The results of the study of the stressed-deformed state of the forklift confirmed that the most loaded areas and areas with minimal safety factors are subject to the greatest influence of dynamic loads, namely - the supports of the guide rollers, guide skates, the lateral vertical sheet of the moving frame of the forklift and the carriage.

Keywords: *Forklift, forklift, 3D models, stressed-deformed state.*

Стаття надійшла 23.11.2025 р.

УДК 621.91 **doi.org/10.31498/2522-9990302025347176**

Іщенко А.О., Білодіденко С.В., Кравченко В.М., Капустін С.В.

ЯКІСТЬ РІЗУ ПРОКАТУ ДИСКОВИМИ ПИЛАМИ

Одним з найбільш важливих показників, які визначають довговічність пильного диску, а отже, і простої пили при заміні ріжучого диску, є якість прокату після різу.

Якість порізки прокату на пилах визначається висотою заусенців на торцях прокату, неперпендикулярністю торця до повздовжньої вісі прокату, наявністю облою та кінцевої кривизни розкату.

Заусенці, які з'являються на торцях прокату після різання, служать основним критерієм затуплення зубців пильного диску. Утворення їх обумовлено двома процесами: тертям бокової поверхні диску пили о торець, що розрізається, внаслідок торцевого биття диска та вичавлюванням металу з-під закругленої ріжучої кромки.

Для окремих видів профілів, наприклад, рейок, стандартом передбачаються жорсткі обмеження по привізні кінців (не більше 0,5 мм на довжині 1 м). Однак забезпечити такі вимоги у виробничих умовах не завжди є можливим. Експериментальні дослідження, проведені на роторній пилі 1600, показали, що причиною такого явища, при невідповідності верхнього рівня роликів рольгангу та плитного настилу, може служити неправильно обране взаємне розташування пили та прокату підчас різання. В результаті цього контакт зубців із заготовкою може виникати по максимальній дузі, тобто з найбільшими зусиллями, діючими на профіль.

Було визначено, що суттєвий вплив на роботу двигуна обертання диску оказує розклинювання пропилу. Як було визначено, при різному ступені затуплення під час різання рейок та рейкової підкладки струм електродвигуна обертання диску зменшується в середньому на 15-20 %. Таке зменшення не тільки економить електроенергію, але і суттєво покращує умови роботи ремінної передачі, подовжуючи строк її служби, оскільки защемлення диску в прорізі, яке супроводжується підвищеними навантаженнями на двигун, призводить до просковзування ременів та інтенсивного їх зносу разом зі шківами. Використання розклинюючого приладу знижує заусенці на торцях прокату, а також знижує інтенсивність зносу зубців.

За результатами відповідних досліджень можна зробити висновок про те, що порізка любого прокату, в тому числі рейок, з точки зору зменшення енергозатрат, підвищення якості різання, стійкості ріжучого інструменту та надійності механізмів пил, повинна виконуватись з розкриттям пропилу. Ігнорування цих вимог призводить до неоправданих виробничих втрат.

Ключові слова: *Довговічність, пили, ріжучий диск, якість різання, порізка.*

Постановка проблеми. До теперішнього часу залишалися невирішеними питання якості порізки прокату.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Згідно існуючим дослідженням [1-3] можна зробити висновки, що порізка любого прокату, у тому числі і рейок, з точки зору зменшення енергозатрат, підвищення якості різання, стійкості ріжучого інструменту та надійності механізмів, має ряд факторів визначаючих якісні показники процесу різки.

Мета дослідження. Метою роботи є аналіз факторів визначаючих якісні показники процесу різки та визначення їх параметрів.

Основний матеріал дослідження. Одним з факторів, який визначає якість різання прокату, є висота заусенців. Заусенці, які з'являються на торцях прокату після різання, служать основним критерієм затуплення зубців пильного диску. Утворення їх обумовлено двома процесами: тертям бокової поверхні диску пили о торець, що розрізається, внаслідок торцевого биття диска та вичавлюванням металу з-під закругленої ріжучої кромки. Експерименти проведені на роторній пилі 1600 в рейкобалочному цеху показали, що при різанні балки № 24 на різних швидкостях подачі у діапазоні 0,2-0,8 м/с диском ϕ 1800 мм, товщиною 10 мм та кроком 19 мм з торцевим биттям 6,7 мм та середнім затуплення зубців 1,5 – 2 мм, що найгірша якість отримана у заготовок розрізаних з мінімальними подачами. Появу великих заусенців на малих подачах можна пояснити інтенсивними процесами тертя, виникаючими між заготовкою і диском пили із-за торцевого биття диска. Причому в більшій мірі це здійснюється при малих подачах, коли кожний міліметр подачі диска доводиться декілька його оборотів, внаслідок чого, торець прокату раз огрівається до високих температур.

Для окремих видів профілів, наприклад, рейок, стандартом передбачаються жорсткі обмеження по привізні кінців (не більше 0,5 мм на довжині 1 м). Однак забезпечити такі вимоги у виробничих умовах не завжди є можливим. Справа у тому, що рівень роликів рольгангу, як правило, дещо перевищує рівень плитного настилу та за збігом обставин можуть створюватись умови, які призводять до вигину кінця прокату під дією зусиль різання. Оскільки відстань між роликами рольгангу знаходиться у межах 1-2 м, то кінцева кривизна створюється на довжині 0,5-1 м. Виправити такий дефект на існуючому правильному обладнанні складно та часто доводиться видаляти вигнуті кінці за допомогою пил холодної різки.

Експериментальні дослідження, проведені на роторній пилі 1600, показали, що причиною такого явища, при невідповідності верхнього рівня роликів рольгангу та плитного настилу, може служити неправильно обране взаємне розташування пили та прокату підчас різання. В результаті цього контакт зубців із заготовкою може виникати по максимальній дузі, тобто з найбільшими зусиллями, діючими на профіль.

І цей фактор у поєднанні із впливом таких зусиль в напрямку найменшої жорсткості перерізу, що розрізається, призводить у підсумку к появі кінцевої кривизни рейки. Причому, зі зростанням затуплення диску така кривизна збільшується. Кінцева кривизна інших видів профілів не регламентована стандартами, однак її появлення суттєво ускладнює технологічний процес подальшої обробки прокату.

Існує ще одна проблема, яка виникає при появленні описаного вигину кінця полоси. Як правило, при вигині полоси виникає защемлення диску, що в свою чергу призводить до втрати швидкості диска, інтенсивному розігріву бокових граней зубців, що труться о торці прокату, та зниженню при цьому стійкості дисків.

Таблиця 1 – Результати замірів параметрів та якісних показників процесу різання рельсової підкладки Д65 на пилі №5

Кіль-кість різів, шт	Площа розріза-ємого прокату, м^2	Струм двигуна, А	Середня по трьом замірам кривизна, мм	Середня по трьом замірам фаска зносу, мм	Середня по трьом замірам висота заусенців, мм	Середня по трьом замірам ширина заусенців, мм
			$\sigma_{ср}$	$\Delta_{ср}$	$h_{ср}$	$b_{ср}$
Без розклинювання пропилу						
35	0,20	1008	0,5	0,5	1,9	2,3
75	0,45	1050	0,7	1,0	2,3	4,0
130	0,77	1059	1,0	1,6	2,6	4,2
180	1,07	1140	1,5	2,0	2,9	4,8
255	1,52	1200	2,0	3,2	3,4	5,6
336	2,00	1281	4,8	4,0	4,0	6,8
З розклинюванням пропилу						
50	0,29	820	0,53	0,53	1,76	1,96
100	0,59	840	0,63	0,86	2,10	2,50
160	0,95	895	0,70	1,46	2,26	2,96
200	1,19	945	1,26	1,83	2,40	3,46
260	1,55	987	1,73	2,20	2,60	3,76
336	2,00	1020	1,86	2,56	2,86	4,20

Для оцінки розклінювання пропилу на кінцеву кривизну рейок Р65 та Р50, а також рейкової підкладки Д65 на ПУ № 2 проведена спеціальна серія порівняльних випробувань по різці названих профілів без використання яких-небудь пристроїв із спеціальним механізмом розкриття пропилу, який дозволяв при підняти в момент різу прокат над рівнем плитного настилу на 5-7 мм.

В процесі випробувань спеціальною лінійкою з п’ятьма індикаторами, розташованими на відстані 100 мм кінця (σ_5) та один від одного (σ_4, σ_3, σ_2, σ_1) помірявся вигиб кінця полоси. Під час різання виконувались заміри токових навантажень двигуна обертання диску, контролювався знос зубців диску шляхом заміру фаски зносу по задній грані лупою Брінелля та виконувались заміри висоти заусенців на торцях прокату. Результати цих випробувань представлені в табл. 1, а на рис. 1-4 представлені графічні залежності кінцевої кривизни, висоти заусенців, току двигуна від ступеня затуплення зубців для випадків порізки, що порівнюються.

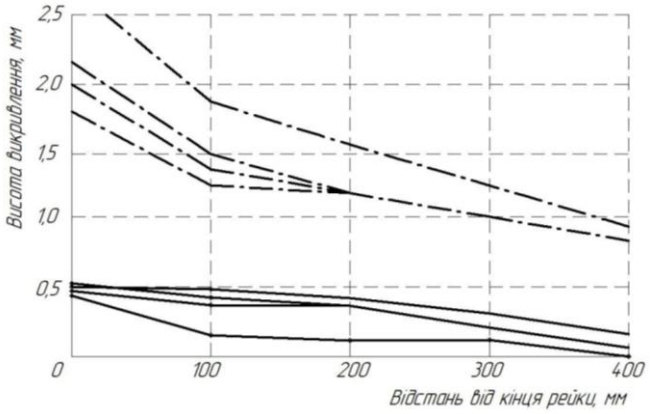

Рисунок 1 – Характер кінцевої кривизни рейок Р50 при прорізці на пилі № 5

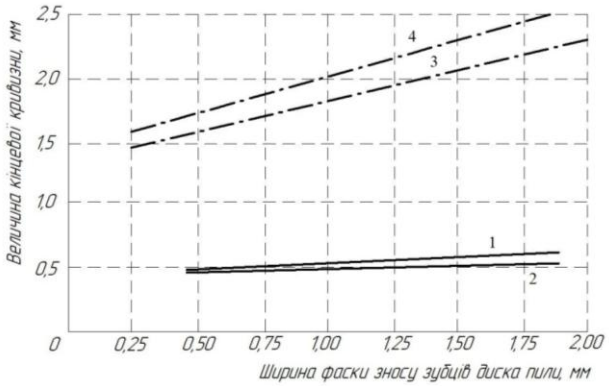

Рисунок 2 – Залежність кінцевої кривизни рейки від затуплення диску
де 1, 2 – порізка рейок Р50 та Р65 з пристроєм для розклінювання;
3,4 - порізка рейок Р50 та Р65 до встановлення пристрою для розклінювання.

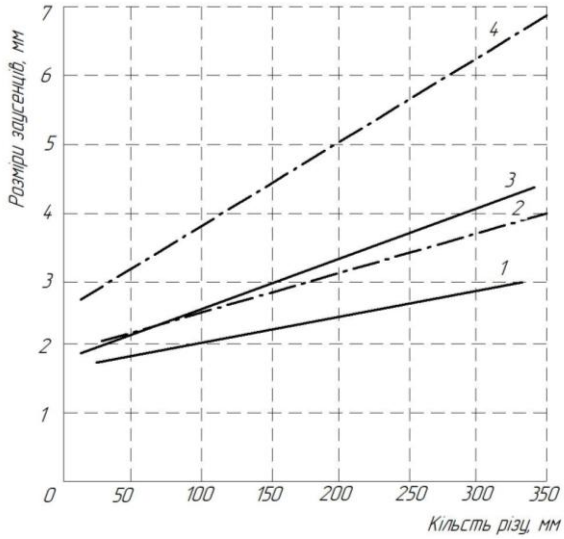

Рисунок 3 – Залежність висоти заусенців від кількості різу
де 1, 2 – порізка з пристроєм для розклінювання;
3,4 - порізка до встановлення пристрою для розклінювання

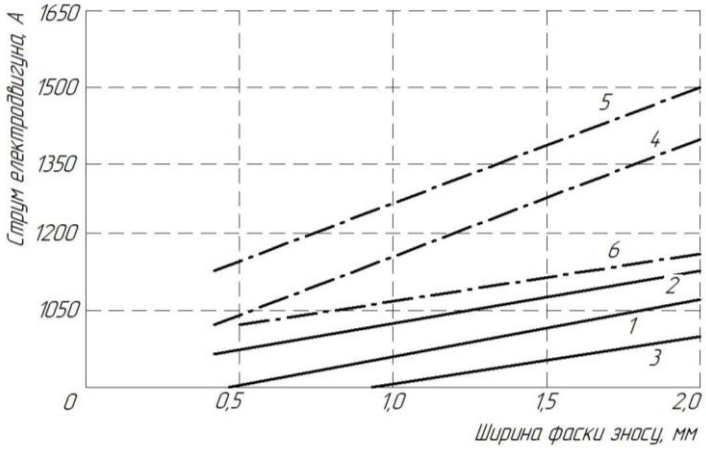

Рисунок 4 – Залежність току двигуна від ступеня затуплення зубців
при порізці рейок та рейкової підкладки
де 1, 2 – порізка з пристроєм для розклінювання;
3,4 - порізка до встановлення пристрою для розклінювання.

Аналіз отриманих результатів дозволяє, в першу чергу, відмітити ефективність використання розклінювання для суттєвого зменшення кінцевої кривизни рель сів до величин, що допускаються стандартами (до 0,5 мм на 1 погонний метр). В той час як без його використання цей параметр досягав 1,7-3,0 мм, що призводило до необхідності відрізання цих кінців на пилах холодного різання та суттєвому зменшенню виходу годного прокату. Причому кінці, що відрізаються, як це видно на рис.1, повинні бути 300-400 мм, щоб виключити кінцеву кривизну, яка перевищує ту, що допускається стандартом. Таким чином, при довжині рейки 25 м до 4 % готової продукції переходить в категорію негабаритної обрізі та йде на переплавку. Суттєвий вплив розклинювання пропилу оказує на роботу на роботу двигуна обертання диску. Як видно на рис.4, при різному ступені затуплення під час різання рейок та рейкової підкладки струм електродвигуна обертання диску зменшується в середньому на 15-20 %. Таке зменшення не тільки економить електроенергію, але і суттєво покращує умови роботи ремінної передачі, подовжуючи строк її служби, оскільки защемлення диску в прорізі, яке супроводжується підвищеними навантаженнями на двигун, призводить до просковзування ременів та інтенсивного їх зносу разом зі шківами. Використання розклінюючего приладу знижує заусенці на торцях прокату (див. рис. 3), а також знижує інтенсивність зносу зубців.

Звертає на себе увагу той факт, що при різці рейок вихід за межі допускаємої кривизни кінців починається практично при різці гострими зубцями (див. рис. 2). Навіть при фасці зносу зубців, яка дорівнює 0,5 мм, що відповідає вихідній гостроті зуба, отриманій після фрезерування диску, привізна кінців рейок складає більше 1,5 мм.

Підводячи підсумок виконаним дослідженням, можна зробити висновок про те, що порізка любого прокату, в тому числі рейок, з точки зору зменшення енергозатрат, підвищення якості різання, стійкості ріжучого інструменту та надійності механізмів пил, повинна виконуватись з розкриттям пропилу. Ігнорування цих вимог призводить до неоправданих виробничих втрат.

Різання тонкостінних фасонних профілів та труб на підвищених швидкостях подачі пов’язане з можливим деформуванням перерізів, що розрізаються, і тому вибір режимів різання такого прокату повинен виконуватись з урахуванням характеристик жорсткості його профілю.

Визначення режимів різання, а точніше допустимої товщини зрізу, можна виконати прирівняв результуюче зусилля різання та максимальне зусилля, що сприймається елементами профілю без викривлення вихідної форми або з відхиленням, але в межах, що дозволені стандартом. При такому порівнянні повинні дотримуватись умови рівності кута дії результуючого зусилля різання та кута нахилу до горизонталі максимально допускаємого зусилля різання, що сприймається профілем без викривлення геометричної форми.

ВИСНОВКИ

За результатами відповідних досліджень можна зробити висновок про те, що порізка любого прокату, в тому числі рейок, з точки зору зменшення енергозатрат, підвищення якості різання, стійкості ріжучого інструменту та надійності механізмів пил, повинна виконуватись з розкриттям пропилу. Ігнорування цих вимог призводить до неоправданих виробничих втрат.

Різання тонкостінних фасонних профілів та труб на підвищених швидкостях подачі пов’язане з можливим деформуванням перерізів, що розрізаються, і тому вибір режимів різання такого прокату повинен виконуватись з урахуванням характеристик жорсткості його профілю.

Список використаних джерел:

1. *Іщенко А.О., Капустін С.В.* Аналіз способів розкрою заготовок в лініях прокатних станів / *А.О. Іщенко, С.В. Капустін* – Наука та виробництво: Машинобудування і зварювальне виробництво. Дніпро: ДВНЗ «ПДТУ», 2023. № 25. С. 20-26.
2. *Іщенко А. О.* Ділянки різання прокату дисковими пилами. – К.: Вища школа, 1989,- 61 с.
3. Розрахунок машин та механізмів прокатних цехів. Частина 6. Ножиці и пили. Під ред. Ширяєва А.В. / *Ф.К. Іванченко, В.М. Гребеник, В.И. Ширяєв.* – Маріуполь, ПДТУ, 2012. - 84 с.

Ishchenko A.O., Bilodidenko S.V., Kapustin S.V., Kravchenko V.M.

QUALITY OF CUTTING ROLLED STEEL WITH CIRCULAR SAWS

One of the most important indicators that determine the durability of a saw blade, and therefore of a simple saw when replacing a cutting blade, is the quality of the rolled product after cutting.

The quality of cutting rolled products on saws is determined by the height of the burrs on the ends of the rolled product, the non-perpendicularity of the end to the longitudinal axis of the rolled product, the presence of burrs and the final curvature of the roll.

Burrs that appear on the ends of the rolled product after cutting serve as the main criterion for blunting the teeth of the saw blade. Their formation is due to two processes: friction of the side surface of the saw blade against the end being cut due to the end runout of the blade and squeezing metal from under the rounded cutting edge.

For other types of profiles, for example, slats, the standard requires tight edges at the ends (no more than 0.5 mm per 1 m). However, it will not be possible to ensure such benefits in the minds of manufacturers. Experimental studies carried out on a rotary saw 1600 showed that the cause of this phenomenon, when the upper level of the rollers of the roller conveyor and slab flooring is not consistent, can be caused by improperly reciprocating the saw and rolling. slaughter. As a result, the contact of the teeth with the workpiece can be driven by the maximum force, which results in the greatest forces acting on the profile.

It was determined that the wedging of the cut has a significant impact on the operation of the disk rotation motor. As it was determined, with different degrees of blunting during cutting rails and rail lining, the current of the disk rotation motor decreases by an average of 15-20%. Such a reduction not only saves electricity, but also significantly improves the operating conditions of the belt drive, extending its service life, since the jamming of the disk in the slot, which is accompanied by increased loads on the engine, leads to slipping of the belts and their intensive wear together with the pulleys. The use of a wedging device reduces burrs on the ends of the rolled steel, and also reduces the intensity of tooth wear.

According to the results of relevant studies, it can be concluded that cutting any rolled steel, including rails, in terms of reducing energy consumption, improving cutting quality, stability of the cutting tool and reliability of the saw mechanisms, should be performed with the opening of the cut. Ignoring these requirements leads to unjustified production losses.

Keywords: *Durability, saws, cutting blade, rolled product quality.*

Стаття надійшла 10.12.2025 р.