

СПОСОБИ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРОЦЕСУ ЗБІЛЬШЕННЯ ДІАМЕТРУ ТРУБНИХ ЗАГОТОВОК М. КРЕМЕНЧУК

Юлія Сіра

аспірант кафедри машинобудування

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, Україна, 39600, guliasira87@gmail.com

ORCID 0000-0002-9247-4777

Розглянуто способи додаткового впливу на осередок деформації під час збільшення діаметру крайової частини трубної заготовки роздаванням. Проведено аналіз цих способів інтенсифікації, який показав, що для їх впровадження у виробництво необхідно застосовувати додаткове енергоємне обладнання (роздавання із зональним нагріванням), допоміжні матеріали у вигляді бандажів та обрізків труб (роздавання з додатковим навантаженням торцю заготовки), попередні переходи з осадження та завертання (роздавання з додатковим навантаженням), складне устаткування та експериментальні проходи (роздавання із всебічним підпором та осаджування заготовки після роздавання). Такі заходи спрямовані на забезпечення збільшення товщини стінки готового виробу, зростання коефіцієнта роздавання та неможливості втрати стійкості зони передачі зусилля. Також показано, що натеper продукція багатосерійного та масового типів виробництв становить 20–30% загального об'єму машинобудівних підприємств, а 70–80% випускають підприємства багатонаменклатурного та дрібносерійного виробництва, і їх відсоток постійно збільшується. Тобто наведені способи інтенсифікації процесу роздавання потрібно використовувати на підприємствах з багатонаменклатурним випуском деталей. Але тут виникають питання доцільності впровадження таких способів роздавання на підприємствах із серійним типом виробництва з огляду на застосування додаткового енергоємного обладнання, збільшення часу на технічну та технологічну підготовку виробництва та подовження циклу виготовлення деталі. Робиться висновок, що у сучасних умовах розвитку багатонаменклатурного виробництва, де основною вимогою до ефективного просування продукції на ринках збуту є здатність до швидкого переходу на випуск нової продукції без значних капітальних та матеріальних витрат, необхідно проводити техніко-економічне обґрунтування кожного способу виготовлення з визначенням економічного ефекту в кожному конкретному випадку. Допоміжним, потужним інструментом для прийняття рішень щодо запровадження у виробництві нових способів деформування з додатковими навантаженнями осередку деформації є методи розрахунку напружено-деформованого стану заготовки та визначення умов втрати стійкості та руйнування.

Ключові слова: роздавання, труба, пластична деформація, стоншення, підпор, збільшення діаметра.

Вступ. У сучасних темпах розвитку науки і техніки основною вимогою до вискоєфективного виробництва є його можливість та здатність до швидкого переходу на випуск нової продукції без значних капітальних та матеріальних витрат [1; 2]. Наявність на виробництві гнучких виробничих систем з таким основним їх складником, як машини з ЧПК та промислові роботи, дає можливість це зробити у найкоротші строки. Ці гнучкі модулі застосовуються найбільше у серійному виробництві, яке як раз і наділене всіма рисами сучасного автоматизованого виробництва.

Натеper продукція багатосерійного та масового типів виробництв становить 20–30% загального об'єму машинобудівних підприємств, а 70–80% випускають підприємства багатонаменклатурного та дрібносерійного виробництва, і їх відсоток постійно збільшується [3; 4]. Але повністю автоматизувати дрібносерійне виробництво з огляду на широку номенклатуру та малу програму випуску виробів не вважається

економічно доцільним. Так, тут застосовуються машини з ЧПК, які легко переналагоджуються під виробництво нової деталі, але комплексна автоматизація виробництва з насиченням його роботизованими комплексами та автоматичним пересуванням напівфабрикатів між робочими місцями та складами неефективна через великі трудовитрати на ремонт, технічне обслуговування та програмування цих автоматів [5]. Тому зниження собівартості виготовлення деталей на багатонаменклатурних виробництвах спрямоване на використання універсальних пристосувань, дешевої робочої сили, диференціювання операцій та поліпшення умов протікання формуютьворюючих операцій [6].

Мета роботи – огляд наявних способів здійснення додаткового впливу на осередок деформації під час роздавання циліндричних заготовок та формування рекомендацій щодо зниження собівартості виробів багатонаменклатурного виробництва.

Виклад основного матеріалу. Збільшення діаметра циліндричної заготовки за допомогою силової дії конусоподібного жорсткого інструменту, еластичного інструменту, рідини, газу або енергії вибухової речовини називається в обробці металів тиском роздаванням [7].

Для теоретичного визначення тензора напружень застосовують спільне рішення скорочених рівнянь рівноваги для осесиметричного деформування з умовою пластичності [8; 9], що приводить до простих та зручних для аналізу рішень.

Але перед виробництвом виникають питання збільшення товщини стінки готового виробу, уникнення втрати стійкості в зоні передачі зусилля та по утворюючій конічній поверхні, запобігання локалізації деформацій та руйнуванню напівфабрикату. Так, наприклад, втрата стійкості в зоні передачі зусилля та руйнування матеріалу біля кромки не дозволяє отримувати традиційним способом роздачу деталі з великим перепадом діаметрів. Для широкого кола матеріалів коефіцієнт роздачі $K_p \leq 1,5$, тобто максимально можна збільшити діаметр заготовки не більше ніж у 1,5 рази. Гранічне значення коефіцієнта роздачі жорстким пуансоном вказано у таблиці 1 [10].

Варіанти вирішення цих питань висвітлені у спеціальних публікаціях та являють собою способи аналізу та інтенсифікації процесу роздавання циліндричних виробів. Однак їх застосування на підприємствах вимагає детального аналізу з точки зору наявного обладнання для здійснення процесу та кінцевої собівартості готового виробу.

Роздавання із зональним нагріванням значно розширює можливості процесу. Трубчасту заготовку 2 (рис. 1, а) встановлюють на пуансон 1, оснащений нагрівачами 4 (спіралями опору, ТЕНами та інше).

У разі переміщення заготовки зусиллям P траверси преса 3 відбувається роздавання кінця заготовки, який нагрівається внаслідок тепловіддачі. В зону роздавання постійно поступають холодні ділянки труби, вздовж осі якої встанов-

люється деяке розподілення температури (рис. 1, б). У результаті пластичність найбільш навантаженої частини – кромки – значно зростає. Одночасно зона передачі зусилля (циліндрична частина) залишається досить холодною, що підвищує її стійкість. Для більшості матеріалів підвищення температури нагрівання кромки приводить до збільшення коефіцієнта роздавання [10].

Описаний вище процес роздавання із зональним нагріванням частини заготовки вимагає додаткових витрат підприємства на виготовлення спеціального інструменту з нагрівачами елементами та підводу додаткової енергії до цієї системи. У разі зміни типорозміру деталей необхідно виготовляти нове оснащення, що не раціонально для багатонаменклатурного виробництва. Також складною операцією в цьому випадку є налагодження преса з точки зору забезпечення оптимальної швидкості деформування. Якщо швидкість дуже мала, то встигає прогрітися зона передачі зусилля та несуча здатність знижується і відбувається втрата стійкості. За надмірно високої швидкості деформування матеріал у осередку деформації не встигає нагрітися, його пластичність виявляється недостатньою для заданої формозміни та відбувається руйнування кромки.

Роздавання з додатковим навантаженням здійснюють з метою підвищення пластичності матеріалу (завдяки збільшенню гідростатичного стиснення) та зменшення стоншення стінки на кромці заготовки (рис. 2) [11; 12].

Найбільш простим способом додаткового стиснення кромки заготовки з точки зору можливості руйнування є використання як підпорного елемента технологічних кілець (рис. 2, а), які виготовляються з матеріалу, що має пластичність нижче ніж пластичність матеріалу заготовки. Кільце 2 переміщує кромки заготовки 3 та разом з останньою деформується пуансоном 1.

Зусилля, що необхідне для переміщення та деформування технологічного кільця, додатково навантажує кромку заготовки та весь осередок деформації. Якщо у разі роздавання без підпору на кромці напруження в осьовому напрямі

Таблиця 1

Коефіцієнти роздавання для різних сплавів

Матеріал	Д16Т	Д16М	АМг	АМг3	АМг6
Значення K_p	1,3...1,2	1,33...1,25	1,4...1,33	1,33...1,26	1,35...1,25
Матеріал	12Х18Н10Т	30ХГСА	Сталь 20	ВТ1	ОТ4
Значення K_p	1,47...1,35	1,41...1,35	1,5...1,41	1,33...1,3	1,4...1,25

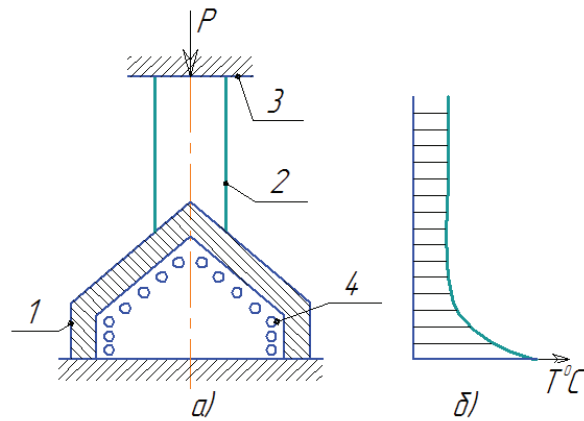


Рис. 1. Схема роздавання із зональним нагріванням (а) та розподіленням температури по утворюючій заготовці (б)

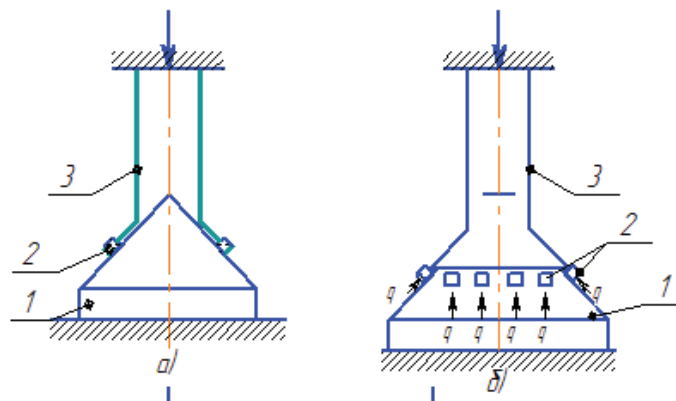


Рис. 2. Схема роздавання з додатковим навантаженням: а – з підпором технологічним кільцем; б – з підпором торця секційним елементом

дорівнює нулю, а коефіцієнт жорсткості схеми напруженого стану дорівнює одиниці, то використання технологічного кільця дозволяє зменшити коефіцієнт жорсткості та підвищити пластичність матеріалу заготовки. Крім того, осьове стиснення кромки зменшує стоншення стінки.

Недоліками цього способу деформування є витрати підпорних кілець, які є невідновлювальними, та можливість втрати стійкості циліндричної частини інструменту. Але для подолання першого недоліку використовують секційні підпирні елементи, де сила підпорну накладається зовні (рис. 2, б).

Все ж таки в умовах дрібносерійного виробництва застосування цих методів інтенсифікації процесу може бути недоцільним з огляду на підвищені витрати металу на підпирні кільця, збільшення часу на налагодження пресу та складністю застосування секцій, що пов'язана з докладанням

додаткового зусилля та обмеженнях у ступені деформації.

Можливості процесу роздавання розширюють попередньою підготовкою заготовки [10; 13]. Якщо циліндричну трубчасту заготовку вивернути на зовні, а потім роздати конічним пуансоном (рис. 3, а), то вивернута частина буде виконувати функції кільця, що рухається перед частиною заготовки з постійною товщиною стінки. Змінюючи висоту попередньо вивернутої на зовні зони, змінюють зусилля деформування, а відповідно, і співвідношення напружень та пластичності матеріалу. Кромка деталі має подвійну товщину, що, по-перше, сприяє збільшенню K_p , і по-друге, компенсує стоншення стінки. На відміну від звичайного роздавання, кромка труби внаслідок попередньої підготовки заготовки роздається з меншим коефіцієнтом, тому його руйнування відбувається пізніше.

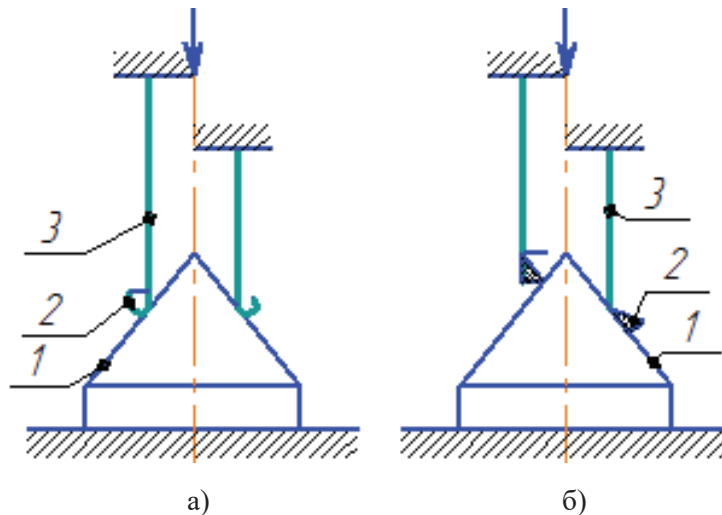


Рис. 3. Роздавання з попередньо підготовленої трубчастої заготовки: а – заготовка вивернута на зовні; б – попереднє осадження заготовки

Аналогічно описаному вище ефект, отриманий у разі роздавання трубної заготовки, що піддали попередньому осадженню, в результаті якого утворюється зона зі збільшеною товщиною стінки (рис. 3, б). Залежно від розподілу товщини стінки заготовки можна виготовляти деталі із заданим розподілом товщини в деформованій зоні, в тому числі з товщиною, що більша ніж товщина недеформованої труби.

Такі способи роздавання не потребують особливого налагодження пресу та спеціального устаткування, тому є прийнятними для гнучкого виробництва. Але при цьому вимагають попередньої підготовчої операції з вивороту або потовщення торцю заготовки. Ці переходи виконуються в основному з локальним нагріванням частини труби, що пластично деформується. Тому під час проектування таких способів роздавання необхідно виходити з економічної доцільності їх застосування в кожному випадку.

Додаткове навантаження (підпір) можна здійснювати після закінчення роздавання [14–16]. Заготовка 3 (рис. 4) упирається торцевою поверхнею пуансона 1 та під дією зусилля пресу осаджується на конусі. В результаті товщина стінки конічного розтруба збільшується, що компенсує її потоншення у разі роздавання. Очевидно, що додаткове навантаження після роздавання не може збільшити K_p .

Більші можливості інтенсифікації за допомогою додаткового навантаження забезпечуються у разі реалізації принципу, згідно з яким вільні поверхні заготовки, що не контактують з інструментом, повинні бути відсутніми. Заготовка

може тільки копіювати форму поверхні інструменту, з яким вона стикається; втрата стійкості виключається. Трубчасту заготовку 3 (рис. 5) встановлюють у зазорі між пуансоном 1 та зовнішньою обоймою 4, які стикаються із заготовкою по внутрішній та зовнішній поверхнях. Нижня торцева поверхня контактує з підпорним елементом, що складається з кільця V, до якого докладене зусилля Q підпору, та еластичного кільця чи шару сипучої речовини (наприклад, графіту) VI. Верхня торцева поверхня знаходиться під дією зусилля P , що передається від повзуна пресу через втулку 5. Пуансон 1 та обойма 4 попереджають втрату стійкості за будь-якого зусилля деформування; змінюючи зусилля Q підпору, можна створити схему деформування заготовки у разі високого гідростатичного стиснення. За даними [10; 17–19] роздаванням «на холодну» трубу зі сплаву АМгЗМ $\text{Ø}28 \times 1,5$ зі всебічним стисненням вдалося збільшити діаметр заготовки в 2 рази (за звичайного роздавання $K_p=1,3$). У разі роздавання з нагріванням сплаву АМг6М $\text{Ø}16 \times 1,0$ та Д16Т $\text{Ø}20 \times 2,0$ без руйнування був досягнутий коефіцієнт $K_p=4$; напруження підпору становило 1,5...2,5 межі текучості матеріалу.

Створення високого гідростатичного стиснення потребує додаткових енергетичних затрат, що виражаються у збільшенні зусилля деформування, та використанні заходів, що попереджують затікання матеріалу заготовки в малі зазори між втулкою 5, пуансоном 1 та обоймою 4 (в протилежному випадку можливе заклинення інструменту).

Обговорення результатів. Розглянуті спо-

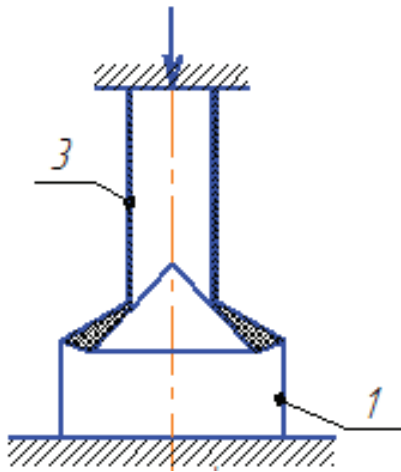


Рис. 4. Осаджування заготовки після роздавання

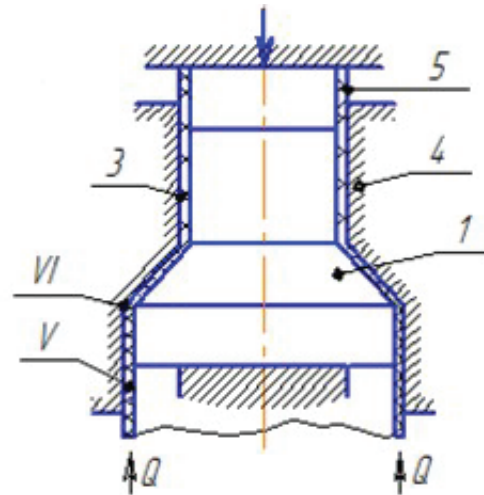


Рис. 5. Роздавання трубчастої заготовки з всебічним підпором

соби вдосконалення процесу роздавання трубчатих заготовок спрямовані на збільшення товщини торцевої частини заготовки, ступеня деформації та уникнення втрати стійкості та локалізації деформацій з наступним руйнуванням. Але використання запропонованих способів збільшення діаметру труби у серійному виробництві вимагає детального аналізу їх економічної ефективності порівняно з традиційним роздаванням.

Так, способи збільшення товщини готової деталі на торці (рис. 3, 4) неможливі без додаткового попереднього переходу з осадженням або вивертанням крайової частини, що збільшує цикл виготовлення деталі, вимагає локального нагрівання частини заготовки, залучення додаткового пресового та пічного обладнання. Збільшення коефіцієнта роздавання та товщини деталі повинно компенсувати приведені вище затрати на реалізацію технологічного процесу. Тому під час проектування таких процесів слід зважено підходити до кожного окремого технічного завдання та розраховувати техніко-економічні показники для декількох варіантів, вибираючи найбільш раціональний.

Додаткове осьове навантаження у кінці робочого ходу преса (рис. 4) дає можливість збільшити товщину торцевої зони напівфабрикату. Для цього не потрібно розділяти операцію на переходи та залучати допоміжне обладнання. Але якщо процес проводиться з граничними коефіцієнтами роздавання, то торцевий підпір викличе збільшення осьових сил, що може привести до втрати стійкості зони передачі зусилля.

Тому такий процес потребує точного розрахунку коефіцієнта роздавання з урахуванням додаткового впливу на осередок деформації або проведення значної кількості пробних проходів. В умовах гнучкого виробництва недоцільно збільшувати час на технічну підготовку виробництва та витрати заготовок на проведення експериментальних ходів. Ці заходи значно підвищать собівартість готового виробу.

Реалізація принципу відсутності вільних поверхонь під час роздавання потребує використання точного виготовлення устаткування для кожного окремо взятого виробу, що може привести до нераціонального збільшення його собівартості. Тобто кількість виготовлених деталей не зможе окупити виготовлення нового оснащення, а збільшення ціни реалізації виробів призведе до втрати конкурентоспроможності. Але збільшення коефіцієнта роздавання практично у 2 рази вивільнить, як мінімум, одне робоче місце та скоротить штучний час на операцію. Тому і в цьому випадку необхідно проводити ретельні розрахунки для визначення економічного ефекту від впровадження способу роздавання у виробництво з урахуванням програми випуску.

Особливу увагу перед плануванням заходів щодо інтенсифікації процесу роздавання необхідно приділяти розрахунку напружено-деформованого стану заготовки. Вони попередньо, без матеріальних витрат у вигляді експериментальних заготовок, дадуть відповіді на питання втрати стійкості заготовки [5; 11; 20–22], обчислення радіальної деформації (стоншення стінки)

[23–25] та визначення необхідного зусилля підпору та критичних напружень [26–30].

Висновки. Розглянуті способи інтенсифікації процесу роздавання трубчастих заготовок потребують техніко-економічного обґрунтування щодо їх застосування в умовах багатонаменклатурного виробництва. Збільшення товщини торцевої ділянки напівфабрикату та коефіцієнта витягування за один робочий хід пресу не кожного разу призводять до економічного ефекту. Це пов'язано зі зростанням витрат на виготовлення складного штампувального оснащення, залучення додаткового енергоємного обладнання у вигляді пресових машин та нагрівальних печей, а також багатогодинного налагодження на проведення переходу та необхідності застосування експериментальних проходів. Для проектування раціонального технологічного процесу із застосуванням прийомів додаткового впливу на осередок деформації необхідно проводити попередній розрахунок напружено-деформованого стану ділянок заготовки із застосуванням розроблених методів аналітичного та чисельного аналізу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Rojek I. Technological process planning by the use of neural networks. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*. 2017. № 31 (1), P. 1–15. DOI: 10.1017/S0890060416000147.
2. Dima I.C., Grabara J. The constructive and technological preparation of production. *Industrial production management in flexible manufacturing systems*. 2013. P. 68–109. DOI: 10.4018/978-1-4666-2818-2.ch003.
3. Медовар Л.Б., Стовпченко Г.П., Полішко Г.О., Сибір А.В., Коломієць Д.В., Костецький Ю.В. Інноваційні рішення проблеми організації виробництва рейок найвищого гатунку в Україні. *Наука та інновації*. 2019. Т. 15, № 6. С. 37–48.
4. Prasad N. Small-Scale Activities and Productivity Divide. *Economic Review and Basic Statistics*. 2012. P. 53–80. DOI: 10.2139/ssrn.2323421.
5. Safarov D.T., Fedorov K.A., Ilyasova A.I. Algorithms development of making special techniques in APQP manufacturing process of automotive components. *Materials Science and Engineering*. 2016. 134 (1), 012036. DOI: 10.1088/1757-899X/134/1/012036.
6. Puzyr R., Shchetynin V., Vorobyov V., Salenko A., Arhat R., Naikova T., Yakhin S., Muravlov V., Skoriak Y., Negrebetskyi I. Improving the technology for manufacturing hollow cylindrical parts for vehicles by refining technological estimation dependences. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. № 6 (114), P. 56–64. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.244241>.
7. Пузырь Р.Г., Троцко О.В., Черкашенко В.Ю. Влияние геометрических параметров цилиндрической заготовки на напряженно-деформированное состояние при раздаче коническими пуансонами. *Обработка материалов давлением* : сборник научных трудов. Краматорск : ДГМА, 2012. № 4 (33), с. 114 – 121.
8. Попов Е.А. Основы теории листовой штамповки. Москва : Машиностроение, 1977. 278 с.
9. Yoon J.W. A new analytical theory for earing generated from anisotropic plasticity. *Int J Plast*. 2011. № 27, P. 1165–1184. DOI: 10.1016/j.ijplas.2011.01.002/.
10. Ершов В.И. Совершенствование формообразующих операций листовой штамповки. Москва : Машиностроение, 1990. 311 с.
11. Калюжний В.Л. Інтенсифікація технологій виготовлення виробу «Балон 180×184». *Обработка материалов давлением* : сборник научных трудов. Краматорск : ДГМА, 2012. № 2 (31), С. 136–140.
12. Горбунов М.Н. Технология заготовительных штамповочных работ в производстве самолетов. Москва : Машиностроение, 1981. 224 с.
13. Samolyk G., Winiarski G. Analysis of single-operation cold forging of a hollow ball from a tubular billet. *Int J Adv Manuf Technol*. 2019. № 103, P. 3045–3056. URL: <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03779-y>.
14. Проскураков Г.В., Фомин В.С., Якуничев Е.В. Раздача сварных цилиндров с торцовым подпором. *Автомобильная промышленность*. 1977. № 9, С. 34–35.
15. Razooqi A-I. Experimental and Numerical Analysis of Expanded Pipe using Rigid Conical Shape. *Journal of Engineering*. 2018. № 8 (24), P. 106–119. URL: <https://doi.org/10.31026/j.eng.2018.08.09>.
16. Joo T.-C., Dordkeshan M.H. Experimental study on tube end flaring process for different bottom end surface textures. *International Journal of Mechanical And Production Engineering*. 2017. Vol. 5, I. 7. P. 39–43.
17. Liua Y., Herrmanna M., Schencka C., Kuhfussa B. Plastic Deformation Components in Mandrel Free Infeed Rotary Swaging of Tubes. *Procedia Manufacturing*. 2019. № 27, P. 33–38.
18. Kuroda K., Arita T., Takano T., Osako H., Okui T., Akiyamanew M. Cold-expansion process for end sizing and dimensional precision of inside geometry on both ends of line pipes. *XIII International Conference on Computational Plasticity. Fundamentals and Applications COMP-LAS XIII* / E. Oñate, D.R.J. Owen, D. Peric, M. Chiumenti, 2015. P. 85–92.
19. Sanchez F., Al-Abri O. Tube expansion under various down-hole end conditions. *The Journal of Engineering Research*. 2013. № 10, P. 25–40.
20. Мосьпан Д.В., Драгобецкий В.В., Пузырь Р.Г. Определение потребного крутящего момента при радиально-ротационном профилировании ободьев колес. *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського*. Кременчук : КДПУ, 2008. № 6 (53), ч. 2. С. 64–66.
21. Пузырь Р.Г., Левченко Р.В., Сира Ю.Б., Лелюх, С.Н. Численное моделирование потери устойчивости трубной заготовки при раздаче соединительных переход-

ников. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія «Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії». Харків : НТУ «ХПІ», 2019. № 12 (1337). С. 51–56.

22. Пузырь Р.Г., Дикая Л.Э. Учет упрочнения металла при определении зоны возможной кольцевой потери устойчивости на первой операции раздачи при изготовлении ободьев колес. *Вестник Херсонского национального технического университета*. Херсон : ХНТУ, 2015. № 3 (54), С. 165–169.

23. Мовшович И.Я., Пузырь Р.Г. Расчет меридиональных напряжений на первой операции процесса радиально-ротационного профилирования ободьев колес. *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением*. 2013. № 10, С. 3–7.

24. Karrecha A., Seibi A. Analytical model for the expansion of tubes under tension. *Journal of Materials Processing Technology*. 2010. № 210, P. 356–362. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2009.09.024.

25. Пузырь Р.Г. Определение поверхностной нагрузки, вызывающей пластическую деформацию цилиндрической заготовки. *Обработка материалов давлением : сборник научных трудов*. Краматорск : ДГМА, 2013. № 2. С. 99–105.

26. Puzug R., Siraia Y., Diatlovska V. Моделирование материала цилиндрической заготовки со сварным швом

при обжиме-раздаче деталей автомобилей. *Mechanics and Advanced Technologies*. 2021. № 1. С. 130–135. DOI: 10.20535/2521-1943.2021.5.1.218045.

27. Шубин И.Н., Марченков И.А., Фадеева Е.В. Напряжённо-деформированное состояние при раздаче трубчатых заготовок с подпором. *Заготовительное производство в машиностроении*. 2006. № 12. С. 28.

28. Пузырь Р.Г., Левченко Р.В., Сира Ю.Б. Потеря устойчивости в процессе раздачи цилиндрической заготовки. IX Міжнародна науково-технічна конференція «Ресурсозбереження та енергоефективність процесів і обладнання обробки тиском у машинобудуванні та металургії». Харків, 22–24 лист. 2017 р. Харків, 2017. С. 49–50.

29. Пузырь Р.Г., Левченко Р.В., Сира Ю.Б. Интенсификация процесса раздачи цилиндрической заготовки. *Вісник Нац. техн. ун-ту «ХПІ» : збірник наукових праць. Серія «Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії»*. Харків : НТУ «ХПІ», 2017. № 43 (1265), С. 39–42.

30. Пузырь Р.Г. Определение длины волны затухания изгибающего момента при раздаче цилиндрической заготовки. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. Кременчук : КрНУ, 2012. № 5 (76). С. 64–66.

WAYS TO INTENSIFY THE PROCESS OF INCREASING THE DIAMETER PIPE BLANKS IN KREMENCHUK

Yuliya Sira

Postgraduate Student at the Department of Mechanical Engineering

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, 20, Pershotravneva Street, Kremenchuk, Ukraine, 39600, guliasira87@gmail.com

ORCID 0000-0002-9247-4777

Summary. The methods of additional impact on the deformation zone with an increase in the diameter of the edge part of the pipe billet by expansion are considered. An analysis of these methods of intensification was carried out, which showed that for their introduction into production it is necessary to use additional energy-intensive equipment (expansion with zone heating), auxiliary materials in the form of bandages and pipe trimmings (expansion with additional loading of the workpiece end), preliminary transitions of upsetting and wrapping (expansion with additional load), complex equipment and experimental passes (expansion with all-round support and settlement of the billet after expansion). Such measures are aimed at ensuring an increase in the wall thickness of the finished product, an increase in the expansion coefficient and prevention and loss of stability of the force transfer zone. It is also shown that at present the products of large-scale and mass types of production make up 20–30% of the total volume of machine-building enterprises, and 70–80% are produced by enterprises of multi-product and small-scale production, and their percentage is constantly increasing. That is, the above methods of intensifying the distribution process should be used at enterprises with a multi-product production of parts. But here questions arise about the advisability of introducing such distribution methods at enterprises with a serial type of production, taking into account the use of additional energy-intensive equipment, increasing the time for technical and technological preparation of production, and lengthening the cycle for manufacturing a part. It is summarized that in the modern conditions of the development of multi-product production, where the main requirement for the effective promotion of products in the sales markets is the ability to quickly switch to the production of new products without significant capital and material costs, it is necessary to conduct a feasibility study of each manufacturing method with the determination of the economic effect in each specific case. An auxiliary, powerful tool for decision-making on the introduction in production of new methods of deformation with additional loads of the deformation zone are methods for calculating the stress-strain state of the workpiece and determining the conditions for buckling and fracture.

Key words: expansion, pipe, plastic deformation, thickness reduction, backwater, diameter increase.

REFERENCES

1. Rojek, I. (2017). Technological process planning by the use of neural networks. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*, 31(1), 1–15. DOI: 10.1017/S0890060416000147.
2. Dima, I.C., Grabara, J. (2013). The constructive and technological preparation of production. *Industrial production management in flexible manufacturing systems*, 68–109. DOI: 10.4018/978-1-4666-2818-2.ch003.
3. Medovar, L.B., Stovpchenko, G.P., Polishko, G.O., Sibir, A.V., Kolomiets, D.V., Kostetskiy, Yu.V. (2019). Innovatsiyni rishennya problemi organizatsiyi virobnitstva reyok nayvischogo gatunku v Ukrayini [Innovative solutions to the problem of organizing the production of rails of the highest grade in Ukraine]. *Nauka ta Innovatsiyi*, 15(6), 37–48.
4. Prasad, N. (2012). Small-Scale Activities and Productivity Divide. *Economic Review and Basic Statistics*, 53–80. DOI: 10.2139/ssrn.2323421.
5. Safarov, D.T., Fedorov, K.A., Ilyasova, A.I. (2016). Algorithms development of making special techniques in APQP manufacturing process of automotive components. *Materials Science and Engineering*, 134(1), 012036. DOI: 10.1088/1757-899X/134/1/012036.
6. Puzyr, R., Shchetynin, V., Vorobyov, V., Salenko, A., Arhat, R., Haikova, T., Yakhin, S., Muravlov, V., Skoriak, Y., Negrebetskiy, I. (2021). Improving the technology for manufacturing hollow cylindrical parts for vehicles by refining technological estimation dependences. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(1(114)), 56–64. Retrieved from: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.244241>.
7. Puzyr, R.G., Trotsko, O.V., Cherkaschenko, V.Yu. (2012). Vliyanie geometricheskikh parametrov tsilindricheskoy zagotovki na napryazhenno-deformirovannoe sostoyanie pri razdache konicheskimi puansonami [Influence of geometric parameters of a cylindrical billet on the stress-strain state during expansion by conical punches]. *Obrabotka materialov davleniem*, 4(33), 114–121.
8. Popov, E.A. (1977). Osnovyi teorii listovoy shtampovki [Fundamentals of the theory of sheet stamping]. *Mashinostroenie*, 278.
9. Yoon, J.W. (2011). A new analytical theory for earing generated from anisotropic plasticity. *Int J Plast.*, 27, 1165–1184. DOI: 10.1016/j.ijplas.2011.01.002/.
10. Ershov, V.I. (1990). Sovershenstvovanie formoobrazuyuschih operatsiy listovoy shtampovki [Improving the forming operations of sheet stamping]. *Mashinostroenie*, 311.
11. Kalyuzhniy, V.L. (2012). Intensifikatsiya tehnologiy vigotovlennya virobu “Balon” 180 x 184 [Intensification of technologies for the preparation of the ballon 180 × 184]. *Obrabotka materialov davleniem*, 2(31), 136–140.
12. Gorbunov, M.N. (1981). Tehnologiya zagotovitelno-shtampovochnykh rabot v proizvodstve samoletov [Technology of blanking and stamping works in the production of aircraft]. *Mashinostroenie*, 224.
13. Samołyk, G., Winiarski, G. (2019). Analysis of single-operation cold forging of a hollow ball from a tubular billet. *Int J Adv Manuf Technol.*, 103, 3045–3056. Retrieved from: <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03779-y>.
14. Proskuryakov, G.V., Fomin, V.S., Yakunichev, E.V. (1977). Razdacha svarnykh tsilindrov s tortsovyim podporom [Distribution of welded cylinders with end support]. *Avtomobilnaya promyshlennost*, 9, 34–35.
15. Razooqi, A-I. (2018). Experimental and Numerical Analysis of Expanded Pipe using Rigid Conical Shape. *Journal of Engineering*, 8(24), 106–119. Retrieved from: <https://doi.org/10.31026/j.eng.2018.08.09>.
16. Joo, T.-C., Dordkeshan, M.H. (2017). Experimental study on tube end flaring process for different bottom end surface textures. *International Journal of Mechanical And Production Engineering*, 5(7), 39–43.
17. Liua, Y., Herrmann, M., Schencka, C., Kuhfussa, B. (2019). Plastic Deformation Components in Mandrel Free Infeed Rotary Swaging of Tubes. *Procedia Manufacturing*, 27, 33–38.
18. Kuroda, K., Arita, T., Takano, T., Osako, H., Okui, T., Akiyamanew, M. (2015). Cold-expansion process for end sizing and dimensional precision of inside geometry on both ends of line pipes. *XIII International Conference on Computational Plasticity. Fundamentals and Applications COMPLAS XIII*, 85–92.
19. Sanchez, F., Al-Abri, O. (2013). Tube expansion under various down-hole end conditions. *The Journal of Engineering Research*, 10, 25–40.
20. Mospan, D.V., Dragobetskiy, V.V., Puzyr, R.G. (2008). Opredelenie potrebnogo krutyashego momenta pri radialno-rotatsionnom profilirovani obodev koles [Determination of the required torque during radial-rotary profiling of wheel rims]. *Visnik Kremenchutskogo derzhavnogo politehnichnogo universitetu imeni Mihayla Ostrogradskogo*, 6 (53(2)), 64–66.
21. Puzyr, R.G., Levchenko, R.V., Sira, Yu.B., Lelyuh, S.N. (2019). Chislennoe modelirovanie poteri ustoychivosti trubnoy zagotovki pri razdache soedinitelnykh perehodnikov [Numerical simulation of the buckling of a pipe billet during the expansion of connecting adapters]. *Vysnik Natsionalnogo tehnichnogo universitetu «KhPI». Seriya: «Innovatsiyni tehnologiyi ta obladnannya obrobki materialiv u mashinobuduvanni ta metalurgiyi»*, 12(1337), 51–56.
22. Puzyr, R.G., Dikaya L.E. (2015). Uchet uprochneniya metalla pri opredelenii zonyi vozmozhnoy koltsevoy poteri ustoychivosti na pervoy operatsii razdachi pri izgotovlenii obodev koles [Consideration of metal hardening when determining the zone of possible annular buckling at the first expansion operation in the manufacture of wheel rims]. *Vestnik Hersonskogo natsionalnogo tehnicheskogo universiteta*, 3(54), 165–169.
23. Movshovich, I.Ya., Puzyr, R.G. (2013). Raschet meridionalnykh napryazheniy na pervoy operatsii protsessa radialno-rotatsionnogo profilirovaniya obodev koles [Calculation of meridional stresses at the first operation of the process of radial-rotational profiling of wheel rims].

Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem. 10, 3–7.

24. Karrecha A., Seibi A. (2010). Analytical model for the expansion of tubes under tension. *Journal of Materials Processing Technology*, 210, 356–362. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2009.09.024.

25. Puzyr, R.G. (2013). Opredelenie poverhnostnoy nagruzki, vyizyvayushey plasticheskuyu deformatsiyu tsilindricheskoy zagotovki [Determination of the surface load causing plastic deformation of a cylindrical billet]. *Obrabotka materialov davleniem*, 2, 99–105.

26. Puzyr, R., Siraia, Y., Diatlovska, V. (2021). Modelirovanie materiala tsilindricheskoy zagotovki so svarnym shvom pri obzhime-razdache detaley avtomobiley [Simulation of the material of a cylindrical billet with a welded seam during compression-expansion of car parts]. *Mechanics and Advanced Technologies*, 1, 130–135. DOI: 10.20535/2521-1943.2021.5.1.218045.

27. Shubin, I.N., Marchenkov, I.A., Fadeeva E.V. (2006). Napryazhyonno-deformirovannoe sostoyanie pri razdache trubchatyih zagotovok s podporom [Stress-

strain state during the distribution of tubular blanks with support]. *Zagotovitelnoe proizvodstvo v mashinostroenii*, 12, 28.

28. Puzyr, R.G., Levchenko, R.V., Sira, Yu.B. (2017). Poterya ustoychivosti v protsesse razdachi tsilindricheskoy zagotovki [Loss of stability during the expansion of a cylindrical workpiece]. *IX Mizhnarodna naukovo-tehnichna konferentsiya "Resursozberezhennya ta energoefektivnIst protsesiv i obladnannya obrobki tiskom u mashinobuduvanni ta metalurgiyi"*, 49–50.

29. Puzyr, R.G., Levchenko, R.V., Sira, Yu.B. (2017). Intensifikatsiya protsesa razdachi tsilindricheskoy zagotovki [Intensification of the process of expansion of a cylindrical billet]. *Vysnik Nats. tehn. un-tu "KhPI". Seriya "Innovatsiyi tehnologiyi ta obladnannya obrobki materialiv u mashinobuduvanni ta metalurgiyi"*, 43(1265), 39–42.

30. Puzyr, R.G. (2012). Opredelenie dliny volnyi zatuhaniya izgibayushego momenta pri razdache tsilindricheskoy zagotovki. *Vysnik Kremenchutskogo natsionalnogo universitetu imeni Mihayla Ostrogradskogo*. Kremenchuk. 5(76), 64–66.

Стаття надійшла 17.05.2022