

## DEVELOPMENT OF A DEVICE FOR DETERMINING THE SIZE OF THE PROJECTION INCREASES IN CLOTHING

PASHKEVICH K., BOGUSHKO A., KALENYK I., MARKVART Y.

*Kyiv National University of Technologies and Design*

**Purpose.** An experimental study of the projection increases of clothes depending on the thickness of the set of materials.

**Methodology.** The device was developed that allows to determine the coordinates of points on the surface of the hackberry and clothes that can be used for horizontal sections on basic structural levels.

**Findings.** The sizes of radius-vector points of the surfaces of the dummy and the female figure and the garment were obtained using the developed device during the experiment. By the coordinates of points a theoretical design of point and line hackberry (sagittal and frontal sections) of the dummy of female figure and female coat were created. The projection increases were obtained on the orthogonal sections. Using the point and linear hackberry incomplete models of surfaces of the dummy and female coat were built.

**Originality.** The nature of the garment sections on the basic structural levels of chest, waist, hips, and distribution of the sizes of the projection of increases were investigated.

**Practical Value.** Discrete linear frames of the surfaces of the dummy and clothes were created, as well as the sizes of the projection increases for the purpose of three-dimensional designing clothes were determined.

**Keywords:** *three-dimensional shape of the product, discrete linear hackberry, projection increase.*

УДК 621.002.3: 621.89

ГАВРИШ А.П., РОЇК Т.А., ДОРФМАН І.С., ВІЦЮК Ю.Ю.

Національний технічний університет України «Київський Політехнічний Інститут»

## ПРЕЦИЗІЙНА МАШИННА ДОВОДКА ПЛОСКИХ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ ТЕРТЯ З КОМПОЗИТИВ НА ОСНОВІ АЛЮМІНІЮ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

**Мета.** Експериментальне дослідження процесів прецизійної машинної доводки плоских поверхонь деталей тертя з нових композиційних матеріалів на основі відходів алюмінієвих сплавів для технологічних комплексів підприємств поліграфічного машинобудування, а також для верстатних систем легкої та харчової галузей промисловості народного господарства України.

**Методика.** Методикою було передбачено прецизійну механічну обробку плоских поверхонь деталей з використанням верстатів С-15. Матеріал дисків для доводки – мідь та чавун. В якості абразивних доводочних мікропорошків використовувались зерна електрокорунду білого (23А), електрокорунду білого хромчастого із вмістом у складі абразивного оксиду хрому до 2% (33А), електрокорунду титанового із вмістом титану до 2% (37А) та монокорунду (43А). Зернистість абразивних мікропорошків 1 – 7 мкм. Мазильно-охолоджуюча рідина: гас + олеїнова кислота із різним відсотковим вмістом компонентів.

**Результати.** Доведено, що на параметри якості поверхні оброблення суттєво впливають технологічні фактори процесів прецизійної механічної обробки – режими різання, матеріал дисків для доводки, матеріал та зернистість абразивних порошків для фінішного оброблення, а також склад мастильно-охолоджуючої рідини для оброблення. Показано, що найкращі результати отримані при застосуванні для фінішної прецизійної доводки чавунних дисків, зерен електрокорунду білого хромчастого із вмістом у складі абразиву оксиду хрому до 2% (33А) зернистістю 3 – 5 мкм та використанням у якості мастильно-охолоджуючої рідини суміші зі складом: гас (65%) + олеїнова кислота (35%).

**Наукова новизна.** Вперше показано, що основні закономірності прецизійної машинної доводки плоских поверхонь деталей з матеріалів на основі відходів алюмінієвих сплавів співпадають з фундаментальними положеннями загальної теорії надтонкого абразивного оброблення.

**Практична значимість.** Розроблено рекомендації з вибору режимів різання для прецизійної машинної доводки деталей різного технологічного призначення, що виготовляється з композиційних сплавів на основі відходів алюмінію і які забезпечують вимоги отримання необхідних параметрів якості поверхонь

**Ключові слова:** нові композитні матеріали, деталі тертя, прецизійна машинна доводка, диски для обробки, дрібнозернисті абразивні порошки, мастильно-охолоджуюча рідина, технологічні процеси оброблення.

**Вступ.** У конструкціях новітнього обладнання поліграфічної галузі, а також у сучасних машинах легкої та харчової промисловості широкого застосовують зносостійкі композиційні матеріали, які одержані з цінної та дешевої сировини – промислових шліфувальних відходів кольорових металів, насамперед, алюмінієвих сплавів та які, на жаль, навіть на сьогодні, здебільше вивозяться у відвали і не використовуються у повторному циклі виробництва.

На основі розгалужених науково-дослідних робіт з регенерації та повторного використання у виробничому циклі цих сировинних ресурсів [1, 2] в останні роки були створені оригінальні високозносостійкі композиційні сплави на основі алюмінію АК12М2МгН, АМ4,5Кд, АК8МЗч та АК12ММгН + (9 - 12 %) МоS2 [3-6]. Вони пройшли всебічну перевірку в умовах дії агресивного оточуючого середовища (кисень повітря, виробничий пил з абразивною властивістю, температурні навантаження при експлуатації у межах 110 - 170 °С, питомі навантаження до 7 МПа) і широко застосовуються для виготовлення деталей тертя (скоби, направляючі, плоскі вкладні «пальців» захоплювачів автооператорів, підтримувачі конвеєрних систем) у ножових різальних машинах поліграфії типу WHOLENBERG Trim-tec 560, у висікальному обладнанні паперу та картону DROSSERT ST-6, BOBSMISTRAL 110 A2, машин легкої промисловості (автооператорів панчохов'язальних машин типу PALERMO - 105SR, укладачів швидкісних ткацьких верстатів SPRINT - 1205 PI) та машин харчової промисловості (лоткові системи, маніпулятори і затискувачі).

Деякі основні властивості нових зносостійких композиційних матеріалів на основі алюмінію наведені у табл. 1.

Таблиця 1. Фізико-механічні та антифрикційні властивості композитів на основі алюмінію

Властивості композитів	Марка композиційного сплаву			
	AK12M2MгH [3]	AM4,5КД [4]	AK8M3ч [5]	AK12MMгH + (9 - 12)% MoS <sub>2</sub> [6]
Межа міцності на розтяг, МПа	180	187	187	190
Твердість НВ, МПа	550	580	590	595
Ударна в'язкість, кДж/м <sup>2</sup>	0,18	0,22	0,25	0,27
Коеф. тертя при 5 МПа	0,0075	0,0077	0,0045	0,0038
Інтенсивність зношування при 5 МПа	3,9*	5,3*	2,66	2,61
Інтенсивність зношування контртіла при 5 МПа	Сліди	0,005*	0,002**	Сліди
Гранична температура, °С	120	170	150	155
Граничне навантаження, МПа	7	7	6**	6,5**

Примітка: \* - випробування при 100 °С; \*\* - випробування при 150 °С; змащування індустріальним мастилом «І – 20» в парі з контртілом зі сталі 45 (45 – 48 HRC).

Зносостійкий матеріал на основі алюмінієвого сплаву AK12MMгH з домішками твердого мастила (дисульфід молібдену MoS<sub>2</sub>) набув визнання у конструкторів і наразі широко використовується у вузлах тертя машин і механізмів, що працюють при підвищених навантаженнях і температурах без змащування рідким мастилом. Відомо [7 – 9], що зносостійкість деталей, як один із головних параметрів надійності обладнання, суттєво залежить від параметрів якості поверхонь тертя і, в першу чергу, від шорсткості та фізичних властивостей поверхневого шару. Ці параметри формуються на фінішних операціях тонкого абразивного оброблення.

У зв'язку з тим, що нові композиційні сплави на основі алюмінію знайшли своє використання у машинобудуванні та приладобудуванні відносно нещодавно, розгалужених та всебічних досліджень процесів їх тонкого абразивного оброблення до цього часу практично немає. Зроблено лише перші кроки у цьому напрямку, зокрема, є поодинокі публікації, присвячені дослідженню впливу складу інструменту та режимів різання на параметри шорсткості поверхонь при тонкому абразивному шліфуванні [7 – 9].

Виходячи із загальних положень теорії абразивного оброблення матеріалів [10 – 15] та враховуючи специфічні властивості композиційних сплавів на основі алюмінію [1, 2], безумовно доцільним є обробка високоточних плоских поверхонь деталей тертя з композитів на базі відходів алюмінієвої сировини за схемою – «тонке плоске ельборове шліфування – прецизійна механічна доводка». Така схема оброблення гарантує отримання надвисоких вимог до поверхонь тертя композитних деталей, які є засадничими для

забезпечення високих параметрів надійності пар тертя (зносостійкості, довговічності, ремонтоздатності та коефіцієнта готовності). Наприклад, для прецизійних опор конвеєрних систем поліграфічних комплексів, ці вимоги складають – параметр шорсткості поверхні оброблення  $R_a$  повинен знаходитись у межах 0,020 мкм – 0,040 мкм, неплоскощинність на базі 60 60 мм – 0,05 – 0,08 мкм, ступінь наклепу  $K = 1,4 – 1,5$ , глибина наклепу  $h = 2 – 5$  мкм, залишкові напруження у поверхневому шарі – стиску. На жаль, на сьогодні повністю відсутні відомості про дослідження технологічних процесів прецизійної машинної доводки деталей з композитів на основі алюмінію. Швидше за все, це пояснюється тим, що ці композитні матеріали лише нещодавно набули поширення у промисловості [3 – 6].

Тому всебічних технологічних досліджень по забезпеченню якості поверхонь деталей та оптимізації режимів оброблення не проводилось. Є лише перші спроби по дослідженню параметрів шорсткості поверхонь деталей з алюмінієвих композиційних сплавів при тонкому абразивному ельборовому шліфуванні плоских поверхонь, поверхонь отворів та зовнішніх циліндричних поверхонь деталей обертання та розробці оптимальних режимів різання, вибору структури і складу шліфувальних інструментів [16, 17].

В науково-технічній літературі є багато публікацій по машинній доводці плоских прецизійних поверхонь деталей з важкооброблюваних матеріалів для систем різного призначення [10, 15, 18 – 22].

Науковцями та практикою провідних машинобудівних підприємств доведено, що застосування прецизійної машинної доводки з використанням сучасних абразивних інструментів дозволяє отримати найкращі показники якості оброблюваних поверхонь.

Втім, відсутність науково обґрунтованих рекомендацій з високоточної машинної доводки деталей з композитних сплавів на основі алюмінію призводить до застосування на практиці різних технологічних схем оброблення, далеко не завжди оптимальних. Вказане викликає поширення різних технологій, часто суттєво протирічних, і які здебільшого створені до можливостей того чи іншого підприємства.

Тому дослідження технологічних процесів прецизійної машинної доводки плоских поверхонь зносостійких деталей тертя з нових композиційних матеріалів на основі алюмінію є актуальним питанням, що має безсумнівне як наукове, так і, що не менш важливо, практичне значення для технологів-виробників.

**Постановка завдання.** Метою даної роботи було дослідження параметрів якості поверхонь при прецизійній машинній доводці деталей тертя з нових композиційних матеріалів на основі алюмінію АК12М2МгН, АМ4,5Кд, АМ8М3ч та АК12ММгН + (9 – 12 %) МоS2 та встановлення впливу зернистості шліфувального круга, типу зв'язки інструменту і основних режимів різання на якісні показники поверхонь оброблення досліджуваних деталей тертя (точність, шорсткість, параметри наклепу).

**Результати дослідження.** Експериментальні дослідження з означеної науково-технічної задачі виконувались згідно з методикою викладеною у роботах [2, 7, 10, 15 – 17]. Їх результати наведені у таблицях і рисунках.

Попередньо доцільно зауважити, що для прецизійної механічної обробки плоских поверхонь деталей використовувались верстати С-15, які широко розповсюдженні при виготовленні точних деталей годинників відповідної галузі промисловості [21, 22].

Вибір цих верстатів обумовлювався їх розгалуженими кінематичними можливостями, які здатні забезпечити надскладну траєкторію взаємного переміщення по поверхні доводочного інструменту абразивних зерен та деталей оброблення, в результаті чого досягається мінімальна шорсткість поверхні оброблення і найбільш можлива геометрична точність (мінімальне відхилення від площинності). Схема доводки може бути пояснена за допомогою рис. 1.

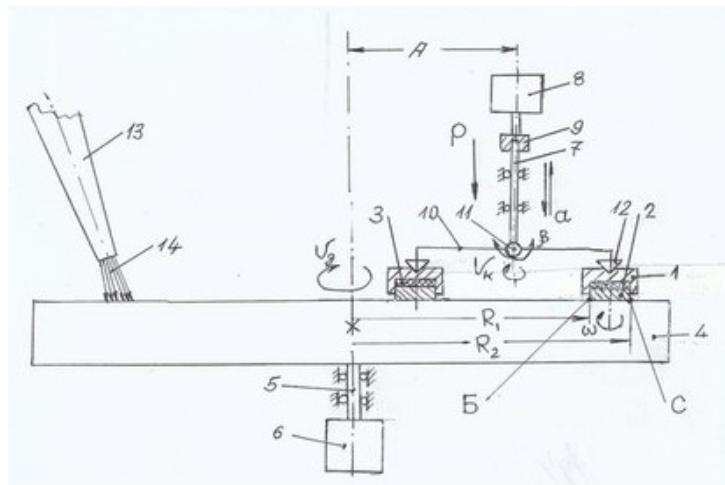


Рис. 1. Схема прецизійної машинної доводки плоских поверхонь деталей з композитів на основі алюмінію

1 – пристрій для встановлення деталей на доводочному верстаті; 2 – деталь оброблення; 3 – еластична прокладка пристрою; 4 – диск для доводки; 5 – шпindelь обертання доводочного диску; 6 – редуктор та електропривід для обертання диску; 7 – шпindelь обертання колісного водила; 8 – редуктор та електропривід водила; 9 – вага для створення притискування деталей оброблення до поверхні диску; 10 – водило колісно-шарнірного типу; 11 – шарнір; 12 – центр для фіксації пристрою з деталлю при доводці; 13 – сопло; 14 – суміш мастильно-охолоджуючої рідини та абразивного мікропорошку.

$A$  – ексцентриситет між шпинделями обертання доводочного диску і шарнірно-колісного водила;  $P$  – питомий тиск оброблення;  $R_1$  – радіус точки  $B$  деталі оброблення;  $R_2$  – зовнішній радіус точки  $C$  деталі;  $V_d$  – швидкість обертання диску;  $V_k$  – швидкість обертання водила;  $\omega$  – швидкість обертання деталі навколо центру фіксації в пристрої;  $\alpha$  – поздовжні коливання шпинделя водила при обробці;  $\beta$  – швидкість плинних коливань куліси-водила.

Прецизійна машинна доводка відбувається наступним чином.

Доводочний диск 4 з чавуну, міді чи олова (в залежності від характеристик матеріалу деталі оброблення) жорстко кріплять на вертикально розташованому шпинделі 5, який за допомогою редуктора та електропривода 6 може обертатись у горизонтальній площині. Диск 4 обертається разом зі шпинделем 5 навколо своєї вісі зі швидкістю  $V_d$ .

Паралельно осі шпинделя диска 4 у конструкції верстату передбачено розташування осі шпинделя 7 кулісного водила 10, що з'єднується зі шпинделем 7 за допомогою шарніру 11. На кінцях куліси-води́ла 10 закріплюють конусні центри 12 для фіксації пристроїв 1.

У пристроях 1 встановлюють деталі 2, плоска поверхня яких повинна бути оброблена з відповідною точністю та параметрами якості (параметр Ra, ступінь наклепу K, глибина залягання наклепу h, рівень та знак залишкових напружень поверхневого шару). Для цього деталі встановлюють у гнізда пристрою 1 таким чином, щоб поверхня оброблення міцно притискалась до робочої поверхні доводочного диска 4. Силу притискання регулюють за допомогою мірних вагів 9, які забезпечують притискання деталей до поверхні доводочного диску з необхідним питомим тиском P. Для компенсації похибок у розмірах висоти оброблення деталей між деталлю 2 та пристроєм 1 у лунки для фіксації деталей закладають еластичні прокладки 3 (наприклад, паралонові). Шпиндель 7 куліси-води́ла розташовано паралельно вісі шпинделя 5 диску 4 зі зміщенням на величину ексцентриситету A і з допомогою редуктора та електроприводу 8 обертається навколо своєї осі зі швидкістю  $V_k$ . При цьому відбуваються плинні коливання шпинделю разом з кулісою-води́лом 10 та пристроями 1 з деталями 2 вздовж осі шпинделя 7 зі швидкістю a. За допомогою цих коливань компенсуються деякі похибки поверхні доводочного диску 4. До речі, компенсації цих похибок під час обробки сприяє також коливання куліси-води́ла 10 навколо шарніру 11 зі швидкістю  $\beta$ . Крім того, в процесі машинної доводки швидкість обертання деталі 2 у точці C (внаслідок розташування її на зовнішньому радіусі диску  $R_2$  диску 4) значно більша ніж у точці B на меншому радіусі  $R_1$ . Як результат, деталь 2 (під дією тертя при зрізанні з її поверхні стружок абразивними зернами, що безперервно через сопло 13 у складі суміші мастильно-охолоджуючої рідини з абразивними порошками 14) набуває обертання навколо центру 12 з певною швидкістю  $\omega$ .

Таким чином, при одночасному включенні електроприводів 6, 8 диск 4 для доводки починає обертання із швидкістю  $V_d$ , а кулісне водило 10 шарнірного типу набуває обертів навколо осі шпинделя 7 зі швидкістю  $V_k$ . Внаслідок різниці обертових швидкостей на радіусах  $R_1$ , та  $R_2$  починають обертатися навколо центрів 12 куліси-води́ла деталі 2, плоска поверхня яких повинна бути прецизійно оброблена.

Завдяки мірним вагам 9 деталі 2 міцно притискаються до ріжучої поверхні диску 4 з заданим питомим тиском P. Похибки форми диску 4 компенсуються завдяки шарніру 11 куліси 10 та еластичних прокладок 3.

Комбінація обертання диску 4 зі швидкістю  $V_d$ , водила-куліси 10 зі швидкістю  $V_k$  та деталей навколо центрів 12 зі швидкістю  $\omega$  забезпечує отримання надскладної траєкторії дряпання абразивним зерном плоскої поверхні деталі і (у сполученні з параметрами абразивних зерен – матеріал зерна, зернистість) дозволяє отримати необхідні параметри точності, шорсткості та якості (фізичні властивості поверхневого шару) поверхонь оброблення.

Також слід зазначити, що для отримання необхідних технічних умов по забезпеченню високих параметрів якості плоских поверхонь деталей з композитних матеріалів на основі алюмінію при їх машинній доводці найголовнішою умовою є питання оптимізації вибору параметрів абразивних зерен [2, 10, 15, 18 – 20]. З урахуванням цього

для розгалужених досліджень шорсткості, точності та фізичних властивостей тонкого поверхневого шару (наклепу) деталей при їх прецизійній машинній доводці автори статті використовували в якості абразивних доводочних мікропорошків зерна електрокорунду білого (23А), електрокорунду хромчастого із вмістом у складі абразивного оксиду хрому Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> до 2% (33А), електрокорунду титанового із вмістом титану TiO<sub>2</sub> до 2% (37А) та монокорунду (43А). Зернистість абразивних мікропорошків у всіх випадках коливалась у межах 1 – 7 мкм [23, 24].

Мікропорошки карбїду кремнію зеленого (63С), які мають найгострішу форму зерна, не використовувались взагалі у зв'язку з тим, що вони мають пластинчасту структуру і не забезпечують необхідних параметрів якості поверхонь оброблення деталей, а також показників продуктивності при обробці [23 - 25].

При дослідження впливу на параметр шорсткості поверхні матеріала зерна, зернистості абразивних мікропорошків, матеріалу доводочного диску та складу мастильно-охолоджуючої рідини (МОР) для різних композитних матеріалів на основі алюмінію [3 - 6] застосовувалась швидкість обертання доводочного диску V<sub>д</sub> близько 60 об/хв., а шпинделя з водило-кулісою (поз. 7, 10 рис.1) V<sub>к</sub> у межах 180 - 190 об/хв., що і складає рівень відносної швидкості різання 5 - 7 м/хв., що є характерним для технологічних процесів машинної доводки вільношаржованим у притир абразивом та доводки не шаржовим абразивним матеріалом [10, 15, 20, 22].

У табл. 2 наведені експериментальні дані по дослідженню параметрів шорсткості R<sub>a</sub> різних за складом композитів на основі алюмінію при прецизійній доводці не шаржованим у диск-притир абразивним матеріалом.

Уважно проаналізувавши отримані результати, необхідно зробити деякі важливі для подальших досліджень висновки.

По-перше, в усьому достатньо широкому полі експериментів проглядається тенденція до покращення параметра шорсткості R<sub>a</sub> при використанні у якості абразиву мікропорошків електрокорунду хромчастого (33А).

**Таблиця 2. Залежність параметрів шорсткості поверхні R<sub>a</sub> при прецизійній машинній доводці**

Матеріал притиру	Характеристика абразиву	Склад МОР	Матеріал зразків			
			AK12M2MгH [3]	AM4,5Kд [4]	AK8M3ч [5]	AK12MMгH + (9 - 12)% MoS <sub>2</sub> [6]
Чавун	23AM7	Гас (65%) + олеїнова кислота 35%	0,091	0,079	0,085	0,071
	23AM5		0,080	0,071	0,075	0,060
	23AM3		0,072	0,063	0,065	0,051
	23AM3	Гас (50%) + олеїнова кислота (50)%	0,075	0,065	0,069	0,057
	23AM3	Гас (90%) + олеїнова кислота (10)%	0,077	0,067	0,072	0,061

	33AM3	Гас (65 %) + олеїнова кислота (35)%	0,037	0,033	0,030	0,026
	33AM1		0,031	0,029	0,025	0,022
	33AM1	Гас (50 %) + олеїнова кислота (50 %)	0,033	0,031	0,028	0,024
	37AM5	Гас (65 %) + олеїнова кислота (35%)	0,045	0,041	0,037	0,032
	37AM3		0,041	0,037	0,032	0,029
	37AM1		0,036	0,031	0,028	0,024
	43AM5		0,051	0,048	0,044	0,037
	43AM3		0,048	0,043	0,038	0,035
	43AM1		0,042	0,037	0,031	0,028
	Мідь		23AM5	0,065	0,061	0,056
33AM3			0,033	0,030	0,027	0,024
33AM1			0,027	0,025	0,023	0,020
43AM1			0,035	0,032	0,030	0,026

Примітка: 1 – швидкість різання  $V = 7$  м/хв. 2 – питомий тиск  $P = 0,05$  МПа.

Це є характерним для усієї гама досліджених композитів на основі алюмінію, різних зернистостей мікропорошків у досить широкому їх діапазоні від 1 мкм до 7 мкм та принципово різних матеріалів притирів (чавун, мідь). Пояснення цьому явищу може бути надане з урахуванням фізичних властивостей безпосередньо електрокорунду хром частого: саме він схильний до подрібнення у процесі прецизійної машинної доводки і, таким чином, фактично у процесі різання металу на поверхні оброблення деталі утворюються більш дрібнозернисті частки абразиву, що зрізає тонкий шар стружки [23 – 25]. Це покращує умови оброблення (змінюються параметри перерізу стружки, теплові і силові характеристики поля на вершині ріжучої кромки абразивного зерна) і, відповідно, відбувається зменшення шорсткості поверхні оброблення.

По-друге, відзначається деяке ( $\sim 9 - 10\%$ ) покращення параметру шорсткості  $R_a$  із застосуванням для доводки мідних дисків-притирів. Але продуктивність доводки при використанні чавунних дисків більша у 3 – 5 разів, що надає їм безумовну перевагу у порівнянні з мідними притирами, незважаючи на більш прийнятні показники по параметру  $R_a$ .

По-третє, прослідковується тенденція до покращення параметру шорсткості  $R_a$  поверхні оброблення при доводці з використанням у якості мастильно-охолоджуючої рідини суміші зі складом – гас (65%) + олеїнова кислота (35%).



Слід також зазначити, що найкращі результати прецизійної машинної доводки по параметру  $R_a$  отримані при обробці алюмінієвого композиту АК12ММГН + (9 – 12%) MoS<sub>2</sub>. Найбільш ймовірним поясненням цього може бути наявність у складі сплаву твердого мастила MoS<sub>2</sub>, а також більш високими його фізико-механічними властивостями (табл. 1).

Враховуючи означене для подальших експериментальних досліджень використовувались чавунні притири, абразивні мікропорошки електрокорунду хром частого (33А) та мастильно-охолоджуюча рідина зі складом гас (65%) + олеїнова кислота (35%), а більшість дослідів виконувались зі сплавом АК12ММГН + (9 – 12%) MoS<sub>2</sub>.

Важливим для виробничої практики є результати дослідження впливу на параметр шорсткості  $R_a$  питомого тиску (табл. 3).

Таблиця 3. Вплив питомого тиску  $P$  на параметр шорсткості  $R_a$  при прецизійній доводці деталей з композиційного сплаву АК12ММГН + (9 – 12%) MoS<sub>2</sub>.

Питомий тиск $P$ , МПа	Параметр шорсткості $R_a$ , мкм	Середнє квадратичне відхилення $\tau_r$
0,05	0,037	0,010
0,07	0,041	0,012
0,08	0,048	0,014
0,10	0,051	0,016
0,12	0,055	0,018
0,12	0,062	0,020

Примітка: 1 – притир – чавун; 2 – абразивний мікропорошок: електрокорунд хром частий (33А) зернистістю 3 мкм.

Аналіз даних табл. 3 показує, що найкращі параметри шорсткості  $R_a$  можливо отримати при питомих тисках 0,05 – 0,07 МПа, застосовуючи для оброблення чавунні диски-притири.

Безумовно цікавим є питання, як впливає на кінцеві результати машинної доводки параметри шорсткості поверхні  $R_a$ , що були отримані на попередніх операціях шліфування перед машинною доводкою. Деякі основні дослідження у цьому напрямку наведені у табл. 4.

Таблиця 4. Вплив попереднього оброблення на параметр шорсткості  $R_a$  при машинній доводці АК12ММГН + (9 – 12%) MoS<sub>2</sub>

Попереднє шліфування	Параметр шорсткості $R_a$ , мкм	
	Після шліфування	Після доводки
Ельбор ЛОМ14Бр1	0,217	0,026
Ельбор ЛОМ7Бр1	0,185	0,021
Карбід кремнію зелений 63СМ14Гл	0,673	0,045
Карбід кремнію зелений 63СМ7Гл	0,367	0,037

Примітка: 1. Доводочний диск – чавун. 2. Режим доводки – швидкість різання  $V = 7$  м/хв., питомий тиск  $P = 0,05$  МПа. 3. Абразивний мікропорошок – 33А зернистістю 3 мкм.

Аналіз даних табл. 4 дозволяє дійти до висновку, що чим більш якісною є поверхня перед прецизійною машинною доводкою, тим меншою буде шорсткість поверхні (по параметрам  $R_a$ ) після доводки. Тому, проектуючи технологічні процеси оброблення плоских поверхонь деталей з композиційних сплавів на основі алюмінію, слід передбачати таку послідовність технологічних операцій – попередньо здійснювати тонке шліфування (наприклад, ельборовими дрібнозернистими шліфувальними кругами типу ЛОМ14Бр1 100%), яке забезпечує мінімальні значення параметру шорсткості  $R_a$ , а потім, на заключній стадії комплексного технологічного процесу, здійснювати прецизійну машинну доводку (табл. 4), яка дозволяє досягати рівня параметрів  $R_a$ , що гарантують виконання технічних вимог до поверхонь деталей і забезпечить отримання необхідних показників зносостійкості та довговічності вузлів і машинних комплексів в цілому.

В табл. 5 наведені результати експериментального дослідження параметрів точності поверхонь оброблення при прецизійній машинній доводці деталей зі зносостійких алюмінієвих композитів.

**Таблиця 5. Відхилення від неплоскості плоских поверхонь деталей з композиційних сплавів на основі алюмінію при машинній доводці**

Матеріал притиру	Абразивний мікропорошок	Матеріал зразків		
		АМ4,5Кд	АК8М3ч	АК12ММГН + (9 – 12%) MoS <sub>2</sub>
Чавун	33АМ7	1,0 – 1,2	0,95 – 1,0	0,9 – 1,0
	33АМ5	0,8 – 1,0	0,75 – 0,9	0,7 – 0,8
	33АМ3	0,75 – 0,9	0,65 – 0,75	0,6 – 0,7
	33АМ1	0,65 – 0,8	0,55 – 0,65	0,5 – 0,6
Чавун	43АМ5	1,15 – 1,25	1,2 – 1,3	1,1 – 1,2
	43АМ3	1,05 – 1,15	1,1 – 1,2	1,0 – 1,1
	43АМ1	0,95 – 1,0	1,0 – 1,1	0,9 – 1,0
Чавун	23АМ5	1,40 – 1,45	1,35 – 1,45	1,3 – 1,4
	23АМ3	1,30 – 1,35	1,26 – 1,32	1,2 – 1,3
Мідь	33АМ5	0,80 – 0,90	0,70 – 0,8	0,6 – 0,7
	33АМ3	0,75 – 0,80	0,70 – 0,75	0,5 – 0,6
	33АМ1	0,70 – 0,75	0,65 – 0,70	0,5 – 0,6

Примітка: 1 – мастильно-охолоджуюча рідина (МОР) – гас (65%) + олеїнова кислота (35%); 2 – Режим доводки: швидкість різання  $V = 7$  м/хв., питомий тиск  $P = 0,05$  МПа.

Аналіз даних табл. 5 дозволяє дійти висновку, що у всьому діапазоні виконаних експериментів найкращі показники точності оброблення  $N$  плоских поверхонь деталей з нових зносостійких композиційних матеріалів (незалежно від марки оброблюваного сплаву) забезпечує машинна доводка на чавунних притирах з застосуванням абразивних мікропорошків електрокорунду хромчастого (33А) зернистістю 1 – 3 мкм при використанні МОР зі складом – гас (65%) + олеїнова кислота (35%) та наступними режимами різання: швидкість різання –  $V = 7$  м/хв., питомий тиск –  $P = 0,05$  МПа.

Як вже відзначалось, одним із найважливіших параметрів якості поверхні оброблення, що суттєво впливає на зносостійкість пар тертя, є наклеп тонкого поверхневого шару та глибина його проникнення у тіло деталі при машинній доводці їх плоских поверхонь. Ці фактори відіграють важливу роль (з точки зору фізики процесів тертя і зношування деталей [1,2]) у перерозподілі рівня залишкових напружень і формуванні ювенільного контакту поверхонь пар тертя при зношуванні деталей при експлуатації машин і механізмів.

Тому дослідження процесів утворення наклепу при машинній доводці нових марок зносостійких композитів на основі алюмінію [3 – 6], як впливають технологічні фактори процесу прецизійної доводки (матеріал диску, характеристика абразивного мікропорошку, режими різання та склад мастильно-охолоджуючої рідини) на параметри наклепу та специфічні особливості технологічного процесу прецизійної доводки є безумовно важливим як з наукової, так і з практичної точки зору.

У табл. 6, 7 наведені основні результати експериментального дослідження означених питань.

**Таблиця 6. Ступінь наклепу К на різних глибинах наклепної зони при прецизійній машинній доводці деталей з композиційного сплаву на основі алюмінію АК12ММгН + (9 – 12%) МоS<sub>2</sub> [6]**

Спосіб доводки	Ступінь наклепу К			
	На поверхні	На глибині 5 мкм	На глибині 3 мкм	На глибині 1 мкм
Чавунний притир, абразивний мікропорошок 33АМЗ	1,21	1,12	1,07	1,01
Чавунний притир, абразивний мікропорошок 33АМ1	1,12	1,07	1,05	1,01
Чавунний притир, абразивний мікропорошок 43АМ1	1,36	1,22	1,15	1,07
Мідний притир, абразивний мікропорошок 33АМЗ	1,15	1,10	1,05	1,01

Примітка: 1. Режим оброблення: швидкість різання –  $V = 7$  м/хв., питомий тиск –  $P = 0,05$  МПа. 2. Мастильно-охолоджуюча рідина – суміш зі складом – гас (65%) + олеїнова кислота (35%).

Аналіз табл. 6, 7 показує, що з точки зору формування мінімальних параметрів наклепу, а саме, мінімальних значень ступеню К та глибини його проникнення у тіло

поверхні деталі, при прецизійній доводці, найкращі результати забезпечує обробка на чавунних притирах абразивними зернами електрококорнду хром частого (33А) зернистістю 1 – 3 мкм. Наприклад, у порівнянні з зернами монокорунду 43А, який має досить гостру геометрію ріжучої вершини, показники наклепу на 10 – 20% більші ніж у абразивних мікропорошків 33А. Це може бути пояснене лише більшою крихкістю зерен електрокорунду хромчастого, що викликає подрібнення зерен при доводці, утворення більш дрібнозернистих фракцій, відповідного перерозподілу складових сил різання при доводці та закономірного зменшення (внаслідок цього) параметрів наклепу.

Таблиця 7. Вплив режимів різання прецизійної машинної доводки на наклеп поверхонь деталей зі зносостійких композитних сплавів на основі алюмінію

Притир	Режими різання		Абразивний мікропорошок	Ступінь наклепу К		
	Швидкість V, м/хв.	Питомий тиск P, Мпа		АМ4,5Кд [4]	АК12ММГН + (9 – 12%) MoS <sub>2</sub> [6]	
Чавун	5	0,05	33АМ5	1,25	1,22	
	5	0,07		1,27	1,25	
	5	0,10		1,32	1,30	
	7	0,05		1,27	1,23	
	7	0,10		1,37	1,35	
	10	0,05		1,31	1,29	
	10	0,010		1,32	1,34	
	7	0,05		33АМ3	1,23	1,21
	7	0,07	1,20		1,19	
	7	0,10	1,26		1,30	
	Мідь	7	0,05	33АМ1	1,14	1,12
		7	0,10		1,18	1,16
		7	0,05	43АМ3	1,36	1,35
		7	0,07		1,39	1,37
		7	0,10		1,44	1,40
		7	0,05		1,15	1,13
Мідь		5	0,07	33АМ3	1,17	1,15
		7	0,05		43АМ3	1,33
	7	0,07	1,36	1,34		

Примітка: 1. Мастильно-охолоджуюча рідина – суміш зі складом – гас (65%) + олеїнова кислота (35%).

Отриманий висновок, підтверджується і при доводці на мідних притирах, хоча має місце деяке покращення параметрів наклепу (~ на 3 – 5%) у порівнянні з чавунними притирами. Найвірогідніше, пояснення цьому може бути дано у порівнянні фізико-механічних властивостей чавунних та мідних притирів. Мідні притири – більш м'які і тому абразивні зерна демпфують у тіло притиру під дією сил різання. Це зменшує фактичну глибину різання при доводці, суттєво знижує складові сил різання, обумовлюючи зменшення при різанні пластичних деформацій у зоні різання шару металу та безпосередньо перерізу стружки. Як наслідок, відбувається зменшення наклепу та глибини його проникнення у поверхневий шар.

Але з урахуванням більш низької розмірної стійкості мідних притирів у порівнянні з чавунними для практичного використання у подальшому слід рекомендувати тільки притири з чавуну.

Зазначимо, що на параметри наклепу впливають режими доводки. Для всіх видів притирів, матеріалу зерна абразиву та його зернистості найкращі показники забезпечує обробка з такими режимами доводки: швидкість різання –  $V = 7$  м/хв., питомий тиск –  $P = 0,05$  МПа.

Зміни параметрів наклепу при збільшені чи зменшені швидкості різання та питомих тисків при прецизійній доводці деталей з нових зносостійких композиційних сплавів на основі алюмінію [3 – 6] пояснюється їх чутливістю до змін миттєвих контактних температур та співвідношень у силовому полі при зрізанні у процесі доводки надтонких стружок з мінімальними значеннями їх перерізів.

**Висновки.** Узагальнюючи комплекс виконаних досліджень, необхідно зробити важливі як наукові, так і практичні висновки.

Вперше в науковій практиці досліджено технологічні процеси прецизійної машинної доводки плоских поверхонь деталей тертя з нових зносостійких композитних матеріалів, синтезованих на основі утилізованих та регенованих шліфувальних відходів виробництва деталей з алюмінію, що відкриває можливості одержання високоякісних деталей тертя з нових композитів для машинних комплексів.

Показано, що основні закономірності прецизійної машинної доводки деталі зі зносостійких алюмінієвих композитів співпадають з базовими положеннями теорії абразивного оброблення, що є вагомим додатковим вкладом в науку про технологію машинобудування.

Найкращі показники параметрів шорсткості  $R_a$ , точності геометричної форми поверхонь оброблення, значень ступеня наклепу та глибини його проникнення у поверхневі шари металу деталей, що обробляються, забезпечує прецизійна машинна доводка плоских поверхонь з застосуванням чавунних дисків-притирів, використанням дрібнозернистих (1 – 3 мкм) абразивних мікропорошків електрокорунду хром частого (33А) з вмістом у його складі до 2% оксиду хрому  $Cr_2O_3$  та наступними режимами обробки: швидкість різання –  $V = 7$  м/хв., питомий тиск –  $P = 0,05 - 0,07$  МПа, мастильно-охолоджуюча рідина – суміш зі складом – гас (65%) + олеїнова кислота (35%).

Подальші дослідження технологічних процесів прецизійної машинної доводки зносостійких алюмінієвих композитів доцільно спрямувати на всебічне дослідження величини та знаку залишкових напружень у поверхневих шарах деталей, що підлягають обробленню та встановленню їх впливу на параметри зносостійкості та довговічності деталей, машин і механізмів численних машинних комплексів.

Список використаної літератури

1. Роїк Т. А., Киричок П. О., Гавриш А. П. Композиційні підшипникові матеріали для підвищених умов експлуатації: монографія. – К.: НТУУ «КПІ», 2007. – 404 с.
2. Киричок П.О., Роїк Т.А., Шевчук А. В., Гавриш А.П., Лотоцька О. І. Технологія поліграфічного машинобудування: Учбовий посібник. - К.: вид. НТУУ «КПІ», 2014. –404 с.
3. Патент України № 60174 А, МКИ С22С 21/02. Порошковий антифрикційний матеріал на основі алюмінію /Комнацький О. Л., Роїк Т. А., опубл. 15.09.2003, Бюл. №9.
4. Пат. 34407 Україна, МКИ С22С21/02 Композиційний підшипниковий матеріал на основі алюмінію /Роїк Т. А., Гавриш А. П, Гавриш О. А., Холявко В. В., Прохоренко О.М. - опубл. 11.08.08, Бюл. № 15.
5. Патент України №26862, МКИ С22С21/02. Антифрикційний матеріал на основі алюмінію/ Роїк Т.А., Гавриш А.П., Киричок П.О., Гавриш О.А. – опубл.10.10.2007, Бюл. №16.
6. Патент України № 75523, МПКС22С21/02(2006.01) Зносостійкий матеріал на основі алюмінієвого сплаву/Роїк Т. А, Гавриш А. П., Гавриш О.А., Киричок П.О., Віцюк Ю.Ю., Мельник О. О., Замулко С.О., Дорфман І. Є. опубл. 10.12.2012, Бюл. № 23.
7. Гавриш А.П., Шевчук А.В., Роїк Т.А., Ковальов В.А., Віцюк Ю.Ю., Вплив абразивного інструменту на шорсткість поверхонь композитних підшипників поліграфічної техніки при тонкому шліфуванні//Технологія і техніка друкарства. - №3 (37).-2012.- С. 119-127.
8. Гавриш А.П., Мельник О.О., Роїк Т.А., Аскеров М.Г., Гавриш О.А. Нові технології фінішного оброблення композиційних підшипників ковзання для жорстких умов експлуатації: Монографія. - К.: НТУУ „КПІ”, 2012.- 196 с.
9. Гавриш А. П., Роїк Т. А., Віцюк Ю. Ю., Олійник В. Г., Дорфман І. Є. Розробка технологічних режимів тонкого абразивного шліфування зносостійких деталей поліграфічної техніки з нових композитів на основі алюмінію // Технологічні комплекси. - №1 (9), 2014, с. 75 - 87)
10. Гавриш А. П., Мельничук П. П. Фінішне алмазно-абразивна обробка магнітних матеріалів: Монографія. - Житомир : вид. Житомирського ДТУ, 2004. –551 с.
11. Маслов Е. Н. Теория шлифования материалов. -М. : Машиностроение, 1974. - 320 с.
12. Ящерицын П. И. Прогрессивная технология финишной обработки деталей. - Минск: Беларусь, 1989. –312 с.
13. Байкалов А. К. Введение в теорию шлифования. -К.: Наукова думка, 1978. -207 с.

14. Маталин А. А. Технологические методы повышения долговечности деталей машин. К.: Техника, 1971. -144 с.
15. Роик Т. А., Киричок П. А., Гавриш А. П., Аскеров М. Г., Вицюк Ю. Ю. Обеспечение качества поверхностей деталей из магнитномягких сплавов прецизионной доводкой: Монография. - К.: вид. НТУУ «КПІ», 2013. -233 с.
16. Гавриш А. П., Роїк Т. А., Киричок П. О., Віцюк Ю. Ю., Олійник В. Г., Дорфман І. Є. Розробка технологічних режимів тонкого абразивного шліфування зносостійких деталей поліграфічної техніки з нових композитів на основі алюмінію// «Технологічні комплекси», вид. Луцьк. НТУ, м. Луцьк, №1 (9), 2014, С. 75 - 87.
17. Гавриш А. П., Роїк Т. А., Дорфман І. Є., Віцюк Ю. Ю. Тонке ельборове шліфування деталей тертя з композитів на основі алюмінію для машинних комплексів//Вісник Київськ. нац. ун-ту технологій та дизайну, вид. КНУДТ, К.: №1, 2014, с. 37 - 47.
18. Кремень З. И. Применение новых видов микропорошков для окончательной доводки плоскопараллельных концевых мер длины//Абразивы. – №61, 1981, С. 45 - 51.
19. Кремень З. И., Певзнер Р. Л., Гавронская Т. Ю. Методы исследования шаржированной поверхности доводочных притиров// Абразивы. – №6, 1993, С. 34 -41.
20. Соколов С. П. Тонкое шлифование и доводка. - М.: Машгиз, 1981. -296 с.
21. Тигров Т. В. Новые конструкции доводочных станков / В кн.: «Обработка на шлифовальных и доводочных станках.» - М.: 1989. – С. 54 – 60.
22. Филиппкин А. Т., Пичета К. В. Механизация трудоемких ручных отделочных операций в машиностроении. - М.: ВИНТИ, 1979. -211 с.
23. Мазур М. П., Внуков Ю. М., Доброскок В. Л., Залого В. О., Новоселов Ю. К., Якубов Ф. Я. Основы теорії різання матеріалів: Підручник/Під заг. ред. М. П. Мазура. - Львів.: Новий світ, 2010. -423 с.
24. Сверхтвердые материалы. Получение и применение: Монография в 6 т./Под. общ. Н. В. Новикова. -К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАНУ, 2007. -Т. 6: Алмазно-абразивный инструмент в технологиях обработки/Под. ред. А. А. Шепелева. -340 с.
25. Лавриненко В. І., Новіков М. В. Надтверді абразивні матеріали в механообробці: Енциклопедичний довідник/Під заг. ред. акад. НАН України М. В. Новікова. К.: вид. ІНМ ім. В. М. Бакуля НАН України, 2013. -456 с.

## **ПРЕЦИЗИОННАЯ МАШИННАЯ ДОВОДКА ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ТРЕНИЯ ИЗ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ ДЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ**

ГАВРИШ А.П., РОИК Т.А., ВИЦЮК Ю.Ю., ДОРФМАН И.Е.

*Национальный технический университет Украины «Киевский Политехнический Институт»*

**Цель.** Экспериментальное исследование процессов прецизионной машинной доводки плоских поверхностей деталей трения из новых композиционных материалов на основе отходов алюминиевых сплавов для технологических комплексов предприятий полиграфического машиностроения, а также станочных систем легкой и пищевой промышленности народного хозяйства Украины.

**Методика.** Методикой было предусмотрено прецизионную механическую обработку плоских поверхностей деталей с использованием станков С-15. Материал дисков для доводки - медь и чугун. В качестве абразивных доводочных микропорошков использовались зерна электрокорунда белого (23А), электрокорунда белого хромчатого с содержанием в составе абразивного оксида хрома до 2% (33А), электрокорунда титанового с содержанием титана до 2% (37А) и монокорунда (43А). Зернистость абразивных микропорошков 1 - 7 мкм. Смазочно-охлаждающая жидкость: керосин + олеиновая кислота с различным процентным содержанием компонентов.

**Результаты.** Доказано, что на параметры качества поверхности обработки существенно влияют технологические факторы процессов прецизионной механической доводки – режимы резания, материал дисков для доводки, материал и зернистость абразивных порошков для финишной обработки, а также состав смазочно-охлаждающей жидкости. Показано, что лучшие результаты получены при использовании для финишной прецизионной доводки чугунных дисков, с использованием зерен электрокорунда белого хромистого с содержанием в составе абразива оксида хрома до 2% (33А) зернистостью 3 - 5 мкм и использованием в качестве смазывающе-охлаждающей жидкости смеси с составом: керосин (65%) + олеиновая кислота (35%).

**Научная новизна.** Впервые показано, что основные закономерности прецизионной машинной доводки плоских поверхностей деталей из материалов на основе отходов алюминиевых сплавов совпадают с фундаментальными положениями общей теории сверхтонкой абразивной обработки.

**Практическая значимость.** Разработаны рекомендации по выбору режимов резания для прецизионной машинной доводки деталей различного технологического назначения, которые изготавливаются из композиционных сплавов на основе отходов алюминия и обеспечивают требования получения необходимых параметров качества поверхностей.

**Ключевые слова:** *новые композитные материалы, детали трения, прецизионная машинная доводка, диски для обработки, мелкозернистые абразивные порошки, смазывающе-охлаждающая жидкость, технологические процессы обработки.*

## **PRECISION MECHINING DEVELOPMENT OF PLANE SURFACES OF FRICTION PARTS FROM COMPOSITES BASED ON ALUMINIUM FOR TECHNOLOGICAL COMPLEXES**

GAVRISH A.P., ROIK T.A., VITSUK Yu.Yu., DORFMAN I.E.

*National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute” Purpose.*

**The purpose** of a work is the experimental researches of fine processes of precision machining development of friction parts' plane surfaces from new composite materials based on aluminium alloys wastes for technological complexes of printing machine building enterprises and also for machine systems national economy of Ukraine in light and food industries.

**Methodology.** Fine processes of precision machining of friction parts' plane surfaces were carried out in C-15 machine. Discs' material for fine machining development was cast iron and copper. Material of abrasive powders for fine grinding were white electrocorund (23A), white chrome electrocorund with percentage of abrasive composition - chrome oxide from 0 to 2% (33A), titanium electrocorund with percentage of abrasive composition - titanium oxide from 0 to 2 % (37A) and monocorund (43A). Granulosity of abrasive powders for fine grinding is 1 - 7 μm. Composition of lubricating cooling liquid was mixture of kerosene + oleic acid with different percentage of components.

**Findings.** It was demonstrated the technological factors of fine processes of precision machining development such as cutting parameters, discs' material for machining development,



material and granulosity of abrasive powders for fine grinding and also composition of lubricating cooling liquid essentially influence for quality surface's parameters of researched parts. It was shown the best results were obtained at using cast iron discs for finishing precision machining development, at using grains of white chrome electrocorund with percentage of abrasive composition – chrome oxide from 0 to 2% (33A) with granulosity 3 – 5  $\mu\text{m}$  and at the same time at using mixture of kerosene (65 %) + oleic acid (35%) as lubricating cooling liquid.

**Originality.** For the first time it was shown the main regularities of fine precision machining parts' plane surfaces from new composite materials based on aluminum alloys wastes which are agreed with fundamental regulations of super fine abrasive grinding in general theory. Practical value. It was developed the recommendations for choice of cutting parameters for fine processes of precision machining development of parts for different technological purposes that are manufactures from composite alloys based on aluminum alloys wastes and which ensure the requirements for necessary quality parameters of parts' work surfaces.

**Keywords:** *new composite materials, friction parts, precision machining, discs for processing, fine-grainy abrasive powders, lubricating cooling liquid, technological processes of treatment.*

УДК 677.055

ОЛІЙНИК О.Ю., ППА Б.Ф., МУЗИЧИШИН С.В.

Київський національний університет технологій та дизайну

### РОЗРОБКА СТЕНДУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ ЗНІМАННЯ КРУГЛОВ'ЯЗАЛЬНОГО ПОЛОТНА З ТОВАРНОГО ВАЛИКА

**Мета.** Розробка стенду для досліджень процесу знімання круглов'язального полотна з товарного валика.

**Методика.** Використані сучасні методи проектування, методи експериментальних досліджень та теорії деталей машин.

**Результати.** Запропонована конструкція стенду та методика вибору його раціональних параметрів: швидкості накатування полотна в рулон; необхідної потужності електродвигуна привода стенду; передаточного числа привода; ваги натяжного вантажу; необхідного гальмівного моменту гальма та ваги гальмівного валика. Запропонована конструкція стенду може бути використана для проведення експериментальних досліджень впливу зусилля натягу полотна, конструкції товарного валика, коефіцієнтів тертя ковзання та кочення товарного валика по полотну та ін. на величину зусилля знімання рулону полотна з товарного валика.

**Наукова новизна.** Розвиток методів проектування стендів для досліджень процесу знімання рулону полотна.

**Практична значимість.** Розробка принципово нової конструкції стенду, здатної підвищити ефективність проведення експериментальних досліджень процесу знімання рулонів полотна з товарного валика.

**Ключові слова:** *стенд для знімання рулону полотна, круглов'язальна машина, рулон полотна, товарний валик.*

**Вступ.** Сучасною тенденцією розвитку трикотажного машинобудування є підвищення ефективності роботи в'язальних машин, зокрема круглов'язальних [1]. При цьому актуальним залишається питання впливу механізму накатування полотна