь 20), яка виливалася з ковша безпосередньо в горизонтальні прокатні циліндричні валки, які оберталися в протилежних напрямках. Робочі валки в цьому випадку слугують одночасно кристалізаторами-

охолоджувачами і обтискним інструментом, де суміщаються процеси охолодження і прокатування сталі з обтисненням, що забезпечує витягування матеріалу. Валки установлені горизонтально так, як показано на рисунках 4 і 5 і безперервно охолоджуються водою. Робочі валки виготовленні з міді і покриті нікелем, на торці валків-кристалізаторів напресовано з натягом буртики (рис. 3) [10]. Конструкція окремого валка представлено на рисунку 4 [10], де показано його з'єднання з буртиком. Буртики служать для попередження виливання рідкої сталі між робочими валками, що дозволяє збільшити випуск готової продукції. Діаметр валків-кристалізаторів, що використовувалися в дослідженнях, дорівнює 500 мм, довжина 1000 мм.

В дослідженнях температура рідкої сталі вимірювалася за допомогою термопарі і фіксувалася за допомогою термодатчиків/

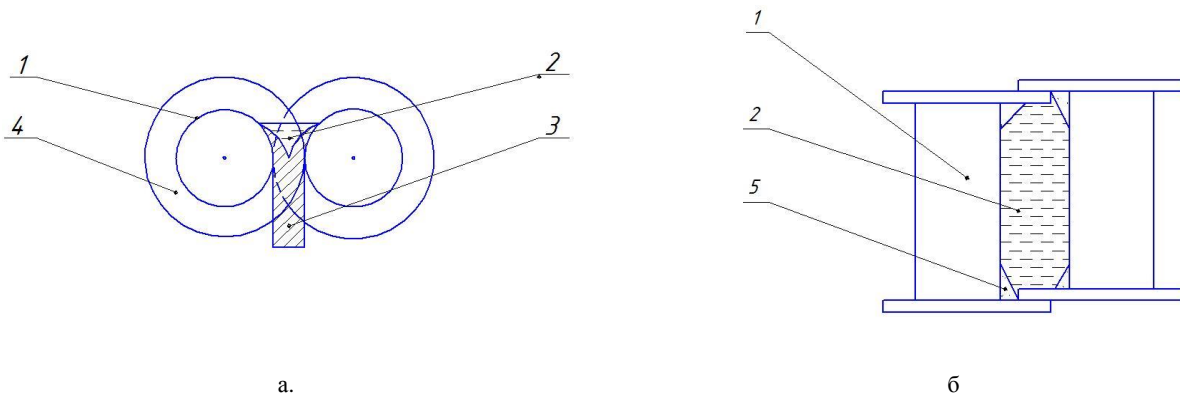


Рис. 3 – Ливарно-прокатна кліть [10]: а – вид з боку, б – вид зверху,
1 – прокатні валки-кристалізатори; 2 – рідка сталь; 3 – затравка; 4 – напресовані буртики;
5 – здрібнена чавунна стружка

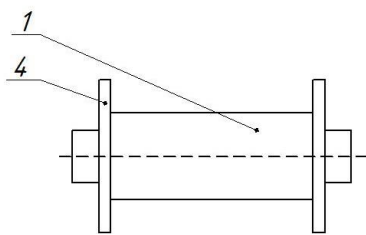


Рис. 4 – Ливарно-прокатной валок с буртиками [10]:
1 – прокатный валок-кристалізатор; 4 – буртики

В дослідженнях було використано суспензійну розливку рідкої сталі у валки-кристалізатори, що дозволяє скоротити тривалість затвердіння зливка та збільшити коефіцієнт використання рідкого металу та покращити якість отриманого виробу. Одним з важливих етапів практичної реалізації суспензійного розливання як метода інтенсифікації затвердіння безперервнолитих зливків є розробка ефективних технологічних процесів, простих та надійних устаткувань для її здійснення. Розробляємо устаткування повинні мати високу надійність та стабільність у відповідності з тривалістю розливання. Розроблено велику кількість

устаткувань, що дозволяють вводити дисперсний матеріал в рідку фазу [8], але такі устаткування мають деякі недоліки: частина дробі не попадає в струю, відбиваючись від неї або пролітаючи повз неї, існує можливість появи краплин на вихідному отворі сопла, тому що струя не завжди організована та стабільна. В дослідженнях використовувалися конусні бункери, які були встановлені з обох боків валків-кристалізаторів.

З метою утилізації відходів механообробного виробництва в дослідженнях для утворення суспензії використовувалася чавунна стружка, яка здрібнювалася до розмірів менше міліметра.

Використовувалося обладнання для дослідження: ливарно-прокатна кліть, яка включає два циліндричні горизонтальні валки-кристалізатори, що встановлені в підшипники в станині. На бочку кожного з валків з обох сторін напресовані з гарантійним натягом диски, при цьому відстань між правим та лівим диском на валку дорівнює ширині виготовляемого листа та товщині диску, відстань між валками дорівнює товщині виготовляемого листа, при цьому буртики суміжних валків перекривають один одного.

В результаті досліджень було визначено швидкість та тривалість охолодження металу, час кристалізації та коефіцієнт витрати рідкої сталі при виготовленні штаби в умовах валкової безперервної розливки. Для порівняння досліджувалася розливка з використанням суспензії та без її використання. В експериментах змінювалася величина зазору між валками, що дозволяло отримати декілька смуг різної товщини. Температура лиття залишалася постійною і дорівнювалася 1580 °С.

Для утворення суспензії в дослідженнях у рідкий метал додавалася здрібнена чавунна стружка, яка сипалася з бункера на бокові сторони валків-кристалізаторів, які обертаються. Буртики її стабілізували у вигляді тригранної піраміди, що надійно утримувало рідку сталь і дозволяло їй швидко охолоджуватися.

Дослідження проводилися за наступною методикою: з ковша на горизонтальні циліндричні валки-кристалізатори (рисунок 4), які обертаються (1) виливалася рідка сталь (2), одночасно з цим насипали на валки-кристалізатори з двох бункерів, що встановлені з обох боків валків, шар здрібненої чавунної стружки (5) у вигляді тригранної піраміди. Для стабілізації цієї піраміди на кінцях валків напрусовано буртики (4), для підтримання рідкої сталі використовувалась затравка (3), яка до початку розливки рідкої сталі була введена в робочу порожнину кристалізатора.

Устаткування, що пропонується для проведення експериментів, забезпечує утримання рідкої сталі прокатними валками до початку затвердіння: рідка сталь вступає у взаємодію із

стружкою, яка добре утримується на валках завдяки буртикам, що затримує виливання рідкої сталі з міжвалкового простору і дозволяє підвищити вихід готової продукції.

Таким чином, була розроблена методика проведення дослідження визначення підвищення ефективності процесу виготовлення смуг безперервною валковою розливкою рідкого металу, визначено конструкцію обладнання для його здійснення та підібрано матеріал для здійснення суспензійної розливки рідкого металу у валки-кристалізатори.

Результати досліджень ефективності процесу виготовлення смуг безперервною розливкою у валковій ливарно-прокатній кліті.

Експерименти показали, що при використанні розробленої методики рідка сталь добре утримується прокатними валками: рідкий метал взаємодіє з чавунною стружкою, яка добре утримується на прокатних валках-кристалізаторах завдяки буртикам і швидко кристалізується з бокової поверхні, що перешкоджає її виливанню в міжвалковий простір. Дослідження показали, що рідкий метал попадає на валок, взаємодіє з чавунною стружкою і не проливається між валками.

В результаті експерименту були виготовлені смуги товщиною 2–4 мм, зі швидкістю розливання 50–70 м/хв, час затвердіння рідкої сталі було зафіксовано 0,8–1,0 с.

Результати дослідження занесено в табл. 1, де порівнюються показники валкової розливки для виготовлення штаби без використання суспензії і з використанням.

Таблиця 1. Результати дослідження розливання металу при виготовленні смуг на валкових машинах безперервного лиття

№ п/п	h, мм	Без суспензії				З використанням суспензії			
		v_d , м/хв	$t_{кр}$, с	$v_{охол}$, °С/с	$K_{вит}$	v_d , м/хв	$t_{кр}$, с	$v_{охол}$, °С/с	$K_{вит}$
1	2	72	1,0	950	1,05	72	0,8	1300	1,02
2	2,5	75	1,1	920	1,04	75	0,9	1280	1,015
3	3	81	1,2	900	1,03	81	1,0	1230	1,01

Позначення в табл. 1: v_d – швидкість лиття сталі; $t_{кр}$ – час кристалізації; $v_{охол}$ – швидкість охолодження; $K_{вит}$ – коефіцієнт витрат рідкого металу.

З табл. 1 видно, що в кожному експерименті, не залежно від товщини смуги, швидкість охолодження металу при валковій розливці збільшується на 18 – 20 %, а час кристалізації зменшується на 18 – 20 % при використанні суспензії, яку, в нашому дослідженні утворює здрібнена чавунна стружка, в порівнянні з таким же експериментом, але без суспензії.

Результати досліджень підтвердили ефективність безперервної розливки рідкої сталі у валки-кристалізатори, які мають буртики для утримання чавунної стружки, що дозволяє збільшити швидкість кристалізації, зменшити час охолодження рідкого металу, забезпечити відсутність витікання сталі між валковий простір, що забезпечує збільшення випуску готової

продукції, зменшує коефіцієнт витрату металу, збільшує продуктивність процесу виготовлення смуги.

Висновки:

1. Проаналізовано можливості введення додаткових центрів кристалізації і використано здрібнену чавунну стружку в якості кристалізатора-охолоджувача, що забезпечує збільшення швидкості та зменшення тривалості кристалізації рідкої сталі в валках-кристалізаторах при валковій безперервній розливці сталі на 18-20 %.

2. Запропоновано нову технологію безперервної валкової розливки сталі у валки-кристалізатори та визначено нову конструкцію валків-кристалізаторів для здійснення безперервної валкової розливки металу, що дозволить уникнути виливання рідкої сталі у міжвалковий простір, що дає можливість зменшити коефіцієнт витрат рідкого металу.

3. Визначено швидкість охолодження та час кристалізації металу, коефіцієнт витрату рідкої сталі

за новою технологією з використанням пропонуємого обладнання, що дозволяє обрати оптимальні режими обробки.

Список літератури: 1. Данченко В. Н. Прогрессивные процессы обработки металлов давлением [Текст] / В. Н. Данченко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2011. – № 7. – С. 1-8. 2. Минаев А. А. Совмещенные металлургические процессы [Текст]: монография / А. А. Минаев. – Донецк: Технопарк Дон ГТУ УНИТЕХ, 2008. – 522 с. 3. Данченко В. М. Теория процесів обробки металів тиском: Підручник/ Данченко В. М., Гринкевич В. О., Головка О. М. – Дніпропетровськ: Пороги, 2008. – 370 с. 4. Alzetta F. Luna The Danicli ECR Endless Casting Rolling Plant for Specialty Steels-Technology, Innovation and Benefits //Iron and Steelmaker, 2002. – № 7 – P. 41-49. 5. Minamimura Y., Kanasawa T., Tsujita K. Latest technology for cost and productivity of QSP process // SEAIISI Quarterly, 2001. – 30. – №2. – P.10-15. 6. Пат. № 2466808 Российская Федерация, МПК В21В1/46 Литейно-прокатный агрегат для производства листовой холоднокатаной продукции из алюминия и его сплавов [Текст] / Тонконогов В. Я., Чеботарёв В. А., Гесслер Ю. В., Самсонов А. В., Дегтярёв И. Л.; Патентообладатель: Открытое акционерное общество Акционерная холдинговая компания "Всероссийский научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт металлургического машиностроения имени академика Целикова" (ОАО АХК "ВНИИМЕТМАШ")(RU). – заявл. 26.06.2011, опубл. 20.11.2012. – 6 с. 7. Патент України № 58851 МПК В21В1/16 Спосіб прокатки безперервно литої заготовки [Електронний ресурс] / Шум В. Б., Смирнов С. М., Ємченко А. В.; Алексеев О. В., Асикін А. А., ВАТ "Донецький металургійний завод". – заявл. 21.10.2010, опубл. 26.04. 2011, Бюл. № 8. – Режим доступу: \www/URL: http://uapatents.com/4-58851-sposib-prokatki-bezperervnolito-zagotovki.html. 8.Затуловский, С. С. Суспензионная разливка [Текст] / С. С. Затуловский. – К: Наукова думка, 1981. – 260 с. 9. Ретроспективный анализ массива опубликованных патентов, характеризующие развитие литейно-прокатных модулей за период 2000-2013 г.г. в Украине и России [Н.Н.Бережной, Чубенко В.А., А.А.Хиноцька, С.О.Мацшин, А.А.Шепель, В.А.Чубенко]// Технологический аудит и резервы производства. – 2015, №1/1 (21) – С. 4-7. 10. Патент України № 100153 МПК В21В1 Ливарно-прокатна кліть / М.М.Бережний, В.А. Чубенко, А.А.Хиноцька, С.О.Мацшин, А.О.Шепель, В.А.Чубенко, ДВНЗ «Криворізький національний університет». – заявл. 05.02.2015, опубл. 10.07.2015, Бюл.№ 13.

Bibliography (transliterated): 1. Danchenko V. N. Prohressyvnnye protsessy obrabotky metallov davlenyem [Tekst] / V. N. Danchenko // *Metallurhycheskaya y hornorudnaya promyshlennost'*. – 2011. – No 7. – P. 1-8. 2. Mynaev A. A. Sovmeshchennyye metallurhycheskye protsessy [Tekst]: monohrafiya / A. A. Mynaev. – Donetsk: Tekhnopark Don HTU UNYTEKh, 2008. – 522 p. 3. Danchenko V.M. Teoriya protsesiv obrobky metaliv tyskom: Pidruchyk/ Danchenko V.M., Hrynkevych V.O., Holovko O.M. – Dnipropetrovsk: Porohy, 2008. – 370 p. 4. Alzetta F. Luna The Danicli ECR Endless Casting Rolling Plant for Specialty Steels-Technology, Innovation and Benefits //Iron and Steelmaker, 2002. – No 7 – P. 41-49. 5. Minamimura Y., Kanasawa T., Tsujita K. Latest technology for cost and productivity of QSP process // SEAIISI Quarterly, 2001. – 30. – No 2. – P.10-15. 6. Pat. No 2466808 Rossiyskaya Federatsiya, MPK V21V1/46 Lyteyno-prokatnyy ahreat dlya proyzvodstva lystovoy kholodnokatanoy produktsyy yz alyumynyya y eho splavov [Tekst] / Tonkonohov V. Ya., Chebotarëv V. A., Hessler Yu. V., Samsonov A. V., Dehtyarëv Y. L.; Patentoobladatel': Otkrytoe aktsyonerное obshchestvo Aktsyonernaya kholdynhovaya kompanyya "Vserossiyskiy nauchno-ysledovatel'skiy y proektno-konstruktorskiy ynstytut metallurhycheskoho mashynostroeniya ymeny akademika Tselykova" (OAO AKhK "VNIIMETMASH")(RU). – заявл. 26.06.2011, opubl. 20.11.2012. – 6 p. 7. Patent Ukrainy No 58851 MPK V21V1/16 Sposib prokatky bezperervno lytoyi zahotovky [Elektronnyy resurs] / Shum V. B., Smirnov Ye. M., Yemchenko A. V.; Aleksyeyev O. V., Asykin A. A, VAT "Donets'kyu metalurhiynyy zavod". – заявл. 21.10.2010, opubl. 26.04. 2011, Byul. No 8. – Rezhym dostupu: \www/URL: http://uapatents.com/4-58851-sposib-prokatki-bezperervnolito-zagotovki.html. 8. Zatulovskyy, S.\S. Suspenzyonnaya razlyvka [Tekst] / S. S. Zatulovskyy. – Kyev: Naukova dumka, 1981. – 260 p. 9. Retrospektyvnyy analiz massyva opublikovanykh patentov, kharakteryzuyushchye razvytye lyte yno-prokatnykh moduley za peryod 2000-2013 h.h. v Ukrainy y Rossyy [N.N.Berezhnoy, M.M., Chubenko V.A., A.A.Khinots'ka, S.O.Matsyshyn, A.A.Shepel', V.A.Chubenko]// Tekhnolohycheskyy audyt y rezervy proyzvodstva. – 2015, No 1/1 (21)/ – P. 4-7. 10. Patent Ukrainy No 100153 MPK V21V1 Lyvarno-prokatna klit' / M.M.Berezhnyy , V.A. Chubenko, A.A.Khinots'ka, S.O.Matsyshyn, A.O.Shepel', V.A.Chubenko, DVNZ «Kryvoriz'kiy natsional'nyy universytet». – заявл. 05.02.2015, opubl. 10.07.2015, Byul. No 13

Поступила (received) 15.11.2015

Відомості про авторів / About the Authors

Чубенко Вікторія Анатоліївна – кандидат технічних наук, доцент, ДВНЗ «Криворізький національний університет», тал.0507472823, e-mail: victoria_4@rambler.ru

Chubenko Victoria Anatolievna –Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Krivoy Rog National University tel.: 0507472823, e-mail: victoria_4@rambler.ru

Хиноцька Алла Анатольевна – старший викладач кафедри металургії чорних металів та ливарного виробництва ДВНЗ «Криворізький національний університет»

Hinotskaya Alla Anatolievna – Senior Lecturer of Department of Corn Metallurgy Metals Krivoy Rog National University

Чубенко Валерій Андрійович – ДВНЗ «Криворізький національний університет», студент

Chubenko Valeriy Andreevich – Student, Krivoy Rog National University

В. Л. ЧУХЛІБ, Є. С. КЛЕМШОВ, В. О. ГРИНКЕВИЧ, Х. ДИЯ

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ПОПЕРЕДНЬОЇ ОСАДКИ ТА ЇЇ ВІДСУТНОСТІ НА НЕРІВНОМІРНІСТЬ ДЕФОРМАЦІЇ ПРИ ПРОТЯЖЦІ ПОКОВОК З ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ

Розглянуто дослідження впливу характеристик параметрів процесу попередньої осадки перед операцією ковальської витяжки, на схему напружено-деформованого стану заготовок з титанових сплавів за допомогою математичного моделювання. Результатом дослідження є графічні залежності показника нерівномірності деформації. При аналізі результатів моделювання виявлено позитивний вплив операції осадки перед протяжкою, а саме те, що зі збільшенням ступеню деформації при осадці підвищується рівномірність розподілення деформацій в об'ємі металу, на відміну від протяжки без попередньої осадки.

Ключові слова: осадка; протяжка; титан; фактор форми; розподілення деформацій; показник нерівномірності деформації.

Постановка проблеми. Високі механічні властивості металу обумовлюють високу якість продукції, тому саме покращення механічних властивостей є важливою ціллю досліджень. Як відомо, механічні властивості металу залежать від способу обробки металу, тому важливим є дослідження впливу параметрів операцій на напружено-деформований стан металу, який обумовлює кінцеві механічні властивості продукції.

В даному дослідженні використане комбінування операції осадки та протяжки. Хоча цим методом обробки тиском і неможливо досягти рівномірного напружено-деформованого стану в процесі кування, але можна за допомогою варіювання параметрів процесу досягти найменшої нерівномірності.

Тому в даному дослідженні було вирішено спрямувати всі зусилля на визначення впливу параметрів осадки перед операцією протяжки, а основними параметрами процесу є фактор форми та сумарна ступінь деформації. Також невід'ємною частиною цих параметрів є дотримання температурного інтервалу кування. Усі ці параметри мають вплив на рівномірність напружено-деформованого стану.

Тому, згідно вищесказаному, підвищення рівня механічних властивостей, і як наслідок – якості поковок, завжди є найактуальнішою проблемою досліджень процесів обробки металів тиском.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Удосконалення технологічного процесу можливе шляхом покращення економічних показників. Основні положення щодо збільшення коефіцієнту використання металу та коефіцієнту використання тепла нагріву перед куванням розглянуто у підручнику [1]. По темі вільного кування, а саме виготовлення поковок із застосуванням операцій осадки та ковальської витяжки є багато джерел. Так, зокрема, типові схеми кантувань та обтиснень процесу ковальської витяжки, розрахунки переходів, а також розрахунку процесу формозміни металу або розрахунку силових параметрів процесу осадки розглянуто в підручниках [2, 3].

Операція осадки перед операцією протяжки є дуже важливою, так як дозволяє досягти необхідного рівня укову металу. Уков за останній підігрів має важливе значення, так як він впливає на формування мікроструктури та механічних властивостей металу [4].

В наш час проводиться багато досліджень [5, 6, 7] по вдосконаленню технології процесу осадки для підвищення механічних властивостей металу, так як вирішальну роль в формуванні, необхідних споживачу, механічних властивостей надає виникаючий в процесі осадки напружено-деформований стан.

Методики для визначення впливу термічного розігріву металу при куванні приведені в роботі [8]. В цій роботі досліджено вплив термічного розігріву металу на рівень середніх нормальних напружень в зоні деформації, а експериментальне дослідження розрахунків, приведених в цій роботі, проведені зі злитками які мають велику масу та зроблені зі сталі 45.

Розподілення та інтенсивність деформації в середньому перерізі зони деформації в залежності від таких змінних факторів як ступінь деформації, відносна подача та кут вирізу нижнього бойка, наведені в роботі [9]. Також в цій роботі приведені дані проведеного експерименту та графічні залежності розрахунків розподілення та інтенсивності деформації.

В роботі [10] викладено принцип розрахунку та дана методика визначення напружень при протяжці заготовки в комбінованих та вирізних бойках. При розрахунку в цій роботі використані положення теорії функцій комплексних змінних та конформних відображень. Приведена методика дозволяє визначити напружений стан в поперечному перерізі круглої заготовки при протяжці в бойках різноманітної конфігурації та з різноманітними кутами вирізу при різних обтисненнях та коефіцієнтах тертя. Також методики розрахунку впливу кута вирізу нижнього бойка на напружено-деформований стан металу в зоні деформації розглянуто у підручнику [11].

Експериментальні дані про вплив технологічних параметрів процесу протяжки на якість поковок з титанових сплавів приведені в роботі [12]. Дослідження проводилися в умовах металургійного заводу, а заготовки були зроблені з титанового сплаву ВТ9 та відковувалися при варіюванні відносної подачі, кута кантування та одиничного обтиснення. Якість металу з різних експериментальних партій порівнювалася для визначення кращого співвідношення параметрів кування.

Титанові сплави все частіше використовуються в наш час із за їхніх фізичних та механічних властивостей, які перевищують показники звичайних та деяких легованих сталей. Тому дослідження впливу деформаційних параметрів при куванні титану, а саме процесі осадки перед протяжкою, є важливим для покращення технологічного процесу, а так як експериментальне визначення напружено-деформованого стану поковки при куванні є досить складним – було вирішено використати математичне моделювання для дослідження цього процесу.

Постановка задачі. Головною метою даної роботи є визначення впливу параметрів процесу осадки перед ковальською витяжкою на напружено-деформований стан поковки з метою поліпшення механічних властивостей.

Для моделювання процесу вільного кування в Forge 2008® були задані такі параметри:

- матеріал заготовки – титановий сплав ВТ6;
- діаметр заготовки 400 мм;
- фактор форми (h/D): 1; 2;
- ступінь деформації при осадці: 30 %; 50 %.

Також обрано оптимальний температурний інтервал для даного сплаву титану, який складає 1150 – 850 °С. Відповідно до технології кування титану необхідний підігрів інструменту для зменшення теплових витрат поковки. В даному випадку бойки підігріті до 300 °С. При моделюванні використовуються осадочні плити та комбіновані бойки – верхній плоский, а нижній вирізний. Розвал вирізу нижнього бойка становить 450 мм, а глибина вирізу – 160 мм.

Було запропоновано схему кантувань, яка представляє собою схему кантувань «по кільцю» із 16 обтисненнями, тобто первинне обтиснення, потім два обтиснення з кантуванням на 120°, потім три обтиснення з кантуванням на 60° і десять обтиснень з кантуванням на 15°. Сумарний ступінь деформації при протяжці складав 10 % за прохід, а відносна подача – 0,5.

Всього було промодельовано чотири процеси протяжки з попередньою осадкою заготовки, при яких змінювалися геометричні параметри заготовки та ступінь деформації при осадці. Таким чином отримано результати моделювання процесів з такими параметрами:

- висота заготовки 400 мм, ступінь деформації 30 %
- висота заготовки 800 мм, ступінь деформації 30 %
- висота заготовки 400 мм, ступінь деформації 50 %
- висота заготовки 800 мм, ступінь деформації 50 %

Ці результати моделювання було порівняно з результатами моделювання процесу протяжки заготовки з ідентичними параметрами описаними вище, але без попередньої осадки перед протяжкою заготовки.

Для аналізу результатів моделювання було зроблено нарізки поперечних перерізів заготовки

під час деформації. Нарізки виконано таким чином, як показано на рис. 1.

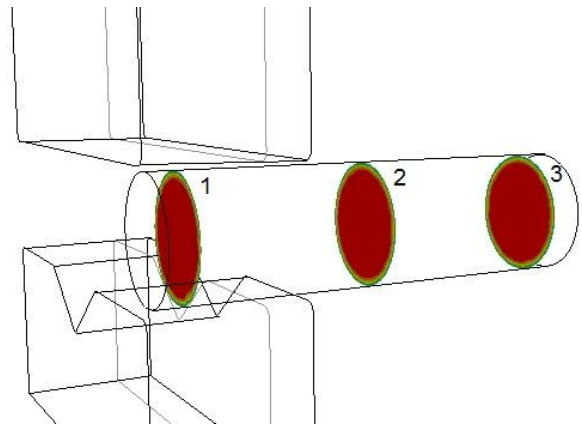
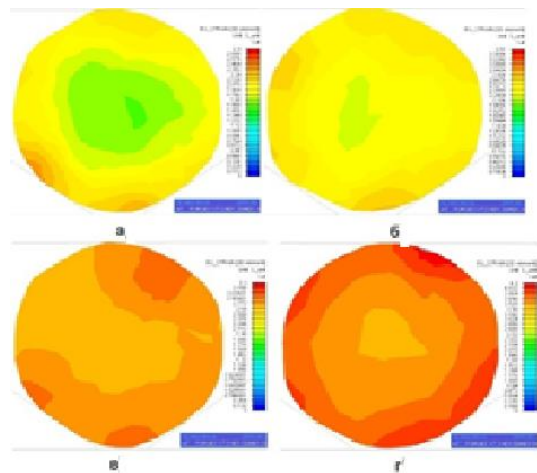


Рис. 1 – Поперечні перерізи на початку заготовки, в середині заготовки та в кінці заготовки

Рівномірність розподілення деформацій в металі визначається як можна меншою відмінністю показників деформації між собою в перерізі.

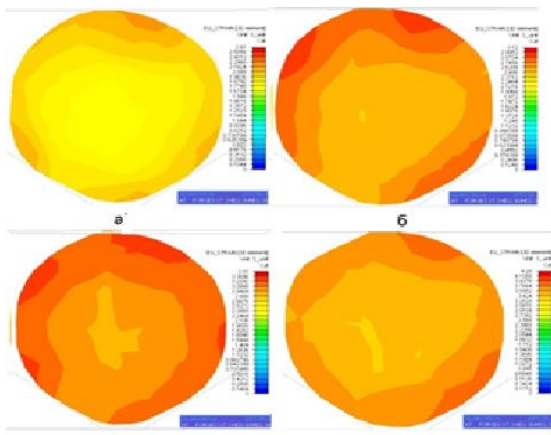
Для оцінки нерівномірності розподілення деформацій, яка представляє собою найменше відхилення показників еквівалентної деформації між собою в перерізі, був розрахований показник нерівномірності деформації K_n . Показник нерівномірності деформації може приймати значення не більше одиниці, так як є відношенням показників еквівалентної деформації в контрольних точках перерізу до максимального значення еквівалентної деформації в перерізі. В кожному перерізі побудовано чотири діагоналі, які розташовані під кутом 45° одна до одної. Далі на кожен діагональ було нанесено 6 контрольних точок симетрично до точки з максимальним значенням та симетрично до центру перерізу.

На рис. 2 та 3 приведено розподілення деформацій в третьому поперечному перерізі при першому та другому проході по довжині з попередньою осадкою заготовки.



а – $\epsilon = 30\%$, $h/D = 1$; б – $\epsilon = 30\%$, $h/D = 2$;
в – $\epsilon = 50\%$, $h/D = 1$; г – $\epsilon = 50\%$, $h/D = 2$

Рис. 2 – Розподілення деформацій при першому проході по довжині



а – $\epsilon = 30\%$, $h/D = 1$; б – $\epsilon = 30\%$, $h/D = 2$;
 в – $\epsilon = 50\%$, $h/D = 1$; г – $\epsilon = 50\%$, $h/D = 2$
 Рис. 3 – Розподілення деформацій при другому проході по довжині

Як видно з рис. 2 та 3 зі збільшенням фактора форми та ступеню деформації при осадці, збільшується і рівень еквівалентної деформації кінцевих показників при протяжці.

На рис. 4 приведено розподілення деформацій в третьому поперечному перерізі при першому та другому проході по довжині без попередньої осадки заготовки.

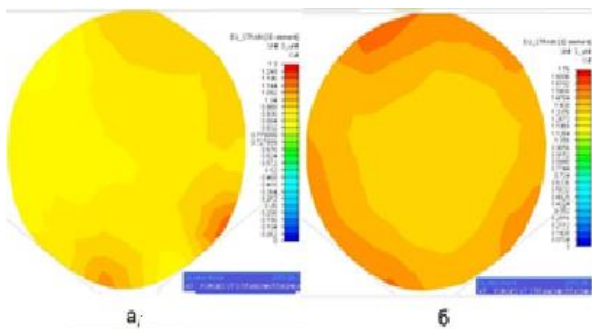


Рис. 4 – Розподілення деформацій у перерізі: а при першому та б – другому проході по довжині

При порівнянні результатів моделювання з попередньою осадкою та без неї, як видно з рисунків 2, 3 та 4, видно що при протяжці без попередньої осадки показники еквівалентної деформації нижчі ніж при протяжці з попередньою осадкою.

Більш детальний аналіз нерівномірності розподілення деформацій проведено за допомогою побудови графіків. На рис. 5 зображено показники нерівномірності деформації в контрольних точках на діагоналях перерізу при протяжці без попередньої осадки.

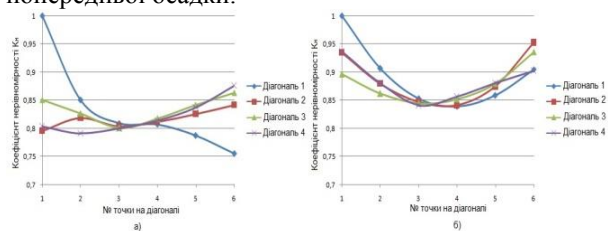
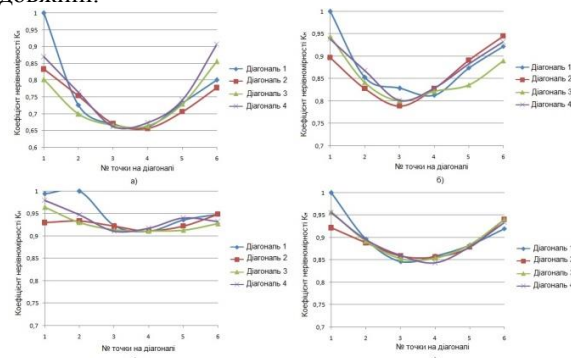


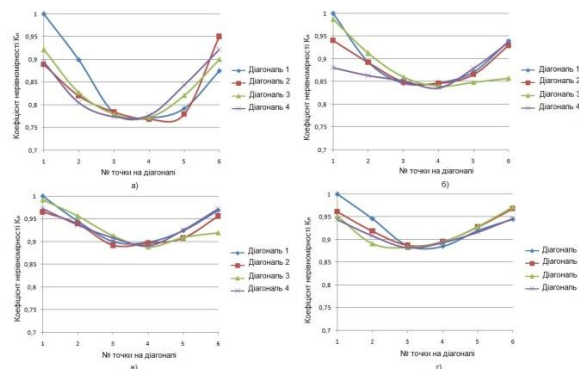
Рис. 5 – Розподілення показника нерівномірності деформації в перерізі при протяжці без попередньої осадки заготовки: а – за перший та б – за другий прохід

На рис. 6 та 7 зображено показники нерівномірності деформації в контрольних точках на діагоналях перерізу при протяжці з попередньою осадкою при першому та другому проході по довжині.



а – $\epsilon = 30\%$, $h/D = 1$; б – $\epsilon = 30\%$, $h/D = 2$;
 в – $\epsilon = 50\%$, $h/D = 1$; г – $\epsilon = 50\%$, $h/D = 2$

Рис. 6 – Розподілення показника нерівномірності деформації в перерізі при протяжці з попередньою осадкою заготовки за перший прохід



а – $\epsilon = 30\%$, $h/D = 1$; б – $\epsilon = 30\%$, $h/D = 2$;
 в – $\epsilon = 50\%$, $h/D = 1$; г – $\epsilon = 50\%$, $h/D = 2$

Рис. 7 – Розподілення показника нерівномірності деформації в перерізі при протяжці з попередньою осадкою заготовки за другий прохід

Таким чином, розглянувши графіки розподілення показника нерівномірності деформації, з рисунків 5, 6 та 7 видно, що зі збільшенням фактора форми та ступеню деформації при осадці рівномірність розподілення деформацій в поковці зростає. Також спостерігається зменшення нерівномірності розподілення деформацій в поковці при протяжці з попередньою осадкою ніж без неї.

Висновки проведеного дослідження.

1) Операція осадки перед операцією протяжки необхідна для збільшення укову і, як наслідок, необхідна для збільшення рівномірності розподілення деформацій в об'ємі металу поковки.

2) Фактор форми заготовки майже не впливає на кінцеві показники рівномірності розподілення деформацій в металі. Так, наприклад, при порівнянні результатів протяжки при осадці заготовки з фактором форми 1 та 2, більш рівномірне, хоча і незначне, розподілення деформацій присутне при $h/D = 2$.

3) Більший вплив на рівномірність розподілення деформацій має ступінь деформації при попередній осадці. Таким чином, як показали

результати моделювання, при збільшенні ступеню деформації при попередній осадці з 30 % до 50 % – рівномірність розподілення деформацій в об'ємі металу зросла.

Список літератури: 1. *Стасовський Ю.М.* Ресурсозбереження та екологія в процесах обробки металів тиском: Підручник / Ю.М. Стасовський, В.Л. Чухліб, В.В. Бояркін. – Дніпропетровськ: Пороги, 2013. – 353 с. 2. *Соколов Л.М.* Технологія кування: підручник для студентів вищих технічних навчальних закладів / Л.М. Соколов, І.С. Алієв, О.Є. Марков, Л.І. Алієва. – Краматорськ: ДДМА, 2011. – 268 с. 3. *Охрименко Я.М.* Теорія процесов ковки. Учеб. посібник для вузів / Я.М. Охрименко, В.А. Тюрин – М., «Высш. школа», 1977. 295 с. 4. *Титов Ю.А.* Свободная ковка. Основные операции и технологии : учебное пособие / Ю. А. Титов, А. Ю Титов. – Ульяновск: УлГТУ, 2011. – 73 с. 5. *Михалічев В.М.* Усовершенствование экспериментально-аналитической методики исследования напряженно-деформированного состояния боковой поверхности цилиндрических образцов при осесимметричной осадке / В.М. Михалічев, Ю.В. Добранюк, Е.А. Трач // Наукові праці ВНТУ. 2011. №4. С. 1–8. 6. *Антощенко Ю.М.* Исследование состояния металла при осесимметричной осадке средствами компьютерных технологий / Ю.М. Антощенко, И.М. Таупек [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://econf.rae.ru/article/8617> 7. *Жбанков Я.Г.* Определение рациональных параметров профилированных заготовок, подвергаемых осадке плоскими плитами / Я.Г. Жбанков, О.Е. Марков, Р.И. Сивак // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. 2013. №8. С. 8–15. 8. *Антощенко Ю.М.* Связь напряжений с тепловым состоянием металла при ковке // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. 2002. №5. С. 12–17. 9. *Мохов А.И.* Повышение качества деформированного металла при ковке крупных поковок валов / А.И. Мохов, В.С. Максимук, А.Ю. Петунин, С.И. Данилин // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. 1995. №5. С. 5–7. 10. *Назар'ян В.А.* Расчет напряженного состояния при ковке-протяжке заготовок круглого сечения // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. 1998. №6. С. 13–16. 11. *Кальченко П.П.* Новые технологические процессыковки крупных прессовых поковок : монография / П.П. Кальченко, О.Е. Марков – Краматорськ: ДГМА, 2014. – 100 с. 12. *Машеков С.А.* Влияние технологических параметровковки на качество заготовок из титановых сплавов / С.А. Машеков, В.А. Петров, А.В. Котелкин

// Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. 1991. №9. С. 4–5.

Bibliography (transliterated): 1. Stasovskyy Yu.M. Resursozberezhennya ta ekolohiya v protsesakh obrobky metaliv tyskom: Pidruchnyk / Yu.M. Stasovskyy, V.L. Chukhlib, V.V. Boyarkin. – Dnipropetrovsk: Porohy, 2013. – 353 p. 2. Sokolov L.M. Tekhnolohiya kuvannya: pidruchnyk dlya studentiv vyshchyykh tekhnichnykh navchal'nykh zakladiv / L.M. Sokolov, I.S. Aliyev, O.Ye. Markov, L.I. Aliyeva. – Kramators'k: DDMA, 2011. – 268 p. 3. Ohrimenko Ja.M. Teorija processov kovki. Ucheb. posobie dlja vuzov / Ja.M. Ohrimenko, V.A. Tjurin – Moscow: «Vyssh. shkola», 1977. 295 p. 4. Titov Ju.A. Svobodnaja kovka. Osnovnye operacii i tehnologii : uchebnoe posobie / Ju. A. Titov, A. Ju. Titov. – Ul'janovsk: UIGTU, 2011. – 73 p. 5. Mihalichev V.M. Usovershenstvovanie jeksperimental'no-analiticheskoy metodiki issledovanija naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija bokovoy poverhnosti cilindricheskikh obrazcov pri osesimmetrichnoj osadke / V.M. Mihalichev, Ju.V. Dobranjuk, E.A. Trach // Naukovi praci VNTU. 2011. №4. P. 1–8. 6. Antoshhenkov Ju.M. Issledovanie sostojanija metalla pri osesimmetrichnoj osadke sredstvami komp'yuternykh tehnologij / Ju.M. Antoshhenkov, I.M. Taupek [Elektronnij resurs] // Rezhim dostupu: <http://econf.rae.ru/article/8617> 7. Zhbakov Ja.G. Opredelenie racional'nyh parametrov profilirovannyh zagotovok, podvergaemyh osadke ploskimi plitami / Ja.G. Zhbakov, O.E. Markov, R.I. Sivak // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. 2013. №8. P. 8–15. 8. Antoshhenkov Ju.M. Svjaz' naprjazhenij s teplovym sostojaniem metalla pri kovke // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. 2002. №5. P. 12–17. 9. Mohov A.I. Povyshenie kachestva deformirovannogo metalla pri kovke krupnyh pokovok valov / A.I. Mohov, V.S. Maksimuk, A.Ju. Petunin, S.I. Danilin // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. 1995. №5. P. 5–7. 10. Nazar'jan V.A. Raschet naprjazhenogo sostojanija pri kovke-prjzhenke zagotovok kruglogo sечenija // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. 1998. №6. P. 13–16. 11. Kal'chenko P.P. Novye tehnologicheskie processy kovki krupnyh pressovyh pokovok.: monografija / P.P. Kal'chenko, O.E. Markov – Kramators'k: DGMA, 2014. – 100 p. 12. Mashekov S.A. Vlijanie tehnologicheskikh parametrov kovki na kachestvo zagotovok iz titanovyh splavov / S.A. Mashekov, V.A. Petrov, A.V. Kotelkin // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. 1991. №9. P. 4–5.

Поступила (received) 11.11.2015

Відомості про авторів / About the Authors

Чухліб Віталій Леонідович – кандидат технічних наук, доцент, Національна Металургійна Академія України, м. Дніпропетровськ, email: cv11@mail.ru. тел. +380957925592

Chukhlib Vitalii Leonidovich – Ph.D., Associate Professor, National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnepropetrovsk, email: cv11@mail.ru telephone: +380957925592

Клемешов Євген Сергійович – аспірант, Національна Металургійна Академія України, м. Дніпропетровськ, email: klemeshov.evgen@gmail.com, тел. +380505810879

Klemeshov Yevhen Serhiovych – graduate student, National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnepropetrovsk, email: klemeshov.evgen@gmail.com telephone: +380505810879

Гинкевич Володимир Олександрович – доктор технічних наук, професор, Національна Металургійна Академія України, м. Дніпропетровськ. Email: vgrin@a-teleport.com

Grinkevich Volodymyr Olexandrovych – PhD, professor, National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnepropetrovsk, email: vgrin@a-teleport.com

Дія Хенрік – доктор технічних наук, професор, Czestochowa University of Technology, м. Ченстохова, Польща. email: dyja@wip.pcz.pl

Henryk Dyja – PhD, professor, Czestochowa University of Technolog, Czestochowa, Poland, email: dyja@wip.pcz.pl

ЗМІСТ

<i>Алієв І. С., Маркова М. О., Злигорєв В. М., Ю. О. Ячмін</i> Розподіл інтенсивності деформацій при куванні бойками з випуклим профілем.....	7
<i>Бень І. В., Орлюк М. В.</i> Вплив параметрів сітки скінчених елементів при моделюванні процесу вирубування деталей в середовищі DEFORM 3D.....	11
<i>Бергеман Г. В., Самсоненко А. А., Ремез О. А., Зубко Ю. Ю.</i> Экспериментальные исследования комплексного влияния температурных и деформационных параметров прокатки на энергосиловые параметры процесса.....	15
<i>Боровик П. В., Селезнев М. Е.</i> Трехмерная модель процесса продольной резки на сдвоенных кромкообрезных ножницах с катящимся резом.....	21
<i>Грушко О. В., Слободянюк Ю. О.</i> Особенности формування показників якості обмідненого зварювального маловуглецевого дроту.....	25
<i>Загорянский В. Г., Дикая Л. Э.</i> Исследование электрических свойств медно-алюминиевых композиций, полученных плакированием взрывом.....	29
<i>Калюжний О. В.</i> Комбіноване витягування вісесиметричних виробів із алюмінію AL-3003 в двохконусній матриці спеціального профіля.....	34
<i>Корчак О. С.</i> Розробка систем гідроліній зворотних і врівноважуючих циліндрів гідравлічних пресів з насосно-акумуляторним приводом.....	38
<i>Кругляк Д. О.</i> Прокатка мідних сплавів з багатокомпонентними свс-покриттями...../.....	42
<i>Маковей В. О., Мельник В. С.</i> Профілювання довгомірних гвинтоподібних труб теплообмінників обкаткою роликами без використання оправки.....	45
<i>Максименко О. П., Лобойко Д. И.</i> Особенности оценки продольной устойчивости полосы в очаге деформации при прокатке с натяжением.....	49
<i>Михалевич В. М., Добрянюк Ю. В.</i> Аналітичний опис динаміки формозміни циліндричних заготовок під час торцевого стиснення.....	53
<i>Смирнов Е. Н., Серов А. И., Скляр В. А., Домбровский Е. О., Смирнов О. Е.</i> Исследование макроструктуры сортовой непрерывнолитой заготовки и поведения дефектов ее осевой зоны во время прокатки.....	57
<i>Тараненко М. Е.</i> Построение шкал кваліметрических показателей на примере зеркал антенн космической связи.....	62
<i>Хорольский В. Л.</i> Определение напряжений в процессе снятия фаски резкой в штампах на листовых заготовках перед сваркой.....	66
<i>Часов Д. П.</i> Визначення критичної частоти обертання шнеку гвинтового конвеєру з додатковими лопатями.....	74
<i>Чубенко В. А., Хіноцька А. А., Чубенко В. А.</i> Дослідження ефективності процесу виготовлення смуг безперервною розливкою у валкові ливарно-прокатні кліті.....	77
<i>Чухліб В. Л., Клемешов Є. С., Гринкевич В. О., Дия Х.</i> Аналіз впливу параметрів попередньої осадки та її відсутності на нерівномірність деформації при протяжці поковок з титанових сплавів.....	82
<i>Реферати</i>	87
<i>Рефераты</i>	90
<i>Abstracts</i>	93

РЕФЕРАТИ

УДК 621.735.36

Розподіл інтенсивності деформацій при куванні бойками з випуклим профілем / Алієв І. С., Маркова М. О., Злигорев В. М., Ячміль Ю. О. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 47 (1166). – С. 3–6. – Бібліогр.: 9 назв

Запропоновано новий технологічний процес кування пустотілих поковок вирізними бойками зі скосами. Досліджувалися різні кути скосів бойків (10° , 20° і 30°) і довжини горизонтальних ділянок цих бойків. При кутах скоса бойків в 10° і вузьких деформуючих крайках відбувається рівномірний розподіл деформацій в об'ємі поковки. Раціональною геометрією інструменту є бойки з кутом скосів $10...20^\circ$ і величиною подачі $b/D = 0,1$.

Ключові слова: кування, протягування, оправка, вирізні бойки, кут вирізу, кут скосу, ступінь деформації, величина подачі.

УДК 621.961.01

Вплив параметрів сітки скінчених елементів при моделюванні процесу виробування деталей в середовищі DEFORM 3D / Бень І. В., Орлюк М. В., // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 47 (1166). – С. 7–10. – Бібліогр.: 9 назв

В роботі досліджується вплив параметрів моделювання процесу виробування (пробивання) в програмному середовищі DEFORM 3D на достовірність результатів, для оцінки результатів використані експериментальні та теоретичні дані. Для порівняння обрано найбільш важливі параметри процесу завдяки яким можна провести аналіз. Відзначається значний вплив параметрів сітки скінчених елементів на результати моделювання, так для отримання достовірних результатів сітка має складатись із рівновісних елементів, ущільнених в осередку деформації.

Ключові слова: вирубка, комп'ютерне моделювання, DEFORM 3D, сітка скінчених елементів, критерій руйнування, деформація, компоненти напружень, перестроювання сітки, сколююча тріщина.

УДК 621.771

Експериментальні дослідження комплексного впливу температурних та деформаційних параметрів прокатки на енергосилові параметри процесу / Бергман Г. В., Самсоненко А. А., Ремез О. А., Зубко Ю. Ю. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 47 (1166). – С. 11–16. – Бібліогр.: 8 назв

В роботі проведено експериментальне дослідження спільного впливу температури початку прокатки і різних режимів деформації на зміну сили і моменту прокатки для умов гарячої прокатки квадратних зразків з пониженою температурою нагріву зі сталі СтЗпс на гладких валках. Розміри заготовки $25 \times 25 \times 200$ мм. Діаметр валків 205 мм. Довжина бочки валка 400 мм. Отримані дані про розподіл температури розкату, сили і моменту прокатки по проходах. Отримані якісні залежності вимірювання температури, сили і моменту прокатки по проходах. Результати вимірювання сили прокатки показали найменші значення сили прокатки для регресного режиму деформацій. Наведені у статті дані можуть бути використані для розрахунку енергосилових параметрів при проектуванні або удосконаленні клітей прокатних станів.

Ключові слова: гаряча прокатка, температура нагріву, режим деформацій, сила прокатки, момент прокатки.

УДК 621.967.2

Тривимірна модель процесу поздовжнього різання на здвосних кромкообрізних ножицях з різом що котиться / Боровік П. В., Селєзньов М. Є. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 47 (1166). – С. 17–20. – Бібліогр.: 8 назв

Розроблено тривимірну скінчено-елементну математичну модель що симулює обрізку бічних кромок смуг на ножицях з різом що котиться. На прикладі здвосних кромкообрізних ножиць стана 2800 ПАТ «Ашинський металургійний завод» (Росія) конструкції НКМЗ розглянуто процес поділу чотирьох марок сталі 45, 75, 28ХЗСНМВФА і 18Х2Н4ВА. Вказується, що при розрахунку максимальної товщини розрізуваних листів недостатньо враховувати тільки межу міцності сталі, що розрізається. Зроблені висновки, що запропонована модель сприятиме поглибленню уявлення про процес і розширенню сортаменту розрізуваних листів, а також дозволить знизити ймовірність перевантажень обладнання.

Ключові слова: ножиці з різом що котиться, поздовжня різка, поділ, лист, скінчено-елементна модель.

УДК 621.778

Особливості формування показників якості обмідненого зварювального маловуглецевого дроту / Грушко О. В., Слободянюк Ю. О. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 47 (1166). – С. 21–24. – Бібліогр.: 8 назв

Наведено порівняльну характеристику основних показників якості обмідненого зварювального дроту згідно основних світових діючих стандартів: радянського ГОСТ 2246-70, американського AWS A5.18:2005 та європейського ISO 14341:2009. Проаналізовано основні чинники, які формують якість обмідненого зварювального дроту та прокласифіковано на три групи: показники якості сировини, показники якості, що нормуються при виробництві дроту та показники якості пов'язані із технологічною спадковістю.

Ключові слова: обміднений зварювальний дріт, якість, стандарт, показники якості

УДК 621.791.13:620.179.18

Исследование электрических свойств медно-алюминиевых композиций, полученных плакированием взрывом / Загорянский В. Г., Дикая Л. Е. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 47 (1166). – С. 25–28. – Бібліогр.: 11 назв

Досліджено електричні властості мідно-алюмінієвих композицій, отриманих плакуванням вибухом. Отримано закономірність впливу відносини товщин шарів біметалу на його питомий електричний опір. Питомий електричний опір даного біметалу з відношенням товщин шарів міді до алюмінію 0,2...0,5 знаходиться між значеннями цього параметра для міді та алюмінію. Різниця між теоретичними та

експериментальними значеннями питомого електричного опору при збільшенні товщини біметалу зростає. Зі збільшенням частки плакуючого шару міді в загальній товщині біметалу теоретичний питомий електричний опір біметалу монотонно знижується, тенденція зменшення експериментальних значень також в основному зберігається, крім випадків максимальної товщини біметалу.

Ключові слова: мідно-алюмінієвий біметал, плакування вибухом, відношення товщин шарів, питомий електричний опір.

УДК 621.983

Комбіноване витягування вісесиметричних виробів із алюмінію AL-3003 в двохконусній матриці спеціального профіля / Калужний О. В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 47 (1166). – С. 29–33. – Библиогр.: 9 назв

Методом скінченних елементів проведений аналіз комбінованого витягування із алюмінію AL-3003 вісесиметричних виробів в двохконусній матриці спеціального профіля без притискача. При витягуванні заготовок різного діаметра з однаковою товщиною встановлені раціональні профілі деформуючих поверхонь матриць та величини мінімальних односторонніх зазорів між матрицею і пуансоном, при яких деформування проходить без руйнування та отримуються вироби з максимальною висотою. Моделюванням виявлені енергосилові режими витягування, кінцеві форми і розміри виробів та напружено-деформований стан в здеформованих заготовках. Використання матриці спеціального профіля дозволяє зменшити кількість переходів витягування в порівнянні з традиційною двохконусною матрицею.

Ключові слова: комбіноване витягування, двохконусна матриця спеціального профіля, зазор між матрицею і пуансоном, комп'ютерне моделювання, метод скінченних елементів, зусилля витягування, форма і розміри виробів, ресурс пластичності здеформованого металу.

УДК 621.733

Розробка систем гідроліній зворотних і врівноважуючих циліндрів гідравлічних пресів з насосно-акумуляторним приводом / Корчак О. С. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 47 (1166). – С. 34–37. – Библиогр.: 12 назв

Розглянуті основні фактори, що визначають швидкісні параметри та якість керування системами гідроліній зворотних і врівноважуючих циліндрів гідравлічних пресів з насосно-акумуляторним приводом. Наведено схему швидкодіючої системи керування зворотними та врівноважуючими циліндрами. Викладено методику підбору її параметрів, що дозволяє досягти підвищені значення коефіцієнта якості гідросистеми. Надано практичні рекомендації зі створення швидкодіючих систем керування гідравлічними пресами з насосно-акумуляторним приводом для реалізації у виробництві.

Ключові слова: прес гідравлічний, циліндр, клапан регулюючий, гідролінія, привод, акумулятор

УДК 621.771.06

Прокатка мідних сплавів з багатокомпонентними СВС-покриттями / Кругляк Д. О. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 47 (1166). – С. 38–41. – Библиогр.: 6 назв

У статті представлений спосіб одержання хромоалюмосиліційованих і титаноалюмосиліційованих захисних покриттів на мідних сплавах в умовах саморозповсюджувального високотемпературного синтезу з наступною прокаткою. У роботі проведені дослідження з визначення оптимальних умов обтиснення прокатки мідних сплавів з захисними покриттями.

Особливістю процесу холодної прокатки заготовів мідних сплавів з дифузійними багатокомпонентними захисними покриттями є істотна пошарова анізотропія механічних властивостей, а також висока міцність з'єднання шарів, що підвищує рівень взаємного впливу компонентів, що деформуються, і що впритул наближає величину коефіцієнта міжшарового тертя до теоретичного максимуму.

Ключові слова: саморозповсюджувальний високотемпературний синтез, прокатка, обтиснення, захисне покриття, деформація, низька пластичність, мідні сплави.

УДК: 21.983.3.001 – 621. 983.7.004

Профілювання довгомірних гвинтоподібних труб теплообмінників обкаткою роликми без використання оправки / Макowej В. О., Мельник В. С. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 47 (1166). – С. 42–44. – Библиогр.: 5 назв

Розглянуті дві технології та оснащення для виготовлення довгомірних гвинтоподібних трубок теплообмінників довжиною 2...4 м без використання оправки шляхом деформування одночасно двома обкатними головками та методом профілювання гвинтових канавок обкатною головкою з планетарним обертанням роликів при переміщенні труби в осьовому напрямку, проведено ряд експериментальних досліджень і встановлена можливість виготовлення якісних гвинтових профілів на трубах теплообмінників з латуні та алюмінієвого сплаву глибиною до 1,5 мм за 1 прохід, що достатньо для підвищення теплопередачі на 30...50%. Виконано порівняння гвинтоподібних труб отриманих за цими технологіями та перевірена можливість отримання таких виробів при багато перехідному профілюванні. Встановлено, що багато перехідне профілювання не призводить до позитивного ефекту.

Ключові слова: трьохроликми обкатна головка, однороликми обкатна головка, гвинтоподібна труба, гвинтова канавка, теплообмінник.

УДК. 621. 771. 01

Особливості оцінки продольної устойчивости полосы в очаге деформации при прокатке с натяжением / Максименко О. П., Лобойко Д. И. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 47 (1166). – С. 45–48. – Библиогр.: 3 назви

Запропоновано методику оцінки поздовжньої стійкості процесу прокатки з натягом. На основі нової методики по дослідним даним був проведений аналіз впливу заднього натягу на поздовжню стійкість процесу прокатки. Аналіз показав, що зі збільшенням заднього натягу результуюча поздовжніх сил за абсолютною величиною зменшується і, отже, знижується стійкість процесу прокатки. Результат роботи показує, що необхідно враховувати величину середньої результуючої внутрішніх сил при призначенні режимів натягу штаби особливо в випадках безперервної прокатки.

Ключові слова: натяг, поздовжня стійкість, осередок деформації, безперервна прокатка.

УДК 621.7:519.85

Аналітичний опис динаміки формозміни циліндричних заготовок під час торцевого стиснення / Михалевич В. М., Добрянюк Ю. В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 47 (1166). – С. 49–52. – Бібліогр.: 10 назв

У цій праці розроблено методику побудови математичної моделі динаміки формозміни бічної поверхні циліндричної заготовки під час торцевого стиснення із бочкоутворенням. На основі розробленої методики отримано аналітичний опис динаміки формозміни циліндричних заготовок під час деформування та розроблено рекомендації стосовно експериментального визначення його параметрів. Показано, що отримана модель динаміки формозміни може бути покладена в основу удосконаленої методики експериментально-аналітичного дослідження процесу торцевого стиснення.

Ключові слова: торцеве стиснення, формозміна, бічна поверхня, циліндрична заготовка, коефіцієнт тертя, нестационарне деформування.

УДК 621.771.25

Исследование макроструктуры сортовой непрерывнолитой заготовки и поведения дефектов ее осевой зоны во время прокатки / Смирнов Е. Н., Серов А. И., Скляр В. А., Домбровский Е. О., Смирнов О. Е. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 47 (1166). – С. 53–57. – Бібліогр.: 12 назв

Наведено результати заводських досліджень мікроструктури сортової безперервнолітої сортової заготовки із сталей 45 і У7. Встановлено, що, не дивлячись на в цілому досить високу якість макроструктури, в осевій зоні присутня пористість і ліквіація яка призводить до проблем при подальшій прокатці. З урахуванням виявлених дефектів осевої зони, розроблена математична модель і досліджено процес прокатки безперервнолітої заготовки в обтискній кліті.

Ключові слова: сортова заготовка, макроструктура, моделювання, осьова пористість, охолодження, прокатка.

УДК 621.983.044:658.56(075.8)

Построение шкал квалиметрических показателей на примере зеркал антенн космической связи / Тараненко М. Е. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 47 (1166). – С. 58–61. – Бібліогр.: 3 назви

У статті запропоновано підхід до побудови шкал параметрів якості групи таких властивостей, як товщина деталі, використовуваний матеріал і складність геометричної форми, що визначають технологічність великогабаритної листоштампованої деталі. Виконана спроба порівняння значення комплексного показника якості технологічності дзеркала антени космічному зв'язку з її радіотехнічними характеристиками. Проаналізований вплив механічних властивостей сучасних високоміцних сплавів на показники якості штампування.

Ключові слова: показники якості, технологічність, великогабаритні листоштамповані деталі.

УДК 621.77.0141

Визначення напружень у процесі зняття фаски різанням у штампах на листових заготовках перед зварюванням / Хорольський В. Л. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 47 (1166). – С. 62–69. – Бібліогр.: 17 назв

Розглянуто основні прогресивні методи розділення скосів і зняття фасок на листових заготовках перед зварюванням. Визначено напружено-деформований стан системи «ніж-заготовка» в штампах з симетричним навантаженням і штампах з ковзаючим пуансоном. Здійснено вибір більш раціональної схеми різання по найменшим навантаженням, що діють на інструмент. Проведено розрахунок бандажування при використанні твердосплавних вирубних матриць.

Ключові слова: різання, штамп, напружено-деформований стан, ковзний пуансон, метод скінчених елементів.

УДК 621.867.427

Визначення критичної частоти обертання шнеку гвинтового конвєсєру з додатковими лопатями / Часов Д. П. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 47 (1166). – С. 70–72. – Бібліогр.: 6 назв

Виконано аналіз сил та параметрів, що впливають на величину критичної частоти обертання шнеку з додатковими лопатями. Досліджено критичні частоти обертання із умов не перекидання стружки за вертикальну вісь конвєсєра на інший бік струмка і взаємозв'язку із піднімально-рушійною силою та наповненням жолоба. Отримана графічна залежність критичної частоти обертання шнеку від кута атаки додаткових лопатей. Розроблена математична залежність для визначення критичної частоти обертання шнеку гвинтового конвєсєру з додатковими лопатями.

Ключові слова: додаткова лопать, кут атаки, критична частота обертання, шнек.

УДК 621.7

Дослідження ефективності процесу виготовлення смуг безперервною розливкою у валковій ливарно-прокатній кліті / Чубенко В. А., Хіноцька А. А., Чубенко В. А. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 47 (1166). – С. 73–79. – Бібліогр.: 10 назв

Пропонується удосконалення процесу виготовлення смуг безперервною валковою розливкою. Досліджена нова конструкція ливарно-прокатної кліті, де на валки напесовують буртики та насипають здрібнену чавунну стружку з метою використання суспензійного розлиття рідкої сталі. Це дозволяє надійно утримувати рідкий метал на валках-кристалізаторах. Розроблена технологія дозволяє збільшити швидкість кристалізації рідкого металу в умовах безперервної валкової розливки рідкої сталі та зменшити час кристалізації на 18-20 % в порівнянні з розливанням без використання суспензії. Такий процес приводить до зменшення витрат рідкого металу і до збільшення випуску готової продукції, дозволяє підвищити продуктивність процесу та зменшити собівартість виробництва.

Ключові слова: валкова безперервна розливка сталі, ливарно-прокатна кліть, суспензійна розливка, кристалізація металу, швидкість охолодження, технологія розливки, вихід готового продукту.

УДК 621.7

Аналіз впливу параметрів попередньої осадки та її відсутності на нерівномірність деформації при протяжці поковок з титанових сплавів / Чухліб В. Л., Клемешов Є. С., Гринкевич В. О, Дия Х. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії – Харків: НТУ «ХП». – 2015. – № 47 (1166). – С. 79–82. – Бібліогр.: 12 назв

Розглянуто дослідження впливу характеристик параметрів процесу попередньої осадки перед операцією ковальської витяжки, на схему напружено-деформованого стану заготовок з титанових сплавів за допомогою математичного моделювання. Результатом дослідження є графічні залежності показника нерівномірності деформації. При аналізі результатів моделювання виявлено позитивний вплив операції осадки перед протяжкою, а саме те, що зі збільшенням ступеню деформації при осадці підвищується рівномірність розподілення деформацій в об'ємі металу, на відміну від протяжки без попередньої осадки.

Ключові слова: осадка; протяжка; титан; фактор форми; розподілення деформацій; показник нерівномірності деформації

РЕФЕРАТЫ

УДК 621.735.36

Распределение интенсивности деформаций при ковке бойками с выпуклым профилем / Алиев И. С., Маркова М. А., Злыгорев В. М., Ячмень Ю. О. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії – Харків: НТУ «ХП». – 2015. – № 47 (1166). – С. 3–6. – Бібліогр.: 9 назв

Предложен новый технологический процессковкипустотелыхпоковоквырезнымибойками со скосами. Исследовались различные углы скосов бойков (10°, 20° и 30°) и длины горизонтальных участков этих бойков. При углах скоса бойков в 10° и узких деформирующих кромках происходит равномерное распределение деформаций в объеме поковки. Рациональной геометрией инструмента являются бойки с углом скосов 10...20° и величиной подачи $b/D = 0,1$.

Ключевые слова: ковка, протяжка, оправка, вырезные бойки, угол выреза, угол скоса, степень деформации, величина подачи.

УДК 621.961.01

Влияние параметров сетки конечных элементов при моделировании процесса вырубкидеталей в среде DEFORM 3D / Бень И. В., Орлюк М.В. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії – Харків: НТУ «ХП». – 2015. – № 47 (1166). – С. 7–10. – Бібліогр.: 9 назв

В работе исследуется влияние параметров моделирования процесса вырубкисеткой (пробивки) в программной среде DEFORM 3D на достоверность результатов, для оценки результатов использованы экспериментальные и теоретические данные. Для сравнения выбраны наиболее важные параметры процесса, благодаря которым можно провести анализ. Отмечается значительное влияние параметров сетки конечных элементов на результаты моделирования, так для получения достоверных результатов сетка должна состоять из равноосных элементов, уплотненных в очаге деформации.

Ключевые слова: вырубка, компьютерное моделирование, DEFORM 3D, сетка конечных элементов, критерий разрушения, деформация, компоненты напряжений, перестроение сетки, скалывающая трещина.

УДК 621.771

Экспериментальные исследования комплексного влияния температурных и деформационных параметров прокатки на энергосиловые параметры процесса // Бергеман Г. В., Самсоненко А. А., Ремез О. А., Зубко Ю. Ю. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії – Харків: НТУ «ХП». – 2015. – № 47 (1166). – С. 11–16. – Бібліогр.: 8 назв.

В работе проведено экспериментальное исследование совместного влияния температуры начала прокатки и различных режимов деформации на изменение силы и момента прокатки для условий горячей прокатки квадратных образцов с пониженной температурой нагрева из стали Ст3пс на гладких валках. Размеры заготовки 25×25×200 мм. Диаметр валков 205 мм. Длина бочки валка 400 мм. Получены данные о распределении температуры раската, силы и момента прокатки по проходам. Получены качественные зависимости измерения температуры, силы и момента прокатки по проходам. Результаты измерения силы прокатки показали наименьшие значения силы прокатки для убывающего режима деформаций. Приведенные в статье данные могут быть использованы для расчета энергосиловых параметров при проектировании или усовершенствовании клетей прокатных станов.

Ключевые слова: горячая прокатка, температура нагрева, режим деформаций, сила прокатки, момент прокатки.

УДК 621.967.2

Трехмерная модель процесса продольной резки на сдвоенных кромкообрезных ножницах с катящимся резом / Боровик П. В., Селезнев М. Е. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії – Харків: НТУ «ХП». – 2015. – № 47 (1166). – С. 17–20. – Бібліогр.: 8 назв.

Разработана трехмерная конечно-элементная математическая модель симулирующая обрезку боковых кромок полос на ножницах с катящимся резом. На примере сдвоенных кромкообрезных ножниц стана 2800 ПАО «Ашинский металлургический завод» (Россия) конструкции НКМЗ рассмотрен процесс разделения четырех марок стали 45, 75, 28Х3СНМВФА и 18Х2Н4ВА. Указывается, что при расчете максимальной толщины разрезаемых листов недостаточно учитывать только предел прочности разрезаемой стали. Сделаны выводы, что предложенная модель будет способствовать углублению представления о процессе и расширению сортамента разрезаемых листов, а также позволит снизить вероятность перегрузок оборудования.

Ключевые слова: ножницы с катящимся резом, продольная резка, разделение, лист, конечно-элементная модель.

УДК 621.778

Особенности формирования показателей качества омедненной сварочной малоуглеродистой проволоки / Грушко О. В., Слободянюк Ю. О. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії – Харків: НТУ «ХП». – 2015. – № 47 (1166). – С. 21–24. – Библиогр.: 8 назв

Приведена сравнительная характеристика основных показателей качества омедненной сварочной проволоки согласно основных мировых действующих стандартов: советского ГОСТ 2246-70, американского AWS A5.18:2005 и европейского ISO 14341:2009. Проанализированы основные факторы, которые формируют качество омедненной сварочной проволоки и проклассифицировано на три группы: показатели качества сырья, показатели качества, которые нормируются при производстве проволоки и показатели качества связаны с технологической наследственностью.

Ключевые слова: омедненная сварочная проволока, качество, стандарт, показатели качества.

УДК 621.791.13:620.179.18

Исследование электрических свойств медно-алюминиевых композиций, полученных плакированием взрывом / Загорянский В. Г., Дикая Л. Э. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії – Харків: НТУ «ХП». – 2015. – № 47 (1166). – С. 25–28. – Библиогр.: 11 назв

Исследованы электрические свойства медно-алюминиевых композиций, полученных плакированием взрывом. Получена закономерность влияния отношения толщин слоев биметалла на его удельное электрическое сопротивление. Удельное электрическое сопротивление данного биметалла с отношением толщин слоев меди к алюминию 0,2...0,5 находится между значениями этого параметра для меди и алюминия. Разность между теоретическими и экспериментальными значениями удельного электрического сопротивления при увеличении толщины биметалла возрастает. С увеличением доли плакирующего слоя меди в общей толщине биметалла теоретическое удельное электрическое сопротивление биметалла монотонно понижается, тенденция уменьшения экспериментальных значений также в основном сохраняется, кроме случаев максимальной толщины биметалла.

Ключевые слова: медно-алюминиевый биметалл, плакирование взрывом, отношение толщин слоев, удельное электрическое сопротивление.

УДК 621.983

Комбинированная вытяжка осесимметричных изделий из алюминия AL-3003 в двухконусной матрице специального профиля / Калужный А. В. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії – Харків: НТУ «ХП». – 2015. – № 47 (1166). – С. 29–33. – Библиогр.: 9 назв

Методом конечных элементов проведен анализ комбинированной вытяжки из алюминия AL-3003 осесимметричных изделий в двухконусной матрице специального профиля без прижима. При вытяжке заготовок разного диаметра с одинаковой толщиной установлены рациональные профили деформирующих поверхностей матриц и величины минимальных односторонних зазоров между матрицей и пуансоном, при которых деформирование происходит без разрушения и изделия получаются с максимальной высотой. Моделированием выявлены энергосиловые режимы вытяжки, конечные формы и размеры изделий и напряженно-деформированное состояние с деформированных заготовок. Использование матрицы специального профиля позволяет сократить количество переходов вытяжки по сравнению с традиционной двух конусной матрицей.

Ключевые слова: комбинированная вытяжка, двухконусная матрица специального профиля, зазор между матрицей и пуансоном, компьютерное моделирование, метод конечных элементов, усилие вытяжки, форма и размеры изделий, ресурс пластичности деформированного металла.

УДК 621.733

Корчак Е.С. Разработка систем гидролиний возвратных и уравновешивающих цилиндров гидравлических прессов с насосно-аккумуляторным приводом // Вісник НТУ «ХП». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії – Харків: НТУ «ХП». – 2015. – № 47 (1166). – С. 34–37. – Библиогр.: 12 назв

Рассмотрены основные факторы, определяющие скоростные параметры и качество управления системами гидролиний возвратных и уравновешивающих цилиндров гидравлических прессов с насосно-аккумуляторным приводом. Приведена схема быстродействующей системы управления возвратными и уравновешивающими цилиндрами. Изложена методика подбора ее параметров, позволяющая достичь повышенных значений коэффициента качества гидросистемы. Даны практические рекомендации по созданию быстродействующих систем управления гидравлическими прессами с насосно-аккумуляторным приводом для реализации в производстве.

Ключевые слова: пресс гидравлический, цилиндр, клапан регулирующий, гидролиния, привод, аккумулятор.

УДК 621.771.06

Прокатка медных сплавов с многокомпонентными СВС-покрытиями / Кругляк Д. О. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії – Харків: НТУ «ХП». – 2015. – № 47 (1166). – С. 38–41. – Библиогр.: 6 назв

В статье представлен способ получения хромоалюмосилицированных и титаноалюмосилицированных защитных покрытий на медных сплавах в условиях самораспространяющегося высокотемпературного синтеза с последующей прокаткой. В работе проведены исследования по определению оптимальных условий обжата прокатки медных сплавов с защитными покрытиями.

Особенностью процесса холодной прокатки медных сплавов с диффузионными многокомпонентными защитными покрытиями является послыпная анизотропия механических свойств, а также высокая прочность соединения слоев, что повышает уровень взаимного влияния компонентов, которые деформируются и приближают величину коэффициента межслойного трения к теоретическому максимуму.

Ключевые слова: самораспространяющийся высокотемпературный синтез, прокатка, обжатие, защитное покрытие, деформация, низкая пластичность, медные сплавы.

УДК: 21.983.3.001 – 621.983.7.004

Профилирование длинномерных винтообразных труб теплообменников обкаткой роликами без использования оправки / Маковой В. О, Мельник В. С. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 47 (1166). – С. 42–44. – Бібліогр.: 5 назв

Рассмотрены две технологии и оснастка для изготовления длинномерных винтообразных трубок теплообменников длиной 2...4 м без использования оправок путем деформирования одновременно двумя обкатными головками и методом профилирования винтовых канавок обкатной головкой с планетарным вращением роликов при перемещении трубы в осевом направлении, проведено ряд экспериментальных исследований и установлена возможность изготовления качественных винтовых профилей на трубах теплообменников из латуни и алюминиевого сплава глубиной до 1,5 мм за проход, чего достаточно для увеличения теплопередачи на 30...50%

Ключевые слова: трехроликковая обкатная головка, однороликковая обкатная головка, винтообразная труба, винтовая канавка, теплообменник.

УДК. 621.771.01

Особенности оценки продольной устойчивости полосы в очаге деформации при прокатке с натяжением / Максименко О. П., Лобойко Д. И. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 47 (1166). – С. 45–48. – Бібліогр.: 3 назви

Предложена методика оценки продольной устойчивости процесса прокатки с натяжением. На основе новой методики по опытным данным был проведен анализ влияния заднего натяжения на продольную устойчивость процесса прокатки. Анализ показал, что с увеличением заднего натяжения результирующая продольных сил по абсолютной величине уменьшается и, следовательно, снижается устойчивость процесса прокатки. Результат работы показывает, что необходимо учитывать величину средней результирующей внутренних сил при назначении режимов натяжения полосы особенно в случаях непрерывной прокатки.

Ключевые слова: натяжение, продольная устойчивость, очаг деформации, непрерывная прокатка.

УДК 519.2

Аналитическое описание динамики формоизменения цилиндрических заготовок при торцевом сжатии / Михалевиц В. М., Добрянко Ю. В. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 47 (1166). – С. 49–52. – Бібліогр.: 10 назв

В этой работе разработана методика построения математической модели динамики формоизменения боковой поверхности цилиндрической заготовки при торцевом сжатии с бочкообразованием. На основе разработанной методики получено аналитическое описание динамики формоизменения цилиндрических заготовок при деформировании и разработаны рекомендации для экспериментального определения его параметров. Показано, что полученная модель динамики формоизменения может быть положена в основу усовершенствованной методики экспериментально-аналитического исследования процесса торцевого сжатия.

Ключевые слова: торцевая осадка, формоизменение, боковая поверхность, цилиндрическая заготовка, коэффициент трения, нестационарное деформирование.

УДК 621.771.25

Исследование макроструктуры сортовой непрерывнолитой заготовки и поведения дефектов ее осевой зоны во время прокатки / Смирнов Е. Н., Серов А. И., Скляр В. А., Домбровский Е. О., Смирнов О. Е. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 47 (1166). – С. 53–57. – Бібліогр.: 12 назв

Приведены результаты заводских исследований макроструктуры сортовой непрерывнолитой сортовой заготовки из сталей 45 и У7. Установлено, что, не смотря на в целом достаточно высокое качество макроструктуры, в осевой зоне присутствует пористость и ликвация которая приводит к проблемам при последующей прокатке. С учетом выявленных дефектов осевой несплошности, разработана математическая модель и исследован процесс прокатки непрерывнолитой заготовки в обжимной клетке.

Ключевые слова: сортовая заготовка, макроструктура, моделирование, осевая пористость, охлаждение, прокатка.

УДК 621.983.044:658.56(075.8)

Построение шкал квалиметрических показателей на примере зеркал антенн космической связи / Тараненко М.Е. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 47 (1166). – С. 58–61. – Бібліогр.: 3 назви

В статье предложен подход к построению шкал параметров качества группы таких свойств, как толщина детали, используемый материал и сложность геометрической формы, определяющие технологичность крупногабаритной листоштампованной детали. Выполнена попытка сравнения значения комплексного показателя качества технологичности зеркала антенны космической связи с ее радиотехническими характеристиками. Проанализировано влияние механических свойств современных высокопрочных сплавов на показатели качества штамповки.

Ключевые слова: показатели качества, технологичность, крупногабаритные листоштампованные детали.

УДК 621.77.0141

Определение напряжений в процессе снятия фаски резкой в штампах на листовых заготовках перед сваркой / Хорольский В. Л. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 47 (1166). – С. 62–69. – Бібліогр.: 17 назв

Рассмотрены основные прогрессивные методы разделки скосов и снятия фасок на листовых заготовках перед сваркой. Определено напряженно-деформированное состояние системы «нож-заготовка» в штампах с симметричным нагружением и штампах со скользящим пуансоном. Осуществлен выбор более рациональной схемы резки по наименьшим нагрузкам, действующим на инструмент. Проведен расчет бандажирования при использовании твердосплавных вырубных матриц.

Ключевые слова: резка, штамп, напряженно-деформированное состояние, скользящий пуансон, метод конечных элементов

УДК 621.867.427

Определение критической частоты вращения шнека винтового конвейера с дополнительными лопастями / Часов Д. П. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 47 (1166). – С. 70–72. – Бібліогр.: 6 назв

Выполнен анализ сил и параметров, влияющих на величину критической частоты вращения шнека с дополнительными лопастями. Исследованы критические частоты вращения с условиях не опрокидывания стружки за вертикальную ось конвейера на другую сторону ручья и взаимосвязи с подъемно-движущей силой и наполнением желоба. Полученная графическая зависимость критической частоты вращения шнека от угла атаки дополнительных лопастей. Разработана математическая зависимость для определения критической частоты вращения шнека винтового конвейера с дополнительными лопастями.

Ключевые слова: дополнительная лопасть, угол атаки, критическая частота вращения, шнек.

УДК 621.7

Исследование эффективности процесса изготовления полос непрерывной разливкой в валковые литейно-прокатные клетки/ Чубенко В. А., Хиноцкая А. А., Чубенко В. А. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 47 (1166). – С. 73–78. – Бібліогр.: 10 назв

Предложено усовершенствовать процесс изготовления полос непрерывной валковой разливкой. Исследована новая конструкция литейно-прокатной клетки, где на валки напрессованы буртики и насыпана измельченная чугуная стружка с целью использования суспензионной разливки жидкой стали. Это дает возможность надежно удерживать жидкий металл на валках-кристаллизаторах. Разработанная технология позволяет увеличить скорость кристаллизации жидкого металла при непрерывной валковой разливке и уменьшить время кристаллизации на 18-20 % по сравнению с разливкой без использования суспензии. Такой процесс приводит к уменьшению расхода жидкого металла и к увеличению выпуска готового продукта, позволяет увеличить производительность процесса и уменьшить себестоимость производства.

Ключевые слова: валковая непрерывная разливка стали, литейно-прокатная клетка, суспензионная разливка, кристаллизация металла, скорость охлаждения, технология разливки, выход готового продукта.

УДК 621.7

Анализ влияния параметров предварительной осадки и ее отсутствия на неравномерность деформации при протяжке поковок из титановых сплавов / Чухлеб В. Л., Клемешов Е. С., Гринкевич В. А., Дьяч Х. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії – Харків: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 47 (1166). – С. 79–82. – Бібліогр.: 12 назв

Рассмотрены исследования влияния характеристик параметров процесса предварительной осадки перед операцией кузнечной вытяжки, на схему напряженно-деформированного состояния заготовок из титановых сплавов с помощью математического моделирования. Результатом исследования являются графические зависимости показателя неравномерности деформации. При анализе результатов моделирования выявлено положительное влияние операции осадки перед протяжкой, а именно то, что с увеличением степени деформации при осадке повышается равномерность распределения деформаций в объеме металла, в отличие от протяжки без предварительной осадки.

Ключевые слова: осадка; протяжка; титан; фактор формы; распределение деформаций; показатель неравномерности деформации.

ABSTRACTS

The distribution of deformation intensity at forging dies with convex profile / Aliiev I. S., Markova M. O., Zligorcov V. M., Yachmin Yu. O. // Bulletin of NTU «KhPI». Series: Innovative technologies and equipment handling materials in mechanical engineering and metallurgy. – Kharkiv: NTU «KhPI» – 2015. – № 47 (1166). – P. 3–6. – Bibliogr.: 9

A new process of forging hollow forgings by cut-out dies with bevels was proposed. Simulation of the forging process using finite element method has allowed to establish the strain distribution and the mechanism of forming of the workpiece and closing of the hollow for the new technology for a new tool geometry. Various angles of the dies bevels (equal to 10, 20 and 30 degrees), value of the feed and the horizontal length of the dies have being studied. It was found the general rule for the investigated schemes forging is that when broaching hollow workpieces with a hole diameter $d_0 / D = 0,1$ occurs closing of the hole at reduction of more than 40%. At the dies bevel angles of 10° and the narrow deforming-edges there is a uniform distribution of the stain in the forging volume. Rational geometry of a tool is truncated dies with the bevels angle $10...20^\circ$ and the amount of feed $d_0 / D = 0,1$. The waviness of the hole surface does not exceed the allowance for machining, that will ensure obtaining predetermined size without forging mandrel. Intensity closing of the holes is the same for different reductions for regular size ratios of the workpiece. For the relative hole of diameter workpiece $d_0 / D = 0,1$ the rational for uniform strain distribution and less degree of the closing is angle $\alpha = 90^\circ$ at an angle of bevel $\beta = 20^\circ$. The hole of the workpiece closing at reduction more than 40%, it's the using of scheme forging workpieces with hollow mandrel at a thick wall ($d_0 / D = 0,1$). The waviness of the hole surface does not exceed the allowance for machining, that will ensure obtaining predetermined size without forging mandrel.

Keywords: forging, drawing, mandrel, concave dies, angle concave, bevel angle, degree of deformation, feed rate.

The influence of parameters of finite element mesh in the simulation of the blanking (punching) process of details in DEFORM 3D software/ Ben I. V., Orlyuk M. V. // Bulletin of NTU «KhPI». Series: Innovative technologies and equipment handling materials in mechanical engineering and metallurgy. – Kharkiv: NTU «KhPI» – 2015. – № 47 (1166). – P. 7–10. – Bibliogr.: 9

The theoretical research of the influence of parameters modeling the process of cutting (punching) in DEFORM 3D software environment on the reliability of the results is described in the article. For an estimation of the results experimental and theoretical data is used. In order to make a comparison the most important parameters of the process, which can enable carrying out an analysis, were chosen. A significant effect of the parameters of finite elements mesh on the simulation results is mentioned. In that way, to obtain reliable results, the mesh should consist of equiaxed elements which are compacted in the deformation zone.

Keywords: cutting, computer simulation, DEFORM 3D, finite elements mesh, the criterion of destruction, deformation, stress components, meshing, shear bursting.

Experiential investigation complex influence of temperature and deformation parameters of rolling on power parameters of process // Bergeman G. V., Samsonenko A. A., Remez O. A., Zubko Y. Y. // Bulletin of NTU «KhPI». Series: Innovative technologies and equipment handling materials in mechanical engineering and metallurgy. – Kharkiv: NTU «KhPI» – 2015. – № 47 (1166). – P. 11–16. – Bibliogr.: 8

In the research an experimental investigation of complex influence temperature of beginning of rolling and difference deformation mode on changing power and torque of rolling for the conditions of hot rolling steel square specimens with low temperature heating of steel Fe360B on smooth rolls. Specimens dimensions $25 \times 25 \times 200$ mm. rolls diameter 205 mm, length 400 mm.. Deformation of specimens performed in 4 passes, according to various modes of deformation. Realization of a modes was carried out in 2 and 3 pass. Measurement results force of rolling showed that the lowest levels of rolling force inherent for regressive mode deformation. When using the an increasing modes of deformation may reduce the temperature of the heating of the rolling up to 1100°C without a significant increase in energy and power parameters of rolling. For all the deformation modes of the rolling most forces are manifested most in passages with maximum reduction per pass. The data on the temperature distribution of specimen, power and torque of rolling along the aisles. Presented in the paper data can be used to calculate power parameters in the design or improvement of rolling mill stands.

Keywords: hot rolling, temperature of heating, deformation mode, pressure of rolling, moment of rolling.

3D model of longitudinal shearing process on double trimming rolling cut type shears / Borovik P. V., Seleznev M. E. // Bulletin of NTU «KhPI». Series: Innovative technologies and equipment handling materials in mechanical engineering and metallurgy. – Kharkiv: NTU «KhPI» – 2015. – № 47 (1166). – P. 17–20. – Bibliogr.: 8.

Purpose. Based on the finite element method to develop a 3D mathematical model of the rolling cut type process and get an idea of the technological capabilities of shears.

Design/methodology/approach. In the development of a mathematical model of the longitudinal shearing process of arc knives to rolling cut type shears we used finite element software package ABAQUS.

Findings. For example, dual side shears of mill 2800 PJSC «AMW» (Russia) construction NCMH (NKMZ, Ukraine) the four steel grades 45, 75, 28X3CHMBΦA и 18X2H4BA the separating process a reviewed. At the calculation of the maximum thickness of shearing sheet is not enough to consider only the tensile strength of steel being separate is stated.

Originality/value. Will help deepen understanding of the process and expanding the assortment of shearing sheets the proposed model, as well as to reduce the risk of equipment overload.

Keywords: rolling cut type shears, longitudinal shearing process, separation, sheet, finite element model.

Features of formation of quality indicators copper-coated welding low-carbon wire / Grushko O. V., Slobodyanyuk Y. O. // Bulletin of NTU «KhPI». Series: Innovative technologies and equipment handling materials in mechanical engineering and metallurgy. – Kharkiv: NTU «KhPI» – 2015. – № 47 (1166). – P. 25–28. – Bibliogr.: 11

The comparative characteristics of the main indicators of quality copper-coated wire according to the world's major existing standards: GOST 2246-70, AWS A5.18: 2005 and ISO 14341: 2009, analyzes the main factors that shape the quality of the copper-coated wire and classify into three groups : indicators of quality raw materials, quality indicators, which are standardized in the manufacture of wire and quality indicators related to the technological heredity.

Keywords: copper-coated welding wire, quality, standard, quality indicators.

The investigation of electrical properties of copper-aluminum composite obtained by explosion cladding / Zagoryanskiy V. G., Dykya L. E. // Bulletin of NTU «KhPI». Series: Innovative technologies and equipment handling materials in mechanical engineering and metallurgy. – Kharkiv: NTU «KhPI» – 2015. – № 47 (1166). – P. 25–28. – Bibliogr.: 11

One of the main directions of the production and consumption of bimetal are traditionally conductor bimetal and contact bimetal based on copper, aluminum and other metals and alloys. In the copper-aluminum bimetal the base layer is made of the cheaper aluminum and having more thickness than a copper cladding layer, serves as a power element. A cladding layer of the more expensive and scarce copper has a somewhat high electrical conductivity. Thus, the bimetal because of the combination of the two conductive layers it is effective as a conductor. At the same time due to surface effects, even at the low proportion of the copper layer thickness of bimetal, bimetal ensures high conductivity and its economy. In the article, the electric properties of copper-aluminum compositions obtained by explosion cladding are investigated. The regularity of effect of the ratio of thickness of layers of the bimetal on its electrical resistivity is obtained. Electrical resistivity of the element, with the ratio of thickness of layers of copper to aluminum of 0.2 to 0.5 is between the values of this parameter for copper and aluminum. Experimental electrical resistivity of metal by increasing the ratio of the thickness of the cladding layer to the total thickness of copper bimetal is more complicated. It can be assumed that the difference arises from the specific to the cladding explosion phenomena – in particular, the formation of intermetallic inclusions and cast molten due to heat in the cladding metal. With increasing thickness of the bimetal the difference increases between the theoretical and experimental values of electrical resistivity. With the increase in the proportion of copper plating layer in the total thickness of the bimetal theoretical electrical resistivity of the sensing element decreases monotonically, the trend of decreasing experimental values are also mostly preserved, except the maximum thickness of the bimetal.

Keywords: copper-aluminum bimetal, explosion cladding, ratio of thicknesses of layers, specific electrical resistance.

Combined drawing of aluminum AL=3003 axisymmetric articles in the special profiled double cone matrices / Kaljuzhny O. V. // Bulletin of NTU «KhPI». Series: Innovative technologies and equipment handling materials in mechanical engineering and metallurgy. – Kharkiv: NTU «KhPI» – 2015. – № 47 (1166). – P. 29–33. – Bibliogr.: 9

The finite element method developed models that computer modeling combined extract aluminum AL-3003 products in special profiled double cone axisymmetric matrix without pressing. The deforming surface of a matrix formed by the intersection of the tori of the same section. Tangent to two surfaces form an angle with the axis of symmetry of the matrix. set profiles rational deforming the matrix surface and the magnitude of minimum-sided gaps between the die and punch at which deformation occurs without fracture and products obtained with a maximum height at drawing blanks of different diameters with the same thickness. Modeling the patterns forming in the matrix of special profile, energy-power modes drawing, the final shape and size of products, stress-strain state and the extent of use of a resource of plasticity-deformed metal. Using special profile matrix can reduce the likelihood of creasing during forming and to reduce the number of transitions hoods over traditional double cone matrix.

Keywords: combined extract, double cone matrix of special profile, the gap between the die and the punch, computer simulation, finite element method, drawing force, the shape and size of products, a resource of plasticity-deformed metal.

Designing system of return and counterbalance cylinders' hydro-lines of hydraulic presses with pump-accumulator drive / Korchak E. S. // Bulletin of NTU «KhPI». Series: Innovative technologies and equipment handling materials in mechanical engineering and metallurgy. – Kharkiv: NTU «KhPI» – 2015. – № 47 (1166). – P. 34–37. – Bibliogr.: 12

The main factors determining transient parameters and control quality of hydraulic presses with pump-accumulator drive are considered. Description of constructive and rate characteristics of the throttled control valves is given, the influence of hydraulic system quality factor on the character of its distortion is revealed. Theoretical investigation and determination of corresponding parameters of control system of return and counterbalance cylinders, such as summary active areas of the cylinders, maximum steady speed of cross beam in the reverse and approaching strokes, cross-sectional areas of different hydraulic lines, maximum hydraulic fluid velocities through system elements etc., are presented on the basis of plant's pipeline configuration. The scheme of fast-acting hydraulic press control system of return and counterbalance cylinders on the basis of throttled control valves with individual servo-drive and high-value quality factor is given. Methodic of control valves selection for hydraulic press control systems providing high-value quality factors is stated. Practical recommendations of fast-acting hydraulic forging press control systems of return and counterbalance cylinders with pump-accumulator drive designing are revealed to be realized in industry of plastic metal working machines and processing.

Keywords: hydraulic press, cylinder, control valve, hydro-line, drive, accumulator.

Rolling of copper alloys with multicomponent SHS-coverages / Kruglyak D. // Bulletin of NTU «KhPI». Series: Innovative technologies and equipment handling materials in mechanical engineering and metallurgy. – Kharkiv: NTU «KhPI» – 2015. – № 47 (1166). – P. 38–41. – Bibliogr.: 6

In article it is presented a way of reception Cr, Al, Si and Ti, Al, Si sheetings on copper alloys in the conditions of self-propagating high-temperature synthesis with the subsequent of rolling. In this work researches on determination of optimum terms of wringing out of rolling alloys with protective coatings is conducted.

Feature of process cold rolling of copper alloys with diffusive multicomponent sheetings is level-by-level anisotropy of mechanical properties, and also high strength of stratums joint that raises level of mutual influence of components which are deformed which approach magnitude of factor of an interlaminar friction to a theoretical maximum.

Keywords: self-propagating high-temperature synthesis, a rolling, wringing out, a sheeting, deformation, low plasticity, copper alloys.

Profiling of long helical tube heat exchangers running rollers without mandrel / Makovej V.O., Melnyk V.S. // Bulletin of NTU «KhPI». Series: Innovative technologies and equipment handling materials in mechanical engineering and metallurgy. – Kharkiv: NTU «KhPI» – 2015. – № 47 (1166). – P. 42–44. – Bibliogr.: 5

Considered two technologies and equipment for the manufacture of long spiral tube heat exchangers length 2 ... 4 m without mandrels by deformation simultaneously two rolling heads and the method of forming helical grooves rolling head of planetary rotation rollers with displaced pipe in the axial direction, a series of experimental studies and established the possibility production quality screw profiles for heat exchangers tubes of brass and aluminum alloy depth of 1.5 mm by 1 pass, enough to increase heat transfer by 30 ... 50%. Comparison spiral tubes obtained by these technologies and checked the possibility of such products in many transitional profiling. Found that many transitional profiling does not lead to positive effect.

Keywords: three roller rolling head, one roller rolling head, helical tube, helical groove, heat exchanger, spiral tube.

Features of evaluating of longitudinal stability stripes in the deformation zone in the rolling with a tension / Maksimenko O. P., Lobjko D. I. // Bulletin of NTU «KhPI». Series: Innovative technologies and equipment handling materials in mechanical engineering and metallurgy. – Kharkiv: NTU «KhPI» – 2015. – № 47 (1166). – P. 45–48. – Bibliogr.: 3

The developed a method of evaluating of longitudinal stability of the rolling process with a tension. On the basis of a new methodology of experimental data has been analyzed the influence of adjustable tension on the longitudinal stability of the rolling process. Analysis showed that with increased back tension resulting longitudinal force absolute value decreases, and hence reduces the stability of the rolling process. The result of the work showed that the need to consider the value of the average of the resulting internal forces in the appointment regimes strip tension especially in the case of continuous rolling.

Keywords: tension of the, longitudinal stability, the deformation zone, continuous rolling.

Analytical description of the dynamics forming cylindrical workpieces during face-end compression / Mykhalevych V. M., Dobranyuk Yu. V. // Bulletin of NTU «KhPI». Series: Innovative technologies and equipment handling materials in mechanical engineering and metallurgy. – Kharkiv: NTU «KhPI» – 2015. – № 47 (1166). – P. 49–52. – Bibliogr.: 10

In this paper we developed a method of constructing a mathematical model of the dynamics of forming the side surface of the cylindrical billet during face-end compression with casks formation. On the basis of the developed technique, the analytical description of the dynamics of forming cylindrical billets during deformation is received and the recommendations for the experimental determination of its parameters is developed. It is shown that received model of the dynamics of forming can be the basis for improved techniques of experimental and analytical research of the face-end compression.

Keywords: face-end compression, forming, lateral surface, cylindrical billets, friction coefficient, nonstationary strain.

Investigation of the microstructure of continuous casting billet and behavior of defects in axial zone during rolling / Smyrnov Y. N., Serov A. I., Skliar V. A., Dombrovsky Y. O., Smyrnov O. Y. // Bulletin of NTU «KhPI». Series: Innovative technologies and equipment handling materials in mechanical engineering and metallurgy. – Kharkiv: NTU «KhPI» – 2015. – № 47 (1166). – P. 53–57. – Bibliogr.: 12

Presents the results of metal macrostructure on the cross-section of continuous casting billet out of constructional steel grades. The submitted data of plant research characterize two following constructional steel grades: steel 45 according to GOST 1050-88 and Y7 according to DSTU 3833-98. The research has found that billets of current manufacturing inherent in quite high macrostructural quality. At the same time the analysis of metal macrostructure on longitudinal section has shown that quality at axial zone has unstable character. In this case, the axial number porosity and axial segregation depends to a large extent on place of specimen cutoff and can have quite wide range of variation. A mathematical model of the process of cooling and rolling continuous casting billet on the site "heating furnace – breakdown stand". The distinguishing feature is that a model takes into account the presence of axial discontinuities in continuous casting billet and scale on its surface. The model is implemented using the finite element method in the software package. As a result of the study have obtained data on the distribution of the temperature and effective stress, depending on the initial temperature of rolling and diameter of discontinuity.

Keywords: billets, microstructure, simulation, axial porosity, cooling, rolling.

Composing scales of qualimetric indices on the example of antenna mirrors for space communication / Taranenko M. // Bulletin of NTU «KhPI». Series: Innovative technologies and equipment handling materials in mechanical engineering and metallurgy. – Kharkiv: NTU «KhPI» – 2015. – № 47 (1166). – P. 58–61. – Bibliogr.: 3

The approach for composing scales of quality indexes used for such groups of properties as articles thickness, material used and complexity of geometrical shapes that define manufacturability of large-dimensional article. Quality indexes take into consideration such manufacturing parameters as diameter allowance, deviation on section contour from theoretical lines, heights of location of corrugation or local dents, bucklings, waviness, decreasing of original blank thickness (thinning). The attempt to compare values of complex quality index of space communication antenna mirror with its radio-technical characteristics is implemented. Forming of large-dimensional articles is accompanied by edge and central-area wrinkles and The influence of mechanical properties of up-to-date high-strength steels 30XГСА, X18H9T and aluminum alloys AA5182, AA 5182, AMr6M, AMuAM on forming quality indexes is analyzed.

Keywords: quality index, manufacturability, large-dimensions sheet-forming articles.

Determination of stress during chamfering cutting stamp on the slab before welding / Khorolskyi V. // Bulletin of NTU «KhPI». Series: Innovative technologies and equipment handling materials in mechanical engineering and metallurgy. – Kharkiv: NTU «KhPI» – 2015. – № 47 (1166). – P. 62–69. – Bibliogr.: 17

There are examined the basic methods of incorporation of slopes and chamfering before welding. The principal difference between the schemes is the original location of the workpiece, the geometry of the cutting edge and the direction of movement of the punch committed. The aim of the study is to determine the stress-strain state of the "knife- workpiece" and the choice of a rational scheme of cutting through the smallest load acting on the tool. Comparison of the parameters of the stress-strain state under various schemes chamfering performed by modeling using the software package ANSYS / LS-DYNA. The result of the calculations are obtained diagrams of the distribution of equivalent stress, graphs of the stress on the cutting edge of the tool at the time, as well as visualization of chamfering. The results suggest that in terms of the stability of die tooling and quality of the design elements, more rational scheme of cutting punch which performs translational motion simultaneously in two directions – horizontal and vertical. The numerical simulation found that cutting on the proposed scheme reduces the stresses on the cutting edge of the punch more than 400 MPa and workpiece distortion is eliminated and the formation of burrs. The calculation of banding when using carbide punching dies.

Keywords: cutting, die, stress-strain state, the sliding punch, finite element method

Determination of the critical speed of the screw of the screw conveyor with additional blades / Chasov D. P. // Bulletin of NTU «KhPI». Series: Innovative technologies and equipment handling materials in mechanical engineering and metallurgy. – Kharkiv: NTU «KhPI» – 2015. – № 47 (1166). – P. 70–72. – Bibliogr.: 6

The analysis of forces and parameters that affect the critical rotational speed auger with extra blades. Investigated the critical frequency of rotation of the conditions by not overturning the vertical axis screw conveyor to the other side of the stream and the relationship of Hoisting-driving force and filling the trench. Powered graphic auger section in the frontal plane and considering the scheme of forces acting on a piece of metal chips, which is located in Zavala and beyond it the cross section of the trough screw conveyor with extra blades. Presented equation depending on the working angle of the groove filling material through the corner filling sector. Defined numerical value of the critical values of rotational speed auger. The conditions of equilibrium of individual particles in the cross section of the screw conveyor. We derive equations combined forces on axes perpendicular and parallel plane blades, which formed the basis for the dependence of the critical angular velocity. The resulting critical frequency tracker auger rotation angle of attack from additional blades. The mathematical relationship for the critical rotational speed auger screw conveyor with extra blades. Defined minimum range of critical frequencies, giving rise to further research parameters and criteria screw conveyors with the optional paddles on the spiral auger.

Keywords: additional blade, angle of attack, critical speed, screw.

Research of efficiency of process of making of stripes acnotinuous teem is in the casting-renal stands of roll / Chubenko V.A., Hinotskaya A .A., Chubenko V.A. // Bulletin of NTU «KhPI». Series: Innovative technologies and equipment handling materials in mechanical engineering and metallurgy. – Kharkiv: NTU «KhPI» – 2015. – № 47 (1166). – P. 73–79. – Bibliogr.: 10

Process of production of strips is considered by continuous roll pouring of metal. Rolls serve at the same time as a crystallizer and the blooming tool. It is offered a new design of a foundry in which the rolls are pressed with shoulder and the crushed pig-iron shaving is filling in the course of continuous pouring of liquid steel. It provides suspension pouring of metal. Fillets allow to hold shaving reliably. Liquid metal quickly is cooled and crystallizes between rolls, but doesn't pour out. As a result of experiments the molding speed, metal cooling speed, crystallization time, coefficient of a consumption of liquid steel were determined. The new technology allows to reduce time of crystallization of metal and to increase the speed of its cooling by 18-20% in comparison with pouring without suspension use. Such process leads to reduction of a consumption of liquid metal and to increase in release of a ready-made product, allows to increase productivity of process and to reduce cost of production.

Keywords: roll continuous pouring of steel, foundry and rolling cage, suspension pouring, metal crystallization, cooling speed, technology of pouring, exit of a ready-made product.

The analysis of influence of parameters of previous upsetting and its absence on the non-uniformity of deformation during the drawing of forgings from titanium alloys / Chukhlib L. V., Klemeshov Y. S., Grinkevich V. A., Dyja H. // Bulletin of NTU «KhPI». Series: Innovative technologies and equipment handling materials in mechanical engineering and metallurgy. – Kharkiv: NTU «KhPI» – 2015. – № 47 (1166). – P. 79–82. – Bibliogr.: 12

Article deals with the investigation of influence of characteristics and parameters of the upsetting pre-process before drawing, on the stress-strain state of the billet from titanium alloy, with the mathematical modeling. The result is a graphical dependence of the rate of deformation non-uniformity. In the analysis of simulation results revealed the positive effect of the upsetting operation before drawing, namely, that with increasing degree of deformation in upsetting process, increases the uniformity of distribution of deformation in volume of the metal, in contrast to drawing without prior upsetting.

Keywords: upsetting; drawing; titanium; form factor; strain distribution; indicator of deformation non-uniformity

—

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**ВІСНИК
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО
УНІВЕРСИТЕТУ «ХПІ»**

Збірник наукових праць

Серія
«Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів
у машинобудуванні та металургії»

Випуск 47 (1166) 2015

Науковий редактор: д-р техн. наук проф. А.П. Марченко

Технічні редактори: Т.Л.Коворотний, О.С. Курандо

Відповідальний за випуск канд. техн. наук Г.Б. Обухова

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21, НТУ «ХПІ»
каф. обробки металів тиском, тел. (057) 707-60-40, 707-69-16, e-mail:

Обл. вид. № 93-15

Підп. до друку 15.10.2015 р. Формат 60x84 1/16. Папір офсетний. RISO-друк. Гарнітура Таймс.
Ум.друк.арк. 8,6. Обл.-вид. арк. 8,9.

Наклад 300 прим. Зам. № 17. Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ «ХПІ».

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 116 от 10.07.2000 р.

61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

Видавництво та друк ФО-П Шейніна О.В.

61052, Україна, м. Харків, вул. Слов'янська, 3

Тел. 057 759-48-79

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців,
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції

ДК № 2779 від 28.02.2007 р.