

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти
«магістр»
бакалавр, магістр

на тему: «Підвищення довговічності ножів відцентрових бурякорізок
зміцненням граней пластичним деформуванням»

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
Машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва
назва ОПП
спеціальності 133 Галузеве
машинобудування
код та найменування спеціальності
ступеня вищої освіти «магістр» групи 1
Малєєв М. В.
Прізвище та ініціали здобувача вищої освіти
Керівник: _____
Прізвище та ініціали керівника

Рецензент: Біловод О.І.
Прізвище та ініціали рецензента

ВСТУП

Актуальність проблеми дослідження. Проблема забезпечення продуктами харчування пов'язана з різким зростанням чисельності населення. За обмеженості земельних ресурсів цю проблему можна вирішити кількома шляхами і перед усім інтенсифікацією сільськогосподарського виробництва. Однак цей напрямок має обмеження. Наприклад, невідомі наслідки створення Китаєм, США та деякими іншими країнами генетично модифікованих продуктів, тому їх використання обмежене.

Підвищення ефективності переробки сировини, застосування сучасних технологій та обладнання дозволить різко підвищити її продуктивний потенціал шляхом кількісного скорочення вторинних продуктів, що нерационально використовуються.

Цукор є одним із продуктів, який збагачує організм людини вуглеводами. Його споживають усі верстви населення та у досить великих кількостях. Серйозним технологічним недоліком за виробництва цукру вважається низький рівень вилучення цукру з буряка. Втрати, при цьому, становлять 28-30 % і залежать від початкової операції переробки -подрібнення буряків у стружку.

Масовіддача глюкози і фруктози повністю залежить від розміру і форми подрібнених частинок цукрових буряків, що дозволяють за дотримання особливих умов забезпечити раціональну гідродинамічну обробку в дифузійному апараті з мінімізацією втрат сахарози.

Основними елементами у відцентрових бурякорізках є ножи. Жорсткі умови роботи ножів у процесі подрібнення буряків викликають інтенсивне затуплення ріжучих кромek та необхідність частих їх перезаточень, що веде до зменшення довжини граней, їх деформації та руйнувань.

Затуплення ріжучих кромek ножів спостерігається за непередбачуваних

напрацюваннях навіть протягом однієї зміни, а це, як правило, веде до високих втрат сахарози.

Актуальність роботи обумовлена необхідністю поліпшення показника довговічності ножів - напрацювання на відмову, зниження інтенсивності відмов та їх потоку, підвищення ресурсу, які повністю залежать від зносостійкості ріжучих кромок і міцності граней ножа що дозволить підвищити ефективність переробки цукрових буряків.

Мета роботи -підвищення довговічності ножів відцентрових бурякорізок шляхом відновлення та зміцнення граней та ріжучих кромок пластичним деформуванням.

Завдання дослідження:

1 Проаналізувати особливості зношування та дефектного стану ножів відцентрових бурякорізок(ВБ), обґрунтувати показники, що дозволяють оцінити залежність довжини проникності бурякової стружки від зносостійкості ріжучих кромок і витривалості граней на вигин.

2 Експериментально дослідити схеми формоутворення граней ножів, розробити конструкції оснащення, встановити фізико-механічні фактори, що забезпечують підвищення довговічності відновлених та зміцнених пластичним деформуванням ножів.

3 Експериментально дослідити технологічний процес, встановити раціональні режими відновлення та зміцнення методом пластичного деформування ножів.

Наукова новизна роботи:

- виконано аналіз причин, що зумовлюють вплив зносостійкості ріжучих кромок та показників міцності граней ножів на процес подрібнення буряків та якість бурякової стружки;

- виявлено закономірності зміцнення граней ножів та підвищення показника їх довговічності за теоретичною і експериментально-обґрунтованою схемам формоутворення з використанням методів гарячого пластичного деформування.

Практична значимість роботи:

Запропоновані технології відновлення та зміцнення ножів бурякорізних установок, визначено раціональні схеми формоутворення і режими відновлення та зміцнення матеріалу граней пластичним деформуванням, що дозволило підвищити напрацювання на відмову на 18-20% та вихід сахарози на 25-27%; встановлено критерій залежності основних якісних показників подрібнення цукрових буряків, що оцінюються довжиною стружки її проникністю, від позмінного зношувального стану ріжучих кромок і довговічності ножів.

1. ОСОБЛИВОСТІ ЗНОШУВАННЯ І ДЕФЕКТНИЙ СТАН НОЖІВ ВІДЦЕНТРОВИХ БУРЯКОРІЗОК ПРИ ПОДРІБНЕННІ ЦУКРОВОГО БУРЯКУ

1.1. Технологічні вимоги до подрібнення цукрових буряків та критеріальні оціночні показники процесу

Вертикальна будова кільцевих провідних пучків коренеплоду висловлювала необхідність технічного забезпечення умов для активного вивільнення разом із буряковим соком дисахариду для отримання дифузійного соку. Як було встановлено, для досягнення цієї мети важливо забезпечити біологічно та технічно обґрунтоване дрібне поздовжньо-поперечне зрізування вакуолей.

Найбільш раціональними схемами подрібнення буряків визнано технології, що забезпечують прямокутну або ромбоподібну форму стружки (рисунок 1.1).

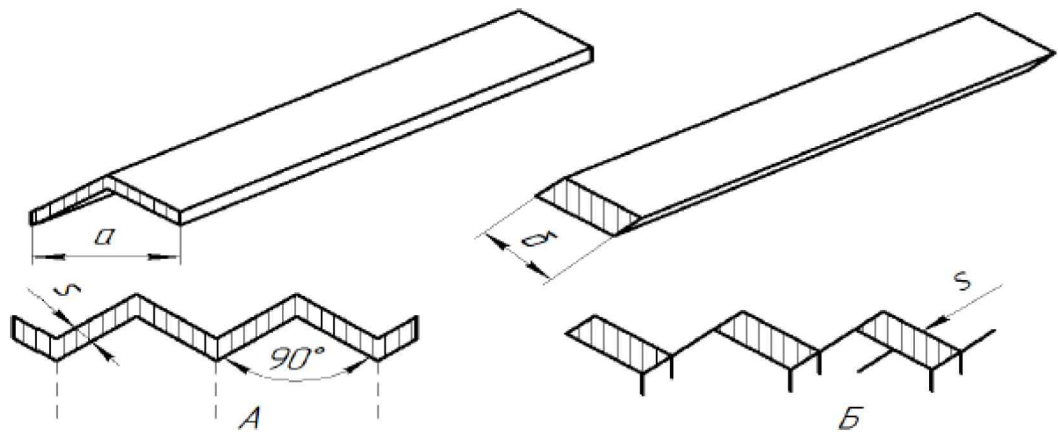


Рисунок 1.1 – Параметри бурякової стружки: *A* – ромбовидна, *Б* – прямокутна

При цьому встановлено раціональні розміри стружки:

- товщина стружки: $s = 0,0005$ м;

- для ромбічної форми: $a = 25-30$ мм; $s = 1,2-1,5$ мм;
- для прямокутної форми: $b = 4-6$ мм; $s = 0,7-1,0$ мм.

Це пояснюється необхідністю забезпечення технологічно важливого показника якості стружки, що характеризується її довжиною, яка припадає на 100 г навішування. Найбільш раціональною вважається довжина стружки 11-14 мм. Відношення площі поперечного перерізу стружки до периметру має знаходитися в межах $(1,5...1,7) \cdot 10^{-3}$ м. Дотримання вище зазначених параметрів безпосередньо впливає на проникність клітин (рисунок 1.2).

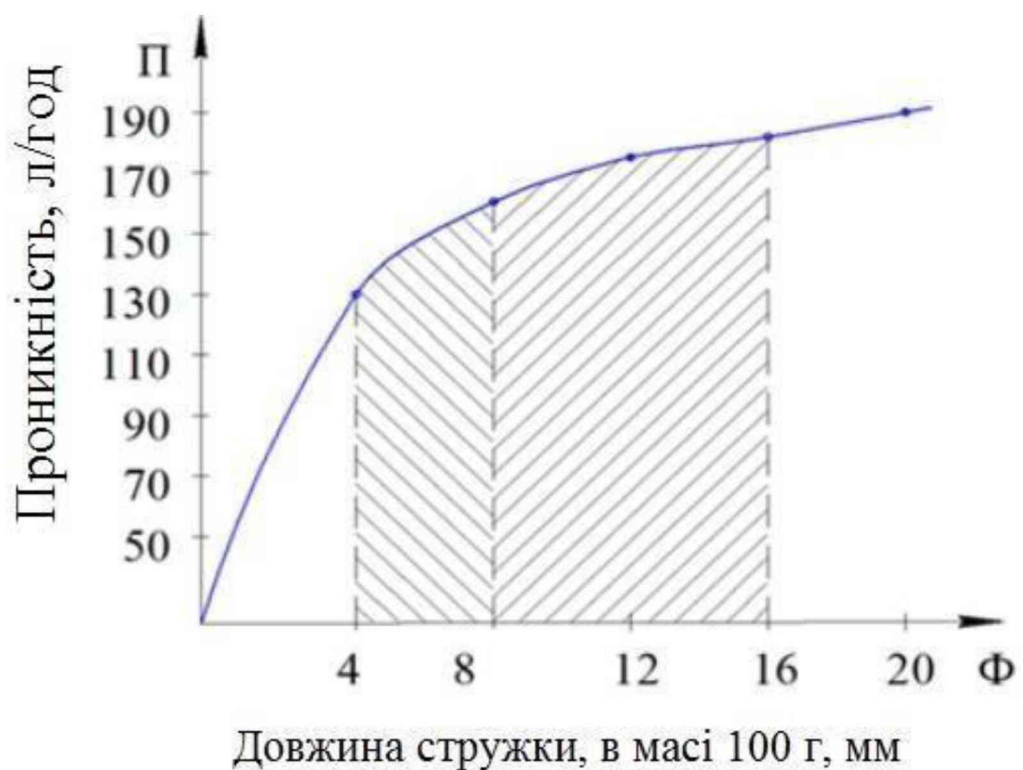


Рисунок 1.2 - Проникність стружки залежно від її довжини

На рисунку 1.2 видно, що кількісний показник виходу сахарози, розчиненої в буряковому соку, знаходиться в прямій залежності від подрібненого бурякового стану, що характеризується як якість стружки. Отже, дотримання розмірних параметрів стружки ромбовидної або прямокутної форми та її проникності, що

зумовлює кількість проникної крізь стінки паренхімної тканини рідини з розчиненою в ній сахарозою, є основою рентабельності цукрового виробництва.

У свою чергу, якість стружки, що отримується в відцентровій бурякорізці за дотримання технічних та технологічних умов, залежить тільки від технічного стану бурякорізного ножа, оскільки тільки його розміри та стан ріжучої поверхні забезпечують оптимальні довжину та проникність стружки.

На підставі даних графіка (див. рисунок 1.2) та літературних джерел визначено, що у встановленому оптимальному інтервалі довжини стружки в 100 г навішування, що становить 11-14 м, її проникність становить 170-180 л/год. При цьому втрати сахарози не перевищують 2-5%, що допустимо.

Дані параметри забезпечуються у початковий період роботи відцентрових бурякорізок (ВБ) за рахунок відповідності гостроти ріжучих кромок, довжини та висоти граней ріжучої частини ножа (надалі в тексті "грані"). Однак у міру роботи ВБ та поступового зношування ріжуча кромка ножа затуплюється, змінюється характер подрібнення. Процес різання відбувається з відчутним впливом пружної деформації буряків, що веде до відхилень від оптимальної товщини стружки, яка повинна становити 0,0005 м. Через ці зміни довжина стружки зменшується до 8-10 мм, її проникність погіршується на 20-22 %. Встановлено, що до кінця зміни процес зношування інтенсифікується, що безпосередньо пов'язано станом ріжучої кромки, різко змінюється процес різання, довжина стружки при цьому знаходиться в межах 4-8 м, а проникність досягає 90-120 л/год,

Залежність проникності стружки від її якості за напрацювання ВБ за одну зміну наведено рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 - Залежність проникності стружки від її довжини за однозмінному напрацюванні

Аналіз рисунка 1.3 показує, що якість стружки від якої залежить вихід сахарози з бурякового соку, за однозмінному напрацюванні змінюється від оптимального на початку зміни і до гранично допустимого, що досягається до кінця зміни.

Враховуючи те, що основною складовою ВБ, які розглядається за аналізом видів, наслідків та критичності відмов [1,2], що не підлягає подальшому розукрупненню, є ніж, що забезпечує і процес подрібнення, та його якість, в роботі прийнято, що відмова системи регламентується його напрацюванням за конструктивною ознакою зміни якості сировини, яка переробляється.

У зв'язку з цим для аналізу видів, наслідків та критичності відмов поставлені такі завдання:

- виявлення можливих видів відмов складових частин ВБ, вивчення їх причин, механізмів та умов виникнення та розвитку;
- визначення можливих несприятливих наслідків виникнення виявлених відмов, проведення якісного аналізу тяжкості наслідків відмови;
- вироблення пропозицій та рекомендацій щодо внесення змін у конструкцію та технологію відновлення та виготовлення виробу та його складових частин, спрямованих на зниження ймовірності та тяжкості наслідків відмов, оцінку ефективності раніше проведених доробок.

Як основні принципи аналізу прийняті:

- поєднання якісного аналізу видів та наслідків відмов об'єкта з кількісними оцінками виявлених відмов, можливих або, що спостерігаються при експлуатації;
- проведення попередньої кількісної оцінки та ранжирування виявлених спостережуваних відмов об'єкта за тяжкістю їх наслідків з метою визначення необхідності подальшого поглибленого аналізу їх критичності та черговості проведення відповідних доопрацювань об'єкта, технології його виготовлення, системи технічного обслуговування та ремонту;
- оцінка впливу відмови на якість функціонування об'єкта та повноту виконання ним призначених функцій, можливі матеріальні збитки, зумовлені зниженням якості функціонування об'єкта або невиконанням ним певних функцій.

1.2. Технічні умови забезпечення якості стружки

У виробництві застосовують бурякорізання трьох типів - відцентрові, барабанні та дискові. Принциповою відмінністю між ними є зустрічне переміщення буряка та ножа. Конструктивні особливості [3]:

- у відцентрових бурякорізках ножі закріплені на нерухомому

циліндрі; буряк розкручується завитоком і під дією відцентрової сили відкидається до циліндра, притискається до ножів і під дією інерційної сили подрібнюється;

- в барабанних бурякорізках ножі розміщені на стінках барабана, що обертається, розташованого горизонтально; буряк притискається до ножів притиском і подрібнюється;

- у дискових бурякорізках ножі закріплені на диску, що обертається; буряк, що знаходиться в нерухомому стані на диску, подрібнюється за рахунок інерційної сили.

Конструктивні відмінності бурякорізкок зумовлюють їх техніко-технологічні показники [1], наведені у таблицях 1.1 та 1.2

З таблиці 1.1 випливає, що пристосованість відцентрових бурякорізкок до умов цукропереробних підприємств значно вища. Швидкість різання змінна, що дозволяє змінювати її за подрібнення буряків різної сортності, твердості (залежної від кліматичного періоду - рання осінь, пізня осінь, зима). Є можливість регулювати кількість сировини, що подається в циліндр, обумовлене насипною ємністю. За рахунок інтенсивного інерційного переміщення коренеплоду по ріжучих кромках ножів, створюваного завитоком з частотою обертання 90 хв^{-1} у відцентрових бурякорізкок значно вищий конструктивний коефіцієнт, що обумовлює частоту хаотичного поздовжньо-поперечного подрібнення буряків. Це є основною передумовою одержання високих показників проникності паренхімної тканини.

Таблиця 1.1 - Основні конструктивні параметри бурякорізок

Тип бурякорізної установки	Швидкість різання, v , м/с	Насипна щільність бурякорізки ρ , кг/м ³	Конструктивний коефіцієнт, K_k	Експлуатаційний коефіцієнт, K_e	
				при резервній бурякорізці	без резервній бурякорізці
Відцентрова	6,7...9,6	550...600	0,90	0,90	0,85
Дискова	8,0	550	0,85	0,90	0,80
Барабанна	7,4	550	0,50	0,90	0,80

Таблиця 1.2 - Питоме зусилля різання стружки

Форма стружки	Довжина стружки в 100 г навішування						
	7...8	9... 10	11... 13	14... 16	17...21	22...27	28...34
Ромбоподібна	1770	1570	1420	1330	1230	-	-
Прямокутна	-	-	-	1080	981	882	784

Внаслідок перерахування особливостей, відцентрові бурякорізні установки отримали переважне використання на цукрових заводах.

Форма та розміри бурякової стружки мають вирішальне значення за оцінкою показника проникності. Найбільшого поширення набули ромбоподібна та прямокутна форми стружки (див. таблицю 1.2).

Враховуючи вертикальну будову кільцевих провідних пучків коренеплоду, досягнення максимальної проникності можливе за рахунок

частого хаотичного поздовжньо-поперечного зрізування буряка з товщиною стружки 0,0005 м.

У разі подрібнення буряка з отриманням стружки прямокутної форми можливе порізання з певним напрямом пучків, що проводять (рисунок 1.4, а, б, в, г).

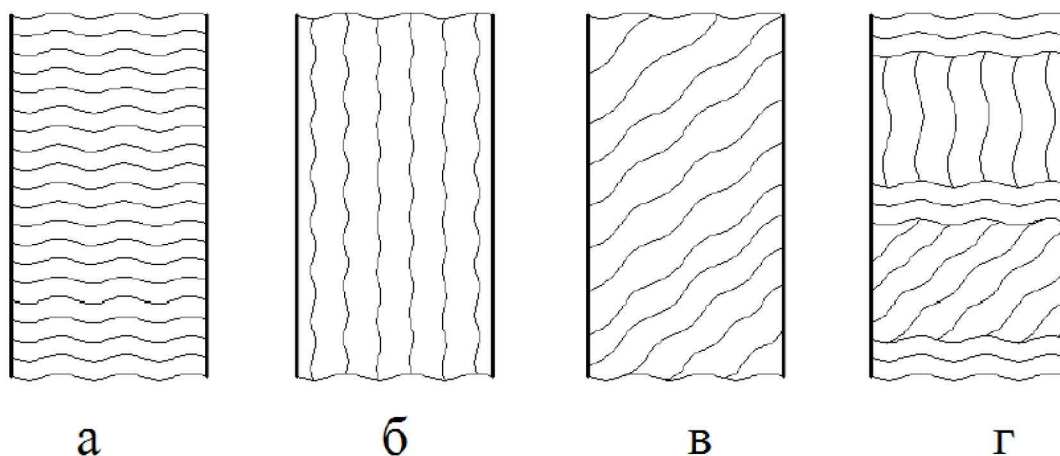


Рисунок 1.4 - Вирізання кільцевих пучків буряків, що проводять:

а, б, в - прямокутна форма; г-ромбоподібна форма

За прямокутним подрібненням буряк, який розташований в циліндрі, потрапляє на ріжучу кромку ножа будь-якої зі своїх сторін, при цьому (див. рисунок 1.4, а, б, в) може відбутися поперечне, поздовжнє і похиле зрізання провідних пучків, що в цілому погіршує проникність стружки. Для забезпечення максимальної проникності необхідне постійне хаотичне поздовжньо-поперечне подрібнення (див. рис. 1.4, г), що можливе лише за використання зигобразних ножів ромбовидної форми.

Однак, як впливає з таблиці 2, технічний стан ножів з ромбоподібною зигобразною формою ріжучих кромок швидко погіршується. Інтенсивний процес зношування та підвищена величина зношування ведуть до затуплення ріжучих кромок і, відповідно, збільшення питомого тиску буряків на ніж на 35-40 %. Це негативно впливає на показник якості стружки. Поряд з

подрібненням стружка по краю зрізу деформується, і перекриває та закупорює отвори стінок паренхімної клітини.

Разом з цим процес подрібнення супроводжується пружною деформацією тканини буряків, зріз стає рваним і стабільність товщини стружки порушується.

Все наведене підтверджує доцільність встановлення оціночних критеріальних показників технічного стану ножів у процесі експлуатації: якості стружки, її довжини та проникності. Техніко-технологічними параметрами, що характеризують довговічність ножа, повинні служити показники стану ріжучої кромки, величини зношування довжини грані ножа, довжини стружки в 100 г навішування та її проникності, а оцінним критерієм - напрацювання на відмову за якісної ознаки стружки.

Принципово важливими є конструктивно-технологічні напрями, покликані підвищити зносостійкість і межу витривалості на вигин граней і ріжучих кромок ножів.

1.3. Умови роботи, конструктивні особливості та причини втрати працездатності ВБ

Відцентрові бурякорізки (ВБ) набули найбільшого поширення через свою конструктивну простоту і високу продуктивність (рисунок 1.5).

Буряк 1, що подрібнюється, надходить у нерухомий циліндр 2 з закріпленими в ньому 9, 12 або 16 двоножовими рамками 3, розкручується завитком 4 і під дією відцентрових сил притискається до ножових рамок, просувається по стінках уздовж граней ножів і подрібнюється. Далі стружка переміщається в дифузійний апарат.

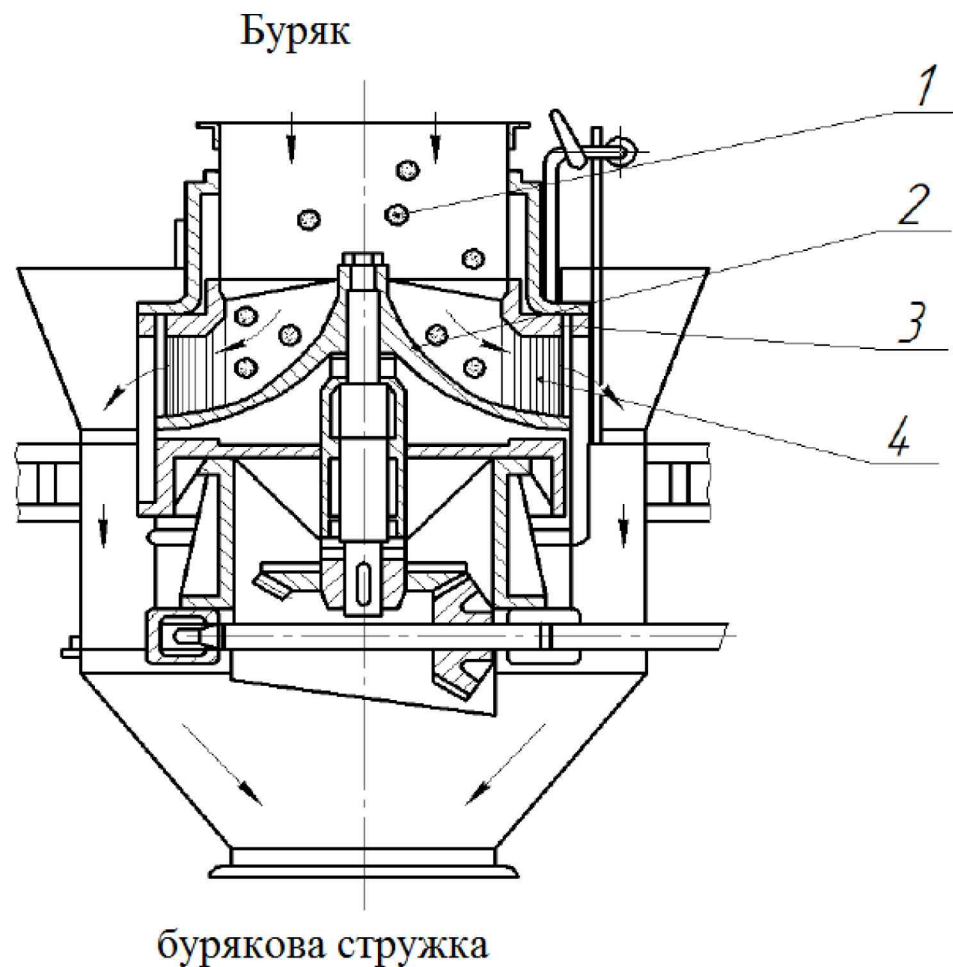


Рисунок 1.5 – Подрібнення цукрових буряків у стружку у відцентровій бурякорізній установці: 1- Коренеплід; 2 – циліндр; 3- двоножові рамки; 4 - завиток

Конструктивно подрібнення цукрових буряків у відцентровій установці являє собою похилий процес, що рубає, з елементами ковзного. Робота різання за цьому, витрачається на створення пружної і пластичної деформації тканини буряків, і навіть на подолання сил тертя пари «ніж – буряк».

Буряк, що є складним біологічним об'єктом, в силу своєї будови твердий, а в пору технологічної стиглості стінки паренхімної тканини має ще й деревину структуру. Щільність бурякової м'якоті досить висока і становить

1000 кг/м³. Отже, питомі зусилля різання значні й знаходяться у межах 1230...1770 Н /м, а у разі подрібнення буряків з промерзлих кагатів зусилля зростають у рази [3].

Як зазначено раніше, вихід бурякового соку з розчищеною в ньому сахарозою залежить лише від процесу подрібнення буряків, якості одержуваної бурякової стружки, що забезпечується конструктивними особливостями та технічним станом ножа.

Конструкція переважно використовуваного на даний час ножа (рисунок 1.6) повністю пристосована для отримання стружки з встановленими параметрами (форма, товщина і довжина).

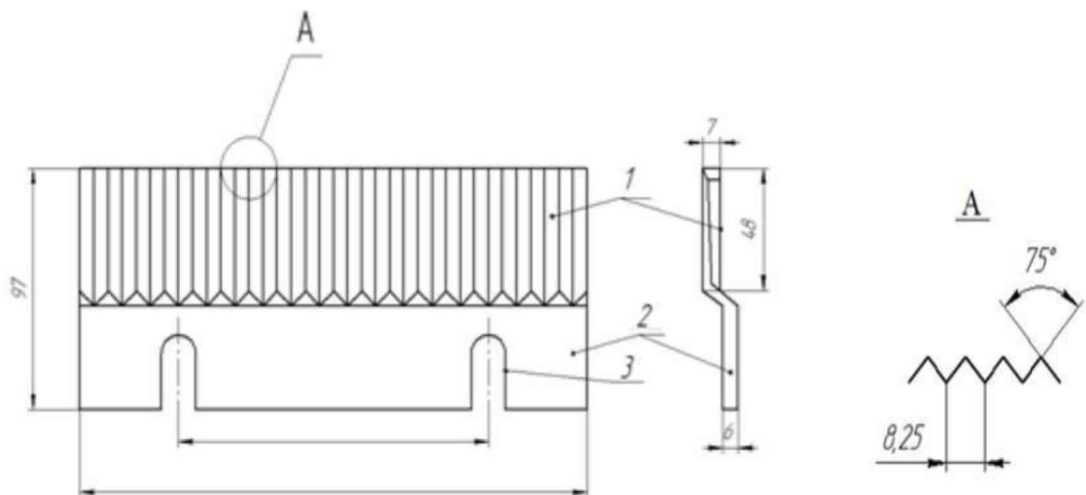


Рисунок 1.6 – Конструкція ножа відцентрового бурякорізання:

1 - ріжуча площина; 2 – робоча частина ромбоподібної форми;

3 - привалкова установча площина

Бурякорізні ножі (див. рисунок 1.6) являють собою зиггообразну ріжучу площину 1 з ромбовидними гранями. За інерційним контактом буряків, що подрібнюють, у відцентровому бурякорізці за рахунок загостреної ріжучої кромки забезпечується часте і хаотичне поздовжньо-поперечне зрізання

коренеплоду. Ножі змонтовані в ножовій рамці, закріпленої на нерухомому циліндрі установки за допомогою кріпильних пазів 3. У кожній рамці знаходяться два ножі, а кількість рамок ВБ залежить від продуктивності і становить 9, 12, 16 шт.

Навантаження, що припадає на ріжучі грані ножів, носить досить складний характер і виникає від ударних впливів буряків масою 0,35-0,5 кг на плечі від осі завитка до стінки нерухомого циліндра, що дорівнює 0,7 м. Частота обертання завитка 90 хв^{-1} . Виходячи з цього, руйнування ріжучих кромek і граней ножів можна класифікувати як процес зношування при різанні буряків і втомного руйнування, що протікає від циклічного ударного її впливу на площину граней. Зношування ріжучих кромek залежить від зносостійкості матеріалу і усувається шляхом перезаточень, кількість яких залежить від параметра вильоту кромek. Однак, як показали дослідження, більша частина ножів (35%) мають малу витривалість і вигин за симетричному циклі навантаження [4].

Циклічність навантажень залежить від конструктивних особливостей відцентрового буряка різання і насамперед від її продуктивності [2].

Основні конструктивно-технологічні параметри відцентрової бурякорізки для різання цукрових буряків і її технічні показники представлені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 - Конструктивно-технологічні параметри відцентрової установки

Параметр	Позначення	Одиниця вимірювання	Величина
1	2	3	4
Число ножів у ножовій рамці	n_1	шт.	2
Число ножових рамок	n_2	шт.	9; 12; 16

1	2	3	4
Число ножів в установці	n_3	шт.	18; 24; 32
Довжина ріжучої кромки одного	l_1	м	0,135
Загальна довжина ріжучих	l_2	м	2,43; 3,14;
Висота підйому ножа в	a	м	0,0005
Швидкість різання	v	м/с	6,59
Насипна ємність бурякорізки	ρ	кг/м ³	550-600
Конструктивний коефіцієнт, що враховує рівень використання насипної ємності в бурякорізці	K_k		0,9
Експлуатаційний коефіцієнт, що дорівнює тривалості роботи бурякорізки, враховуючи тривалість зупинок до часу на	K_e		0,9
Діаметр корпусу бурякорізки	D_e	м	1,4
Частота обертання завитка у	N_u	хв	90
Маса коренеплоду	m	кг	0,3-0,5
Радіус різання (плече від центру завитка до стінки нерухомого циліндра)	R	м	0,7
Питома зусилля різання, що залежить від щільності буряків та жолобчастої форми стружки при її довжині 7-8 м на 100 г	f	Н	1770
Коефіцієнт, що враховує неоднорідність вороху буряків у бурякорізці	$\eta_{від}$		0,512-0,6
Коефіцієнт тертя ковзання буряків по сталі	μ		0,175

За роботи ВБ розкручений завитком буряк переміщається до нерухомої стінки циліндра із закріпленими на ній по всьому діаметру ножами. За цим ножи приймають ударні навантаження на грань та навантаження які приходяться на інерційне переміщення коренеплоду по ріжучій кромці (рисунок 1.7)

Відповідно до конструктивних особливостей грані бурякорізного ножа за подрібнення буряків знаходяться у відносно вільному стані, так як відстань від місця їх кріплення до ріжучих крайок граней становить 70 мм.

Грані товщиною 0,8-1,0 мм і довжиною 48 мм легко збудливі коливальними рухами, що виникають від кожного чергового удару коренеплоду, розкрученого завитком, у ріжучу частину. При цьому від удару коренеплоду об грані ножа за незначній жорсткості на плечі від осі завитка до стінки нерухомого циліндра виникає зусилля P_1 і від протидії ударному впливу- P_2 . Збудливі ударні впливи викликають постійні коливання граней ножа, що свідчить про досить інтенсивний згинальний втомний характер їх роботи і процес руйнування.

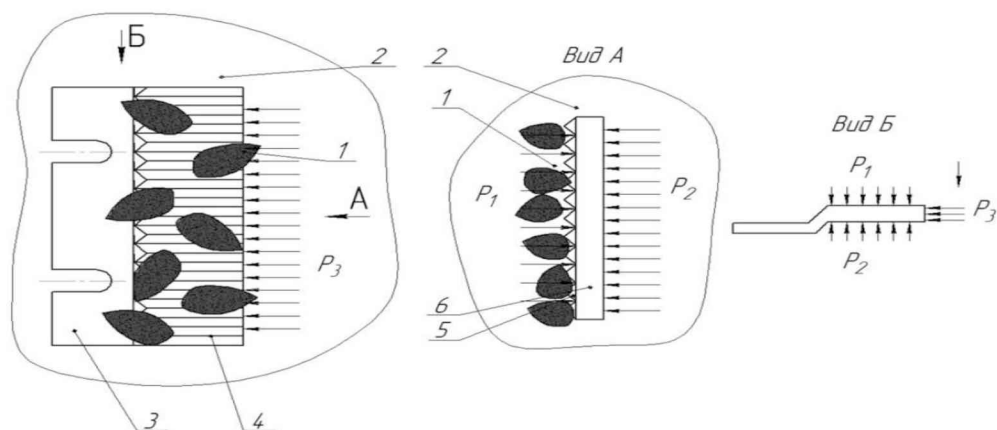


Рисунок 1.7 – Процес взаємодії коренеплоду з ножом під час подрібнення: 1-подрібнюваний буряк; 2-нерухомий циліндр установки; 3- привалкова зовнішня площина ножа; 4 – грані ножа; 5 – ріжуча кромка ножа; 6 – порожнина сходу стружки

За просування коренеплоду по нерухомій циліндричній поверхні в процесі подрібнення виникає навантаження P_3 , що породжує зусилля для подолання сили тертя буряків по ріжучих гранях ножа.

Виходячи з конструкції бурякорізки, разова насипна місткість циліндра, що залежить від форми, розмірів та маси буряків, становить 550...600 кг/м³. Розрахунками встановлено, що за одноразовим заповненням циліндра буряком в установці знаходиться від 1465 до 1600 коренеплодів. У бурякорізці з дев'ятьма ножовими рамками кожен із 18 ножів разово сприймає від 82 до 89 ударних впливів. Така ж кількість коренеплодів потрапляє і на ріжучу кромку і подрібнюється про неї.

Враховуючи те, що завантаження циліндра здійснюється безперервно, тобто подрібнений буряк доповнюється новим, кількість буряків, що подрібнюються, на добу зростає багаторазово, і це повинно вести тільки до інтенсифікації процесу зношування ножа і, відповідно, до зменшення показника безвідмовності за встановленим раніше якісним критерієм функціонування повноти виконання ним призначених функцій.

1.4. Дефектний стан бурякорізних ножів та способи відновлення їх працездатності

Конструктивно бурякорізний ніж повинен забезпечити отримання технологічно обґрунтованої стружки ромбовидної або прямокутної форми, що є оптимальним для екстрагування бурякового соку. При цьому забезпечується підвищена швидкість знецукровування бурякового соку, створюються умови високої проникності шару паренхімної тканини.

Виходячи з цього, можна дійти невтішного висновку у тому, що якість бурякової стружки функціонально обумовлено технічним станом буряків $T_{с.б.}$,

що залежить від сорту, умов вирощування, збирання та зберігання коренеплодів, конструктивної досконалості установки для подрібнення буряків $K_{c.n}$ і показника безвідмовності ножа $P_n(t)$ [5]:

$$K_{c.б} = f(T_{c.с}; K_{сн}; P_n(t)) \quad (1.1)$$

Перша складова $T_{c.б}$ характеризує якість подрібненої стружки тільки опосередковано, з позиції можливості подрібнення пристроєм буряків, що у різному технічному стані. Це є достатньо важливим фактором забезпечення конструктивно-технічних можливостей ножів подрібнювати коренеплоди різної щільності.

Конструктивна досконалість ножів у цьому випадку є основним фактором, покликаним забезпечити технологічність операції подрібнення та високі показники довговічності ножа, тому що навіть при незначному затупленні та викришуванні ріжучої кромки процес подрібнення не зупиняється, а якість стружки погіршується, викликаючи значні втрати сахарози.

З наведеного випливає, що найбільш прийнятним для оцінки якості подрібнення цукрових буряків слід прийняти інтегральний показник I , що встановлює взаємозв'язок ефективності переробки з витратами на виготовлення ножів з високими показниками безвідмовності й довговічності та з невеликими експлуатаційними витратами на ремонтно-обслуговуючі роботи:

$$I = \frac{\sum \Pi}{\alpha (B_c + B_e)} \quad (1.2.)$$

де $\sum \Pi$ – сумарний позитивний ефект від роботи відцентрової установки, грн;

α - поправочний коефіцієнт, що залежить від показника безвідмовності ножа;

B_c -витрати на створення конструктивно досконалого ножа, грн.;

B_e - експлуатаційні витрати, що припадають на ремонтно-обслуговуючі роботи з усунення відмов та поновлення працездатності ножа, грн.

За аналізом дефектного стану ножів встановлено, що на їхню працездатність впливають систематичні та раптові відмови.

Систематичні відмови ножів пов'язані з інтенсивним і безперервним процесом подрібнення і, відповідно, зношування ріжучих кромek від коренеплода, що подрібнюється, їх взаємодії з абразивними частинками, що надходять ззовні.

Радіус округлення ріжучих кромek R , що характеризує їх гостроту, зі збільшенням розміру за перезаточування підвищує негативні значення переднього і заднього кутів заточування кромek граней, що веде до зростання зусилля різання і в результаті - до погіршення якості стружки. Досить незначного, 10-15%-го збільшення розміру округлення ріжучих кромek, щоб на поверхні стружки почали утворюватися вириви, ворсистість, висока шорсткість та інші дефекти, що ведуть до утруднення процесу виходу сахарози з бурякового соку.

Питання вивчення дефектного стану ножів ВБ присвячено робота [6]. Однак у неї розглядаються загальні питання вдосконалення процесу подрібнення, які отримали практичного використання.

Дослідженнями [7] встановлено, що основними дефектами ножів є відколи і зминання граней, зміна їх форми, руйнування ріжучих кромek, межа витривалості на вигин. Запропонована технологія поверхневого плазмового зміцнення ножів може підвищити лише показники за твердості поверхні, а витривалість на вигин, що проявляється в обсязі всього ножа і є також превалюючою дефектною ознакою, незмінно низька.

Торцювання затуплених ножів здійснюють на спеціальному верстаті МЗ-375 (рисунок 1.8).

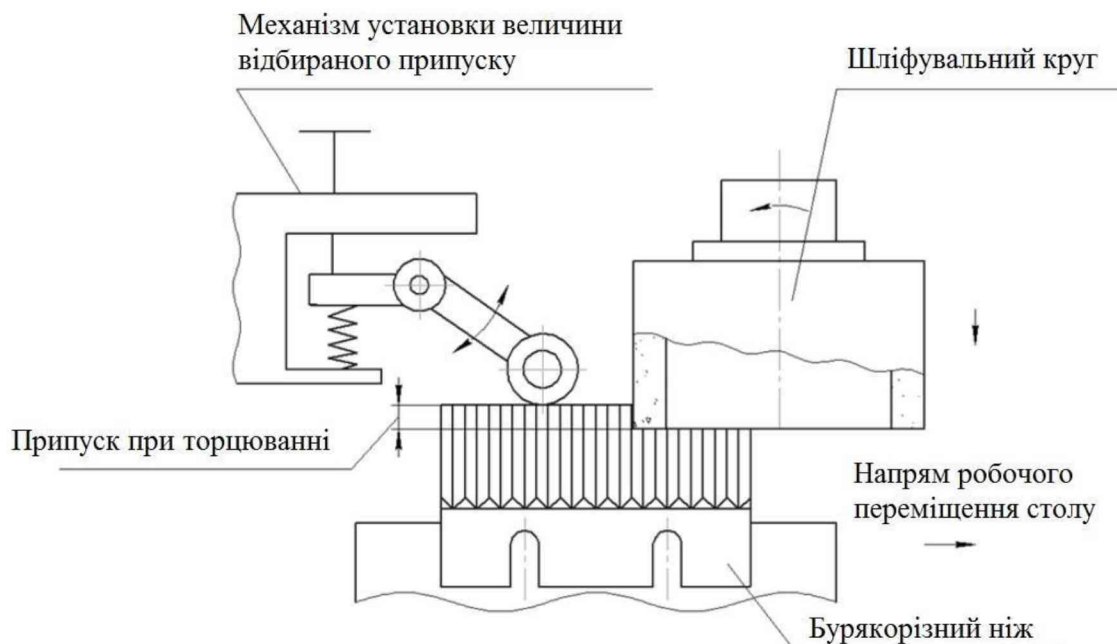


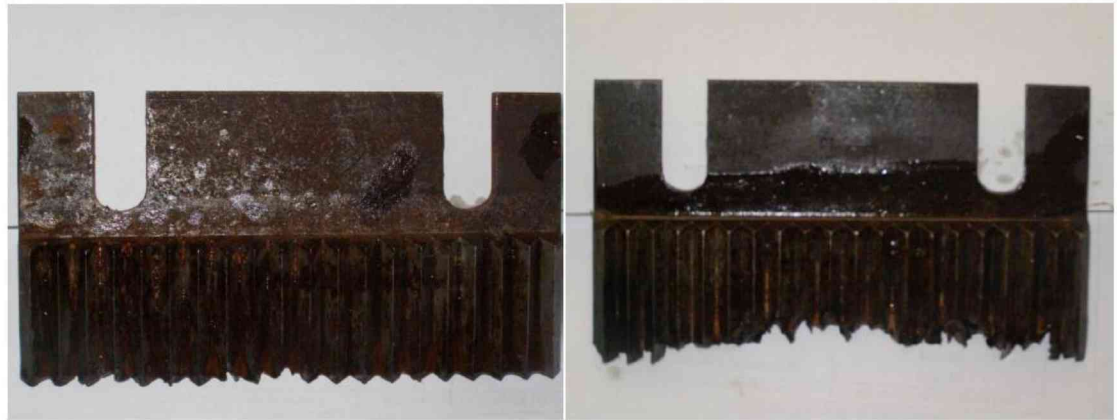
Рисунок 1.8 – Схема установки для торцювання ріжучих кромek

Перевагою даного способу відновлення працездатності ножа, як і будь-якого ріжучого інструменту є можливість його перезаточування. Але, як відомо, кількість перезаточок залежить від регламентованої довжини граней. Враховуючи те, що при кожному заточенні знімається шар металу до 1 мм, кількість заточок обмежена і, за літературними джерелами, не перевищує 4–6.

Отже, для збільшення показника довговічності ножа необхідно підвищити зносостійкість ріжучих кромek, що можливо шляхом зміни марки матеріалу та використання технології зміцнення їх виготовлення.

Для виготовлення ножів використовують інструментальну вуглецеву сталь У7, загартовану до 50 HRC і яка має дрібнозернисту структуру. Товщина перерізу грані становить 0,8 ... 1,0 мм, при загартуванні відбувається наскрізне прожарювання [8], що поряд з високим вмістом вуглецю викликає підвищену

крихкість і руйнування - викрошування та вириви. Такі дефекти ножів перезаточуванням не відновлюються (рисунок 1.9).



а

б



в

Рисунок 1.9 – Руйнування ріжучих кромки: *а – викрошування б – вирив;*
в- деформація ромбовидної грані

Внаслідок постійних ударних навантажень від коренеплодів на межі ножа виникають також дефекти у вигляді викривлень їхньої площини (рисунок 1.10). Практично всі вживані ножі тією чи іншою мірою схильні до цього дефекту. У НДІ надтвердих матеріалів розроблено технологію виправлення викривлень в установці МЗ-37 П (рисунок 1.11).



Рисунок 1.10- Викривлення площини граней від ударних впливів буряків

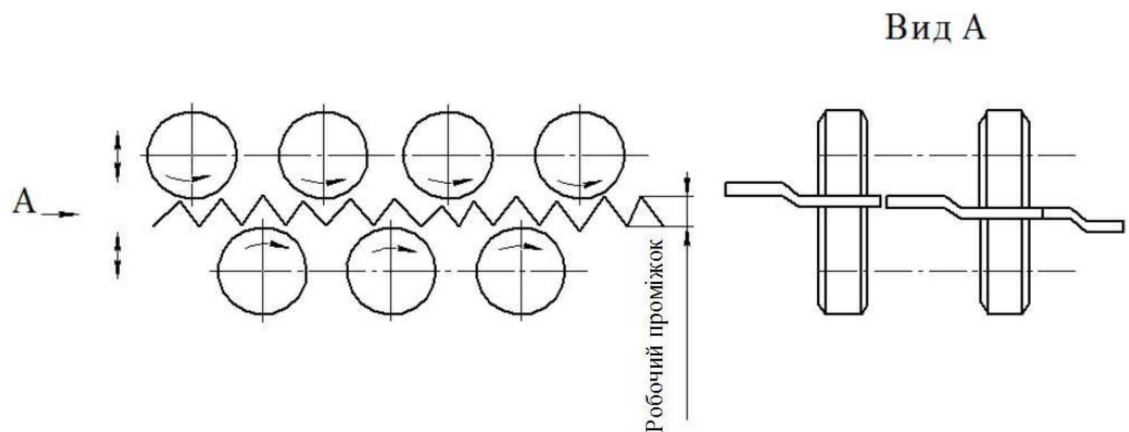


Рисунок 1.11 - Схема виправлення ножа у роликовій правлячій установці

Викривлення в площині граней виникають через конструктивні особливості ножа. Площина граней (довжина 165 мм, ширина 48 мм, товщина 1,0 мм) знаходиться в рамці у вільному незащемленому стані. Отже, навантаження, що виникають при роботі, негативно впливають на межу сталі У7 на витривалість за вигином в симетричному циклі навантаження, що

становить десятки тисяч навантажень на добу. Втомні явища в наскрізь загартованих гранях за жорстких умовах роботи супроводжуються виникненням субмікро- та макротріщин, які заправлячій прокатці викривлень зі стрілою прогину до 20 мм. викликають невідновлювані руйнування по довжині грані. Ця обставина викликає місцеві поломки граней (рисунок 1.12) і різко знижує показник довговічності ножа.



Рисунок 1.12 – Втомні руйнування ножів, що виникають при стрілі прогину від 10 до 20 мм

При правці ножів зі значною стрілою прогину виникає змінання гострих вершин граней, що є перешкодою якісному заточенню фасок ріжучих кромek. Це веде до зміни кутів заточування і, як наслідок, погіршення якості стружки (рисунок 1.13).

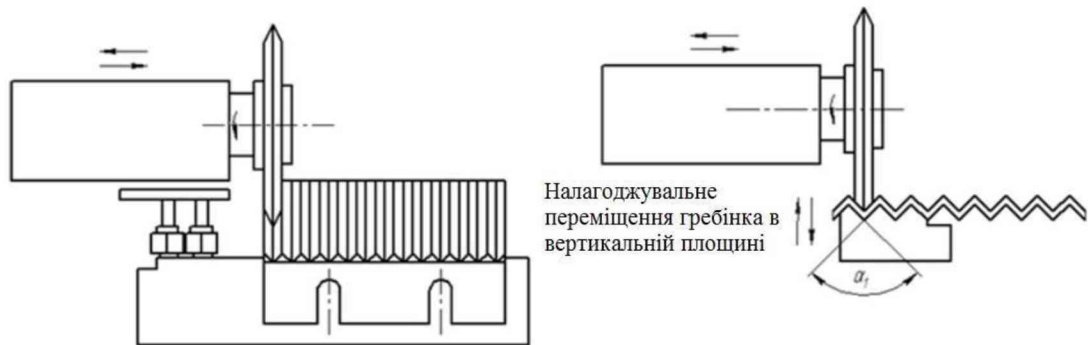


Рисунок 1.13 - Схема заточування фаски ножа

Таким чином, відновлення працездатності ножів за експлуатації утруднено через декілька джерел дефектного стану, найбільш простим і, що легко усувається є зношування ріжучої кромки. Проте інші дефекти пов'язані з втратою суцільності профілю граней, відновлення якої неможливо.

Для відновлення ножів з викривленою зиггообразною поверхнею найбільш прийнятною може бути гаряча пластична деформація у спеціальному штамповому оснащенні.

1.5. Аналіз та обґрунтування технологічних напрямів підвищення стійкості інструменту для подрібнення сільськогосподарської сировини пластичним деформуванням

Здавна відомо, що найкращим є ріжучий інструмент, зміцнений куванням або іншими методами, що передбачають пластичну деформацію

металу [9]. Пластична деформація за зміцнення деталей ґрунтується на принципі зміни форми при постійній масі деталей.

Метали відносяться до полікристалічних тіл, і на цій підставі їх механічні властивості залежить від величини зерен. Відомо, що дрібнозернистий матеріал є міцнішим, ніж крупнозернистий. Процес деформації матеріалу під впливом зовнішніх сил після досягнення межі витривалості веде до пластичної деформації зерна. Зерна, що мають мозаїчну будову, за пластичної деформації дробляться, і це є основним фактором зміни механічних властивостей металу. Дислокації, що характеризують спотворення кристалічних ґрат за пластичної деформації, також зумовлюють зміни механічних властивостей матеріалу. Процес переміщення дислокацій носить крайовий характер. Зі збільшенням зовнішньої сили ступінь зміщення зростає і виникає лінійна дислокація, а якщо немає перешкод зсуву, дислокації виходять на поверхню і зникають. За такої деформації процес зміцнення незначний, а при обмежуванні виходу дислокацій на поверхню та їх відсутності в кінцевий період пластичного деформування можливостей для зсуву буде більше, таким чином, буде мати місце ефективне зміцнення поверхні.

Ці принципи були використані при розробці технологічних процесів та обладнання для виготовлення та відновлення різального інструменту пластичним деформуванням з новими напрямками підвищення їхньої міцності.

Найбільший науково-практичний інтерес становлять роботи, спрямовані на виготовлення та відновлення пластичним деформуванням ріжучого інструменту для переробної галузі.

Традиційно ножі для обвалювання м'яса виготовляли методом поздовжньо-поперечного шліфування клинка із вирубаного із пластини

заготовки. При цьому пропонувалися різні технології, що мають на увазі зміцнення ножів, які не отримали подальшої реалізації.

При виготовленні хрестових ножів для промислових м'ясорубок використовують технологію отримання заготовки литтям за моделями, що виплавляються [10]. Ця технологія досить трудомістка, вона складається з операцій виготовлення моделі, керамічної форми, заливання в неї розплавленого металу, руйнування керамічної моделі, видалення елементів ливниково-живильної системи та механічної обробки ножа. Перевагою даного способу є точність одержуваної заготовки, а як недоліки слід відзначити додаткові витрати металу на заповнення ливарних отворів, можливість проникнення повітряних бульбашок у метал і після виникнення на їх місці порожнеч і раковин, що знижують міцність пір'я ножа. Поряд з цим лиття за моделями, що виплавляються, веде до виникнення крупнозернистої структури,

Істотною різницею технології, запропонованої в роботах [11,12], є переклад складної технології лиття за моделями, що виплавляються на гаряче штампування. Зношений хрестовий ніж (рисунок 1.14), що є заготовкою і нагрітий до кувальної температури, встановлюють у штампове оснащення.

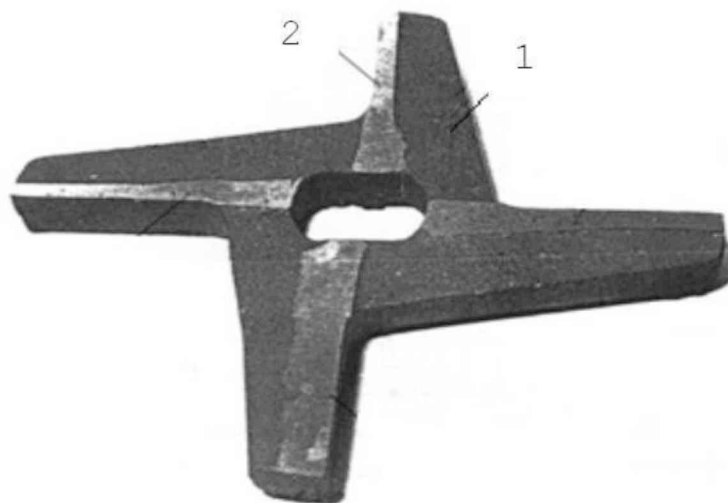


Рисунок 1.14 – Зношені ріжучі площини ножей к вовчкам.

За рахунок спрямованої деформації пуансону та перенесення з неробочої

частини 1 металу на зношені поверхні і формуються в матриці зношені різальні площини 2 (рисунок 1.15).

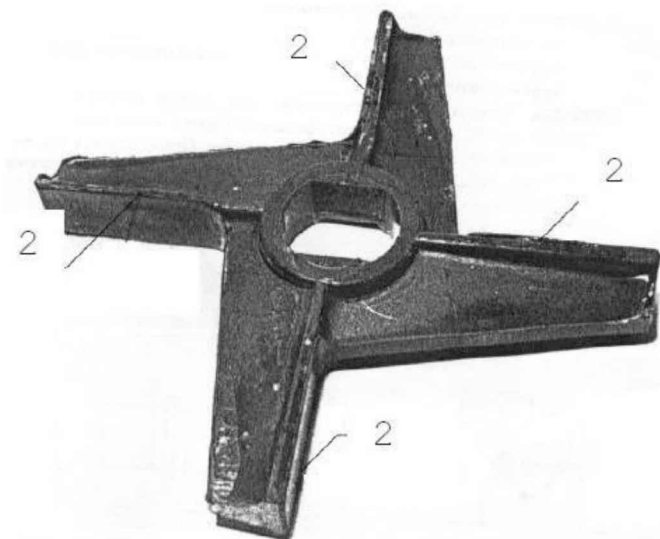


Рисунок 1.15 – Відновлені різальні площини

Фінішною плоскошліфувальною операцією формуються ріжучі кромки 2 (рисунок 1.16).

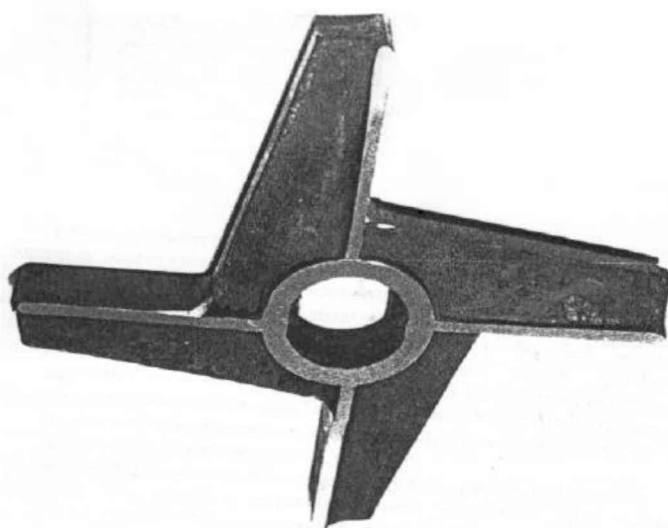


Рисунок 1.16–Механічно оброблені відновлені ріжучі кромки ножів до вовчків

Метал, необхідний для компенсації зношеного, спрямовано

переміщається з неробочих зон на поверхні, що відновлюються (див. рисунок 1.14). Це забезпечує відновлення вибраваного ножа і 100% ресурсозбереження. Разом з цим утворена за пластичної деформації дрібнодисперсна волокниста структура дозволяє за рахунок підвищення зносостійкості ріжучої кромки покращити показники безвідмовності та підвищити довговічність ножа на 25 %.

Найбільш близьким до досліджуваного бурякорізного ножа аналогом є технологія формоутворення обвалочних ножів прокаткою [13].

Найбільшою популярністю у фахівців користуються ковані ножі. Вони мають підвищені показники зносостійкості та втомної міцності, але внаслідок особливостей, властивих технології кування, вони поодинокі і виготовляються за приватними замовленнями.

Обробні ножі повинні мати певні форму, розміри, відповідати антисептичним параметрам та властивостям. При цьому загальний технологічний підхід характеризується вирубуванням заготовки ножа зі сталі У7 з кінцевим профілем, загартуванням заготовки до 40-45 HRC і тривалим поздовжньо-поперечним шліфуванням клинка до конструктивно встановлених параметрів.

Технологія вкрай затратна і непродуктивна, ножі мають низькі показники витривалості на вигин та зносостійкість, вимагають частих перезаточень та доведення ріжучої кромки.

Технологія зміцнення обвалочних ножів накаткою, запропонована в роботі [14], полягає в наступному: нагріту до температури кування заготовку 1 ножа (рисунок 1.17 а) розміщують між двома деформуючими елементами 2 накатних валків 3. Останні виготовлені зі зміщеними геометричними осями що дозволяє отримати при прокатуванні поперечний клин у заготівлі деталі, а

зміщення геометричних осей самих валків 3 дає можливість отримати клин у поздовжньому напрямку 6 (рисунок 1.17 б). Весь процес прокатки протікає із однієї установки. При цьому із заготовки 1 (рисунок 1.18) формується клинок 2, а з нього, у свою чергу, фінішною шліфувальною операцією виходить готовий виріб 3. На рисунку 1.18 представлена поетапна прокатка ножів.

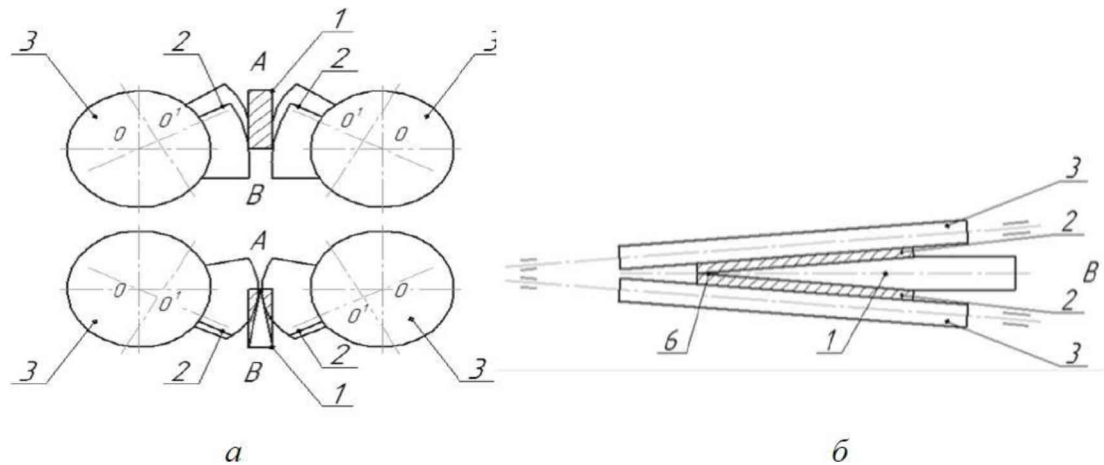


Рисунок 1.17 – Схема одночасної прокатки клинка в *поздовжньому* (а) *поперечному* (б) *напрямах*: 1 – *заготівля ножа*; 2 – *деформуючі елементи*; 3 – *система валів*

Поряд з тим, що розглянута технологія зміцнення обвалочних ножів високотехнологічна з високим ступенем пристосованості до автоматизації процесу прокатки, вона має ще й значний коефіцієнт використання металу, що доходить до 95%.

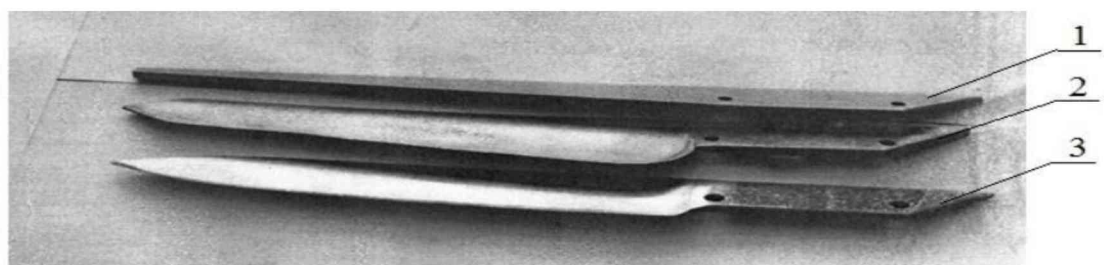


Рисунок 1.18 – Послідовність виготовлення клинків ножів:

1- *заготівля*; 2 – *поковка*; 3 – *готовий виріб*

Зносостійкість ріжучої кромки ножів зростає в середньому на 25%

порівняно з ножами, виготовленими за традиційною технологією, а міцність втоми – на 30%.

З наведеного аналізу випливає, що для підвищення показника довговічності буряків ножів було б доцільно використовувати технологію, засновану на пластичному деформуванні заготівлі.

Висновки до розділу 1

1. Проаналізовано та встановлено оціночні критеріальні показники технічного стану ножів у процесі експлуатації, покликані підвищити зносостійкість ріжучих кромek та межу витривалості на вигин граней ножів.

2. Досліджено дефектний стан ножів, конструктивно-технологічні напрями підвищення показників довговічності ріжучого інструменту при експлуатації, способи відновлення зігообразних площин.

3. Встановлено напрямки конструктивно-технологічного вдосконалення ножів з підвищеними показниками зносостійкості та межі витривалості на вигин.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ ФОРМУВАННЯ ГРАНІВ БУРЯКОРІЗНИХ НОЖІВ З ПІДВИЩЕНИМИ ПОКАЗНИКАМИ ДОВГОВІЧНОСТІ

Дослідженнями експлуатаційної надійності відцентрових бурякорізок (ВБ) встановлено, що її ресурсо- визначальним елементом є ніж, який часто називають кенігсфельдським. Його безвідмовність, яка характеризується необхідністю частого перезаточування ріжучих кромки ножа, усунення деформації і втрати прямолінійності ріжучих граней, вибракування від втомних поломок їхніх ділянок через складність процесу подрібнення, низька. Вона не забезпечується навіть у період однієї зміни роботи ВБ, тобто напрацювання, коли проводиться усунення відмов.

Внаслідок високої інтенсивності накопичення відмов та погіршення працездатності ножів відбувається зміна профілю бурякової стружки [15], що ускладнює процес виділення та вимивання бурякового соку. Досить високі втрати, пов'язані з якістю стружки, необхідність застосування додаткових операцій у технологічному процесі, витрати на відновлення працездатності та енерговитрати свідчать про доцільність зміцнення ножа, підвищення показників його довговічності та загалом удосконалення процесу подрібнення буряків.

2.1. Дослідження процесу подрібнення буряків та обґрунтування залежності якісних показників стружки від стану ріжучих кромки та граней ножа

Значні навантаження, що припадають на ріжучі кромки ножів, вимагають теоретичного аналізу причин залежності процесу подрібнення цукрового буряка від технічного стану бурякорізного ножа, що дозволяє встановити допустимі та граничні розмірні стани граней ножа та їх

напрацювання на відмову, що є превалюючими показниками. Ця обставина дозволяє запропонувати дослідити конструктивно-технологічні методи підвищення зносостійкості ріжучих кромek та межі витривалості граней на вигин, що регламентують безвідмовність та довговічність ножів.

Відомо, що переробці продукції рослинництва передують операції подрібнення, необхідних вивільнення з неї корисних складових. При цьому подрібнення кожного з об'єктів переробки є специфічним.

Дослідженням процесу подрібнення цукрових буряків у ВБ присвячені роботи [16,17]. Однак у них застосовані дещо спрощені рішення, що змінюють картину коливальних та інерційних переміщень буряка за подрібнення, що не дає змоги встановити раціональні технічні рішення для підвищення показників довговічності кромek і граней ножів. Зокрема, згідно зі схемою (рисунок 2.1), ухвалено розвиток процесу подрібнення з відсутніми зусиллями.

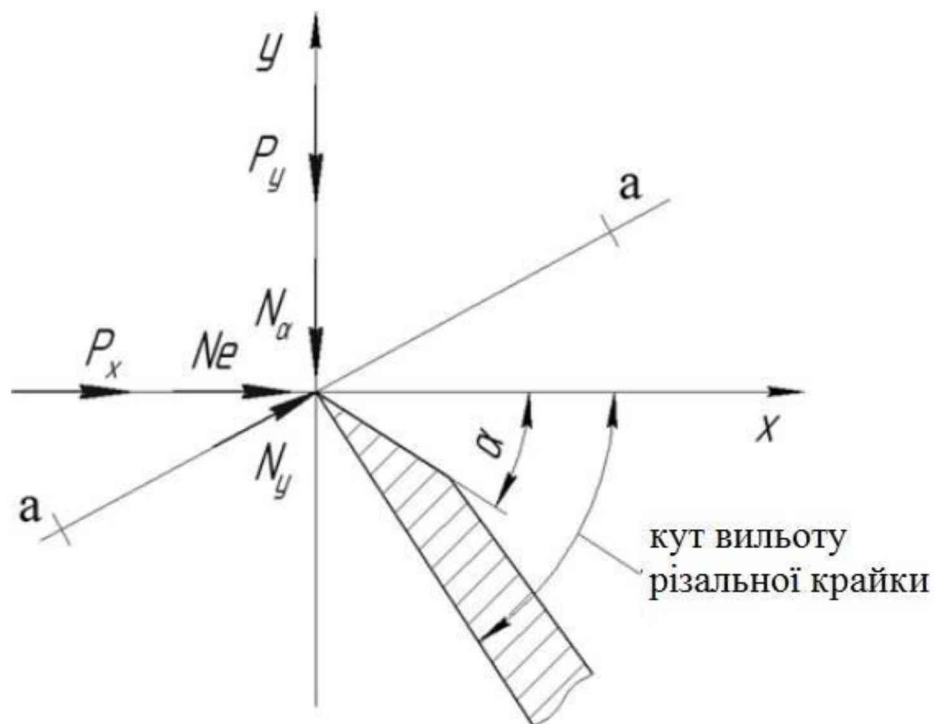


Рисунок 2.1 – Розподіл зусиль різання

З кінематики переміщення буряків в ВБ зусилля P_y неспроможне існувати, оскільки рух буряків на осі ОУ відсутній. У свою чергу, слід наголосити, що напрям зусилля N_α не може бути відхилено від осі на кут α , так як за подрібнення буряк не контактує з цією площиною, вона повинна бути орієнтована у напрямку руху до ножа. Зусилля N_y діє не на підставі ріжучої кромки ножа, а на деякій відстані l від нього, воно характеризує довжину контакту стружки з гранями ножа та враховує виліт ножа щодо вікна для виходу стружки та забезпечує довжину та товщину стружки.

Таким чином, теоретичний аналіз слід вести за схемою, що дозволяє отримувати більш достовірні дані, що характеризують робочий процес подрібнення буряків і, відповідно, зношування та витривалість на вигин ріжучого інструменту [18 - 20].

2.2. Силевий аналіз робочого процесу подрібнення цукрових буряків у відцентрових бурякорізках (ВБ)

Під дією відцентрової сили буряк подається до стін нерухомого циліндра із закріпленими на ньому ножовими рамками. Отримана при цьому окружна швидкість переміщує буряки по нерухомій стінці циліндра та за її зіткненні з ріжучою крайкою ножа зрізає з неї стружку і подає у схід. Процес різання протікає за схемою, представленою на рисунку 2.2. Основними показниками, що характеризують якість подрібнення, є довжина l і товщина стружки. Тільки їх оптимальне співвідношення дозволяє досягти максимального виходу сахарози в дифузійному апараті.

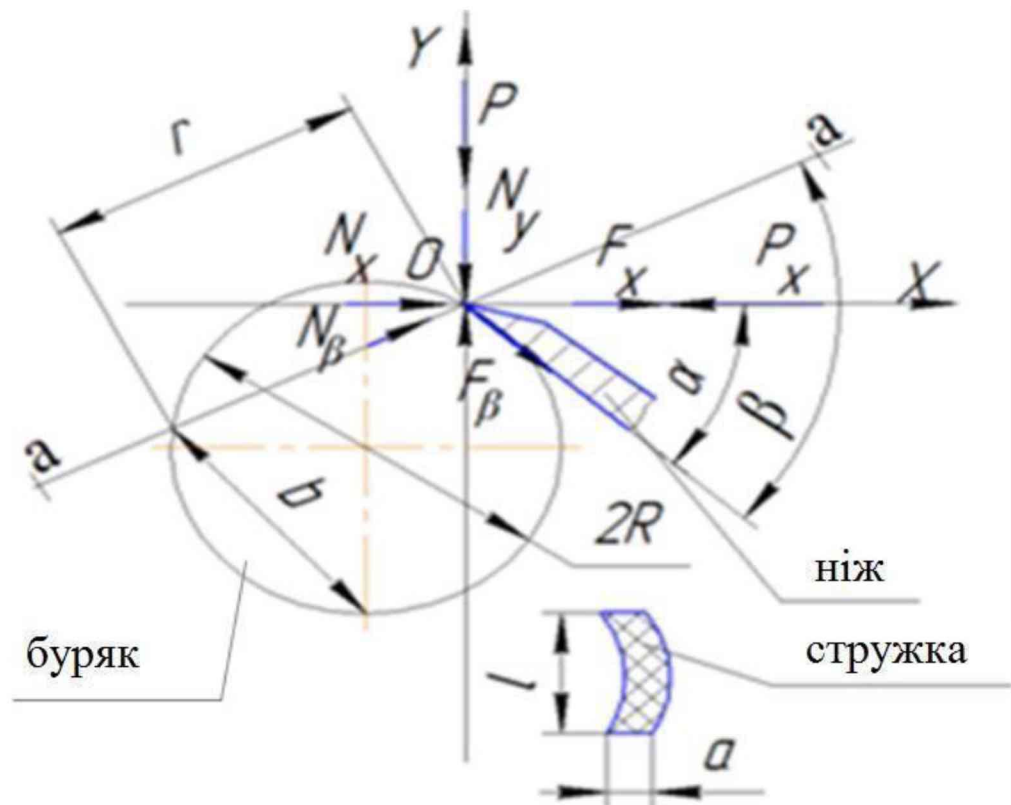


Рисунок 2/2 - Зусилля, що діють на кромку ножа при подрібненні цукрових буряків

При зустрічі подрібнюваного буряка з ріжучими кромками ножа виникає зусилля P_x , що витрачається на подолання сили реакції буряків на впровадження в них ножа N_x . Сила F_x характеризує тертя між гранями ножа та поверхнею зрізу у площині різання $a-a$, розташованої під кутом α до осі x . За подрібнення буряка проекція нормальної сили на вісь OX , що характеризує силу подолання вигину стружки, позначена N_p , а проекція на вісь OX сили тертя поверхні грані ножа по стружці - P_x . Виходячи з умови рівноваги в проекціях сил на осі OX і OY і провівши необхідні перетворення, отримаємо формулу для розрахунку сили тертя буряків по ріжучій кромки та грані ножа:

$$F_x = \mu N_\beta (\cos \beta - 2 \sin \beta), H, \quad (2.1)$$

де μ - коефіцієнт тертя буряків по ріжучій грані ножа.

Зусилля, необхідне для різання буряків P_x , визначається з виразу:

$$P_x = N_x + N_\beta \sin \beta + F_x \cos \beta + F_x H \quad (2.2)$$

Виразивши сили тертя через нормальні зусилля N_y , та N_β , отримаємо:

$$F_x = \mu N_y, F_\beta = \mu N_\beta, H, \quad (2.3)$$

де

$$N_y = N_\beta \cos \beta - F_\beta \sin \beta, H.$$

Підстановкою значень F_x і F_β у рівняння (2.2) отримано значення сили реакції на подолання сил, що перешкоджають впровадженню ріжучих кромки у матеріал буряку:

$$P_x = N_x + N_\beta [\sin \beta (1 - \mu) + 2 \mu \cos \beta], H \quad (2.4)$$

У формулі (2.4) невідомі зусилля N_x і N_β , що характеризують сили реакції на впровадження буряків у ріжучі кромки та подолання сили вигину стружки в момент подрібнення буряка.

На рисунку 2.2 подрібнювані буряки представлені у вигляді кола діаметром $2R$, що стикається в площині різання α - α з ріжучою кромкою під кутом α , що характеризує виліт ріжучої кромки ножа щодо вікна сходження стружки у ВБ. Відрізок r утворюється в площині різання, відповідно, являє собою ділянку, на якій спостерігаються радіальні напруження.

Розподіл величини радіального напруження буряка за різання її ножем σ_r описується наступним чином:

$$\sigma_r = -\frac{2P \sin \alpha}{\pi r}, Pa \quad (2.5)$$

Максимальне дотичне напруження $\tau_{\max}$ від впливу інерційних сил визначаються виразом:

$$\tau_{\max} \frac{1}{2} [\sigma_r] = \frac{P \sin \alpha}{\sigma_r} Pa \quad (2.6)$$

У точці торкання O дотичні напруження $\tau_{\max}$ і радіальні σ_r , за умови, що $r = 2R \sin \alpha$, описуються виразами:

$$\tau_{\max} = \frac{P \sin \alpha}{2\pi R \sin \alpha} = \frac{P}{2\pi R}; \quad (2.7)$$

$$\sigma_r = \frac{2P \sin \alpha}{2\pi r \sin \alpha} = \frac{P}{\pi R}$$

За умови, що сила реакції буряків на впровадження в неї ріжучих кромок $N_x = P$, її можна виразити так:

$$N_x = \pi R \sigma_r b, \text{Н}, \quad (2.8)$$

де b – ширина дії зосередженої сили N_x , яка дорівнює загальної розгорнутої довжини ріжучих кромок ножа, м.

Руйнування волокон буряка за його подрібнення залежить від величини напруження, що допускається, на стиск:

$$N_x = \pi R [\sigma_{\text{сж}}] b, \text{Н}. \quad (2.9)$$

Як було встановлено раніше (див. рисунок 2.2), зрізування буряків залежить від зусиль F_β та N_β . Вигин стружки, що виникає за подрібнення, перешкоджає просуванню ріжучих кромок у її волокна. Це зумовлено фізико-механічними характеристиками буряків, гостротою ріжучих кромок та геометричною формою граней ножа.

2.3. Обґрунтування конструктивно-технологічних схем підвищення зносостійкості та межі витривалості на вигин граней ножа

Відмови ножа характеризуються не втратою працездатності, а різкою зміною якісних показників бурякової стружки. При цьому затуплення ріжучих кромок веде до поступового збільшення втрат сахарози від 2-5% на початку зміни до 28-30% до кінця. Відмови ріжучих крайок усувають шляхом щозмінних перезаточувань, кількість яких, внаслідок зміни картини подрібнення, яка проявляється в потовщенні стружки, обмежено 4-5, після цього ножі вибраковують.

Ця обставина говорить за доцільність підвищення зносостійкості

ріжучих кромок граней ножів. Необхідно створення умов зношування, за яких довжина стружки протягом зміни і до її кінця становитиме 14-11 м на 100 г навішування.

Значна кількість (близько 35 %) ножів вибраковують через поломки ріжучих кромок або окремих ділянок, або по всій довжині граней.. Поломки відбуваються із двох причин. Першою є навантаження, викликані ударними впливами коренеплоду на вершини граней ножа від відцентрових сил із моментом близько 2000 Нм. Їх циклічність за добовій продуктивності ВБ 425 т становить близько 50000ударів, що, відповідно, спричиняє втомні руйнування. Другою причиною руйнувань ріжучих кромок по довжині грані є попадання сторонніх твердих матеріалів (змерзлі грудки землі, крижинки та заморожені коренеплоди).

Ця обставина також обумовлює необхідність підвищення межі витривалості на вигин граней і, отже, втомної міцності.

Відповідно до розглянутих причин виникнення дефектів та низьких показників напрацювання на відмову, для підвищення довговічності ножів слід використовувати конструктивно-технологічні методи зміцнення ножів. Вони мають на увазі використання нових методів розрахунку та вибору конструкції, раціональних матеріалів та технологій відновлення та зміцнення ножів [21].

Найбільш ефективними конструктивними рішеннями для підвищення довговічності є зниження рівня впливу динамічних навантажень на ріжучі кромки та грані ножа шляхом зміцнення їх днища та вершин, а також зміна марки матеріалу. Замість інструментальної вуглецевої сталі У7, що використовується в даний час, має хорошу ударну стійкість, схилу до затуплення, тріщиноутворення і викрошування ріжучої кромки, слід

застосовувати корозійностійку, зносостійку, стійку до тріщиноутворення та викрошування сталь мартенситного класу 40X13, яка добре себе зарекомендувала за використання в ріжучому інструменті.

Технологічно підвищення довговічності можна здійснити шляхом поліпшення властивостей матеріалу за формування ріжучих поверхонь. Заміна технології механічної обробки на обробку тиском веде до покращення властивостей матеріалу. Термомеханічна обробка дозволяє значно підвищити зносостійкість та міцність ріжучих кромek та граней ножа. За рахунок нормалізації, що веде до утворення дрібнозернистої однорідної структури, повинні підвищуватися міцність, ударна в'язкість та зносостійкість граней ножа.

Як встановлено багатьма дослідженнями, та матеріалами, методи об'ємного та поверхневого пластичного деформування підвищують втомну міцність металу. Ефект зміцнення досягається за рахунок створення в поверхневих шарах деталі значних залишкових стискаючих напружень, що протидіють напруженням розтягування від зовнішнього навантаження.

За формування граней ножа фрезеруванням структура перерізу ромбовидної грані однорідна за будовою. Механічна обробка не робить на цю структуру зміцнювального ефекту, на відміну від утвореної після обробки тиском (прокатки, кування або штампування). При застосуванні у певному напрямі зусиль, що перевищують показники пружної деформації матеріалу, виникають умови, які ведуть до утворення тангенціальних ліній ковзання і, відповідно, зрушень і двійникування структури металу [22]. Зрушення переміщують одну частину кристалічної решітки щодо іншої, а двійникування супроводжуються одночасним поворотом деякого об'єму кристалічної решітки на певний кут, залежно від напрямку деформації.

Структура матеріалу в площинах зсуву та двійникування покращується, так як всі спотворення кристалічних решіток ведуть до подрібнення та дроблення зерен і, відповідно, до зміцнення матеріалу. За обробці тиском дендритна будова макроструктури, деформуючись, перетворюється на волокнисту, що добре ілюструється елементом кованого колінчастого валу (рисунок 2.3).

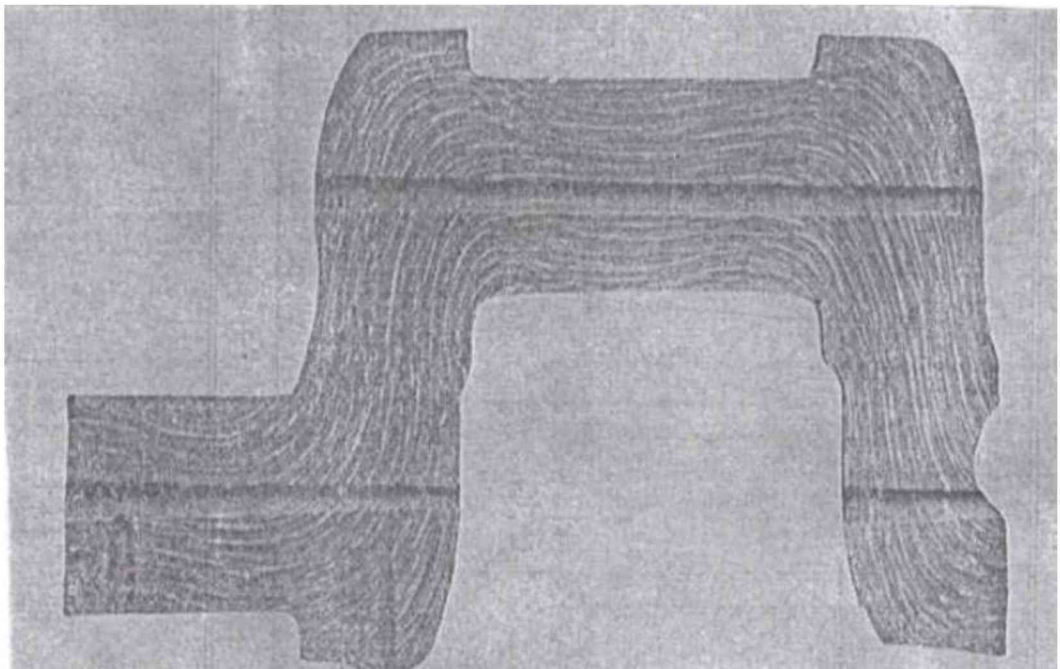


Рисунок 2.3 – Волокниста спрямованість структури під час деформації

Напрямок та будова волокон залежать від напрямку деформації і у разі наявності змінного профілю безперервно повторюють його контури по всій глибині шару металу. Як встановлено дослідниками в галузі матеріалознавства, механічні властивості матеріалу деталі вздовж перерізу мають більш високі міцності і в'язкісні характеристики, ніж поперек перерізу деталі.

2.4. Дослідження напружено-деформованого стану та схем формоутворення при відновленні та зміцненні граней ножа

Обробка тиском у спеціальному штамповому оснащенні дозволить цілеспрямовано підвищити зносостійкість та ударну міцність граней ріжучих кромek ножів [23-25].

Відновлювальні операції з усунення деформованих граней ножа зі зміненими розмірами та геометричною формою ромбоподібного профілю, що ведуть до ускладнення операції заточування ріжучих кромek, проводяться в штамповій оснастці зі змінними деформуючими елементами (рисунок 2.4).

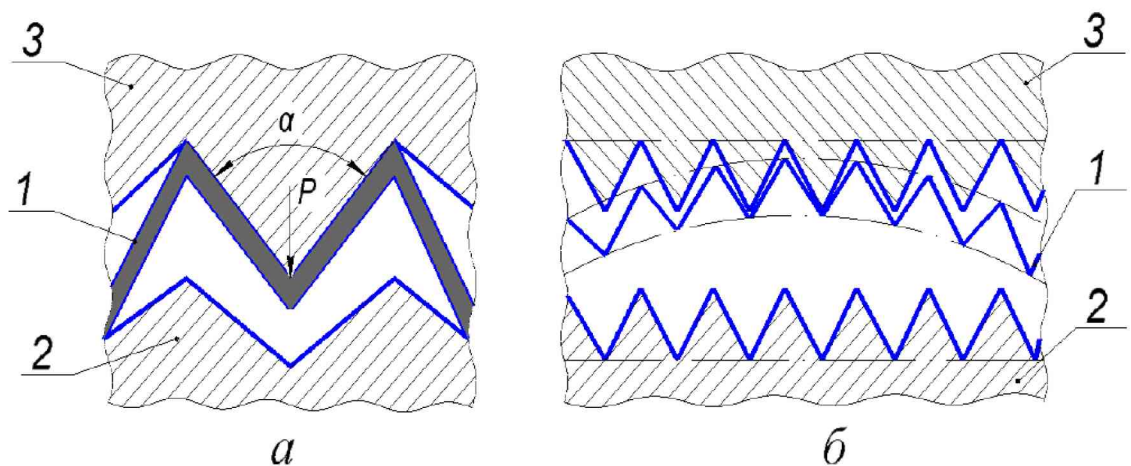


Рисунок 2.4 - Схема формоутворення граней ножа при відновленні деформованих граней (а) та жолоблення площини (б)

Грані елементів матриці і пуансона штампу, що деформують конструктивно дзеркальні форми та розмірам ножа, який відновлюється. Відповідно до прийнятої схеми формоутворення ніж 1, що відновлюється встановлюється в грані матриці 2 штампу. Пуансон 3 під дією зусилля P одночасно впливає на всі грані ножа, усуваючи при цьому деформацію форми граней (рисунок 2.4 а) і короблення площини (рисунок 2.4 б). Процес відновлення завершується за повному змиканні елементів штампу.

При розробці схеми формоутворення граней приймалися умови,

відповідно до яких обробці тиском піддавалися ножі з деформованими гранями та заготовки товщиною 6 мм. Підставою цьому була товщина привалкової настановної площини (рисунок 2.5). На рисунку 2.5 представлені схеми утворення грані ножа.

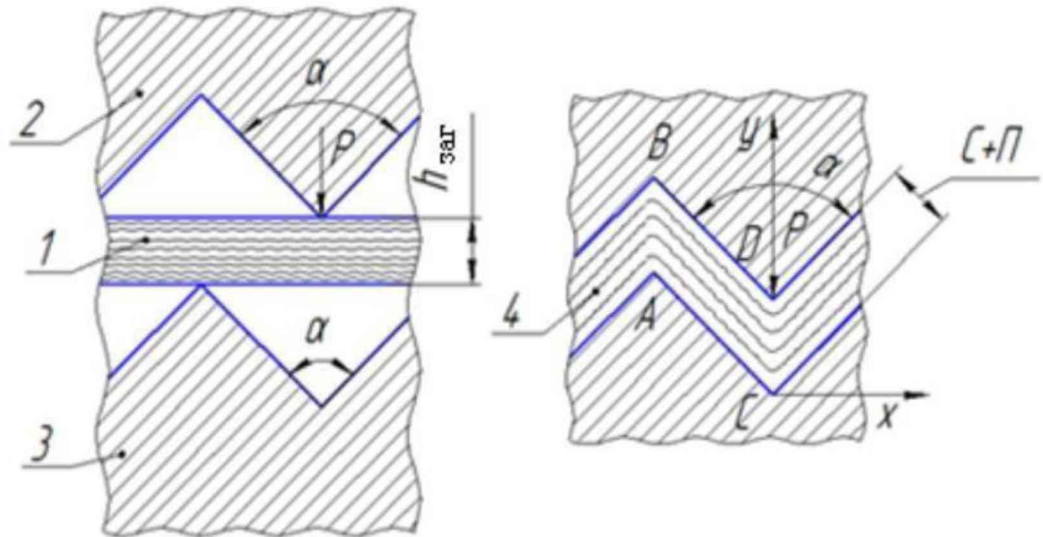


Рисунок 2.5 - Схема формоутворення граней при їх відновленні та зміцненні: 1 -заготівля; 2 – пуансон; 3 – матриця; 4 – сформовані грані ножа;

P -застосування зусилля деформації; h_{zag} - товщина заготівлі;

$C + P$ -товщина заготівлі з припусками

Нормальні зусилля деформації аналізували за одним елементом граней методом ліній ковзання [26]. Зважаючи на те, що за деформації заготовки 1 на поверхні, пуансона 2, що деформує і формують поверхні матриці 3 виникають максимальні дотичні напруження $\tau = k$, перше сімейство ліній ковзання в точках їхнього дотику буде направлено по дотичній та перетинати матрицю під кутом. $\varphi = \pi/2$. На цій підставі лінії ковзання АВ на формованих гранях ножа повинні належати першому сімейству і формувати бічні поверхні та піки граней ножа, а лінії ковзання АС і BD - другому сімейству і формувати

також бічні стінки граней 4 та їх западини.

Нормальні напруження σ_n , МПа, за деформації заготівлі визначаються за виразом:

$$\sigma_n = 2k(1 + \varphi), \quad (2.10)$$

де φ - кут повороту ліній ковзання від точки А до точки В, град.

2.5. Конструктивне підвищення витривалості на вигин граней ножа

Аналізом дефектного стану ножів за експлуатації встановлено два основних дефекти. Це зношування ріжучої кромки та втомне руйнування граней.

Перший дефект може бути усунений шляхом перезаточень, кількість яких обмежена зменшенням довжини ріжучих граней на 4-6 мм. За більшому зменшенні довжини ріжучих граней збільшується зазор у ножовій рамці і змінюються на гірший бік практично всі якісні показники бурякової стружки. На цій підставі прийнято умову про необхідність підвищення зносостійкості та довговічності ножів шляхом заміни матеріалу та застосування зміцнюючої технології при виготовленні та відновленні.

Другий дефект, пов'язаний зі втомним руйнуванням граней, відновленню не підлягає. Це також обумовлює доцільність заміни матеріалу іншим, з підвищеними показниками витривалості на вигин, застосування зміцнюючої технології та, найголовніше, зміни конструкції ножа із забезпеченням підвищених показників витривалості граней на вигин.

Конструктивно в ножах, що використовуються в даний час, грані довжиною 48 мм в перерізі по всій довжині виконані товщиною близько 0,8-1,0 мм. Внаслідок впливу на грані ударних циклічних навантажень порядку 2150 Нм та моменту на подолання сил тертя буряків по ріжучій грані порядку 1150

Н·м вони піддаються інтенсивному втомному руйнуванню, яке розподілено по довжині грані на відстані від 3 до 15 мм, що підтверджується даними дефектного аналізу. На цій підставі виникає необхідність конструктивного зміцнення граней ножа, яке слід здійснити з відривом 1,5-2,0 товщини грані від ріжучої кромки.

Підвищувати втомну міцність запропоновано за схемою, захищеною патентом на корисну модель і представленою на рисунку 2.6.

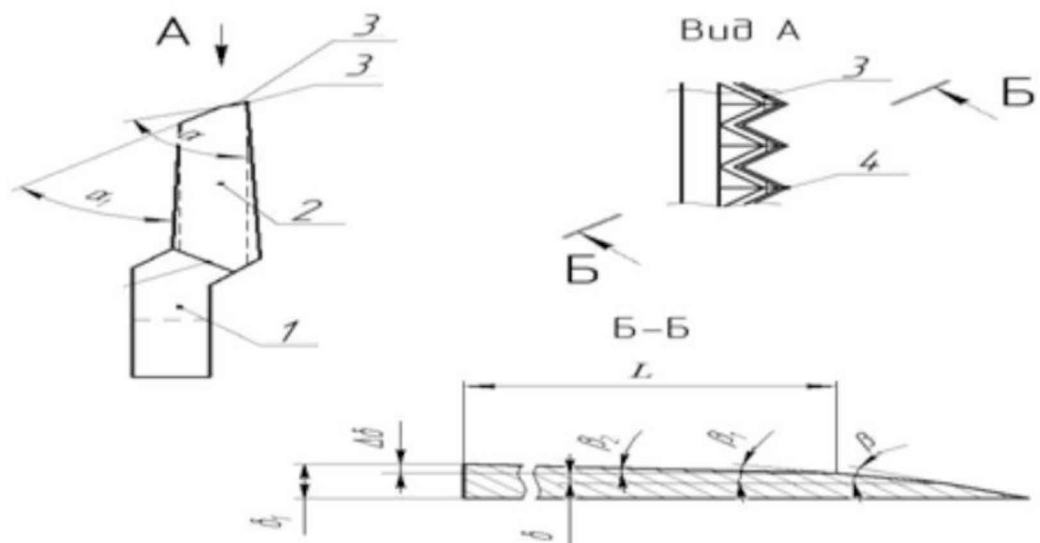


Рисунок 2.6 – Конструкція ножа зі зміцненими дном та вершиною грані:

1- привалкова кріпильна площина; 2 – край ножа; 3 – грань ножа; 4 – вершина

Ніж складається з двох частин – привалкової кріпильної 1 і робочої ріжучої 2. Кількість граней та їх розташування в ріжучій частині не зазнають жодних змін порівняно з традиційними. Зміни піддається лише товщина перерізу ріжучої грані на кромці. Вона становить 1,0 мм, а надалі по довжині вводяться потовщення дна та висоти стінок грані.

Ріжуча кромка грані 3 виконана з основним $\beta = 8^\circ \dots 10^\circ$ і додатковим кутами $\beta_1 = 4^\circ \dots 5^\circ$ загострення з вершиною 4, розташованої на відстані 1,5-2,0 товщини перерізу грані від ріжучої кромки 3. Остання у свою чергу має

основний α і додатковий α_1 кути нахилу, виконані також на відстані 1,5-2,0 товщини перерізу грані від її вершини, що дорівнює $50^\circ \dots 60^\circ$. Кожна грань має нахил $2^\circ \dots 3^\circ$ від краю вершини 4. Її виконують з додатковим кутом побудови β_1 під кутом нахилу β_2 у бік межі кріпильної та робочої частин грані.

Внаслідок цього товщина перерізу ріжучої грані δ набуває рівномірного збільшення $\Delta\delta = \delta_1 - \delta$ по довжині l з максимальним значенням $\delta_1 = 1,2-1,5$ мм.

Ніж даної конструкції з додатковим кутом нахилу ріжучої грані 2 забезпечує постійне по довжині грані збільшення товщини перерізу дна і вершини грані на величину $\Delta\delta$. Наявність змінного по довжині додаткового потовщення, що лінійно зростає від ріжучої кромки до основи граней, дозволить значно підвищити витривалість на вигин ножа з відповідним збільшенням показників його безвідмовності та довговічності.

Висновки до розділу 2

Теоретично вивчені та встановлені:

- напружений стан граней ножа від крутного моменту, що характеризує процес подрібнення цукрових буряків з позиції технічного стану ріжучих крайок граней ножа, залежності якості подрібнення від параметрів напрацювання на відмову за якісним показником бурякової стружки;
- напружений стан граней ножа від ударних відцентрових впливів буряків, які подрібнюються, що веде до їх втомних поломок.

3. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Методика дослідження процесу штампування та прокатки при відновленні та зміцненні граней ножа

Процес пластичної деформації управляється та контролюється такими факторними показниками, як зусилля деформації P з розподілом по осях x і y , температура нагрівання деталі T , а також швидкість деформації.

Зусилля деформації встановлювали і контролювали тензорезисторним датчиком, а в міру остуджування деталі показниками падіння тиску преса від 280 до 260 МПа манометром.

Температуру реєстрували за показниками початкової температури, контрольованої піропатроном, встановленим у розплав солі $BaCl_2$. Верхня межа нагріву становила $1150^{\circ}C$, глибину прогріву оцінювали часом знаходження заготовки в розплаві солі.

Швидкість деформування змінювали від 0,04 до 0,16 м/с, інтервал варіювання був прийнятий 0,02 м/с, ступінь деформації - 0,1.

Кількість повторів кожного експерименту приймалося рівним трьом, що, згідно [27], дозволяє забезпечити 95% достовірність результатів дослідів.

При штампуванні заготовок контролювали формоутворення привалювальних та ріжучих поверхонь ножів та їх відповідність геометричній формі та конструктивним параметрам. Якість усунення кривизни різальної площини за відновлення фіксували їх прямолінійністю.

3.2 Методика мікрометражних досліджень

Мікрометражних досліджень піддавали ріжучі грані ножів з метою встановлення поетапної зміни їх геометричних параметрів. Вивчали як ріжучі кромки, і якість формування класних поверхонь ножа, наявність припусків на фінішну механічну операцію і прокатку.

Кількісно вибірці піддавали по 24 продефектованих ножа після кожної операції штампування та механічної обробки.

При контролі дефектних ножів перевіряли глибину зношування ріжучих кромок за місцем максимального зношування по довжині грані ножа після змінного напрацювання. Контроль довжини/грані здійснювали штангенциркулем ШЦ-П-250-0,05, товщину грані h - мікрометром МК-7, а сплющеність граней H - візуально за місцем наявності максимальної сплющеності з подальшою фіксацією її величини (рисунок 3.1).

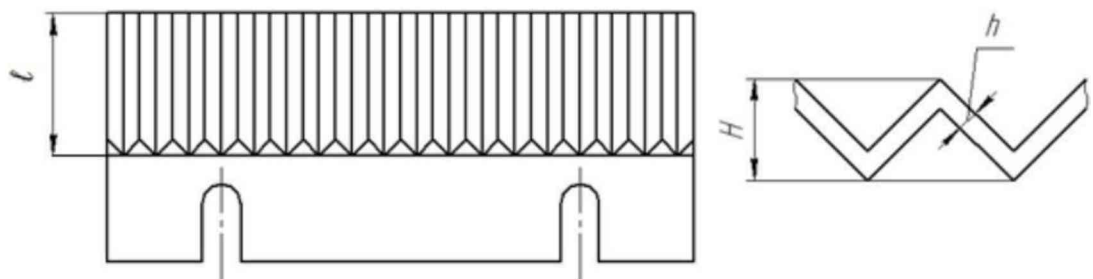


Рисунок 3.1 – Контроль зношених поверхонь за місцем наявності максимальної сплющеності

Наявність втомних руйнувань фіксували візуально з наступним виміром глибини руйнування по довжині ріжучої грані.

Шорсткість поверхонь ріжучих граней контролювали за зразками шорсткості згідно.

3.3 Методика дослідження показників твердості

Показник твердості матеріалу дозволяє оцінювати такі експлуатаційні параметри ножів, як: зносостійкість, ріжуча здатність, оброблюваність шліфуванням та різанням. Твердість поверхні дає можливість опосередковано оцінювати межу міцності і витривалість на вигин ріжучих граней.

Поверхневу твердість ріжучих граней ножа досліджували методом Роквелла. При цьому використовували шкалу для твердих матеріалів.

Для оцінки міцності параметрів ріжучих граней ножа доцільним є аналіз показників по глибині зміцненого шару методом визначення мікротвердості, заснованим на вдавлюванні чотиригранної алмазної піраміди в шліф зрізу контрольованої поверхні з інтервалом 0,25 мм по глибині.

Мікротвердість деформованої поверхні перевіряли приладом ПМТ-3 шляхом виміру збільшеного відбитка на мікроскопі та наступного розрахунку за формулою [28]:

$$H\mu = P/F, \quad (3.1.)$$

де P – навантаження на алмазну піраміду, Н;

F – площа поверхні відбитка, м^2 .

3.4 Випробування витривалості на вигин

При розробці методики дослідження опору ріжучих граней втоми враховували рекомендації, наведені в[29], засновані на розрахункових методах обґрунтування конструкції елементів машин. У роботі використаний експериментальний метод, що базується на вібраційних навантаженнях граней ножа. Для цих цілей була використана вібраційна установка ВУ 5/5000, що забезпечує режимні характеристики, які цілком задовольняють умовам подрібнення цукрових буряків у відцентровій установці:

- діапазон зміни частоти коливань 5...5000 Гц;
- максимальне прискорення процесу стійкості на вигин $g_{\max} = 20 \text{ Н/см}$;
- максимальна амплітуда коливань $A_{\max} = 3/1,8 \text{ мм}$;
- маса деталей, що випробовуються, - до 5 кг.

Випробуваний ніж 1 (рисунок 3.2) встановлювали привалковою площиною 2 на спеціальне пристосування 3 на столі вібростенда.

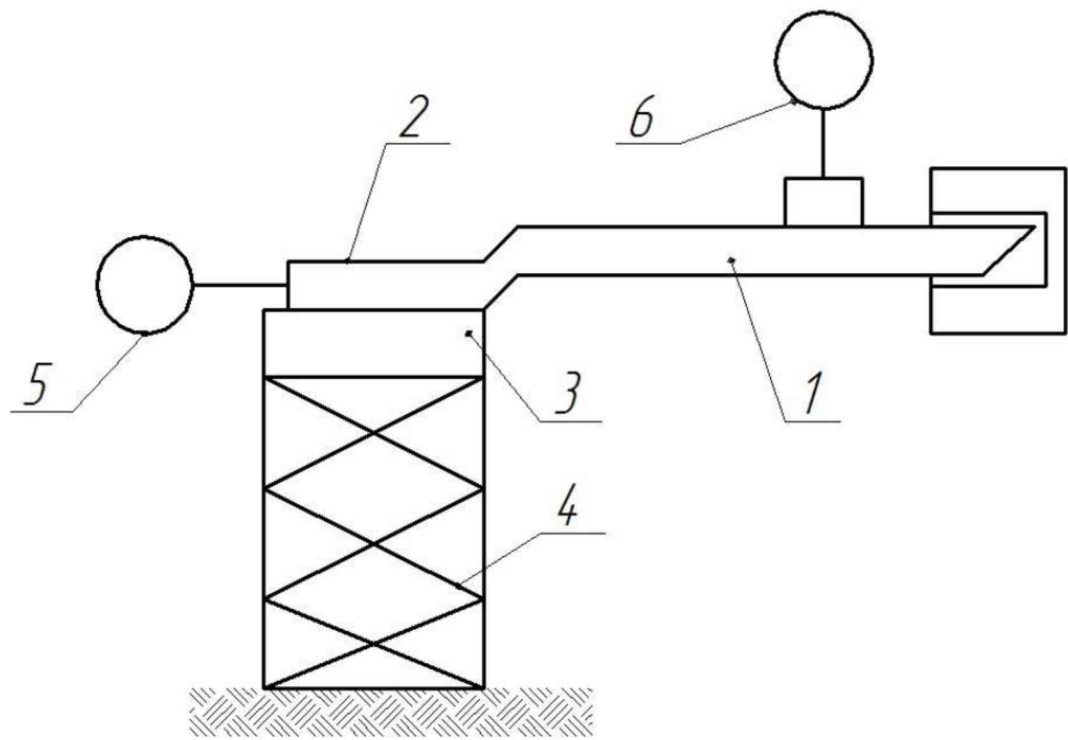


Рисунок 3.2 – Схема установки для дослідження витривалості на вигин

Частоту коливань, створюваних вібратором 4, фіксували та встановлювали датчиком вібратора 5 та вимірювальним приладом 6. Час випробувань - до моменту появи руйнувань ріжучих граней ножа. Параметри витривалості на вигин визначали порівнянням даних серійного та експериментального зміцненого ножів.

3.5 Випробування на зносостійкість

Зносостійкість експериментальних ножів досліджували за циклом прискорених випробувань на зносостійкість. При цьому вирішувалося завдання вибору найкращих конструктивно-технологічних рішень та оцінки безвідмовності та довговічності експериментальних ножів для подрібнення цукрових буряків.

За лабораторних випробуваннях використовували метод моделювання

умов зовнішнього впливу з оцінкою фрикційно зношувальних характеристик пари тертя "ролик - колодка" на машині тертя за схемою, представленою на рисунку 3.3.

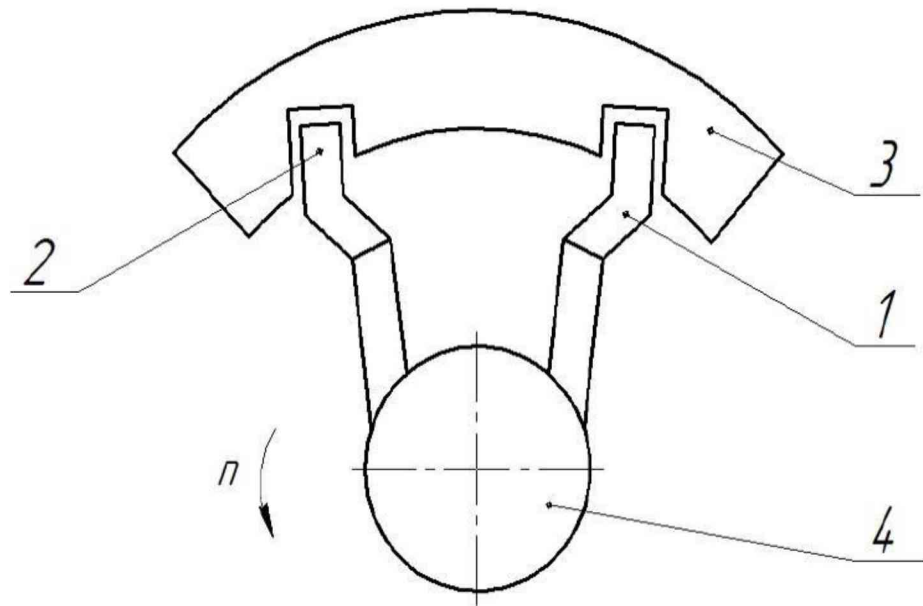


Рисунок 3.3 – Схема установки для випробувань ножів на зносостійкість

Стирання одночасно піддавалися два ножі - експериментальний 1 і еталонний 2, (ніж, використовуваний у виробництві). Ножі фіксували в спеціальній колодці 3, що забезпечує їх постійний притиск до ролика 4, виготовленому з підшипникової конструкційної сталі ШХ-15, загартованої до твердості HRC65.

Для охолодження використовували 5% розчин соляної кислоти, що імітує кисле навколишнє середовище.

4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Обґрунтування режимів пластичної деформації ножів

Основними показниками обробки тиском заготовок у штамповому оснащенні є технологічні режими, що характеризують температуру переддеформаційного нагріву, зусилля та швидкість деформації. Тільки за їх оптимальних значеннях можна отримати ніж із підвищеними показниками геометричної форми, розмірів поверхонь, опору зношуванню та втомному руйнуванню.

Дослідження температури переддеформаційного нагріву ґрунтувалися за умови використання високих пластичних властивостей матеріалу на початку процесу деформації та їх забезпечення протягом усього періоду деформації з урахуванням остуджування. При цьому важливим фактором приймалося забезпечення конструктивних форм та розмірів ножа і зміцнення ріжучих граней. Результати експерименту наведено у таблиці 4.1.

Виходячи з даних експериментальних досліджень, слід зробити висновок про доцільність формоутворення ножа в інтервалі температур 950...1050 °С. Деформація за знижених температурах веде до низької якості формоутворення ріжучих граней, зниження швидкості деформування та показників міцності оснастки. Підвищена температура не дає ніяких технічних переваг і негативно впливає на структуру металу.

За правці ножів, виготовлених з інструментальної вуглецевої сталі У7 і У8, оптимальною прийнята температура в інтервалі 550...600 °С, що відповідає температурі нормалізації.

Таблиця 4.1 - Експериментальна оптимізація режимів пластичної деформації

Температура переддеформаційного нагріву, °С	Зусилля деформації, кН	Швидкість деформування, м/с	Якість формоутворення
1	2	3	4
800	1150	0,0017	Не до кінця сформовано розділ привалкової та ріжучої площин, не витримана ромбоподібна форма
850	1150	0,0028	Розділ площин сформований, більш якісний утворення
900	1100	0,0021	Формоутворення якісне, ромбоподібна форма граней дотримана
950	980	0,0018	Формоутворення якісне, ромбоподібна форма граней дотримана

1	2	3	4
1000	750	0,00085	Формоутворення якісне, ромбоподібна форма граней дотримана
1050	530	0,00075	Формоутворення якісне, ромбоподібна форма граней дотримана
1100	400	0,00064	Формоутворення якісне, ромбоподібна форма граней дотримана

4.2. Аналіз механічних показників зміцнення граней

У зв'язку з конструктивними особливостями ножів бурякорізних установок ріжучі грані товщиною 0,8 ... 1,0 мм за термомеханічній обробці прожарюються наскрізь, тому цілком достатньо прийняти виміри в трьох точках, що характеризують крайні та середні стани грані.

Показники мікротвердості, що найбільш достовірно характеризують стан міцності ріжучих граней за їх перерізом, а також опірність ріжучих кромek зношування дозволяють зробити висновок про позитивний вплив процесу деформації ножів.

Порівняльні показники мікротвердості представлені рисунку на 4.1.

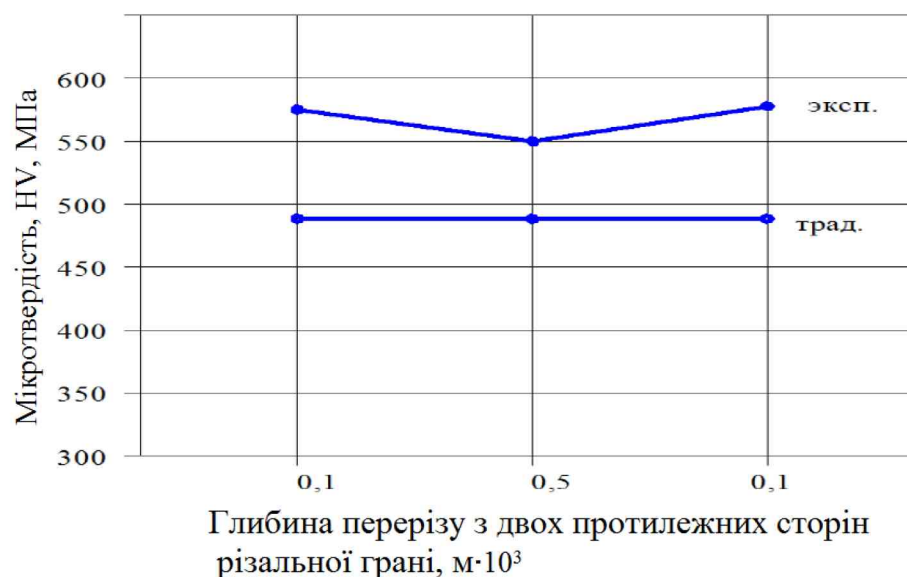


Рисунок 4.1 – Показники мікротвердості перерізу ріжучої грані

Мікротвердість у крайових ділянках граней експериментальних ножів досягає 580 МПа, а у граней ножів, виготовлених за традиційною технологією, - 485 МПа. Ця обставина підтверджує наявність ефекту зміцнення при прокатуванні на 27%. Характерним є розподіл мікротвердості по глибині шару. У серійного ножа вона однакова по всій товщині перерізу, а експериментального - знижується на 40 МПа (рисунок 4.2). Це свідчить про більш щільну будову зерен по краях грані, що пояснюється процесом дублювання наприкінці висадки, що підтверджується ілюстрацією мікроструктури (рис. 4.2).

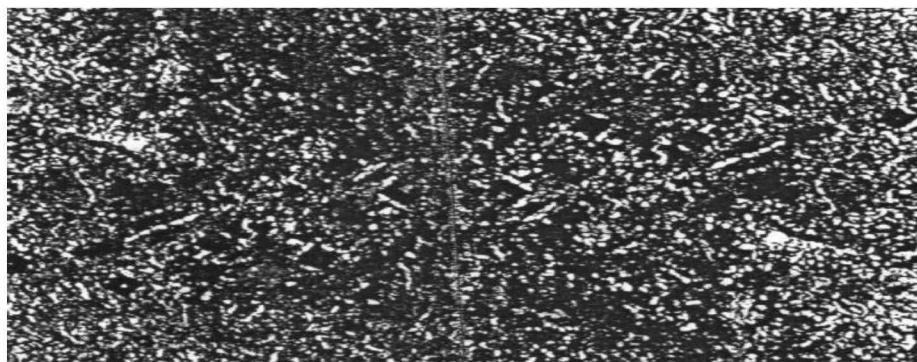


Рисунок 4.2 – Зміна мікротвердості за глибиною шару (×225;
P = 200°; 136°)

Дещо знижена мікротвердість у центрі перерізу грані дозволить підвищити її стійкість до утворення субмікротріщин. Зважаючи на незначну товщину ножа та повне прожарювання граней, показники поверхневої твердості знаходяться в межах 55–60 HRC.

4.3. Дослідження показників, що характеризують ресурсні параметри ножів

Середній ресурс об'єкта, що досліджується, характеризується його напрацюванням від початку експлуатації до досягнення граничного стану, коли подальша експлуатація повинна бути (для нашого випадку) припинена з причин [30]:

- різкого погіршення функціональних та параметричних показників, що характеризується погіршенням якості продукції, зниженням обсягу її випуску, значними ресурсними втратами;
- економічної недоцільності випуску продукції внаслідок різкого підвищення вартості її виробництва.

Даний оцінний критерій характеризує безвідмовність та довговічність ножів для подрібнення цукрових буряків. За аналізом їх дефектного стану встановлено, що превалюючими факторами, які ведуть до експлуатаційних відмов та граничного стану, є низькі витривалість на вигин та зносостійкість.

4.3.1. Аналіз показників витривалості на вигин

За аналізом дефектного стану ножів до ВБ встановлено механізм втомного руйнування граней ножа. При цьому враховувалося, що для сталі кількість повторно-змінних навантажень умовно прийнято рівним 10 млн [26], а в нашому випадку за роботи кожен ніж у зміну сприймає близько 50 тис.

навантажень, тому вже після 6-10 змін роботи ріжучі грані починають піддаватися втомним руйнуванням за вигином (рисунок 4.3).

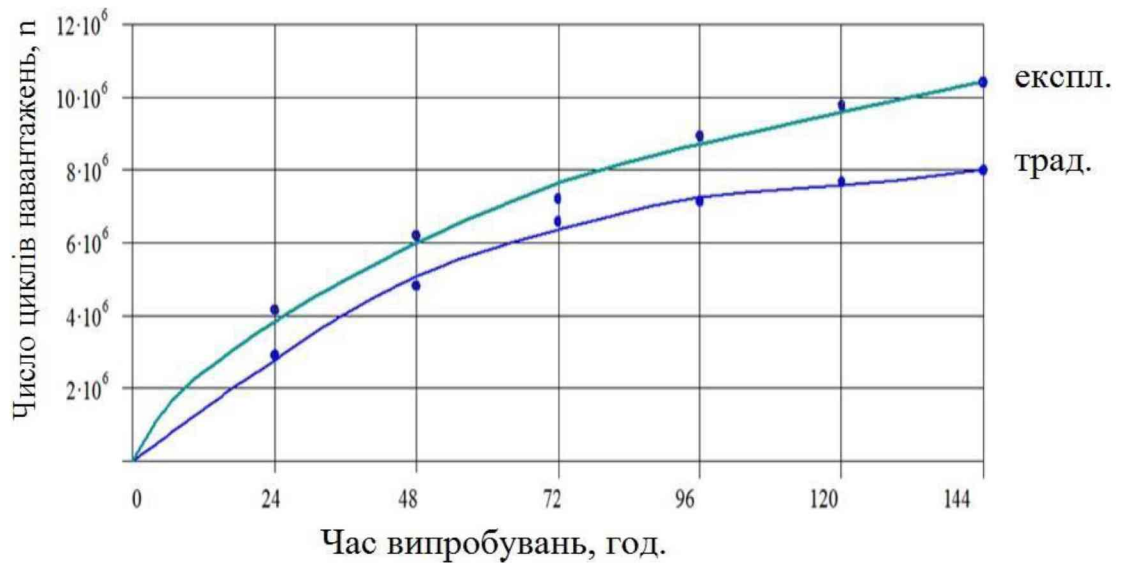


Рисунок 4.3 – Витривалість на вигин ріжучих граней ножів

Картина зміни межі витривалості на вигин конструктивно і технологічно вдосконалених ножів за симетричних циклах навантажень схожа з серійним ножем, тільки вже після 72 год випробувань витривалість збільшується менш інтенсивно. Після 144 год випробувань, що становить 6 змін безперервної роботи, спостерігаються руйнування ріжучих граней, що свідчать про граничний стан за досягнення $8 \cdot 10^6$ циклів навантажень. Граничної величини витривалості на вигин експериментальні ножі досягають після 10-12 змін роботи з навантаженням $11 \cdot 10^6$ циклів.

4.3.2. Аналіз показників зносостійкості

Показник зносостійкості, що характеризує опір зношуванню ріжучих кромek ножа для подрібнення цукрових буряків, заснований на гідроабразивному зношуванні, середовищем якого є паренхімна тканина

буряків, мінеральні включення та буряковий сік.

У нашому випадку оцінка зносостійкості дозволяє судити про безвідмовність, оскільки кожне наддопустиме затуплення ріжучих кромek граней веде к зміни параметрів стружки. Отже, за частотою відмов, які з'являються, вона характеризується як періодична, що оцінюється якістю подрібненої стружки. Відмову усувають шляхом демонтажу ножів та перезаточок ріжучих кромek. Таким чином, чим нижче показник зносостійкості, тим більше перезаточок необхідно зробити для усунення відмов і тим швидше ніж досягне свого граничного стану за параметром допустимої довжини граней, що характеризує показник довговічності.

Зносостійкість ріжучих кромek опосередковано характеризує також ремонтпридатність ножів за кількісним показником ймовірності середнього часу відновлення відмов: чим більше перезаточок, тим більше часу необхідно для їх здійснення.

Відповідно до графіка, представленого на рисунку 4.4, зносостійкість ножів характеризується параболічною залежністю процесу зношування за часом.

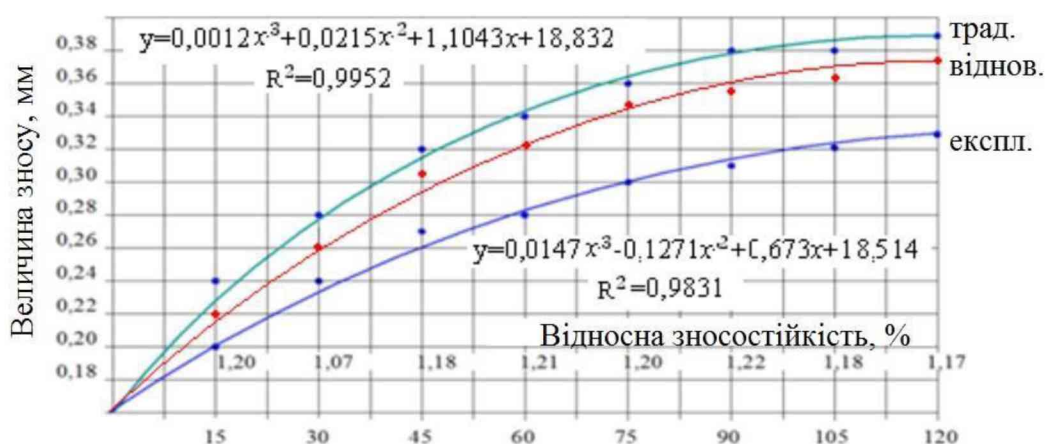


Рисунок 4.4 – Зносостійкість різальних кромek ножів

Показники кривих, що характеризують зносостійкість серійного та експериментального ножів у початковий момент експерименту, приблизно подібні. Це пояснюється невеликою товщиною ріжучих граней (близько 1,0 мм) і, відповідно, повною їх прожарюваністю по глибині шару, що забезпечує досить високу стабільність мікротвердості (див. рис. 4.1). Потім інтенсивність зношування зростає, що узгоджується з теорією зношування, за якою величина зношування за інших рівних умов прямо пропорційна шляху тертя:

$$\frac{dU}{dt} = S \quad (4.1)$$

Експериментальними дослідженнями встановлено порівняльну характеристику процесу зношування. На початковий фіксований період часу, що становить 15 хв, перевищення величини зносу від ріжучої кромки по довжині грані серійного ножа склало 3,4 мм. Зносостійкість граней експериментального зміцненого ножа зростає на 17%. У подальшому підвищення зносостійкості граней експериментального ножа характеризується лінійною залежністю, спостерігається стабільність показників із середньою відносною зносостійкістю, що становить 1,2.

Збільшення зносостійкості експериментальних ножів обґрунтовується кількома факторами, пов'язаними насамперед із зміцненням металу граней пластичним деформуванням та змінами структурного та напружено-деформованого стану, заміною марки сталі для виготовлення ножів – у другу.

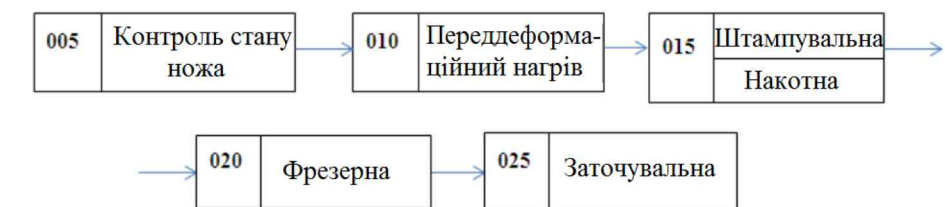
Виходячи з даних графіків (див. рис. 4.4), підвищення зносостійкості ріжучих кромки ножів більш ніж у 2 рази зменшить відмови, що усуваються перезаточенням.

4.4. Технологічний процес відновлення та зміцнення ножів до ВБ

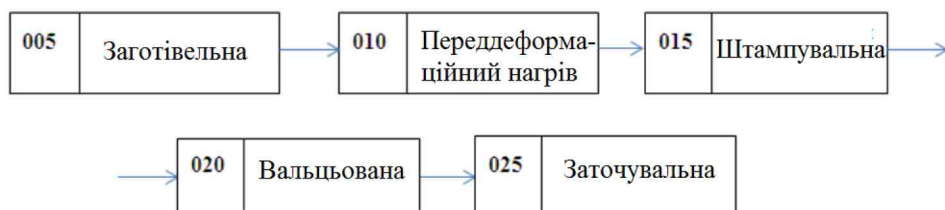
Теоретичними та експериментальними дослідженнями встановлено доцільність підвищення довговічності ножів до ВБ. Це дозволить підвищити якість подрібнення буряків, ресурсозберігаючи показники цукрового виробництва за рахунок підвищення ефективності виходу бурякового соку та знизити експлуатаційні витрати у зв'язку з підвищенням середнього ресурсу до списання ножів та зменшенням кількості перезаточень.

Заготівельна операція - вирубка з листа товщиною 5 мм заготовки з встановленими розмірами під наступну операцію пластичної деформації. Для цієї мети використовується вирубний штамп, що встановлюється на кривошипний прес К 2130, де формуються розміри профілю ножа і пази.

Технологічні процеси відновлення та зміцнення ножів представлені на рисунку 4.5.



а



б

Рисунок 4.5 – Технологічні процеси виготовлення ножів:

а -серійних; б – експериментальних

Термічна операція має на увазі нагрівання заготовки до температури 1050 °С. Її здійснюють у цеховій установці СВЧ.

Штампувальна операція - висад заготовки формуванням привалкової і різальної площин з гранями ромбовидної форми.

Фрезерна операція є фінішною двосторонньою обробкою різучих граней багатопозиційною різальною фрезерною головкою.

Заточувальна операція – заточування різучих граней. Її здійснюють на спеціальному заводському устаткуванні.

Висновки до розділу 4

1. Досліджено та обґрунтовано оптимальні технологічні режими, що забезпечують якісне формоутворення ножів до відцентрових бурякорізних установок:

- температура переддеформаційного нагріву 1000...1050 °С;
- зусилля деформації – 950 кН;
- швидкість деформування – 0,00085-0,00075 м/с.

2. Мікрометражними дослідженнями підтверджено збіжність теоретичних передумов формоутворення різучих ромбоподібних граней ножів, що забезпечує отримання стабільних розмірів припусків для проведення фінішних операцій механічної обробки.

3. Встановлено, що ухвалені конструктивно-технологічні рішення дозволяють підвищити основні ресурсні показники, що характеризують довговічність та безвідмовність ножів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У роботі вирішено актуальне науково-практичне завдання підвищення довговічності ножів відцентрових бурякорізок за рахунок удосконалення технологій відновлення, зміцнення граней, спрямованих на забезпечення якості подрібнення цукрових буряків.

Обґрунтовано основні показники процесу подрібнення цукрових буряків, що виникають від впливу відцентрових інерційних моментів при переміщенні буряків у ВБ. Силовим аналізом робочого процесу (4) встановлено доцільність збільшення довговічності ножів шляхом підвищення зносостійкості та межі витривалості на вигин.

Розроблений технологічний процес із комплектами оснастки для відновлення і зміцнення бурякорізних ножів пластичним деформуванням дозволив досягти поліпшення фізико-механічних характеристик підвищити їх довговічність на 27 ... 30%. Підвищення відносної зносостійкості ріжучих кромek (1,2) межі витривалості на вигин (25%) забезпечили позмінне підвищення довжини стружки на 18...20% та проникності стружки на 16...18%.