

УДК 621.771

С. В. Білодіденко¹, д.т.н., проф., ORCID 0000-0002-5768-594X

І. А. Мазур¹, к.т.н., доц., ORCID 0000-0003-2177-7110

В. Д. Добряк², к.т.н., провідний інженер

Д. Ю. Угрюмов³, технічний директор

Ю. Д. Угрюмов², к.т.н., провідний інженер

¹ Український державний університет науки і технологій

² ДП «Український інститут по проектуванню металургійних заводів»

³ ТОВ «Морська Сюрвейерська Компанія»

ПРОЦЕСИ ПІДГОТОВКИ ЗАГОТОВКИ ДО ПРОШИВАННЯ НА КОСОВАЛКОВОМУ СТАНІ*

Анотація. Для удосконалення процесу косовалкового прошивання заготовок широко використовують операцію зацентрування переднього торця заготовки, що знижує різностінність передніх кінців гільз та труб. Підготовка заготовки шляхом профілювання конічної ділянки на її передньому кінці не мала застосування на практиці внаслідок відсутності надійних технічних рішень. На основі виконаного аналізу відомих процесів підготовки заготовок до прошивання на косовалковому стані встановлено, що найбільш ефективною є комплексна підготовка переднього кінця заготовки, яка включає профілювання і зацентрування. З процесів підготовки заготовки до прошивання, а саме: зацентрування переднього торця і профілювання переднього кінця широко застосовується тільки зацентрування. Профілювання переднього кінця заготовки практично не застосовується на трубопрокатних агрегатах. Тім більше, спільне застосування цих двох процесів на практиці не відомо. Метою даної статті є розробка технології та обладнання для комплексної підготовки передніх кінців заготовок перед прошиванням на косовалковому стані шляхом профілювання кінця заготовки у конічній матриці та зацентрування її переднього торця. Запропонована дільниця з обладнанням для комплексної підготовки заготовки до прошивання, яка дозволяє здійснювати цю підготовку на різних позиціях при використанні декількох розмірів заготовок по діаметру. Визначені силові параметри запресовування заготовки у конічну матрицю та зацентрування введенням пуансона і здійснено вибір гідравлічних циліндрів для силового впливу на заготовку зі сторони її переднього і заднього торців. Результати досліджень можуть бути рекомендованими для підготовки

* Присвячується пам'яті відомого вченого і спеціаліста трубного виробництва, кандидата технічних наук, старшого наукового співробітника Дніпропетровського металургійного інституту Кушнінського Георгія Миколайовича (06.07.1939 – 14.12.2011)

© Видавець Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України, 2024



Ця стаття відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND 4.0
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode.uk>

заготовок до прошивання на косовалковому стані трубопрокатних агрегатів з діаметром заготовки до 200 мм. Впровадження запропонованих в даній статті технічних рішень дозволить поліпшити умови захвату на прошивному стані та підвищити точність гільз і труб за рахунок зменшення різностінності, що знизить рівень витратного коефіцієнту металу.

Ключові слова: заготовка, прошивної косовалковий стан, гільза, гідроциліндр, поворотний стіл, ролганг, матриця, пуансон, зусилля пресування, точність гільзи, витратний коефіцієнт металу.

Посилання для цитування: Процеси підготовки заготовки до прошивання на косовалковому стані / С. В. Білодіденко, І. А. Мазур, В. Д. Добряк, Д. Ю. Угрюмов, Ю. Д. Угрюмов // *Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії*. 2024. Вип. 38. С. 482-500. <https://doi.org/10.52150/2522-9117-2024-38-482-500>.

Вступ. Спосіб перетворення суцільних круглих заготовок в порожні циліндричні тіла (гільзи) шляхом гвинтової прокатки був запропонований у 1884 році братами Рейнхардом і Максом Манесман. У 1885 році вони отримали патент на метод гвинтової (косої) прокатки а також на відповідний прокатний стан. Цей винахід на довгі роки, аж до теперішнього часу, визначив напрямлення розвитку і удосконалення як відповідно технології отримання порожніх заготовок, так і різного типу обладнання для її здійснення.

Підготовка заготовки до прошивання на косовалковому стані включає наступні основні операції у трубопрокатному цехі [1]: розрізання штанг які надходять довжиною $3,5 \div 12$ м на мірні довжини; нагрівання заготовок в печі до температури гарячого деформування; зацентрування переднього торця заготовки.

Розрізання штанг проводиться: розрізанням заготовок діаметром до 150 мм на прес-ножицях переважно у холодному стані, рідше – у теплому ($80 \div 300$ °С) для запобігання утворення тріщин, на окремих агрегатах – у гарячому стані після нагрівання всієї штанги перед прокаткою; ламанням заготовок діаметром до 270 мм на гідравлічних пресах у холодному стані з попереднім нанесенням надрізу за допомогою газокисневих різаків або плазмотронів; розрізанням на дискових пилах заготовок з високолегованих сталей і сплавів, в ряді випадків – газокисневим різанням.

В останні роки, в Україні, отримали застосування пили фірми «Linsinger Maschinenbau GmbH» (Австрія) для розрізання заготовок широкого розмірного і марочного, в тому числі з безперервнолитого металу, що забезпечило високу якість торців заготовок.

Аналіз технічних рішень по здійсненню зацентрування і профілювання передніх кінців заготовок. З процесів підготовки

заготовки до прошивання, а саме: зацентрування переднього торця і профілювання переднього кінця широко застосовується тільки зацентрування. Профілювання переднього кінця заготовки практично не застосовується на трубопрокатних агрегатах (ТПА). Тім більше, спільне застосування цих двох процесів на практиці не відомо. Зацентрування переднього торця заготовки забезпечує поліпшення умов захвату в прошивному стані, що обумовлено збільшенням довжини зони контакту ($l' > l$, див. рис. 1) в момент проникання в заготовку носка оправки.

Відома значна кількість технічних рішень, спрямованих на здійснення зацентрування передніх торців заготовок перед прошиванням. Передбачається, що торці заготовок мають достатню добру якість поверхні і розташовані під кутом 90° до осі заготовки (з невеликими відхиленнями), що забезпечується використанням пилок різких конструкцій. На практиці широко застосовуються пневматичні і менше гідравлічні пристрої для зацентрування заготовок. В якості прикладу пневматичного пристрою зацентрування розглянемо пристрій [2], який дозволяє підвищити точність і якість даної операції. Особливістю цього пристрою є можливість регулювання вихідного положення бойка в стволі, що забезпечує отримання якісного центрованого отвору постійної глибини. В якості прикладу гідравлічного пристрою зацентрування розглянемо пристрій [3], який забезпечує підвищення точності проникання бойка в торець заготовки по її осі шляхом регулювання і настроювання механізмів затискання і зацентрування при зміні діаметра заготовки. Гідравлічні пристрої зацентрування у порівнянні з пневматичними забезпечують отримання великих (діаметра та глибини) центрувальних отворів.

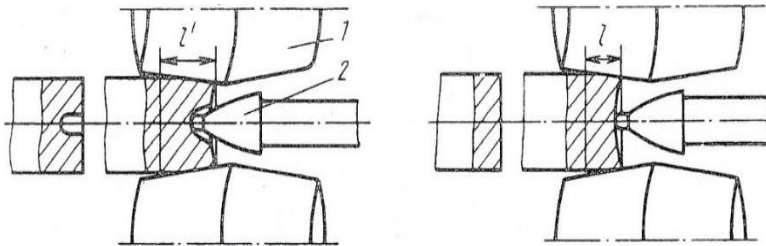


Рисунок 1 – Схеми осередків деформації в прошивному стані при прониканні оправки в торець зацентрованої (а) і нецентрованої (б) заготовки [1]: 1 – валок; 2 – оправка

Розглянемо приклад зацентрування заготовки за допомогою пристрою [4], відмінною особливістю якого є наявність приводних косорозташованих валків і механізм зацентрування, який складається із

каретки з приводом її пересування, в якій на підшипниках встановлений стрижень, який несе бойок. При подачі заготовки у валки вона заповнює калібр і своїм переднім торцем впирається у бойок, який витискає на її торці центрувальне заглиблення. Таке рішення цілком може бути використано для невеликих діаметрів заготовок (до 200 мм).

Відомо технічне рішення, згідно якому здійснюється одночасно профілювання переднього кінця заготовки з виконанням на її передньому торці центрувального отвору [5]. Відмінною особливістю такого технічного рішення є обкочування переднього кінця затиснутої заготовки касетою, з трьома косорозташованими холостими валками, яка обертається. Передній торець заготовки по мірі просування вперед набуває воронкоподібну форму за рахунок взаємодії з бойками, які розташовані на штоку гідроциліндра. Сфера застосування розглянутого технічного рішення може бути такою же, як і у попереднього.

В ряді робіт отримало розвиток глибоке зацентрування заготовок, в тому числі в роботі [6]. При цьому пропонується здійснювати зацентрування заготовки на глибину рівну $3\div 4$ діаметрам бойка. Процес зацентрування, який здійснювався у трьох валковому стані гвинтової прокатки відбувався стабільно, забезпечуючи достатньо високу точність зацентрування при глибині центрувального отвору у 165 мм [6]. Таке зацентрування на значну глибину може бути доцільним для ущільнення структури металу безперервно литої заготовки або зливків стаціонарного розливання, так як обрізь кінців труб відбувається також із-за дефектів внутрішньої поверхні передніх кінців труб, що відповідає неякісним кінцям гільзи і заготовки.

Г. М. Кушнінський провів широкі дослідження прокатки гільз на ТПА 200 з трьохвалковим розкатним станом і запропонував нову технологію підготовки передніх кінців заготовок за формою яка відповідає профілю вхідної частини осередка деформації прошивного стана з нанесенням центрувального отвору [7]. Проведені ним дослідження показали, що при цьому зменшується кінцева різностінність гільз, а також поліпшуються умови вторинного захвату на прошивному стані. Застосування нової технології зменшує кінцеву обрізь труб на $9,3\div 33,0\%$ при середньому зменшенні $16,5\%$. В роботах [7, 8] запропонований новий процес підготовки передніх кінців заготовок, який полягає в обтисканні кінця заготовки планетарними валками, розташованими в приводній обоймі з одночасним зацентруванням переднього торця заготовки.

Відомий спосіб зацентрування перед нагріванням заготовок плазмотроном прямої дії і зворотної полярності, який встановлюють на відстані від торця заготовки, рівному $1\div 1,5$ діаметра заглиблення що робиться [9]. Це рішення не отримало розповсюдження на практиці,

однак відомі поодинокі випадки його використання.

Відома пропозиція, коли передньому кінцю нагрітої заготовки надають форму конуса, що відповідає вхідному конусу валків прошивного косовалкового стану, під дією радіального преса, а на передній торець наносять центрувальне заглиблення для носика оправки. [10]. Застосування гідравлічного преса значно збільшує масу обладнання. Відомо технічне рішення, згідно якого здійснюють деформування переднього кінця нагрітої заготовки в матриці і нанесення центрувального заглиблення конусним пуансоном, при цьому передньому кінцю надають матрицею конусну з зовні форму на довжині, яка складає $0,25 \div 0,5$ діаметра заготовки з кутом нахилу $4 \div 5^\circ$ і виконують центрування заглиблення довжиною рівною $0,5 \div 0,8$ довжини конуса переднього кінця з профілюванням торця по сфері радіусом, рівним діаметру заготовки сферичною основою пуансона [11]. Це рішення припускає здійснення глибокого зацентрування заготовки, що не завжди доцільно. Окрім того складна форма пуансона не технологічна у виготовленні.

Постановка задачі. Незважаючи на значну кількість рішень з підготовки заготовок до прошивання необхідно вибрати раціональне технічне рішення з урахуванням конкретних умов на кожному ТПА. На основі аналізу відомих технічних рішень з підготовки заготовок до прошивання на косовалковому стані шляхом суміщення операцій профілювання переднього кінця і зацентрування торця нами запропоновано концепцію ділянки з розташованим на ньому обладнанням, що дозволяє здійснювати підготовку заготовок різного діаметра на окремих позиціях без перенастроювання обладнання.

В основу підготовки заготовки покладений спосіб запресування її переднього кінця в конічну матрицю з наступним зацентруванням пуансоном, який закріплений на штоку гідроциліндра.

Основна частина. В даній статті запропоновано нову концепцію дільниці для підготовки кінців заготовок до прошивання, яка містить у своєму складі механізми для переміщення гарячих заготовок і здійснення профілювання кінцевої ділянки заготовки з наступним зацентруванням її переднього торця.

1. Дільниця для підготовки кінців заготовок під прошивання. На рис. 2 і рис. 3 наведено запропонована дільниця і основне обладнання для підготовки заготовок до прошивання. Дільниця містить у загальному випадку три позиції пресування для заготовок діаметрами 130 мм, 150 мм і 170 мм (сортамент ТПА 140). Для спрощення на рис. 2 показано тільки одна позиція 1 пресування. Дільниця містить також рольганг 2 для підведення заготовок, зникаючі упори 3 і рольганг 4 для відведення заготовок.

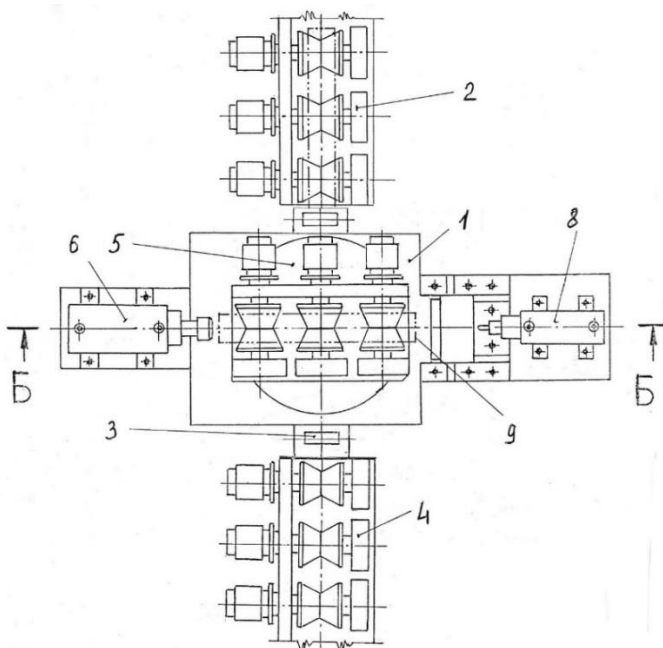


Рисунок 2 – Дільниця підготовки заготовок

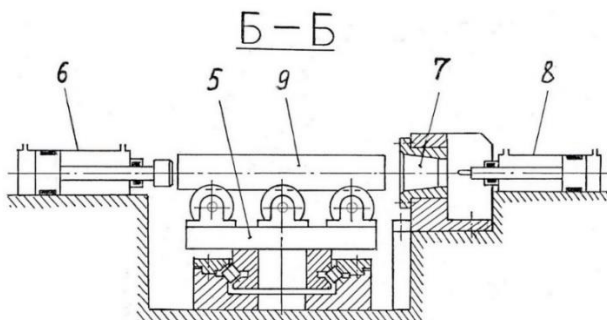


Рисунок 3 – Фронтальний вид на заготовку і обладнання перед пресуванням (розріз Б-Б на рис. 2)

Кожна позиція складається із секцій поворотного рольганга 5, гідроциліндра 6 для пресування в конічній матриці 7 (див. рис. 1), гідроциліндра 8 для пресування центрального отвору. Підготовка заготовки на запропонованій дільниці здійснюється наступним чином. У вихідному положенні всі упори 3 знаходяться в нижньому (опущеному) положенні. По рольгангу 4 для підведення заготовок,

надходить із нагрівальної печі гаряча заготовка 9, наприклад, діаметром 170 мм і довжиною 1 м. Подається сигнал на підйом упору 3, розташованого за третьою позицією пресування. Інші упори залишаються в опушеному стані і безперешкодно пропускають заготовку на другу позицію. Заготовка зупиняється на поворотному рольгангу 5 в позиції 1 пресування. Рольганг відключається. Вмикається механізм повороту секції рольганга із заготовкою на 90° за годинниковою стрілкою (механізм повороту на рис. 2 і рис. 3 не показано). Ось заготовки 9 після повороту співпадає з осями гідроциліндрів 6, 8 і матриці 7. Вмикається гідроциліндр 6, шток якого штовхає заготовку у напрямку до матриці 7. Кінець заготовки входить в кінчну порожнину матриці і відбувається пресування кінця заготовки на конус. За сигналом від шляхового датчика переміщення штока гідроциліндра 6 останній перемикається в положення «заперто» двох його порожнин. Після цього вмикається гідроциліндр 8 і його шток, який несе на своєму кінці пуансон, підводить пуансон до торця заготовки і здійснює проникнення його у тіло заготовки. Відключення гідроциліндра 8 відбувається або по положенню штока, або по витримці часу.

Потім гідроциліндр 6 вмикається на втягування штока, а гідроциліндр 8 – на висування штока. Заготовка виштовхується із матриці 7 штоком гідроциліндра 8. Штоки обох гідроциліндрів втягуються, після чого поворотний рольганг повертається разом з заготовкою, що оброблюється, на 90° в тому ж напрямленні, тобто за годинниковою стрілкою. Вісь поворотного рольганга співпадає з віссю рольганга для відведення і після включення рольгангів заготовка, яка оброблюється, спрямовується на подальший переділ. Упор 3 переходить у верхнє положення, вказуючи на готовність приймати наступну заготовку діаметром 170 мм.

На першій стадії підготовки заготовки здійснюють запресування переднього кінця заготовки 1 в кінчну матрицю 2 за рахунок зусилля $P_{пр}$, яке розвивається гідроциліндром (рис. 4). Матриця 2 має кінчну робочу ділянку довжиною l_k . Загальна довжина матриці L_M . Половина кута конусності матриці дорівнює α . Довжина обтиснутого кінця заготовки складає l , а діаметр змінюється від початкового D_3 до діаметра в перетині А–А матриці.

На другій стадії підготовки заготовки здійснюється зацентрування переднього торця заготовки 1 пуансоном 3 діаметром $D_{п}$ на глибину L_1 (рис. 5). Пуансон 3 з'єднаний зі штоком 4 гідроциліндра (на рис. 5 не показаний).

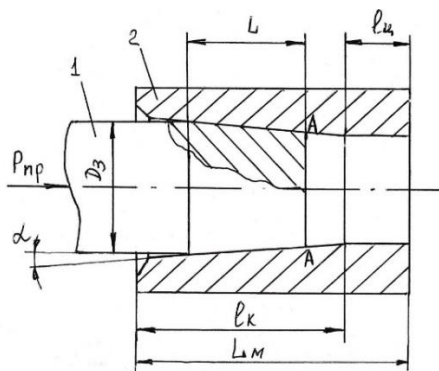


Рисунок 4 – Схема запресування кінця заготовки у матрицю: 1 – заготовка; 2 – матриця

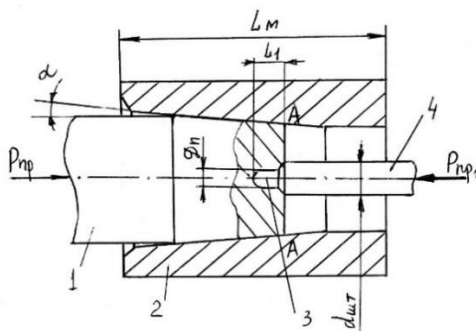


Рисунок 5 – Схема зацентрування заготовки: 1 – заготовка; 2 – матриця; 3 – пуансон; 4 – шток гідроциліндра

Перейдемо до визначення силових параметрів запресування кінця заготовки у конічну матрицю і зацентрування переднього торця заготовки.

2. Визначення силових параметрів запресування заготовок у матрицю. Розглянемо процес запресування циліндричної заготовки в конічну матрицю, як це зображено на рис. 6. Виділимо в осередку деформування плоский елемент товщиною dz , напружений стан якого включає три компоненти: P_z – осьовий; P_r – радіальний і P_t – тангенціальний. Так як співвідношення між ефективним напруженням (границя текучості) і вказаними трьома компонентами невідома, то прийнемо, як це зробили автори роботи [12], що течія метала в конічній

матриці є радіальним, а напружений стан – сферичним. Виходячи з цього витікає що $P_r = P_\tau$.

Запишемо умову рівноваги заштрихованого елемента відносно осі Z (без врахування тертя):

$$\sum P_z = (p_z + dp_z) \cdot (D + dD)^2 \cdot \frac{\pi}{4} - p_z \cdot D^2 \cdot \frac{\pi}{4} - p_\alpha \cdot \pi \cdot D \cdot d \left(\frac{D}{2} \right) = 0. \quad (1)$$

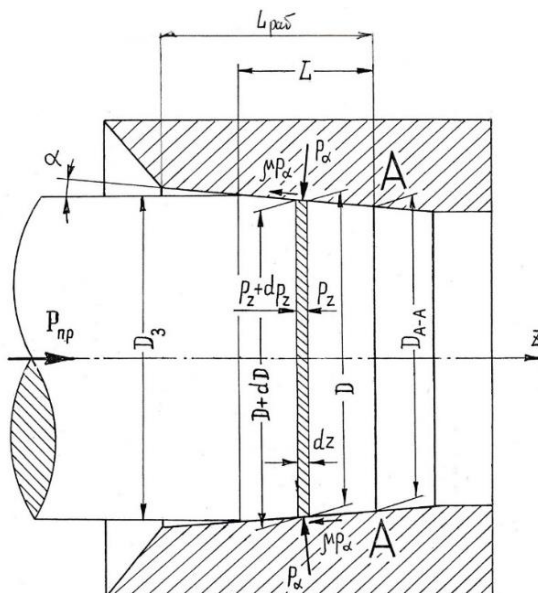


Рисунок 6 – Схема до розрахунку зусилля заpresування кінця заготовки в кінчну матрицю

З вигляду на те, що кут α малий, будемо вважати, що $P_\alpha = P_r = P_\tau$. Так як ефективне напруження завжди позитивне, то для задачі яка розглядається умова текучості записується так:

$$\sigma_s = P_r - P_z \quad (P_r > P_z),$$

де σ_s – межа текучості.

Тоді

$$P_\alpha = P_z + \sigma_s. \quad (2)$$

Підставив (2) в (1) і зневажаючи диференціалами більш високого порядку, отримаємо вираження:

$$dp_z = 2\sigma_s \cdot \frac{dD}{D}. \quad (3)$$

Про інтегрувавши (3), маємо:

$$p_z = \int_0^{\varepsilon_{A-A}} \sigma_s d\varepsilon, \quad (4)$$

де ε_{A-A} – ступінь деформації, яка визначається:

$$\varepsilon_{A-A} = \ln \frac{F_3}{F_{A-A}} = 2 \ln \frac{D_3}{D_{A-A}}.$$

Тут F_3 – площа перетину заготовки; F_{A-A} – площа торця А–А; D_3 – діаметр заготовки; D_{A-A} – діаметр торця А–А.

При умові незалежності межі текучості матеріалу заготовки в осередку деформації від ступеня і швидкості, тобто при статичному деформуванні, з вираження (4) отримаємо напруження

$$p_z = 2 \ln \frac{D_3}{D_{A-A}} \cdot \sigma_s. \quad (5)$$

Тоді сила, яка прикладена до заготовки для здійснення деформування в конічній матриці, визначається виразом:

$$P_{\text{пр}} = \frac{\pi}{2} \cdot D_3^2 \cdot \ln \frac{D_3}{D_{A-A}} \cdot \sigma_s. \quad (6)$$

В реальному процесі запресування на контактній поверхні заготовки і матриці діє сила тертя, котру визначимо як добуток питомої сили тертя на площу контактної поверхні між заготовкою і матрицею.

Питома сила тертя, спроектована на ось z заготовки і матриці, з урахуванням (2) визначається виразом:

$$P_{\text{тр}} = P_{\alpha} \cdot \mu \cdot \cos \alpha = \sigma_s \cdot \left(2 \ln \frac{D_3}{D_{A-A}} + 1 \right) \cdot \mu \cdot \cos \alpha. \quad (7)$$

Площа контактної поверхні – це площа зрізаного конусу:

$$F = \frac{\pi \cdot L}{\cos \alpha} \cdot \frac{D_3 + D_{A-A}}{2}, \quad (8)$$

де L – висота зрізаного конусу (див. рис. 6).

З урахуванням (7) і (8) отримаємо формулу для визначення сили

тертя при запресуванні круглої заготовки в кінчну матрицю:

$$P_{\text{тр}} = \frac{\pi \cdot L \cdot \mu \cdot \sigma_s}{2} \cdot \left(2 \ln \frac{D_3}{D_{A-A}} + 1 \right) \cdot (D_3 + D_{A-A}). \quad (9)$$

Таким чином, повна сила пресування заготовки круглого перетину в кінчну матрицю складається з суми двох складових, які визначаються за формулами (6) і (9).

На рис. 7 графічно представлена залежність (за формулою (6)) сили пресування круглої заготовки в кінчній матриці від температури заготовки для двох марок сталі (сталь 45; сталь X18H2M2T) при наступних вихідних даних: діаметр заготовки $D_3 = 170$ мм; висота зрізаного конуса $L = 70$ мм; діаметр торця заготовки $D_{A-A} = 160$ мм; половина кута конусності $\alpha = 4^\circ$.

На рис. 8 представлена залежність (за формулою (9)) сили тертя між заготовкою і матрицею від коефіцієнта тертя на контактній поверхні при температурі заготовки 1100°C для тих самих вихідних даних.

Робоча довжина матриці залежить від величини діапазону між максимальним і мінімальним діаметрами заготовок, а також від кута 2α конусності матриці і визначається по виразу:

$$L_{\text{раб}} = \frac{D_{\text{max}} - D_{\text{min}}}{2} \cdot \text{ctg}\alpha + L_{\text{min}}, \quad (10)$$

де L_{min} – висота зрізаного конуса мінімальної заготовки.

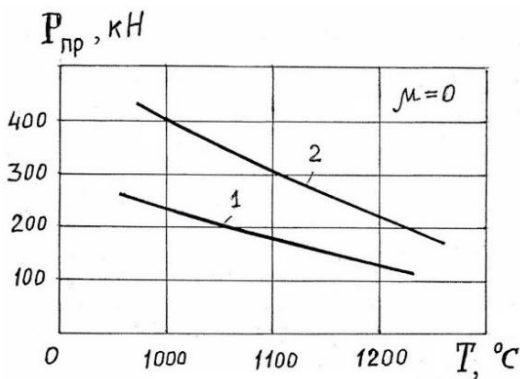


Рисунок 7 – Залежність сили запресування від температури заготовки при $\mu=0$: 1 – сталь 45; 2 – сталь X18H2M2T

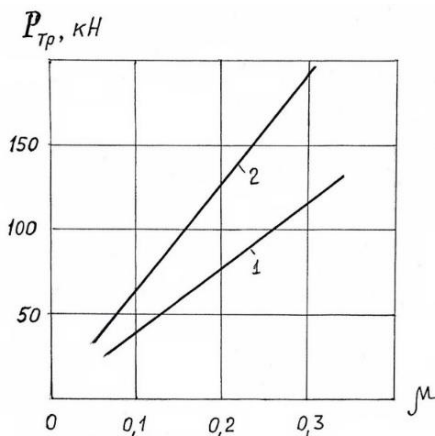


Рисунок 8 – Залежність сили тертя від коефіцієнта тертя при $T=1100\text{ }^{\circ}\text{C}$:
 1 – сталь 45; 2 – сталь X18H2M2T

Наприклад, для запресування заготовки з діаметром в діапазоні від 170 мм до 130 мм в одну і туж саму матрицю з кутом конусності $2\alpha=8^{\circ}$ і висотою зрізаного конуса мінімальної заготовки $L_{130}=70$ мм знадобиться матриця, робоча довжина якої дорівнює:

$$L_{\text{раб}} = \frac{170-130}{2} \cdot \text{ctg}4^{\circ} + 70 = 365 \text{ мм} .$$

Як відомо [15, стор. 70], поздовжній вигін стрижня круглого перетину не відбувається в тому випадку, коли напрям сили проходить всередині пластичного ядра перетину, який визначається по формулі:

$$l = \frac{2D}{3\pi} . \quad (11)$$

Наприклад, для запресування гарячої заготовки діаметром 130 мм в конічну матрицю радіус пластичного ядра складає:

$$l_{130} = \frac{2 \cdot 130}{3 \cdot \pi} = 27,6 \text{ мм} .$$

Відповідно, втрата поздовжньої стійкості заготовки діаметром 130 мм не відбудеться, якщо проводки або напрямні ролики не допустять вихід напрямлення сили пресування за межі кола діаметром $27,6 \cdot 2 = 55,2$ мм . Для заготовки діаметром 170 мм радіус пластичного

ядра складає:

$$l_{170} = \frac{2 \cdot 170}{3 \cdot \pi} = 36 \text{ мм}.$$

3. Визначення зусилля зацентрування заготовки. Для більш достовірній оцінки величини зусилля зацентрування заготовки шляхом введення в її торець пуансона розглянемо рішення цієї задачі за різними відомими методиками.

Вихідні данні: діаметр заготовки $D_3 = 170$ мм; діаметр торця заготовки $D_{A-A} = 160$ мм; діаметр пуансона $D_{\Pi} = 30$ мм; глибина введення пуансона $L_1 = 35$ мм; матеріал сталь 45 та сталь X18H2M2T.

Для умов відкритої прошивки Сторожев М. В. і Попов Е. А. у роботі [13] дають наступну формулу середнього тиску на торці циліндричного пуансона:

$$p_{\text{ср}} = \sigma_s \cdot \left(2 + 1,11 \cdot \ln \frac{D_3}{D_{\Pi}} \right) = 86 \cdot \left(2 + 1,11 \cdot \ln \frac{170}{30} \right) = 336 \text{ МПа} . \quad (12)$$

Тоді зусилля зацентрування:

$$P_{\text{пр1}} = \frac{\pi}{4} \cdot D_3^2 \cdot p_{\text{ср}} = \frac{\pi}{4} \cdot 0,03^2 \cdot 336 \cdot 10^6 = 237384 \text{ Н} = 237,4 \text{ кН} .$$

В роботі [12] середній тиск на торці циліндричного пуансона визначають по формулі:

$$p_{\text{ср}} = 2 \cdot k \cdot \left(2 \cdot \sqrt{\frac{1-r}{r}} + \frac{7}{8} \cdot \sqrt{\frac{r}{1-r}} \right), \quad (13)$$

де $r = D_{\Pi}/D_3 = 30/170 = 0,176$, $k = \sigma_s/2 = 86/2 = 43$ МПа .

$$p_{\text{ср}} = 2 \cdot 43 \cdot \left(2 \cdot \sqrt{\frac{1-0,176}{0,176}} + \frac{7}{8} \cdot \sqrt{\frac{0,176}{1-0,176}} \right) = 406,9 \text{ МПа} .$$

А сила зацентрування складе

$$P_{\text{пр1}} = \frac{\pi}{4} \cdot D_3^2 \cdot p_{\text{ср}} = \frac{\pi}{4} \cdot 0,03^2 \cdot 406,9 \cdot 10^6 = 2875054 \text{ Н} = 287,5 \text{ кН} .$$

Джонсон У і Меллор П. в роботі [14] наводять наступну формулу для визначення середнього тиску на торці циліндричного пуансона на початку його введення:

$$p_{cp} = 2 \cdot k \cdot \left(1 + \frac{\pi}{2}\right) = 2 \cdot 43 \cdot \left(1 + \frac{\pi}{2}\right) = 221 \text{ МПа} . \quad (14)$$

Тоді зусилля зацентрування складе:

$$P_{пр1} = \frac{\pi}{4} \cdot D_3^2 \cdot p_{cp} = \frac{\pi}{4} \cdot 0,03^2 \cdot 221 \cdot 10^6 = 156136 \text{ Н} = 156 \text{ кН} .$$

Томленов А. Д. у роботі [15] наводить формулу для середнього тиску на торці циліндричного пуансона при введенні на довжину діаметра пуансона:

$$p_{cp} = 2 \cdot k \cdot (1 + \pi) = 2 \cdot 43 \cdot (1 + \pi) = 356 \text{ МПа} . \quad (15)$$

Тоді зусилля зацентрування складе:

$$P_{пр1} = \frac{\pi}{4} \cdot D_3^2 \cdot p_{cp} = \frac{\pi}{4} \cdot 0,03^2 \cdot 356 \cdot 10^6 = 251514 \text{ Н} = 251,5 \text{ кН} .$$

При введенні пуансона з шаровою торцевою поверхнею на величину $\approx 1,3D_{II}$ середній тиск визначається формулою [15]:

$$p_{cp} = 2 \cdot k \cdot \left(1 + \frac{3}{4} \cdot \pi\right) = 2 \cdot 43 \cdot \left(1 + \frac{3}{4} \cdot \pi\right) = 288,5 \text{ МПа} . \quad (16)$$

Тоді зусилля зацентрування складе:

$$P_{пр1} = \frac{\pi}{4} \cdot D_3^2 \cdot p_{cp} = \frac{\pi}{4} \cdot 0,03^2 \cdot 288,5 \cdot 10^6 = 203825 \text{ Н} = 203,8 \text{ кН} .$$

Таким чином, маємо діапазон розрахункових значень сили введення пуансона в торець заготовки від 200 кН до 290 кН .

Приймаємо розрахункову силу 300 кН .

4. Вибір силових гідроциліндрів.

Для запресування заготовки у конічну матрицю. Розрахункова сила на штоку $P_{шт} = 508 \text{ кН}$. Номінальний тиск рідини $p = 20 \text{ МПа}$.

Діаметр гідроциліндра буде:

$$D_{II} = \sqrt{\frac{4 \cdot P_{шт}}{\pi \cdot p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 508 \cdot 10^3}{\pi \cdot 20 \cdot 10^6}} \approx 0,180 \text{ м} = 180 \text{ мм} .$$

Приймаємо діаметр гідроциліндра $D_{II} = 200 \text{ мм}$, діаметр штока $d_{шт} = 90 \text{ мм}$, хід поршня 300 мм .

Для зацентрування заготовки. Розрахункова сила на штоку
 $P_{шт} = 300$ кН. Номінальний тиск рідини $p = 20$ МПа .

Діаметр гідроциліндра буде:

$$D_{ц} = \sqrt{\frac{4 \cdot P_{шт}}{\pi \cdot p}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 300 \cdot 10^3}{\pi \cdot 20 \cdot 10^6}} = 0,138 \text{ м} = 138 \text{ мм} .$$

Приймаємо діаметр гідроциліндра $D_{ц} = 140$ мм , діаметр штока
 $d_{шт} = 60$ мм , хід поршня 250 мм.

Таким чином, визначена технологія підготовки нагрітих заготовок на запропонованій дільниці, і склад обладнання та силові параметри запресування кінця заготовки в конічну матрицю і зацентрування переднього торця заготовки перед прошиванням. Здійснено вибір гідроциліндрів для запресування заготовки в конічну матрицю і зацентрування заготовок.

Висновки

1. Проаналізовані основні відомі пропозиції з підготовки передніх кінців заготовок перед прошиванням на косовалковому стані. Встановлено, що максимальна ефективність підготовки заготовки може бути досягнута при профілюванні конічної ділянки на передньому кінці з наступним зацентруванням торця на одній і тій самій позиції.

2. Запропонована дільниця для підготовки заготовок до прошивання і обладнання для здійснення профілювання її переднього кінця з наступним зацентруванням. На дільниці передбачена підготовка заготовок різного діаметра на окремих позиціях без переналаштування обладнання.

3. Визначені силові параметри запресування заготовки в конічну матрицю і подальшого зацентрування введенням пуансону. Розрахунки силових параметрів проведено для сортаменту ТПА 140 з автоматичним станом.

4. Здійснено вибір гідроциліндрів для запресування кінців заготовок в конічну матрицю і зацентрування переднього торця введенням пуансону.

5. Отримані результати можуть бути рекомендованими для підготовки заготовок до прошивання на косовалковому стані з максимальним діаметром заготовок до 200 мм.

6. Комплексна підготовка заготовок до прошивання дозволить поліпшити умови захвату на прошивному стані, підвищити точність гільз і труб та знизити тим самим витратний коефіцієнт метала.

Перелік посилань

1. Грудев А. П., Машкин Л. Ф., Ханин М. И. Технология прокатного производства. М. : Металлургия, 1994. 656 с.
2. А. с. 1388125 СССР, МКИ В 21 В 19/04, 39/02. Пневматический зацентровщик трубной заготовки / И. И. Онищенко, И. Н. Потапов, Г. И. Хаустов и др. № 4146587/31-02 ; заявл. 02.10.1986 ; опубл. 15.04.1988, Бюл. №14. <https://patents.su/2-1388125-pnevmaticheskijj-zacentrovshhik-trubnoj-jzagotovki.html>.
3. А. с. 1657267 СССР, МКИ В 21 J 5/10. Гидравлическое устройство для зацентровки заготовок перед прошивкой / Б.Н. Лагутин, В.Я. Головачев, Л.В. Бабенко и др. № 4662019/27 ; заявл. 15.03.1989 ; опубл. 23.06.1991, Бюл. №23. <https://patents.su/3-1657267-gidravlicheskoje-ustrojstvo-dlja-zacentrovki-zagotovok-pere-d-proshivkojj.html>.
4. А. с. 1222339 СССР, МКИ В 21 В 19/04, 25/02. Устройство для подготовки заготовки под прошивку / П. М. Финагин, В. П. Подкустов, И. Н. Потапов, и др.. № 3788427/22-02 ; заявл. 07.09.1984 ; опубл. 07.04.1986, Бюл. № 13. <https://patents.su/6-1222339-ustrojstvo-dlja-podgotovki-zagotovki-pod-proshivku.html>.
5. Исследование процесса калибровки и глубокой зацентровки заготовок / И. Н. Потапов, Б. А. Романцев, В. А. Попов и др. *Известия высших учебных заведений. Черная металлургия*. 1985. №3. С 55–59.
6. Применение процесса глубокой зацентровки заготовки для повышения качества гильз и труб / И. Н. Потапов, П. М. Финагин, Б. А. Романцев и др. *Исследование и совершенствование процессов производства труб и профилей : Сб. научн. трудов*. М : ВЗМИ, 1986. С. 16–22.
7. Кушинский Г. Н. Исследование точности бесшовных труб и разработка мероприятий для её повышения на косовальковых станах ; автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук. Днепропетровск, 1972. 20 с.
8. А. с. 286940 СССР, МКИ В 21 В 19/00. Устройство для подготовки конца заготовки перед прокаткой / Я. Л. Ваткин, Г. А. Бирик, В. М. Друян и др. № 1311253/22-2 ; заявл. 25.02.1969 ; опубл. 19.11.1970, Бюл. № 35. <https://patents.su/2-286940-286940.html>.
9. А. с. 1514437 СССР, МКИ В 21 В 19/04. Способ подготовки заготовки к прошивке / Н. В. Орос, Ю. Я. Киселев, Т. А. Витакова и др. ; заявл. 06.01.1988 ; опубл. 15.10.1989, Бюл. №38.
10. Verfahren und Anlage zum Herstellen nahtloser Rohre : Patent 3412171 Bundesrepublik Deutschland : IPC В 21 В 19/02. № P3412171.4 ; application date 31.03.1984 ; Date of first publication 03.10.1985.
11. А. с. 1233970 СССР, МКИ В 21 В 19/04. Способ подготовки заготовки к прошивке / И. Н. Потапов, В. С. Чугуевский, Н. А. Пономарев, П. М. Финагин, М. А. Лойферман, Н. М. Вавилкин, В. П. Дулисов, О. В. Слесарев, Д. В. Терентьев и др. № 3794956/22-02 ; заявл. 26.09.1984 ; опубл. 30.05.1986, Бюл. №20. <https://patents.su/2-1233970-sposob-podgotovki-zagotovki-k-proshivke.html>.
12. Томсен Э., Янг Ч., Кобаяши Ш. Механика пластических деформаций при обработке давлением / пер. с англ. Е.П. Унксова. М. : Машиностроение, 1969. 504 с.
13. Сторожев М. В., Попов Е. А. Теория обработки металлов давлением. М. :

Высшая школа, 1963. 295 с.

14. Джонсон У., Меллор П. Теория пластичности для инженеров / пер. с англ. А.Г. Овчинникова. М. : Машиностроение, 1979. 567 с.

15. Томленов А. Д. Механика процессов обработки металлов давлением. М. : Машгиз, 1963. 235 с.

References

1. Hrudev, A. P., Mashkyn, L. F., & Khanyn, M. Y. (1994). *Tekhnolohiya prokatnoho proizvodstva*. Metallurhyia

2. Onishchenko, I. I., Potapov, I. N., Khaustov, G. I., Dubinskii, V. L., Varivoda, A. I., Diatlov, N. V., & Andriushchenko, V. S. (1988). A. s. 1388125 SSSR, MKI V 21 V 19/04, 39/02. Pnevmaticheskii zatcentrovshchik trubnoi zagotovki. No. 4146587/31-02; zaiavl. 02.10.1986; opubl. 15.04.1988, Biul. No.14. <https://patents.su/2-1388125-pnevmaticheskijj-zacentrovshhik-trubnoj-jzagotovki.html>

3. Lagutin, B. N., Golovachev, V. Ia., Babenko, L. V., Klimenko, F. K., Zlobinskii, V. E., & Surovtcev, V. S. (1991). A. s. 1657267 SSSR, MKI V 21 J 5/10. Gidravlichesкое ustroistvo dlia zatcentrovki zagotovok перед proshivkoi. No. 4662019/27; zaiavl. 15.03.1989 ; opubl. 23.06.1991, Biul. No. 23. <https://patents.su/3-1657267-gidravlichesкое-ustrojstvo-dlya-zacentrovki-zagotovok-перед-proshivkoi.html>

4. Finagin, P. M., Podkustov, V. P., Potapov, I. N., Akhmedshin, R. I., Volchkov, E. A., Rodin, N. M., & Frolochkin, V. V. (1986). A. s. 1222339 SSSR, MKI V 21 V 19/04, 25/02. Ustroistvo dlia podgotovki zagotovki pod proshivku. No. 3788427/22-02; zaiavl. 07.09.1984; opubl. 07.04.1986, Biul. No. 13. <https://patents.su/6-1222339-ustrojstvo-dlya-podgotovki-zagotovki-pod-proshivku.html>

5. Potapov, I. N., Romancev, B. A., & Popov, V. A. (1985). Issledovanie processa kalibrovki i glubokoj zacentrovki zagotovok. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Chernaya metallurgiya*. (3). 55–59

6. Potapov, I. N. Finagin, P. M. Romancev, B. A. (1986). Primenenie processa glubokoj zacentrovki zagotovki dlia povysheniya kachestva gil'z i trub. *Issledovanie i sovershenstvovanie processov proizvodstva trub i profilej*. VZMI. P. 16–22

7. Kushchinskij, G. N. (1972). *Issledovanie tochnosti besshovnykh trub i razrabotka meropriyatij dlia eyo povysheniya na kosovalkovykh stanakh*. (Master's thesis). Dnepropetrovskii metallurgicheskii institut, Dnepropetrovsk

8. Vatkin, Ia. L., Bibik, G. A., Druian, V. M., Kushchinskii, G. N., Perchanik, V. V., Popov, N. I., & Umerenkov, V. N. (1970). A. s. 286940 SSSR, MKI V 21 V 19/00. Ustroistvo dlia podgotovki kontca zagotovki перед prokatkoi. No. 1311253/22-2; zaiavl. 25.02.1969; opubl. 19.11.1970, Biul. No. 35. <https://patents.su/2-286940-286940.html>

9. Oros, N. V., Kiselev, Iu. Ia., & Vitakova, T. A. (1989). A. s. 1514437 SSSR, MKI V 21 V 19/04. Sposob podgotovki zagotovki k proshivke; zaiavl. 06.01.1988; opubl. 15.10.1989, Biul. No. 38

10. Verfahren und Anlage zum Herstellen nahtloser Rohre: Patent 3412171 Bundesrepublik Deutschland : IPC B 21 B 19/02. No. P3412171.4 ; application date 31.03.1984; Date of first publication 03.10.1985

11. Potapov, I. N., Chuguevskii, V. S., Ponomarev, N. A., Finagin, P. M., Loiferman, M. A., Vavilkin, N. M., Dulisov, V. P., Slesarev, O. V., & Terentev D. V.

A. s. 1233970 SSSR, MKI V 21 V 19/04. Sposob podgotovki zagotovki k proshivke. № 3794956/22-02; zaiavl. 26.09.1984; opubl. 30.05.1986, Biul. No. 20. <https://patents.su/2-1233970-sposob-podgotovki-zagotovki-k-proshivke.html>.

12. Tomsen, E., Iang, Ch., & Kobaiashi, Sh. (1969). *Mekhanika plasticheskikh deformatsii pri obrabotke davleniem*. Mashinostroenie

13. Storozhev, M. V., & Popov, E. A. (1963). *Teoriia obrabotki metallov davleniem*. Vysshaia shkola

14. Dzhonson, U., & Mellor, P. (1979). *Teoriia plastichnosti dlia inzhenerov*. Mashinostroenie

15. Tomlenov, A. D. (1963). *Mekhanika protsessov obrabotki metallov davleniem*. Mashgiz

S. V. Bilodidenko¹, D. Sc. (Tech.), Professor, ORCID 0000-0002-5768-594X

I. A. Mazur¹, Ph. D. (Tech.), Associate Professor, ORCID 0000-0003-2177-7110

V. D. Dobriak², Ph. D. (Tech.), Senior Engineer

D. Yu. Uhrimov³, Technical Director

Yu. D. Uhrimov², Ph. D. (Tech.), Senior Engineer

¹ *Ukrainian State University of Science and Technologies*

² *SE "Ukrainian institute for designing iron and steel works"*

³ *LLC "Marine Survey Company"*

PROCESSES FOR PREPARING A WORKPIECE FOR PIERCING ON A CROSS-ROLLING MILL

Abstract. The operation of centering the front end of the workpiece, which reduces the heterogeneity of the front ends of sleeves and pipes, is widely used to improve the process of cross-roll stitching of workpieces. The preparation of the workpiece by profiling the conical section at its front end was not used in practice due to the lack of reliable technical solutions. Based on the analysis of the well-known processes of preparation of blanks for stitching on a skew rolling mill, it was established that the most effective is the complex preparation of the front end of the blank, which includes profiling and centering. From the processes of preparing the workpiece for stitching, namely: centering the front end and profiling the front end, only centering is widely used. Profiling of the front end of the workpiece is practically not used on pipe rolling units. Moreover, the joint application of these two processes in practice is not known. The purpose of this article is the development of technology and equipment for the complex preparation of the front ends of the blanks before stitching on a skew-rolling machine by profiling the end of the blank in a conical matrix and centering its front end. The proposed design of the site with equipment for complex preparation of the workpiece for stitching, which allows this preparation to be carried out in different positions when using several sizes of workpieces in diameter. The power parameters of pressing the workpiece into a conical matrix and centering by inserting a punch have been determined, and hydraulic cylinders have been selected for force impact on the workpiece from its front and rear ends. The results of the research can be recommended for the preparation of blanks for stitching on a skew-rolling machine

of pipe-rolling units with a blank diameter of up to 200 mm. The implementation of the technical solutions proposed in this article will improve the conditions of gripping at the piercing stage and increase the accuracy of sleeves and pipes due to the reduction of the heterogeneity, which will reduce the level of the metal consumption coefficient.

Key words: billet, stitched cross-rolling machine, sleeve, hydraulic cylinder, rotary table, roller conveyor, matrix, punch, pressing force, sleeve accuracy, metal consumption coefficient.

For citation: Bilodidenko, S. V., Mazur, I. A., Dobriak, V. D., Uhriumov, D. Yu., & Uhriumov, Yu. D. (2024). Processes for preparing a workpiece for piercing on a cross-rolling mill. *Fundamental and applied problems of ferrous metallurgy*, 38, 482-500. <https://doi.org/10.52150/2522-9117-2024-38-482-500>

Стаття надійшла до редакції збірника 23.09.2024 р.
Рекомендовано до друку редколегією збірника (Протокол № 12 від 19.12.2024 р.)