

Міністерство освіти і науки України
Донбаська державна машинобудівна академія

М. І. Кінденко

**ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ
ВЛАСТИВОСТЕЙ ОСЬОВОГО ІНСТРУМЕНТУ
ШЛЯХОМ ІМПУЛЬСНОЇ МАГНІТНОЇ ОБРОБКИ І
НАНЕСЕННЯ АНТИФРИКЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ**

Монографія

Краматорськ
ДДМА
2022

УДК 621.7

K41

Рецензенти:

Марков О. Є., д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри «Комп'ютеризовані дизайн і моделювання процесів і машин» Донбаської державної машинобудівної академії;

Меншиков В. О., д-р фіз.-мат. наук, професор кафедри теоретичної механіки, машинознавства і роботомеханічних систем Харківського національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут».

Кінденко, М. І.

K41 Підвищення експлуатаційних властивостей осьового інструменту шляхом імпульсної магнітної обробки і нанесення антифрикційних покриттів/ М. І. Кінденко. – Краматорск : ДДМА, 2022. – 114 с.

ISBN 978-617-788-912-9

Виконано комплекс науково-дослідних робіт з вивчення впливу імпульсної магнітної обробки в поєднанні з антифрикційними покриттями на стійкість осьового різального інструменту зі швидкорізальних сталей, розроблені конкретні технологічні рекомендації щодо застосування способу підвищення стійкості інструменту шляхом впливу на нього імпульсних магнітних полів в поєднанні з антифрикційними покриттями (епілама і тверді технологічні мастила).

Призначена для фахівців у галузі процесів механічної обробки, верстатів і інструменту.

УДК 621.7

© М. І. Кінденко, 2022

© ДДМА, 2022

ISBN 978-617-788-912-9

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖЕНЬ В ОБЛАСТІ МАГНІТНОЇ ОБРОБКИ ІНСТРУМЕНТУ	7
1.1 Про фізичну сутність процесу магнітної обробки	7
1.2 Класифікація і загальна характеристика методів магнітної обробки	11
1.3 Огляд робіт, присвячених фізико-технологічним особливостям і різновидам методів магнітної обробки.....	14
1.3.1 Аналіз гіпотез про причини підвищення стійкості інструменту в результаті впливу магнітного поля на зону різання.....	14
1.3.2 Огляд теоретичних і експериментальних даних про вплив постійних, змінних і імпульсних магнітних полів на стійкість інструменту	20
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ПЕРЕДУМОВИ ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ОСЬОВОГО ІНСТРУМЕНТУ ЗА ДОПОМІГОЮ МАГНІТНОЇ ОБРОБКИ ТА НАНЕСЕННЯ АНТИФРИКЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ.....	28
2.1 Магніострикційне зміцнення швидкорізальних сталей в імпульсних магнітних полях	28
2.1.1 Аналіз результатів робіт з дослідження впливу термомагнітного ефекту на стійкість швидкоріжучого інструменту	28
2.1.2 Магніострикційне зміцнення і магнітнорозсіювальне твердіння швидкорізальних сталей в імпульсних магнітних полях	30
2.2 Деякі аспекти мастильного дії антифрикційних покриттів.....	33
2.3 Обґрунтування технологічних напрямків експериментальних досліджень	36
2.4 Висновки.....	41
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ПІДТВЕРДЖЕННЯ ЕФЕКТУ МЕТОДУ ОІМП З ПОДАЛЬШИМ НАНЕСЕННЯМ АНТИФРИКЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ	43
3.1 Методичне забезпечення досліджень і обробка експериментальних даних	43
3.2 Механізм зношування і працездатність інструменту зі швидкорізальної сталі зміцненого методом ОІМП.....	50
3.3 Дослідження впливу режимів магнітної обробки на фізико-механічні властивості швидкорізальних сталей	61
3.4 Особливості контактних процесів і характеристики різання інструментами обробленими методом ОІМП.....	70
3.5 Дослідження впливу режимів ОІМП на стійкість розмірного	

інструменту.	78
3.6 Дослідження впливу операцій переточки на стійкість інструменту, обробленого методом ОІМП	80
3.7 Дослідження впливу магнітного стану інструменту на його стійкість.	81
3.8 Дослідження впливу твердих технологічних мастил і епілами на стійкість магнітнообробленого інструменту	86
3.9 Дослідження впливу режимів різання на стійкість інструменту, обробленого методом ОІМП з подальшим нанесенням твердого мастила.....	89
3.10 Прискорений метод визначення оптимальних режимів магнітної обробки і режимів різання	91
3.11 Висновки.....	92
РОЗДІЛ 4. ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ЗАБЕСПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ РОЗМІРНОГО ІНСТРУМЕНТУ	94
4.1 Технологічні рекомендації по впровадженню комбінованого способу обробки кінцевого інструмента.....	94
4.2 Вибір оптимальної технології нарізування різьби магнітнообробленим осьовим інструментом.....	96
4.3 Узагальнена схема формування алгоритму і номограм для визначення раціональних режимів різання.....	98
4.4 Висновки.....	102
ЗАКЛЮЧЕННЯ.....	104
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	106

ВСТУП

Проблема зносостійкості і довговічності металообробного інструменту придбала в останні роки в машинобудуванні надзвичайно велике значення. Актуальність її зростає в сучасних умовах ринкової економіки, коли в машинобудуванні особливу роль має відігравати якість інструментів, в першу чергу ріжучих, що визначають багато в чому продуктивність верстатів і собівартість обробки в цілому.

Поліпшення якості інструментів принципово можна досягти легуванням матеріалу, а також застосуванням усіх відомих механізмів об'ємного зміцнення при термічній обробці. Однак вже в даний час стає все більш очевидним обмежені можливості цього способу у зв'язку з швидким наростанням потреб в інструментах і зростанням дефіциту найважливіших легуючих компонентів інструментальних сталей, перш за все вольфраму, молібдену та інших тугоплавких металів. Дорогі методи об'ємного зміцнення не можуть бути виправдані ще і з тих позицій, що причини відмов інструментів найчастіше пов'язані не з їх поломкою, а з втратою ними своєї первісної поверхневої конфігурації внаслідок зносу, відколів, зминання, розтріскування, тобто в зв'язку з руйнуванням або деформацією тонких поверхневих шарів металу.

Саме цими обставинами пояснюється інтенсивний розвиток останнім часом чисельних методів і розробок в області поверхневого зміцнення інструментів.

В даний час розробляються нові способи підвищення стійкості ріжучого інструменту, які засновані на використанні складних фізичних явищ, як в процесі різання, так і при його виготовленні.

Одним з основних напрямків фізичної технології є магнітна обробка матеріалів. Особливе місце в магнітній обробці відводиться способам поліпшення фізико-механічних властивостей швидкорізальних сталей. Поля локальних перенапруг в таких сталях з'являються в результаті магнітострикції. У цих умовах частки карбідної фази виявляються концентраторами напружень, які зменшуються за рахунок додаткових джерел дислокацій.

В цілому результат магнітної обробки розглядається як прояв ефектів післядії в матеріалах, що знаходяться на межах стабільності їх властивостей і піддаються впливу зовнішнього силового поля.

Аналіз літературних даних показує, що спосіб магнітного впливу на інструмент вигідно відрізняється від багатьох інших методів зміцнення цілим рядом чинників, в числі яких відносна дешевизна обладнання, відсутність токсичних середовищ, високих температур і тощо. Однак, наявні в літературних джерелах дані часто носять суперечливий характер і містять рішення приватних питань. Немає опису чітких меж застосування способу магнітної обробки та технології її здійснення.

Разом з тим поки ще немає і єдиного, всебічно підтвердженого погляду на причини, що викликають зміну експлуатаційних властивостей різального інструменту в результаті впливу імпульсного магнітного поля в поєднанні з антифрикційними покриттями.

З урахуванням вищевикладеного стає очевидною актуальність розробки таких технологічних рекомендацій по надійному забезпеченню сукупності технічних, організаційних та економічних переваг методу магнітної обробки і антифрикційних покриттів, які забезпечили б стійкий прояв ефекту.

Монографія присвячена дослідженню широкого кола питань, пов'язаних з підвищенням експлуатаційних властивостей осьового інструменту з швидкорізальних сталей шляхом імпульсної магнітної обробки та нанесення антифрикційних покриттів.

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНИЙ СТАН ДОСЛІДЖЕНЬ В ОБЛАСТІ МАГНІТНОЇ ОБРОБКИ ІНСТРУМЕНТУ

1.1 Про фізичну сутність процесу магнітної обробки

Одним з основних напрямків фізичної технології є магнітна обробка матеріалів. При магнітному впливі речовина змінює свої фізичні і механічні властивості.

Поліпшення властивостей у феромагнітних деталей, які пройшли магнітно-імпульсну обробку (МІО), як вказується в роботі [81], досягається за рахунок спрямованої орієнтації вільних електронів речовини зовнішнім полем, внаслідок чого збільшується тепло- і електропровідність матеріалу. Взаємодія імпульсного магнітного поля з деталлю з струмопровідного матеріалу відбувається тим інтенсивніше, чим вище структурна і енергетична неоднорідність речовини.

Енергетичний стан феромагнетика визначається енергетичною і квантовою взаємодією магнітних моментів всіх зовнішніх електронів атомів речовини, що утворюють конкретну деталь [64].

Використовуючи роботу [64] можна визначити енергетичний стан Φ конкретного атома металу з урахуванням його збудження зовнішнім магнітним полем за такою залежністю

$$\Phi = \Phi(x, y, z, t) \cdot S(L) \cdot P_s, \quad (1.1)$$

де $\Phi(x, y, z, t)$ – енергетичний стан матеріалу масою m при об'ємі V ;

$S(L)$ – не рівноважний стан атомів речовини, здатних змінювати його під дією зовнішнього магнітного поля середньої напруженості;

$P_s = \pm h/2$ – характеризує магнітну енергію цих атомів [9].

При виготовленні реальних деталей у матеріалі нерівномірно концентрується деяка кількість надлишкової енергії F , зі збільшенням якої зростає ймовірність руйнування деталі P [4].

Якщо $F > 0$, то $P \cdot P_{\max} = 1$.

В роботі [22] відзначається, що для підвищення надійності роботи механізму необхідно величину $P_{\max}$ знизити приблизно в 4 рази. Це можливо за рахунок зменшення надлишкової енергії матеріалу зовнішніми фізико-технічними методами.

Застосовуючи МІО, можна значно зменшити надлишкову енергію матеріалу, пов'язану з концентрацією внутрішніх і поверхневих напружень в конкретній деталі, і знизити до мінімуму ймовірність її поломки.

На рисунку 1.1 зображена зміна надлишкової енергії F у зразку з феромагнітного сплаву в залежності від напруженості поля H при МІО.

З рисунку 1.1 випливає, що для кожного матеріалу існує оптимальне значення зовнішнього імпульсного магнітного поля $H_{\text{опт}}$, при якому концентрація напруг в матеріалі, а отже, і надлишкова енергія F гранично зменшується ($F + F_{\text{min}}$), внаслідок чого підвищується надійність деталі.

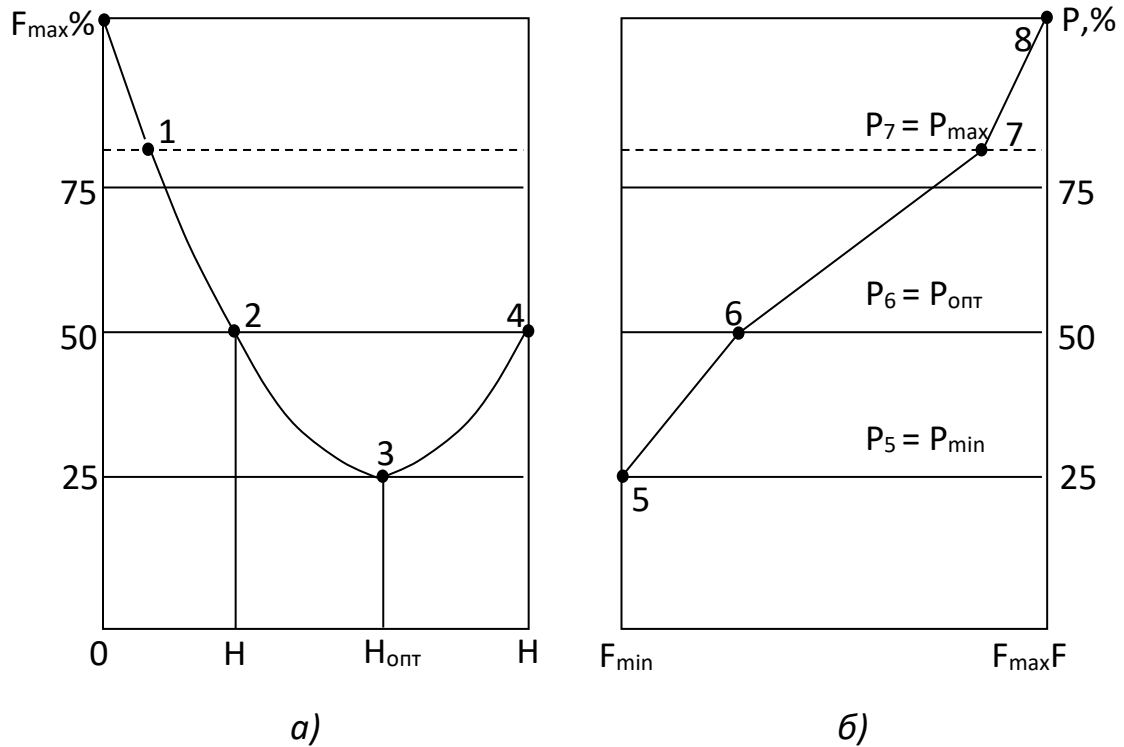


Рисунок 1.1 – Зміна надлишкової енергії F у зразку з феромагнітного сплаву в залежності від напруженості поля H при МІО (а) та вплив надлишкової енергії на ймовірність руйнування деталі P (б)

Для зменшення значення F в матеріалі конкретного інструменту необхідно затратити деяку кількість електромагнітної енергії W_0 , яка може бути визначена з рівняння [81]:

$$W_0 = K_1 \cdot K_2 \iiint_{mv\phi} m dm \cdot V_d \cdot V_m \cdot \phi^n \cdot d\phi, \quad (1.2)$$

де K_1 – коефіцієнт, що враховує вплив концентрацій поверхневих і внутрішніх напружень на стійкість інструменту: коефіцієнт пов'язаний з конструюванням і технологією виготовлення деталі. За даними [26] для сталейних деталей $K_1=1,5 \dots 2,5$;

K_2 – коефіцієнт, що враховує втрати енергії при МІО деталі.

$K_2=3,0 \dots 5,5$ для установки МІУРІ [64];

ϕ – функція, що відображає фізико-механічні властивості матеріалу;
 n – показник, що враховує надійність деталі. За даними [64] для сталених деталей, працюючих при статистичних навантаженнях, $n=2$.

Енергія магнітного поля, що розвивається соленоїдами магнітно-імпульсних установок, визначається [64]:

$$W = K_2 \cdot (BH) \cdot V, \quad (1.3)$$

де K_2 – коефіцієнт, що враховує втрати енергії при МІО;

B – магнітна індукція в соленоїді, Тл;

H – напруженість магнітного поля, А/м;

V – об'єм простору, де концентрується магнітне поле, м³.

При МІО за час імпульсу в соленоїді установки виділяється енергія W_0 магнітного поля, яка розподіляється в основному наступним чином [64]:

$$W_0 = K_{не} \cdot (W_1 + W_2), \quad (1.4)$$

де $K_{не}$ – коефіцієнт неврахованих втрат енергії, що залежить від взаємодії поля деталі з полем соленоїда;

W_1 – енергія, що витрачається на намагнічування деталі, Дж;

W_2 – енергія, що витрачається на локальний нагрів деталі, Дж.

Енергія W_1 , що витрачається на намагнічування деталі, пропорційна величині намагніченості M і залежить від властивостей матеріалу:

$$W_1 = K_3 \cdot V, \quad (1.5)$$

де K_3 – коефіцієнт, що враховує електромагнітні властивості матеріалу.

В роботі [64] відзначається, що для кожної сталі існує певна величина напруженості імпульсного магнітного поля, а отже, і величина магнітної енергії W_1 , яка поглинається матеріалом протягом часу обробки t і максимально покращує його механічні та технологічні властивості. Причому між підвищенням стійкості деталі і магнітною проникністю існує кореляційна залежність. Імпульсне магнітне поле, взаємодіючи з матеріалом деталі, змінює її теплові та електромагнітні властивості, покращує структуру і експлуатаційні характеристики, що покладено в основу технології магнітного зміцнення.

При магнітній обробці деталі внаслідок неоднорідної кристалічної структури в ній виникають вихрові струми. Вихрові струми обумовлюють магнітне поле і локальні мікровіхрі, які в свою чергу, нагрівають ділянки навколо кристалітів напружених блоків і неоднорідностей структури металу. У місцях концентрації залишкових або втомних напруг, пов'язаних з

технологією виробництва, обробки або експлуатації деталі теплота, наведена при МІО вихровими струмами, частково зменшує надлишкову енергію складових кристалітів і зерен структури зразка особливо в зоні контакту напружених ділянок.

В роботі [17] відзначається, що одночасно з тепловими процесами за рахунок імпульсного магнітного поля в металі відбувається полярна орієнтація спінів електронів атомів, розташованих в області контакту кристалітів і зерен сплавів, внаслідок чого поліпшуються механічні властивості матеріалу.

Для завершення внутрішніх процесів, пов'язаних з розсіюванням електромагнітної енергії в матеріалі деталі за даними роботи [64], необхідний час T , який змінюється від 5 до 24 г.

Час витримки інструменту зі швидкорізальної сталі після МІО в спокійному стані визначається по емпіричному рівнянню [62]:

$$T = \frac{K \cdot d}{H \cdot l} \cdot \frac{K_m}{K_\phi} \cdot \frac{m}{V_m}, \quad (1.6)$$

де K – коефіцієнт, що залежить від властивостей матеріалу інструменту;

m – маса інструменту, грам.;

H – напруженість поля соленоїда установки, кА/м;

V_m – об'єм металу інструменту, см³;

d/l – відношення діаметру інструмента до його довжини;

K_m/K_ϕ – відношення магнітної проникності матеріалу інструменту до магнітної проникності фериту.

У світлі розглянутих вище уявлень про фізичну сутність процесу магнітної обробки деталей можна зробити висновок, що МІО являє собою комплексний вплив на матеріал магнітострикційних процесів і механічних деформацій, теплових і електромагнітних вихрових потоків, локалізованих в місцях концентрацій магнітного потоку, а також систему процесів, направлено орієнтуючих «спін-характеристики» зовнішніх електронів атомів металів прикордонної зони контакту зерен. В цілому МІО передбачає поєднання електромагнітного і термодинамічного способів управління не рівноважною структурою речовини.

За літературними даними [64, 69] і в результаті власних досліджень встановлено, що одним з недоліків МІО є такі фактори, як слабкий вплив на матеріали, що мають попередньо поліпшену фізичну структуру і технологічну стабільність, пов'язану з процесом виготовлення деталі.

1.2 Класифікація і загальна характеристика методів магнітної обробки

Існує два принципово різних напрямки в розробці методів магнітної обробки різальних інструментів (рис.1.2).

Відповідно до першого з них підвищення стійкості різального інструменту, а також механічних і технологічних властивостей деталей досягається шляхом накладення на зону різання магнітного поля.

Другий напрямок передбачає вплив магнітного поля самого матеріалу, з якого виготовлений інструмент.

Кожне з названих напрямків реалізується на практиці чисельними способами (табл.1.1) різними як за своїми фізичними технологічним принципам, так і за конструктивним виконанням установок.

Є корінна відмінність між двома зазначеними групами методів. Мова йде про характер зміни умов процесу різання при накладенні магнітного поля на зону різання і при обробці матеріалів намагніченим інструментом.

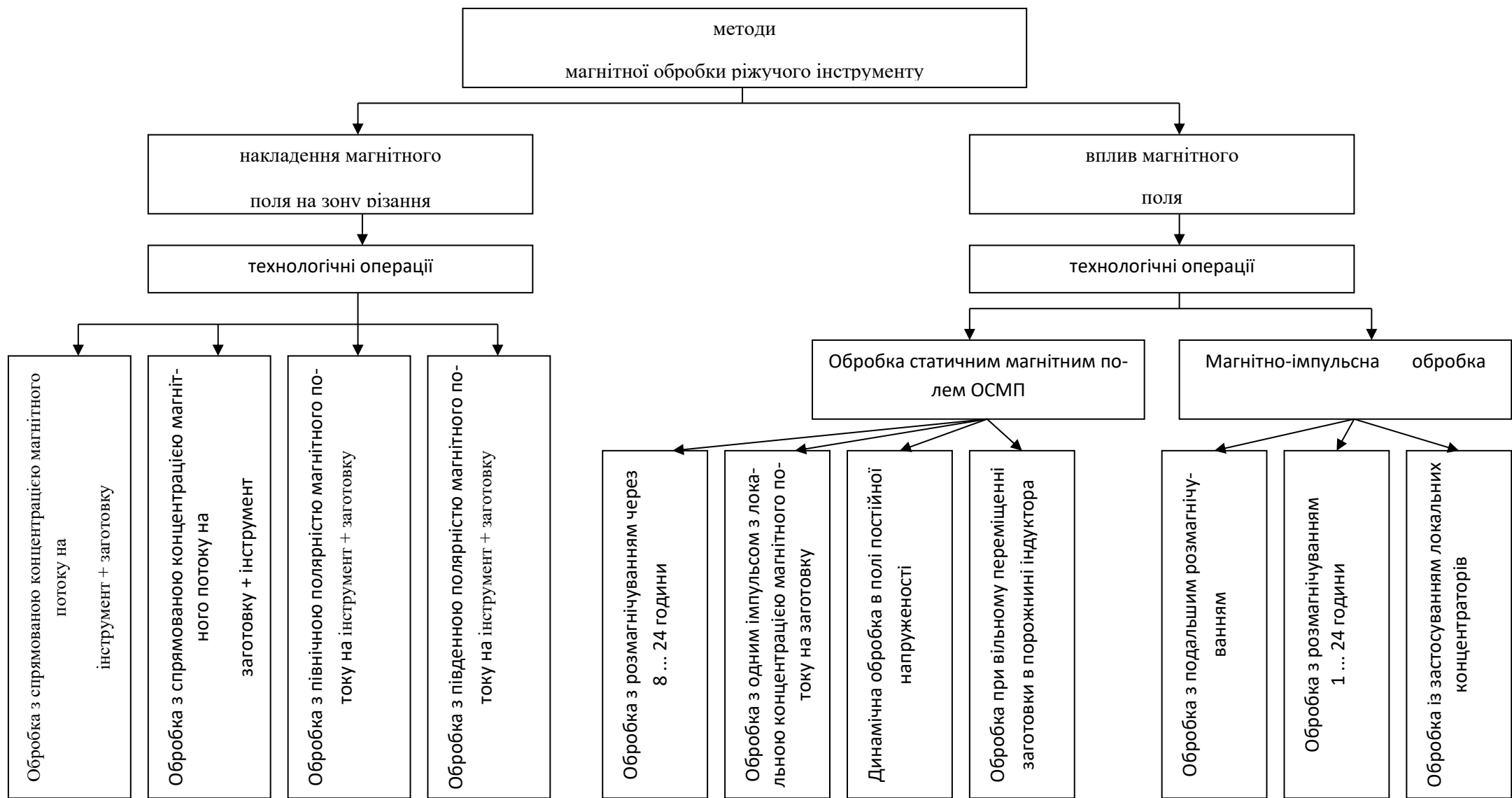


Рисунок 1.2 – Класифікація методів магнітної обробки ріжучих інструментів

Таблиця 1.1 – Характеристика методів магнітної обробки та області їх застосування

№ пп	Спосіб реалізації методів магнітної обробки	Інструмент	Переваги методу	Недоліки способу	Літературне джерело
1	2	3	4	5	6
1.1	1 Накладення магнітного поля на зону різання. Обробка зі спрямованою концентрацією магнітного потоку на «інструмент + заготовка»	Різці, свердла, зенкера, мітчики, протяжки і ін.	Простота технології магнітної обробки	Підвищення зносу інструменту в порівнянні з магнітним потоком заготовка + інструмент	[88,89]
1.2	Обробка зі спрямованою концентрацією магнітного потоку на заготовку + інструмент	Різці, свердла, зенкера, мітчики, протяжки і ін.	Зниження зносу інструменту в порівнянні з магнітним потоком «інструмент + заготовка»	Зниження стійкості інструменту при обробці магнітних сталей	[69, 88,89]
1.3	Обробка з північною полярністю магнітного потоку.	Різці, свердла, зенкера, мітчики, протяжки і ін..	Пік стійкості в залежності V-T зміщується в бік великих швидкостей різання	Зниження стійкості інструменту при обробці магнітних сталей	[15,18, 62,69, 86]
1.4	Обробка з південною полярністю магнітного потоку	Різці, свердла, зенкера, мітчики, протяжки і ін.	Стійкість намагніченого інструменту вище стійкості інструменту в початковому стані	Зсув піку стійкості в область менших значень швидкості різання, підвищення температури різання	[15,18, 62, 86]
	2 Вплив магнітного поля на ріжучий інструмент. 2.1 Обробка статистичним магнітним полем (ОСМП). 2 Вплив магнітного поля на ріжучий інструмент. 2.1 Обробка статичним магнітним полем (ОСМП)				

Продовження таблиці 1.1

2.1.1	Обробка з розмагнічуванням через 8 ... 24 години.	Заготовки, деталі, різці, свердла, протяжки, мітчики, штампи, пили, прошивки, пуансони	Підвищення механічних і експлуатаційних властивостей інструментів		[7,51,60, 61,65,66, 69,76]
2.1.2	Обробка з одним імпульсом з локальної концентрацією магнітного потоку на заготовку.				
2.1.3	Динамічна обробка в полі постійної напруженості.				
2.1.4	Обробка при вільному переміщенні заготовки в порожнині індуктора.				
	2.2 Магнітно-імпульсна обробка (МІО)				
2.2.1	Обробка без подальшого розмагнічування.	Різці, осьовий інструмент, протяжки, прошивки, пили і тощо	Збільшення стійкості інструменту, підвищення теплостійкості інструменту. Повторне переточування інструменту не знижує додатковий резерв стійкості отриманої в результаті МІО		[7,15,29, 51,60,61, 65,66,69, 76,88, 89]
2.2.2	Обробка з розмагнічуванням 1 ... 24 години.				
2.2.3	Обробка із застосуванням локальних концентраторів.				

1.3 Огляд робіт, присвячених фізико-технологічним особливостям і різновидам методів магнітної обробки

1.3.1 Аналіз гіпотез про причини підвищення стійкості інструменту в результаті впливу магнітного поля на зону різання

При різанні металів в магнітному полі на інструмент діють наступні фактори: розподіл теплових потоків в зоні різання за рахунок термомагнітного ефекту Рігі-Ледюка [64, 83] і підвищення механічних властивостей матеріалу інструменту за рахунок упорядкування зернистості структури.

Перший фактор проявляється в поперечному магнітному полі, а другий як в поздовжньому, так і поперечному магнітному полі [64].

Існування цих явищ підтверджено експериментами, виконаними в ряді робіт [64, 70, 90, 92, 94]. З висновків робіт [92, 93], які досліджували

вплив напруженості постійного і змінного магнітних полів і режимів різання на стійкість швидкоріжучого інструменту, впливає наступне:

- накладення магнітного поля на зону різання знижує знос інструменту, причому ефективність цього впливу залежить від напрямку магнітного поля (рис.1.3);
- підвищення стійкості інструменту залежить як від напруженості поля, так і від режимів різання (рис.1.4);
- ефект накладення на зону різання магнітного поля тим вище, чим більше величина, прийнята за критерій затуплення інструменту (рис.1.5);
- для кожної швидкості різання існує певна напруженість магнітного поля, що відповідає максимальному підвищенню стійкості інструменту (рис.1.6).

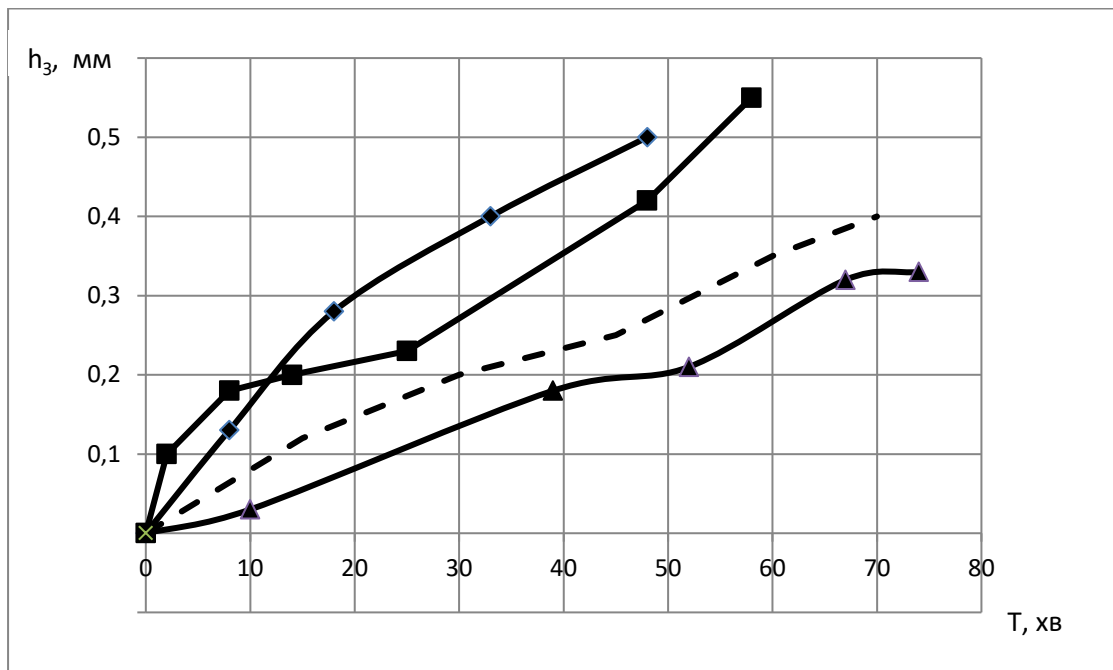
В роботах [92,93] стверджується, що накладення магнітного поля на зону різання зумовлює появу зусилля, що викликає вигин в корені стружки, скорочення довжини контакту стружки з інструментом і, отже, зниження сил різання. Одночасно зі зменшенням площі контакту змінюється кут зсуву, товщина стружки і внаслідок чого зменшуються сили різання.

У світлі розглянутих пропозицій автори робіт [86, 92, 93] роблять основний висновок: збільшення терміну служби інструменту зі швидкорізальної сталі при накладенні магнітного поля на зону різання залежить від напруженості поля, напрямку магнітного потоку і умов різання. При швидкості різання більше 10 м/хв підвищення напруженості поля збільшує стійкість інструменту, а при більш низькій швидкості різання існує оптимальна напруженість поля для кожної швидкості. Наявність такого оптимуму автори пояснюють можливістю часткового зменшення стійкості за рахунок індукційного нагріву інструменту.

Крім того, як припускають автори, підвищення стійкості інструменту відбувається також внаслідок того, що дрібні частинки стружки, зчеплені з робочими поверхнями інструменту, можуть діяти як мастильно-охолоджуюча рідина, збільшуючи термін служби інструменту.

Автори роботи [90] пояснюють підвищення стійкості інструменту, в результаті накладення на зону різання магнітного поля, зміною повороту теплового потоку в зоні різання, який або нагріває, або охолоджує ріжучу кромку інструменту.

Як показують результати робіт, виконаних проф. А.Д. Макаровим з співробітниками стосовно твердосплавного інструменту, накладення магнітного поля на зону різання призводить до підвищення стійкості, яка виявляється тим значніше, чим вище індукція поля [46, 59].



Режим різання: $S = 26,37$ м/хв; $V = 0,12$ мм/об

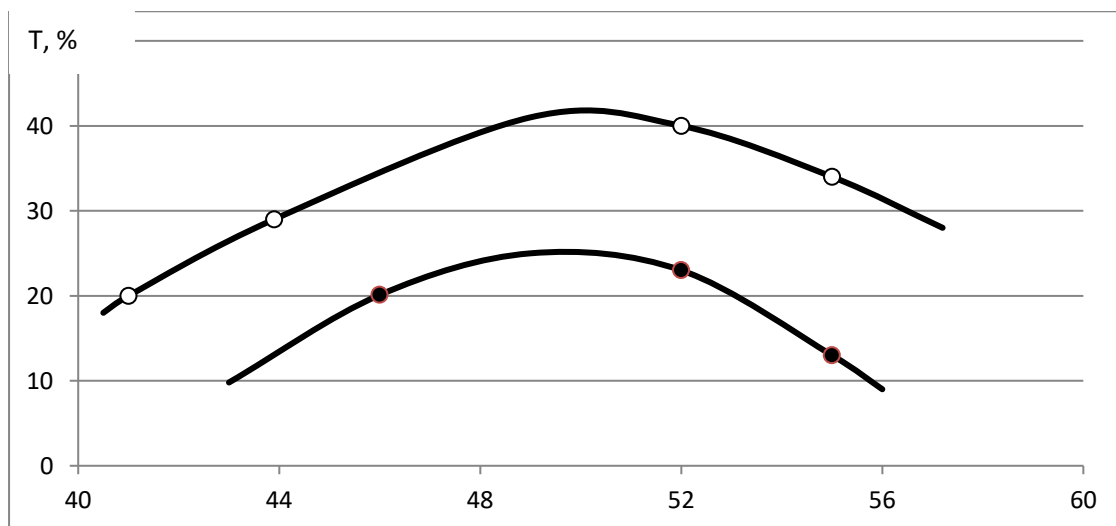
Характер магнітного поля – змінне

■ – стандартне свердління

■ – вплив магнітного поля через «інструмент-заготовку»

▲ – вплив магнітного поля через «заготовку-інструмент»

Рисунок 1.3 – Залежність зносу інструменту зі швидкорізальної сталі від часу при обробці чавуну



Режим різання $S=0,1$ мм/хв; $t=2,1$ мм; $T=3$ хв

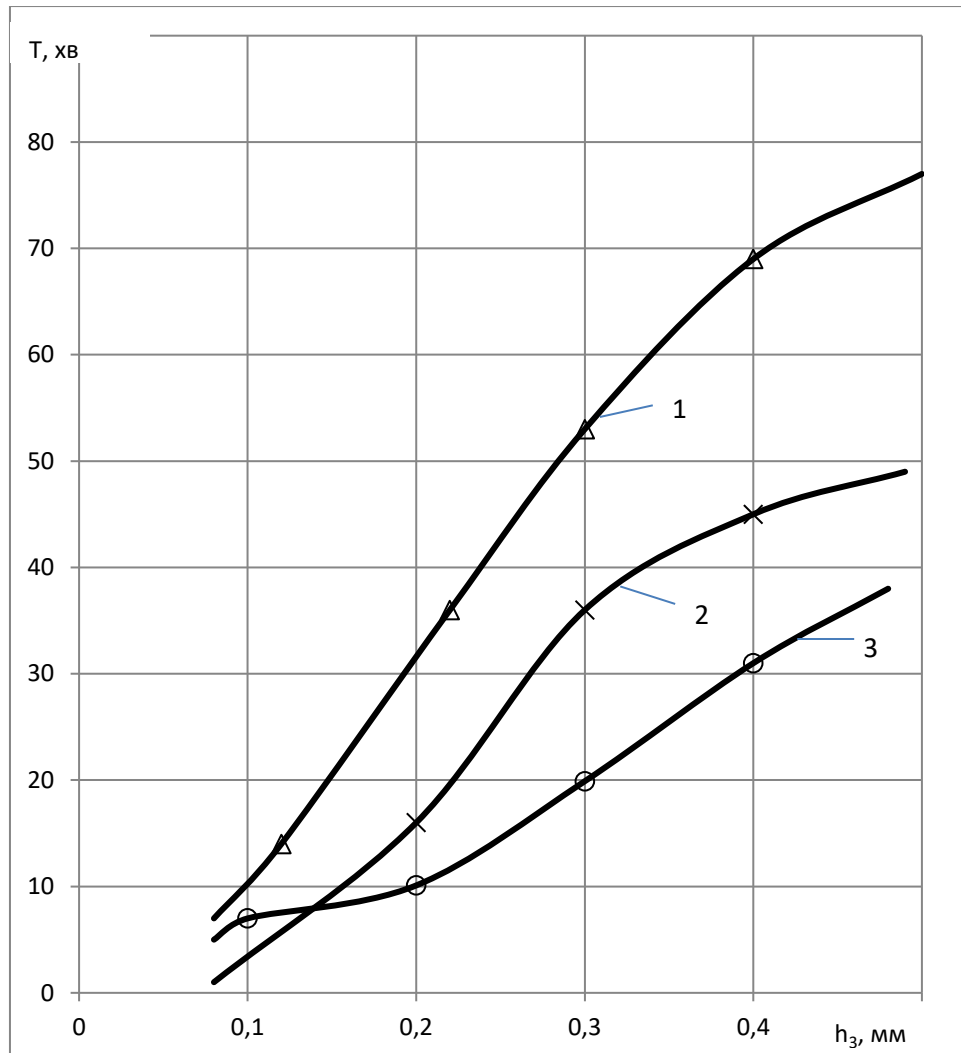
Характер поля – постійне

○ – струм намагнічування 1,25А

● – струм намагнічування 2,6А

Рисунок 1.4 – Залежність зміни підвищення стійкості від швидкості різання і інтенсивності намагнічування при обробці сталі (25%С) інструментом зі швидкорізальної сталі

В роботі [58] при дослідженні впливу зовнішнього магнітного поля на стійкісні характеристики твердосплавного різця Т15К6 при обробці сталі 30ХГСА встановлено, що північна полярність магнітного поля знижує температуру різання, а південна - підвищує.



Режим різання: $S = 26,4 \text{ м/хв}$; $V = 0,12 \text{ мм/об}$

Характер поля - змінне

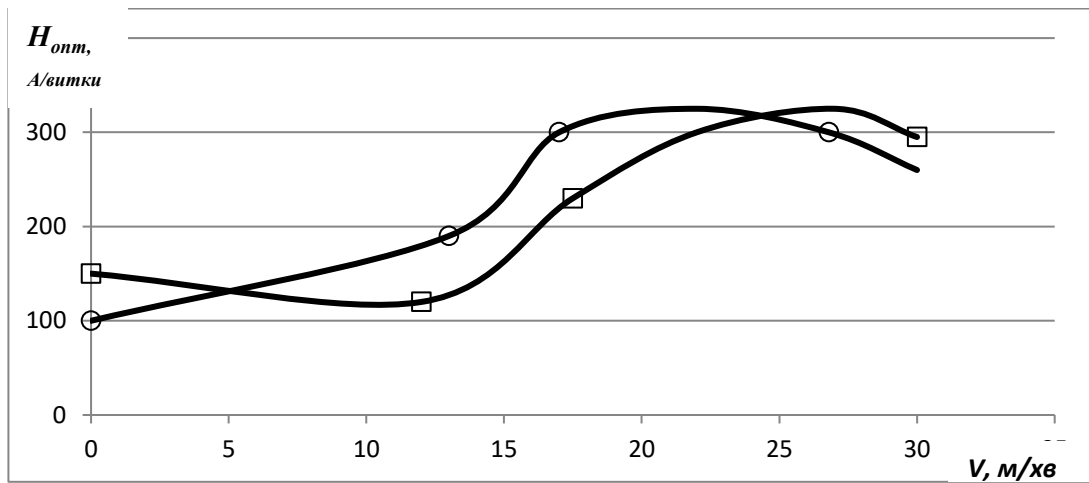
1 – дія магнітного поля через «заготовку-інструмент»

2 – дія магнітного поля через «інструмент-заготовку»

3 – зворотне свердління

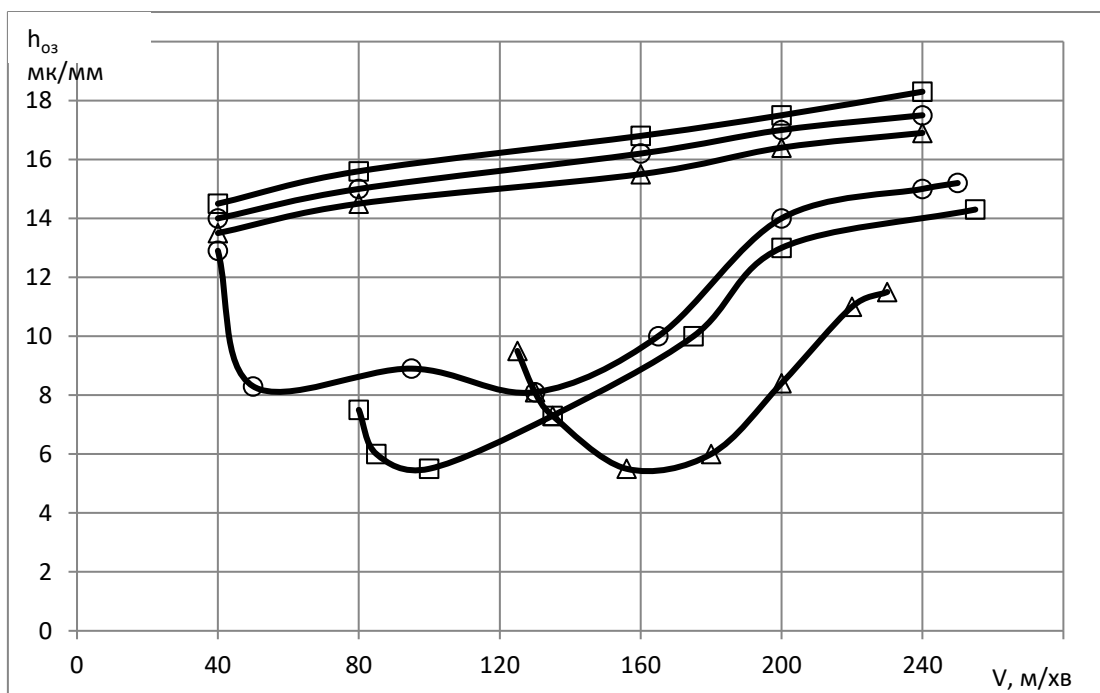
Рисунок 1.5 – Залежність стійкості інструменту від критерію затуплення при обробці чавуну інструментом зі швидкорізальної сталі

При накладенні магнітного поля на зону різання характер кривих залежностей щодо поверхневого зносу від швидкості різання не змінюється, при цьому спостерігається лише зниження або підвищення рівня оптимальних швидкостей різання (в залежності від полярності магнітного поля) і зменшення величини оптимального поверхневого зносу (рис.1.7).



Режим різання: $S=0,12$ мм/об
Час різання: $\circ$ – 5 хв.; $\square$ – 10 хв.
Характер поля – змінне

Рисунок 1.6 – Зміна оптимальної напруженості поля в залежності від швидкості різання при обробці чавуну інструментом зі швидкорізальної сталі

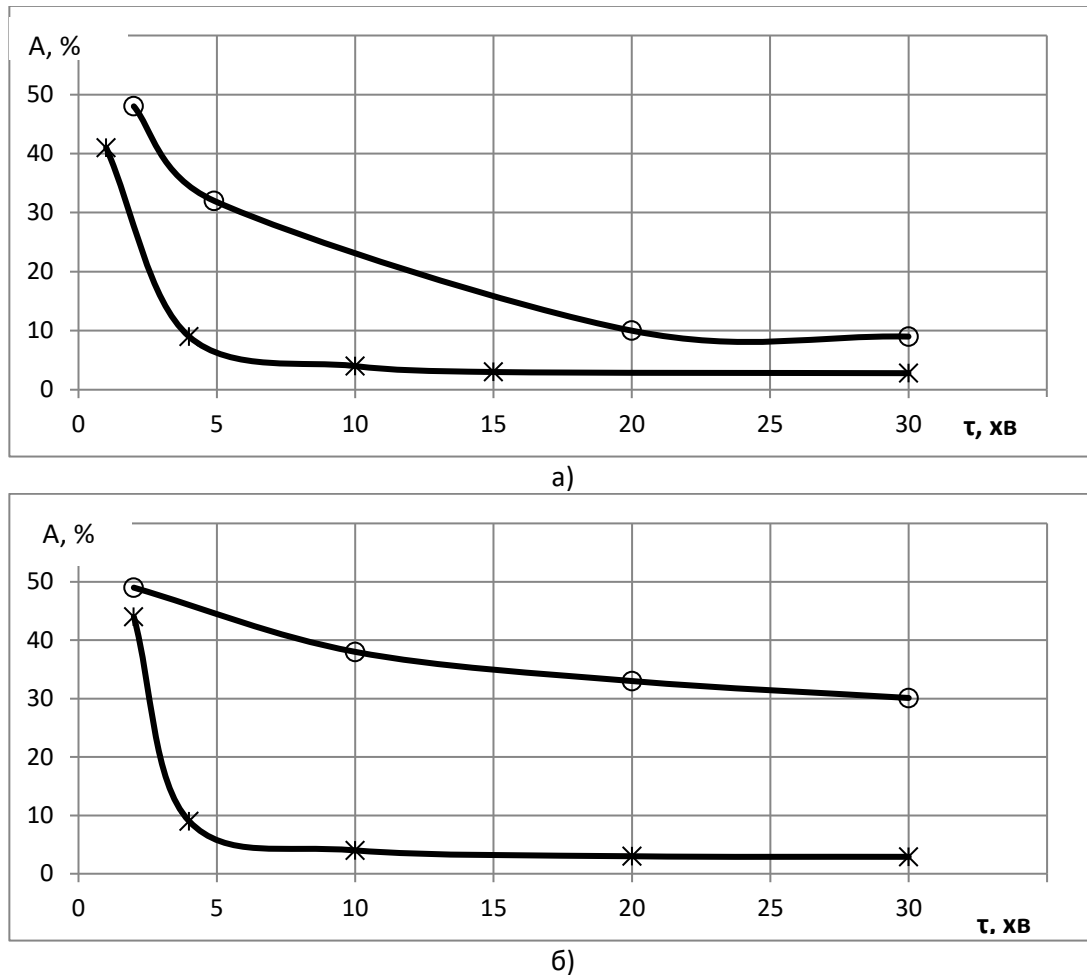


Різець TI5K6. Режим різання: $S = 0,12$ мм/об; $t = 0,25$ мм
 $\circ$ – без магнітного поля

$\square$ – різець з південною полярністю
 Δ – різець з північною полярністю

Рисунок 1.7 – Вплив швидкості різання на середню температуру контакту і відносний знос при точінні сталі 30X13CA в магнітному полі

Як зазначається в роботах [24, 25], обробка ріжучого інструменту в постійних і змінних магнітних полях може привести до підвищення стійкості ріжучого інструменту незалежно від його магнітного стану. Це пояснюється впливом магнітного поля на структурну зміну стану швидкорізальної сталі. В цьому випадку відбувається розпад залишкового аустеніту в поверхневому, вдруге загартованому шарі швидкорізальної сталі, що утворився в результаті заточування ($J - \alpha$ перетворення) (рис.1.8).



Швидкорізальна сталь P9K5

Характер поля: а – постійне; б – змінне

Напруженість поля: а – 1– $H = 400$ А/м; 2– $H = 560$ А/м

б – 1– $H = 240$ А/м; 2– $H = 320$ А/м

Рисунок 1.8 – Вплив тривалості магнітної обробки на кількість залишкового аустеніту у вторинне загартованому шарі

З урахуванням викладеного та на підставі накопиченого в даний час промислового досвіду в галузі технології обробки конструкційних матеріалів з використанням магнітного поля можна зробити висновок про те, що обов'язковою умовою для підвищення стійкості ріжучого інструменту є присутність в зоні різання магнітного поля різної напруженості.

1.3.2 Огляд теоретичних і експериментальних даних про вплив постійних, змінних і імпульсних магнітних полів на стійкість інструменту

Аналіз численних вітчизняних і зарубіжних дослідників в області магнітної обробки показує, що найбільш стабільно підвищують стійкість інструменту методи, пов'язані з обробкою самого матеріалу інструменту в постійних, змінних і імпульсних магнітних полях.

На думку дослідників, що вперше здійснили різання намагніченим інструментом [90] і робіт [10, 13, 91] які продовжили ці дослідження, присутність магнітного поля сприяє підвищенню стійкості ріжучого інструменту. Висновки, до яких прийшли автори цих робіт на підставі отриманих експериментальних даних, зводяться до наступного:

1. Стійкість інструменту, який зазнав магнітну обробку, відрізняється від стійкості інструменту в початковому стані (рис.1.9).

2. Підвищення стійкості намагніченого інструменту пояснюється проявом в процесі різання термомагнітного ефекту Рігі-Ледюка. Вважається, що в результаті накладення на зону різання магнітного поля можна викликати поворот теплового потоку і тим самим або нагрівати, або охолоджувати ріжучу кромку інструменту.

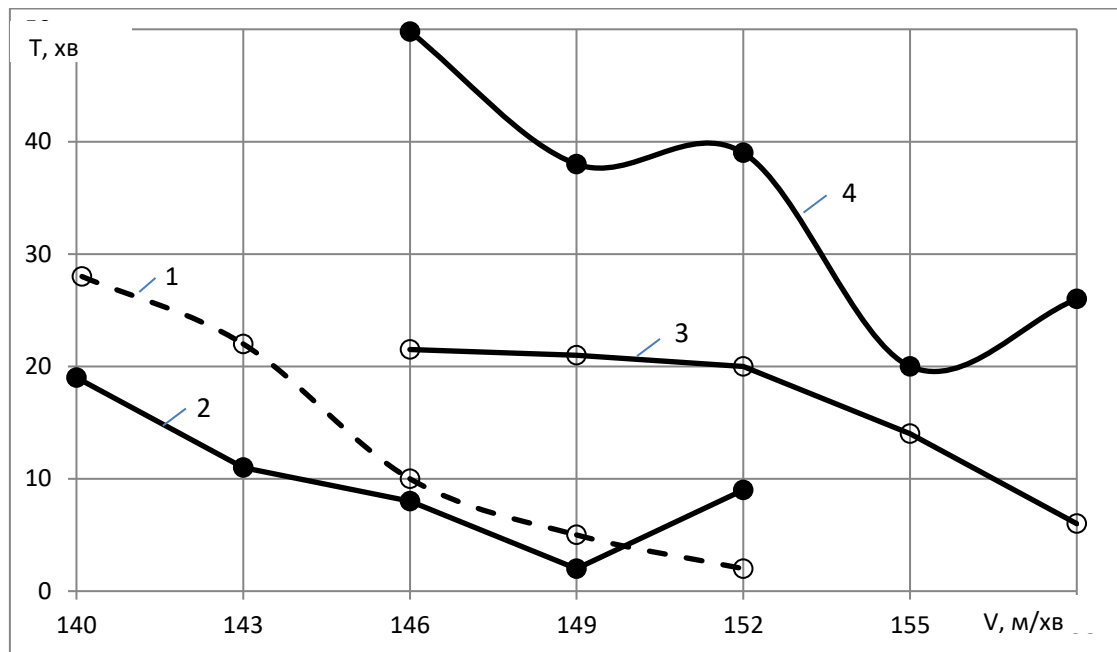
3. Полярність робочої частини інструменту впливає на його стійкість (рис.1.9).

4. Для того, щоб відхилити тепловий потік від вершини різання і тим самим знизити температуру в зоні різання, необхідно, щоб робоча частина інструмента при різанні з подачею від задньої бабки верстата до передньої мала північну полярність, а при різанні з подачею від передньої бабки до задньої - південну полярність.

5. При різанні інструментом, коли його робоча частина є північним полюсом, максимальне значення стійкості зміщується в бік більш високих швидкостей різання, тоді як при різанні з південною полярністю має місце зміщення піку стійкості в область менших значень швидкості різання в порівнянні з не намагніченим інструментом (рис. 1.10).

6. Зсув піку стійкості в залежності «V-T» викликається зміною температури ріжучої кромки інструменту в залежності від характеру прояву ефекту Рігі-Ледюка.

7. Коефіцієнт підвищення стійкості в інструменті, який пройшов багаторазове намагнічування і має сумарну намагніченість рівну нулю, набагато вище, ніж у інструменту, який пройшов одноразове намагнічування (рис.1.11).



Геометрія: $\alpha = \alpha_1 = 8^\circ$; $j = 15^\circ$; $\varphi = \varphi_1 = 45^\circ$

Режим різання: $S = 0,11$ мм/об; $t = 0,5$ мм

1 – різець №1 (південна полярність)

2 – різець №2 (північна полярність)

3 – різання до намагнічування

4 – різання після намагнічування

Рисунок 1.9 – Вплив швидкості різання на стійкість інструменту при обробці сталі 25 різцем P18

Підвищене значення стійкості інструменту, що зазнає багаторазового перемагнічування, має остаточну намагніченість, рівну нулю, пояснюється тим, що після магнітної обробки інструмент здатний значно намагнічуватися в локальних магнітних полях, обумовлених протіканням термоелектричних процесів в зоні різання.

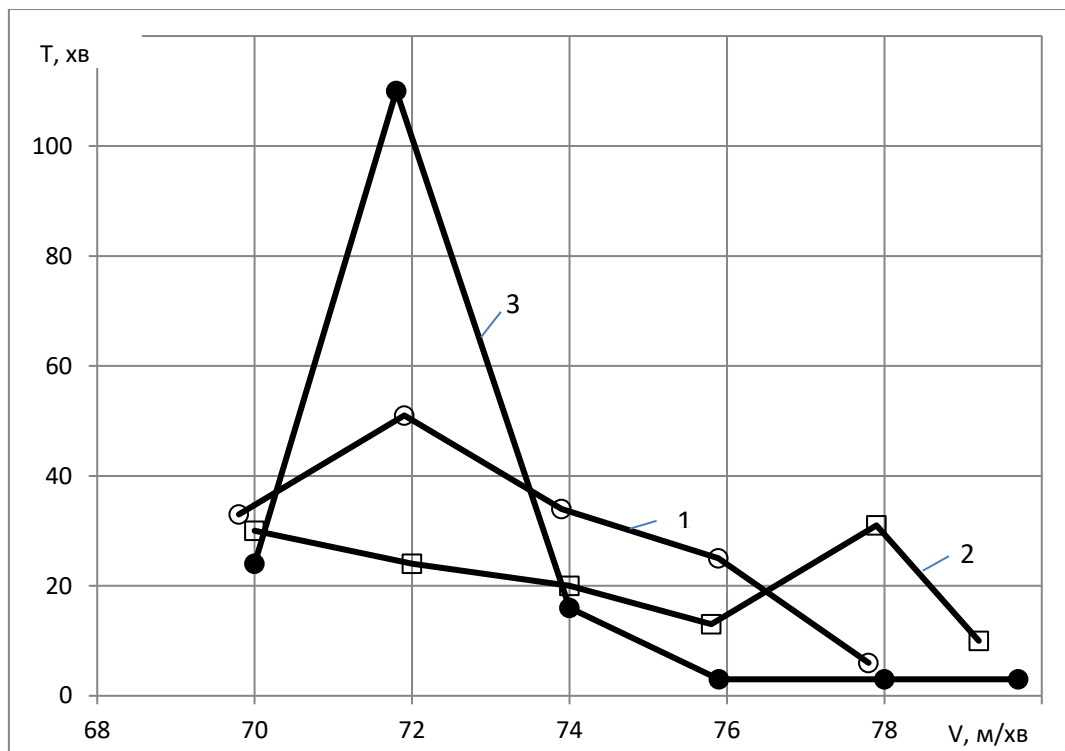
Цікаві дослідження в області магнітної обробки виконані в роботах [23-25, 37-45]. На підставі аналізу експериментальних даних отримані наступні висновки:

1. Зносостійкість магнітнообробленого ріжучого інструменту відрізняється від зносу інструменту в початковому стані. Магнітна обробка швидкокорізальних різців і свердел в постійних і змінних полях сприяє підвищенню стійкості інструменту в 1,5-2 рази (рис.1.12).

2. Стійкість магнітнообробленого ріжучого інструменту однакова у різців із південною та північною полярностями робочої частини, а також з сумарною намагніченістю рівною нулю.

3. Підвищення стійкості швидкокоріжучого інструменту спостерігається в усьому дослідженому діапазоні швидкостей різання. Іншими словами зміна режимів різання слабо відбивається на прояві ефекту магнітної обробки.

4. Під дією магнітного поля в поверхневому шарі швидкорізальної сталі відбувається зміна кількості залишкового аустеніту, що утворився в результаті операції заточування, яке залежить від часу витримки в магнітному полі і його напруженості (рис.1.8).



Геометрія: $j = 15^\circ$; $\lambda = 0^\circ$; $\varphi = \varphi_1 = 45^\circ$

Режим різання: $S = 0,20$ мм/об; $t = 1$ мм

Характер поля – постійне

1 – різець до намагнічування

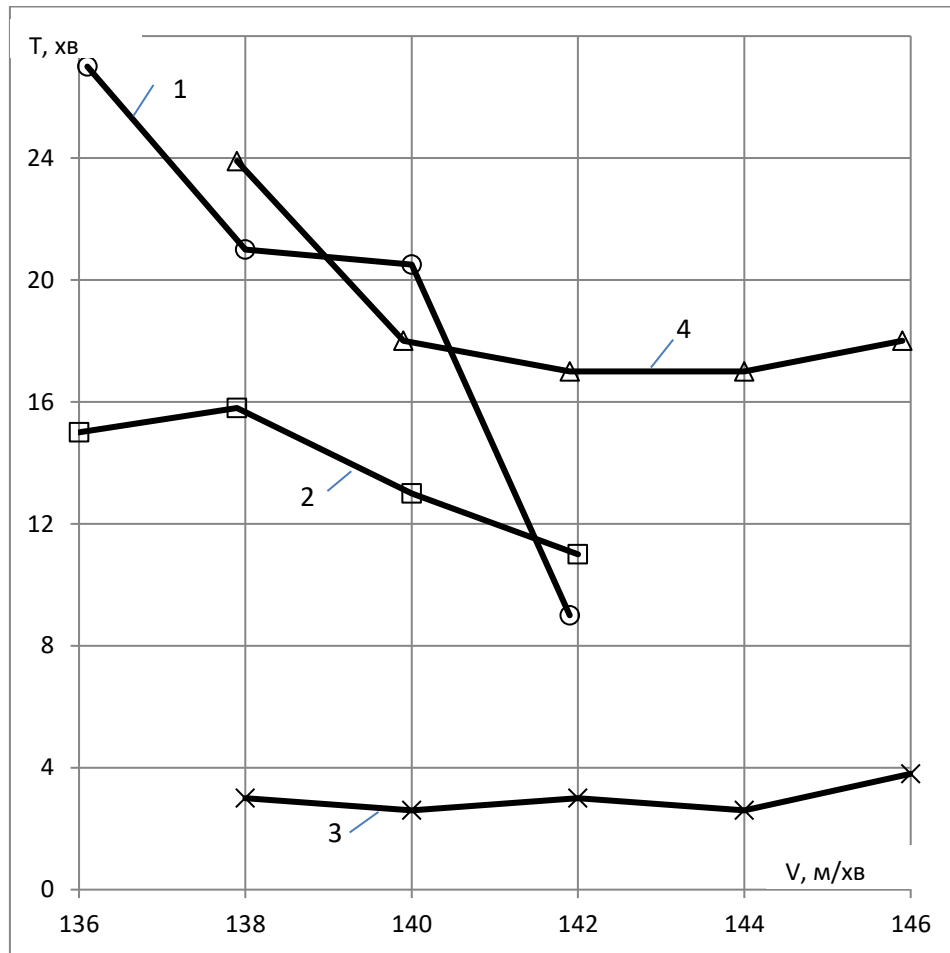
2 – робоча частина різця має північну полярність

3 – робоча частина різця має південну полярність

Рисунок 1.10 – Вплив швидкості різання на стійкість різця P18 при обробці сталі 40

В роботах [14-16] підкреслюється, що підвищення стійкості швидко-ріжучого інструменту залежить від полярності його робочої частини після намагнічування. Як правило, таке підвищення спостерігається при північній полярності робочої частини інструменту, хоча прояв ефекту магнітної обробки можливий і в разі зворотної полярності.

Принципово новий підхід до пояснення впливу магнітної обробки інструменту на його експлуатаційні якості наданий в роботах [6, 12, 29, 39, 43, 47, 53, 56, 71-76, 79].



Режим різання: $S = 0,10$ мм/об; $t = 1,0$ мм

1 – ○ – напрямок подачі від задньої бабки верстата до передньої

2 – □ – напрямок подачі від передньої бабки верстата до задньої

3 – × – різець №1 – північна полярність

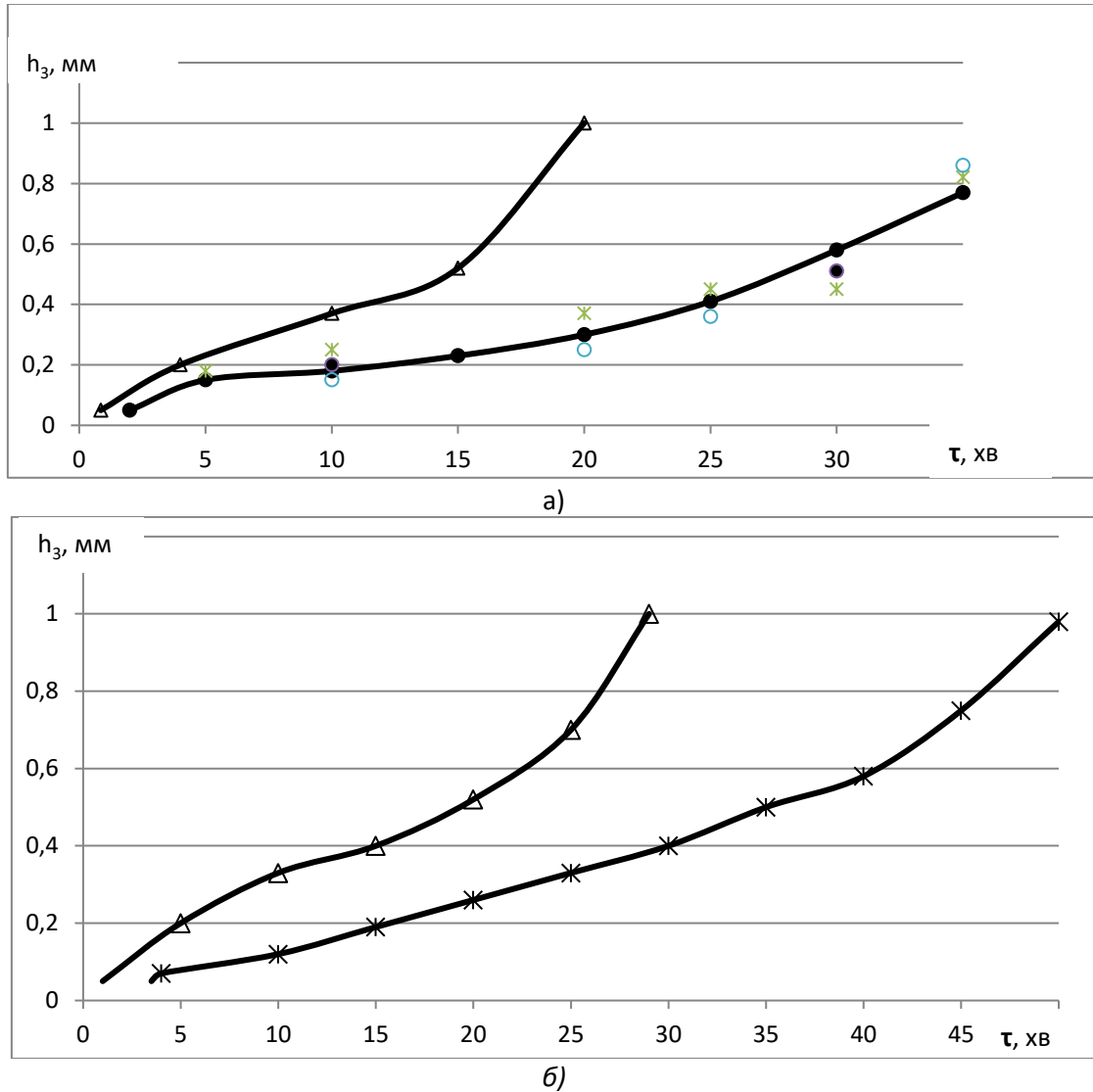
4 – Δ – різець №2 – багаторазове намагнічування, перемагнічування і подальше розмагнічування

Рисунок 1.11 – Вплив швидкості різання і напрямку подачі на стійкість різця P18 при обробці сталі

С.М. Постніков в роботі [73] висунув гіпотезу про те, що збільшення стійкості магнітно-обробленого інструменту відбувається в результаті магнітострикційного зміцнення і магнітодисперсійного твердіння швидкорізальної сталі. Іншими словами, під дією магнітного поля інструмент зазнає своєрідний наклеп, зміцнюється. Магнітострикційний наклеп, на відміну від механічного, являє собою об'ємне зміцнення металу. Цей висновок автор підтверджує даними рентгеноструктурного аналізу і електронної мікроскопії.

Цілий ряд робіт відображає результати як лабораторних, так і виробничих випробувань інструменту зі швидкорізальних сталей і твердих сплавів, що зазнає впливу магнітного поля [3, 16, 17, 36, 50, 64, 69, 70, 80].

У роботах [69, 70] розглянуто вплив магнітної обробки, переважно методом обробки імпульсним магнітним полем (ОІМП) на властивості швидкорізальних сталей і порошкових інструментальних матеріалів, титанових і нікелевих сплавів, мастильну охолоджуючу рідину (МОР), а також на параметри напівпровідникових структур і резистивних тонко плівкових композиційних систем.



Режим різання

а – різець P18: $V=80$ м/хв; $S=0,20$ мм/об; $t=1,0$ хв

б – різець P9K5: $V=110$ м/хв; $S=0,10$ мм/об; $t=1,0$ хв

Характеристика поля – постійне

Напруженість поля – $H = 560000$ А/м. Час витримки в полі – 20 хв

Δ – початковий стан; ● – північна полярність

○ - південна полярність; × – розмагнічений стан

Рисунок 1.12 – Залежність між зносом і часом роботи швидкорізального інструменту при обробці сталі 45

Показано, що розробка технологічних і технічних аспектів ОІМП привела до випуску спеціалізованих установок, які в даний час освоєно підприємствами різних галузей промисловості. Об'єктами ОІМП, крім ріжучого інструменту, стали вироби машинобудування, скла, напівпровідникові матеріали і прилади, багатокомпонентні вуглеводневі системи і тощо.

Цікаві результати лабораторних і виробничих випробувань описані в роботах співробітників Уфимського авіаційного інституту [36, 47-50, 59] і Донбаської державної машинобудівної академії [37-45].

В роботі [48], наприклад, показано, що імпульсна магнітна обробка є ефективним способом підвищення стійкості швидкорізальних протяжок. При протягуванні жароміцного сплаву ЭІ6988ВД імпульсна магнітна обробка протяжки зі швидкорізальної сталі Р18 забезпечує збільшення довжини шляху різання від 1,3 до 18 разів. Максимальне збільшення довжини шляху різання, а отже, і числа виготовлених деталей після магнітної обробки спостерігається при оптимальній швидкості різання. Імпульсна магнітна обробка швидкорізальної сталі Р18 забезпечує підвищення твердості на 0,5-1,0 одиниці HRC. Існує оптимальна напруженість імпульсного магнітного поля, при якій відбувається максимальне збільшення твердості сталі. В результаті магнітної обробки швидкорізальної сталі відбувається подрібнення і більш рівномірний розподіл карбідів. У цій роботі також зазначається, що при протягуванні сплаву ЭІ6988ВД протяжкою зі сталі Р18, що пройшла магнітну обробку, відбувається зменшення усадки стружки, мікротвердості при різцевого боку стружки і висоти нерівностей обробленої поверхні.

В роботі [50] показано, що імпульсна магнітна обробка значно підвищує зносостійкість і ріжучі властивості швидкорізальних сталей. Ефективність магнітної обробки швидкорізальних сталей залежить від напруженості імпульсного магнітного поля. Для кожної марки швидкорізальної сталі існує оптимальна напруженість імпульсного магнітного поля, яка забезпечує найбільше збільшення зносостійкості швидкорізальної сталі після імпульсної магнітної обробки (рис.1.13).

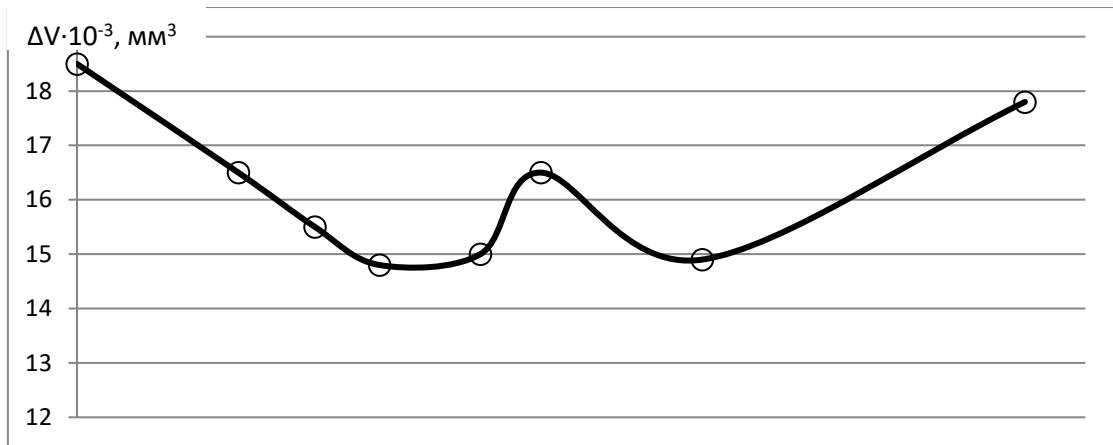
Автори стверджують, що при магнітній обробці швидкорізального інструменту необхідно враховувати який полюс буде на ріжучій частині інструменту під час магнітної обробки. Рекомендується так орієнтувати інструмент в установці, щоб під час магнітної обробки на ріжучій частині інструменту був північний полюс.

В роботі [36] наведені результати експериментальної перевірки підвищення ріжучих властивостей швидкорізального інструменту за рахунок комбінованої обробки інструменту - імпульсна магнітна обробка і епіламіровання композицією 6СФК-180-05.

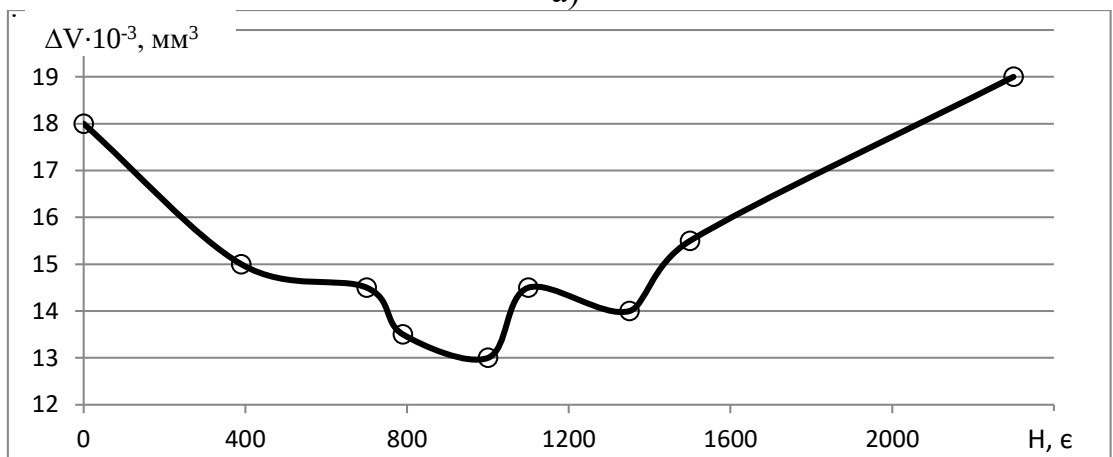
Обробка інструменту здійснювалася за такою технологією:

- знежирення інструменту в бензині;
- сушка після знежирення на повітрі протягом 3...8 хв.;

- нанесення поверхнево активну речовину (ПАР) на робочі поверхні інструменту методом занурення в розчин на 5 хв., одночасно інструмент піддавався впливу імпульсного магнітного поля;
- сушка інструменту на повітрі протягом 5-10 хв.



а)



б)

а – південний полюс; б – північний полюс

Рисунок 1.13 – Вплив напруженості магнітного поля МІО на знос зразків Р6М5К5

Встановлено, що ефективність комбінованої обробки (МІО + епілам) залежить від напруженості імпульсного магнітного поля. Існує оптимальна напруженість імпульсного магнітного поля, яка забезпечує підвищення зносостійкості швидкорізальної сталі після комбінованої обробки.

Позитивний досвід використання у виробництві магнітнообробленого інструменту показаний в роботах [29-34]. У роботах [31, 33] відзначається, що магнітна обробка мітчиків зі швидкорізальної сталі Р6М5, підвищує їх

стійкість до 3 разів у порівнянні з вихідною, про що свідчать виробничі випробування на ПАТ Дружківському метизному заводі.

Слід зазначити, що в деяких роботах [1, 21, 88] заперечується можливість підвищення стійкості інструменту за рахунок магнітної обробки.

Отримані експериментальні дані в розглянутих вище роботах показують, що вплив зовнішнього магнітного поля на зону різання і імпульсна магнітна обробка може бути недорогим, технологічно легко здійснюваним способом підвищення стійкості ріжучого інструменту.

Однак, ефективність способу залежить від цілого ряду чинників, що відносяться як до умов впливу на інструмент і зону різання магнітним полем (характер магнітного поля, його напруженість і час витримки в індукторі), так і умов, в яких цей інструмент експлуатується (режими різання, магнітний стан інструменту, операції переточки і тощо).

Виходячи з огляду літературних даних і з урахуванням вимог практики обробки різанням магнітнообробленим осьовим інструментом, а також з урахуванням необхідності вирішення конкретних виробничих питань, була сформульована мета і відповідні основні завдання дослідження.

Мета роботи: на базі відомих теоретичних уявлень досліджувати вплив імпульсної магнітної обробки на стійкість осьового різального інструменту зі швидкорізальних сталей, розробити конкретні технологічні рекомендації щодо застосування комбінованого способу підвищення стійкості ріжучого інструменту шляхом впливу на нього імпульсних магнітних полів в поєднанні з антифрикційними покриттями і впровадити цей спосіб у виробництво.

Основні задачі:

1. Вивчити фізичні явища при різанні магнітнообробленим інструментом в поєднанні з антифрикційними покриттями, які обумовлюють раціональну експлуатацію осьового різального інструменту зі швидкорізальної сталі.
2. Дослідити та обґрунтувати вплив параметрів режимів магнітної обробки на стійкість інструменту: вплив технологічних операцій переточки на стійкість магнітнообробленого інструменту; вплив параметрів режиму різання на закономірності зносу і стійкості магнітнообробленого інструменту; ефективність магнітнообробленого інструменту в поєднанні з антифрикційними покриттями при різанні різних конструкційних матеріалів; вплив магнітної обробки на властивості швидкорізальних сталей, які зумовлюють працездатність осьового різального інструменту.
3. Розробити на основі отриманих теоретичних і експериментальних результатів технологічні рекомендації по здійсненню комплексної технології магнітної обробки інструменту з подальшим нанесенням антифрикційних покриттів.
4. Запровадити комплексну технологію обробки деталей магнітнообробленим інструментом з антифрикційним покриттям у виробництво і визначити його економічну ефективність.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ПЕРЕДУМОВИ ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ОСЬОВОГО ІНСТРУМЕНТУ ЗА ДОПОМІГЮ МАГНІТНОЇ ОБРОБКИ ТА НАНЕСЕННЯ АНТИФРИКЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ

2.1. Магнітострикційне зміцнення швидкорізальних сталей в імпульсних магнітних полях

2.1.1. *Аналіз результатів робіт з дослідження впливу термомагнітного ефекту на стійкість швидкоріжучого інструменту*

Аналіз існуючих гіпотез про можливість підвищення стійкості інструменту зі швидкорізальних сталей в результаті впливу магнітного поля, виконаний в попередньому розділі, показав, що умовно можна розділити ці гіпотези на дві групи, що відрізняються між собою.

Згідно гіпотезам першої групи, обов'язковою умовою підвищення стійкості інструменту має бути присутність в зоні різання магнітного поля. Друга група гіпотез не передбачають присутність магнітного поля, як обов'язкового чинника, але обробку матеріалів здійснюють магнітнообробленим інструментом.

Гіпотеза про вплив термомагнітного ефекту на стійкість інструменту підтверджується в роботі [87]. На рисунку 2.1 приведена принципова схема експерименту при дослідженні термомагнітного ефекту в пластині з інструментальною сталлю.



Рисунок 2.1 – Принципова схема експерименту по дослідженню термомагнітного ефекту

Зразок пластини зі сталі P18 з боку «ов» (по всій довжині) рівномірно нагрівався джерелом тепла (600°C) інтенсивністю q . Перпендикулярно напрямку теплового потоку накладалося магнітне поле напруженістю до $1,6 \cdot 10^5 \text{ А/м}$.

На підставі виконаного експерименту автори роботи [87] зробили висновок про те, що термомагнітний ефект в інструментальних матеріалах досить не великий, щоб його можна було використовувати для охолодження або підігріву ріжучої частини інструменту.

У той же час, дані робіт [6, 23-25, 50, 56, 64, 73] та інші показують, що і в відсутності магнітного поля в зоні різання, інструмент, який пройшов по передню магнітну обробку, має підвищену стійкість.

Автори робіт [91] відзначають позитивні результати стійкостних випробувань свердла зі швидкорізальної сталі, залишкова намагніченість якого дорівнює нулю. Це пояснюється здатністю інструменту після магнітної обробки значно намагнічуватися в магнітних полях зони різання, обумовлених протіканням в ній термоелектричних процесів, однак в цій роботі не наводяться експериментальні підтвердження цьому явищу.

В роботі [1] відзначається, що підвищення стійкості інструменту за рахунок електромагнітного ефекту Рігі-Ледюка в реальних умовах різання малоімовірно через незначного зниження температури різання у місці максимального теплоутворення.

Таким чином, видно, що багато експериментальних даних не підтверджують роль термомагнітного ефекту в підвищенні стійкості інструменту. Але повністю заперечувати можливість впливу магнітного поля в зоні різання на ріжучу здатність інструменту не можна.

Є дані [16, 46, 58, 64, 92,93] що свідчать про позитивний вплив магнітного поля на процес різання в цілому.

Гіпотеза [92, 93] про те, що магнітний потік діє еквівалентно силі, що викликає вигин в корені стружки і скорочення довжини контакту «стружка-інструмент», також викликає сумнів, тому що автори не наводять жодних експериментальних даних на користь висловленого припущення.

У той же час відомо [2], що тиск, що розвивається стружкою о передню поверхню, дуже великий і навряд чи магнітне поле тієї напруженості, з яким працювали автори, може вплинути на довжину контакту «стружка-інструмент».

Гіпотеза про розпад залишкового аустеніту в поверхневому шарі швидкорізальної сталі [24, 25], що утворився в результаті заточування, представляє інтерес тим, що вказує на структурні зміни в інструментальному матеріалі під впливом магнітного поля. За допомогою цієї гіпотези можна пояснити майже всі позитивні результати зазначених вище робіт.

Гіпотеза о магнітострикційному зміцненні і магнітнорозсіюванню твердінні швидкорізальної сталі в результаті впливу магнітного поля, висунутої в роботі [73], дозволяє пояснити фактично всі з наведених вище експериментальних даних різних авторів.

Теоретичне обґрунтування та експериментальне підтвердження механізму магнітострикційного структурного зміцнення і магнітнорозсіюванню твердіння в результаті впливу магнітного поля на основі аналізу робіт [3, 6, 12, 14-16, 36, 46-50, 53, 56, 58, 64, 69-76, 79, 80], викладені нижче.

2.1.2 Магнітострикційне зміцнення і магнітодісперсійне твердіння швидкорізальних сталей в імпульсних магнітних полях

Розглянемо механізми магнітострикційного і магнітодісперсійного твердіння швидкорізальних сталей в імпульсних магнітних полях, ґрунтуючись на деякі відомі уявлення.

Швидкорізальна сталь, як будь-яке тверде тіло, відзначається в роботі [73], має внутрішнє пружне поле, обумовлене реальною дислокаційною структурою. З накладенням магнітного поля на матеріал на це власне пружне поле накладається пружне поле, викликане магнітострикційною деформацією.

Взаємодія пружного поля, обумовленого магнітострикцією сталі, з пружним полем її реальної дислокаційної структури призводить до появи локальних перенапруг. У цих місцях різко зростає ймовірність термофлуктуаційного розриву міжатомних напружених зв'язків [73].

У тих місцях, де ці локальні перенапруження перевищують межі пружності матеріалу, формуються осередки пластичної деформації. Саме тут можуть інтенсивно протікати процеси розмноження і переміщення дислокацій. Зі збільшенням щільності дислокацій, коли ліс дислокацій все більш ускладнює їх власний рух в інших площинах ковзання, сталь зазнає своєрідний наклеп, що в разі магнітної обробки виразилося в зміні параметра решітки мартенситу і зниженні температури зворотного мартенситного перетворення [56].

Позитивний зворотний зв'язок в процесі взаємодії дислокацій з межпитомими атомами може виражатися в зародженні виділень надлишкових фаз всередині металевої матриці [20].

Стійкість таких фаз проти коагуляції і дислокаційний характер магнітострикційного зміцнення швидкорізальної сталі розглядаються як фізична основа ефекту магнітної обробки [73].

В цілому, наголошується в роботі [56], результат магнітної обробки повинен розглядатися як прояв ефекту післядії в матеріалах, що знаходяться на кордонах стабільності їх властивостей і підданих впливу зовнішнього силового поля.

В роботі [76] на основі рівнянь термодинаміки отримано вираз, що відображає додаткову напругу, що виникає в матеріалі в результаті магнітострикції:

$$\Delta\sigma_m = \frac{\Delta W}{\lambda} = \frac{H \cdot \Delta B}{\lambda}, \quad (2.1)$$

де ΔW – робота намагнічування одиниці об'єму магнетика;

λ – магнітострикція (відносна зміна розміру зразка $\Delta l/l$);

H – напруженість магнітного поля;

ΔB – зміна величини магнітної індукції.

Сумарна напруженість в матеріалі $\sigma_{\text{сум}}$ буде складатися з напруги, викликаной внутрішнім пружним полем реальної дислокаційної структури $\sigma_{\text{д}}$ и напругою $\Delta\sigma_{\text{м}}$.

$$\sigma_{\text{сум}} = \sigma_{\text{д}} + \Delta\sigma_{\text{м}} \quad (2.2)$$

На підставі виразу (2.2) авторами роботи [76] була побудована залежність $\sigma = f(H)$, типова для різних марок швидкорізальних сталей (рис.2.2).

Знаючи межу пружності сталі σ_0 , а також характер кривої $\sigma = f(H)$, можна виділити інтервали значень напруженості магнітного поля, в межах яких напруга $\sigma > \sigma_0$. Такими інтервалами, як видно з рисунку 2.2, будуть $H_1 < H < H_2$ и $H > H_3$. У цих інтервалах слід очікувати перебудови дислокаційної структури матеріалу і, як наслідок цього - поліпшення фізико-механічних властивостей швидкорізальної сталі.

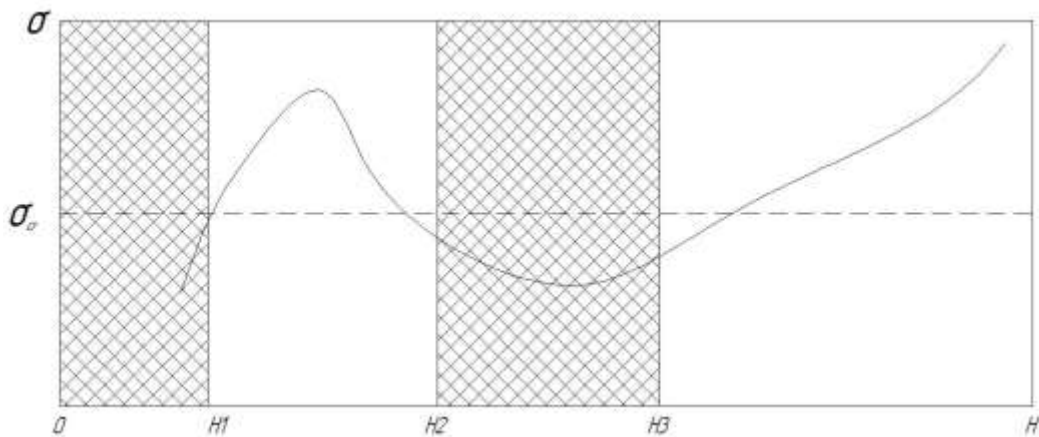


Рисунок 2.2 – Залежність $\sigma = f(H)$ в швидкорізальній сталі при її магніотрикуційній деформації

В роботі [73] з розгляду фізичних аспектів проблеми магнітної обробки зроблено висновок про доцільність проводити обробку інструменту в імпульсних магнітних полях. За допомогою таких полів легко здійснити інтенсивний енергетичний вплив на матеріал за допомогою електромагнітних хвиль. До того ж вибір імпульсного поля дозволив спростити вимогу до джерел живлення і зробити портативними дослідні зразки установок.

Параметром, який дозволяє управляти дислокаційною структурою сталі, є в цьому випадку питома потужність впливу магнітного поля:

$$n = \frac{\Delta W}{\Delta t}, \quad (2.3)$$

де Δt – час впливу магнітного поля.

Підтвердженням показаної вище можливості перебудови дислокаційної структури служать результати рентгеноструктурного аналізу швидкорізальної сталі, що зазнала обробку імпульсним магнітним полем [73]. Виявилося, що вплив імпульсного магнітного поля призвів до зменшення міжатоминої відстані.

Мікрофотографії свідчать про те, що процес магнітострикційної деформації швидкорізальної сталі супроводжується подрібненням карбідів, що виділилися з основної фази.

Це пояснюється тим, що під дією локальних напружень може відбуватися сегрегація домішкових атомів, і перш за все, атомів вуглецю на межах зерен і дислокаціях. Це призводить до зародження дискретних частинок фази карбіду, тобто виявляється своєрідна картина твердіння.

З положення о магнітострикційному зміцненні і магнітнодісперсійному твердінні швидкорізальної сталі випливає, що в результаті впливу на інструмент імпульсними магнітними полями відбуваються зміни структури матеріалу, що сприяють поліпшенню фізико-механічних властивостей.

З метою вивчення впливу магнітної обробки на структуру сталі були проведені спеціальні дослідження на зразки зі швидкорізальної сталі Р6М5К5.

Підготовка поверхні зразків проводилася в наступній послідовності: шліфування, полірування і травлення.

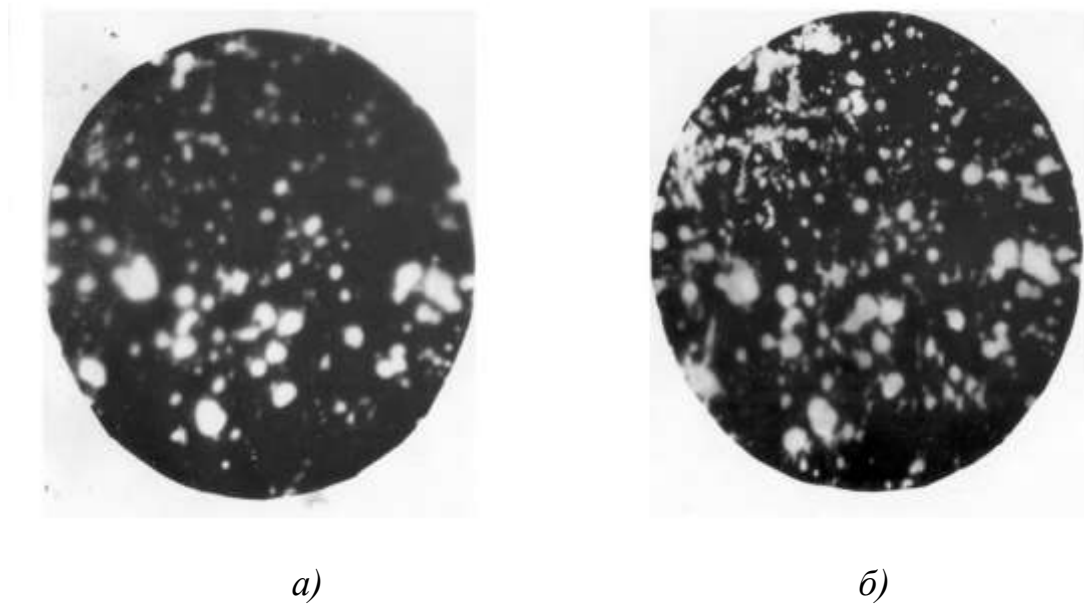
Перші дві операції проводилися на верстаті моделі 3884 для приготування металографічних шліфів. Шліфування проводилося на шліфшкурках, а полірування із застосуванням алмазних паст АСМ 40/28-ПОМ и АСМ 3/2-ПОМ. Шорсткість поверхні зразків після полірування відповідала $Ra=0,05 \dots 0,025$ мм. Травлення зразків проводилося в 4% розчині азотної кислоти, в етиловому спирті протягом 30-40 сек. Після травлення зразки промивалися в гарячій воді і етиловому спирті.

Для полегшення пошуку однієї і тієї ж точки на поверхні шліфа при фотографуванні до і після магнітної обробки на зразок наносилися дві взаємно перпендикулярні риски за допомогою приладу ПМТ-3 при навантаженні 50 кг.

Підготовлений таким чином шліф вміщувався на предметний столик мікроскопа. Для отримання більшого збільшення використовувався імерсійний об'єктив з фокусною відстанню $F=2,8$. Між вхідною лінзою об'єктива і поверхнею шліфа містилася крапля імерсійної рідини.

При використанні зазначеного об'єктива і фотографічного окуляра зі збільшенням 15 загальне збільшення оптичної системи мікроскопа склало 1350 разів.

Фотографії вихідної мікроструктури і магнітнооброблених зразків з швидкорізальної сталі наведені на рисунку 2.3.



а – вихідна структура; б – після магнітної обробки
Рисунок 2.3 – Структура швидкорізальної сталі Р6М5К5

Мікрофотографії свідчать про те, що процес магнітострикційної деформації швидкорізальної сталі супроводжується подрібненням карбідів.

Така зміна мікроструктури і призводить до поліпшення фізико-механічних властивостей інструментального матеріалу.

Аналіз основних положень про магнітострикційне зміцнення і магнітнодисперсійне тверднення дозволяє зробити висновок про те, що в результаті магнітної обробки швидкорізальна сталь зазнає об'ємне зміцнення, дисперсійне твердіння, стає більш однорідною за структурою і покращує свої фізико-механічні властивості.

У той же час, як показав аналіз літературних даних, рівень теоретичних розробок при відсутності експериментальних даних про властивості швидкорізальних сталей поки не дозволяє отримувати оптимальні режими магнітної обробки розрахунковим шляхом для конкретного інструменту і умов обробки.

Тому для визначення оптимальних умов магнітної обробки конкретного осьового різального інструменту необхідно проводити комплекс експериментальних досліджень.

2.2. Деякі аспекти мастильної дії антифрикційних покриттів

В даний час в теоретичних роботах і в практиці машинобудування отримують розвиток питання, пов'язані з технологічним зміцненням пове-

рхневих шарів інструменту і зміною їх властивостей в потрібному напрямку. Значних успіхів досягнуто в галузі зміцнення інструменту поверхневими і об'ємними покриттями, зокрема, вакуумно-плазмовими і обробкою інструменту в імпульсному магнітному полі.

Однак ці перспективні способи підвищення зносостійкості інструменту в поєднанні з антифрикційними покриттями не знаходять поки ще широкого застосування для інструментів в зв'язку з відсутністю належних досліджень фізичної сутності процесу тертя в важких умовах контакту інструмент-деталь.

Вивчення поведінки антифрикційних матеріалів, як однокомпонентних мастил, деяких видів поверхнево-активних речовин (ПАР) для ріжучого інструменту в поєднанні з обробкою в імпульсному магнітному полі послужили основою для постановки і рішення задачі про можливість застосування антифрикційних і ПАР покриттів на металорізальних інструментах.

При вивченні теорії мастильного дії покриттів в роботі в якості базових по теорії тертя були використані праці відомих вчених П.А. Ребіндера, Ф.П. Боудена, Є.Р. Брейтуєйта, І.В. Крачельського, Б.І. Костецького, Ю.М. Петрова, Г.В. Самсонова, Д. Тейбора і ін., а в якості базових по теорії різання – праці вчених О.А. Авакова, М.М.Зорева, А.Д. Макарова, М.І. Клушіна, Т.Н. Лоладзе, М.Ф. Полетіка, А.М. Резнікова та ін. Крім того, при дослідженнях процесів тертя і зношування інструментів з покриттями використовувалися роботи В.Ф. Боброва, І.П. Третякова, А.С. Верещаки, С.М. Постнікова, А.І. Ісаєва, О.А. Маталіна та інші.

Теорія мастильної дії антифрикційних покриттів ґрунтується на даних внутрішньої будови, фізико-хімічній взаємодії окремих компонентів, що входять в покриття, з матеріалом інструмента, що оброблюється та зовнішнім середовищем.

Найбільше значення в техніці в вузлах тертя в якості змащувальних речовин придбали поверхнево-активні речовини та складні тверді матеріали, що володіють внаслідок своєї кристалічної структури низьким коефіцієнтом тертя.

У великому різноманітті антифрикційних мастил були обрані такі речовини, які мали добру антифрикційність з відповідною структурою кристалічної решітки, високу термостійкість, високий опір тангенціальним навантаженням і, крім того, достатню зчіплюваність з поверхнею інструментальних сталей і сплавів.

З метою визначення можливості застосування ПАР і складних твердих мастил в поєднанні з магнітообробленим інструментом, було вивчено їх мастильну дію.

На основі теоретичних положень і експериментальних досліджень [28, 51, 84] показано, що застосування епілам як антифрикційного покриття, дозволяє вирішувати комплекс технологічних завдань щодо підвищення продуктивності процесу обробки, збільшення точності і якості оброблених деталей.

Фізичний сенс ефекту ПАР полягає в наступному [54, 66, 84]. На поверхні інструмента, зануреного в епіламируючий склад, адсорбуються поверхнево-активні речовини у вигляді мономолекулярного або близького до нього шару. ПАР мають молекули з асиметричною будовою, що складаються з полярної і неполярної частин. Полярні групи утворюють на поверхні твердого тіла міцно пов'язані з ним орієнтовані шари.

Адсорбований шар утворюється тим інтенсивніше, чим більшу спорідненість з металом мають молекули ПАР. Фізичні властивості тонких поверхневих плівок, адсорбованих на твердих тілах, сильно відрізняються від звичайних властивостей рідини. Вони наближаються до властивостей твердих тіл. Молекули плівки, розташовуючись в певному порядку, утворюють як би кристалічну решітку. При цьому утворюється надзвичайно міцний зв'язок між поверхнею твердого тіла і адсорбованим шаром.

Новоутворена плівка оберігає робочу поверхню інструменту і деталі, що оброблюється, від безпосереднього контакту, що сприяє значному зниженню сил тертя і поверхневої енергії в процесі різання.

Передбачається також, що шар ПАР на поверхні ріжучого інструменту ліквідує мікротріщини і сприяє утриманню мастильно-охолоджуючих рідин на робочих поверхнях інструменту [19]. У цій роботі стверджується, що епілам міцно утримується на поверхні, володіє високими антифрикційними властивостями, запобігає розвитку мікротріщин, підвищує втомну міцність і зносостійкість.

Однак в умовах інтенсивної пластичної деформації зрізаного шару, високих зонних температур і питомих тисків на інструмент, застосування епіламування обмежено низькою термостійкістю молекул мастильної композиції епілама. Це очевидно обумовлено тим, що перехідний шар твердої фази, на поверхні якого молекули адсорбуються і всередину якого вони проникають, володіють недостатньою фізико-хімічною активністю.

З метою підвищення експлуатаційної надійності і довговічності антифрикційних шарів і виходячи з фізичних властивостей епілами було запропоновано операцію обробки епіламируючим складом вести на інструменті, попередньо обробленим методом ОІМП.

З іншого боку в роботі були виконані експерименти по вивченню впливу твердих технологічних мастил, що вносяться до зони різання магнітнообробленим інструментом.

Відомо, що після обробки імпульсним магнітним полем в інструментальному матеріалі відбуваються зміни, як в кристалічній решітці матриці, так і в карбідній фазі.

Атермічне мартенситне перетворення виникає в результаті збільшення амплітуди коливання кристалічної решітки аустеніту, які прагнуть перетворити її в решітку мартенситу. Під впливом імпульсного магнітного поля збудження решітки викликано зміною напрямку спінових моментів електронів, в тому числі в ядрах дислокацій, що супроводжується появою

пружних напружень магніострикційної природи і активізацією дислокаційних процесів.

Релаксаційний процес в умовах прискореної дифузії протікає в інструментальному матеріалі після впливу поля при кімнатній температурі і переводить систему дефектів структури в квазірівноважний стан, що характеризується новим розподілом дефектних комплексів і зниженим рівнем внутрішніх напружень.

Нанесення твердих технологічних мастил на інструмент сприяє поліпшенню оброблюваності матеріалів і ріжучих властивостей використовуваного інструменту. Механізм дії твердих технологічних мастил (ТТМ) обумовлюється, з одного боку, фізичними явищами адсорбції, диспергування, пластифіцировання і адгезії, з іншого - хімічними перетвореннями, що відбуваються в тонких поверхневих шарах контакту інструменту з поверхнею, що оброблюється.

Нанесення антифрикційного покриття на робочу поверхню інструменту після його обробки в імпульсному магнітному полі, сприяє тому, що адсорбуючись на твердій поверхні у вигляді тонкого шару, антифрикційне мастило різко знижує мікротвердість, поверхневі напруги, а отже і поверхневу енергію. Це викликано тим, що при імпульсних електромагнітних впливах перехідний шар твердої фази стає більш активним в фізико-хімічному відношенні. Зі збільшенням енергії впливу молекул мастил з адсорбентом збільшується міцність антифрикційного покриття.

Все це в сукупності сприяє підвищенню працездатності різального інструменту. У цьому сенсі застосування ТТМ еквівалентно використанню, як і в разі застосування епілами, комбінованого методу механічної обробки, при якому в зону різання підводиться додаткова енергія.

2.3. Обґрунтування технологічних напрямків експериментальних досліджень

Для обґрунтування і визначення конкретних технологічних меж застосування способу магнітної обробки інструментів з швидкорізальних сталей в імпульсних магнітних полях в даному розділі виконаний наступний аналіз.

З положення про магніострикційне зміцнення інструментального матеріалу [64] випливає, що це зміцнення тісно пов'язане з роботою намагнічування одиниці об'єму інструментального матеріалу, а отже, і з величиною напруженості магнітного поля (H).

В роботі [24] стверджується, що зі збільшенням напруженості постійного поля, в якому проводилась магнітна обробка інструменту, зростало і значення коефіцієнта стійкості (K_T).

Це підтверджується і роботами [47-50, 58, 74], коли обробка інструменту проводилася в широкому діапазоні значень магнітного поля.

В роботі [74] показано, що коефіцієнт підвищення стійкості K_T в деяких випадках був менше одиниці, тобто магнітна обробка в певних умовах приводила до зниження стійкості інструменту.

Отже, вивчення впливу H на величину K_T є важливою задачею як з теоретичної, так і з практичної точок зору.

Можливість магнітострикційного зміцнення інструментального матеріалу повинна бути пов'язана також із часом витримки інструменту в магнітному полі (τ). Це впливає з того, що для зміни структури швидкорізальної сталі її потрібно спочатку вивести з вихідного стану для чого необхідний на якийсь час вплив магнітного поля.

Це підтверджується і експериментальними даними робіт [23, 64]. У цих роботах відзначається, що зі збільшенням часу обробки до певної межі зростає і коефіцієнт стійкості K_T .

Цей факт свідчить про те, що дослідження впливу цього параметра на стійкість інструменту теж має бути враховано.

В роботах [47-49, 56, 64, 69, 70] показано, що процес магнітної дисперсійної твердіння швидкорізальної сталі в результаті впливу магнітного поля дозволяє отримати більш однорідну структуру матеріалу. Таке твердіння відбувається не миттєво, і очевидно, для стабілізації придбаних швидкорізальною сталлю властивостей в результаті магнітної обробки потрібен якийсь час витримки перед експлуатацією інструменту. Отже, і цей параметр магнітної обробки необхідно вивчити.

Таким чином, параметри технологічного процесу магнітної обробки - напруженість магнітного поля, час витримки інструменту в магнітному полі і час старіння інструментального матеріалу відносяться безпосередньо до операцій поліпшення експлуатаційних властивостей інструменту.

Отже, одним з головних напрямків експериментальних досліджень в області технології магнітної обробки є визначення оптимальних значень режимів магнітної обробки з метою отримання стійкого прояву ефекту підвищення стійкості інструменту.

Представляє практичний інтерес питання збереження ефекту магнітної обробки на стійкість інструменту після його переточувань.

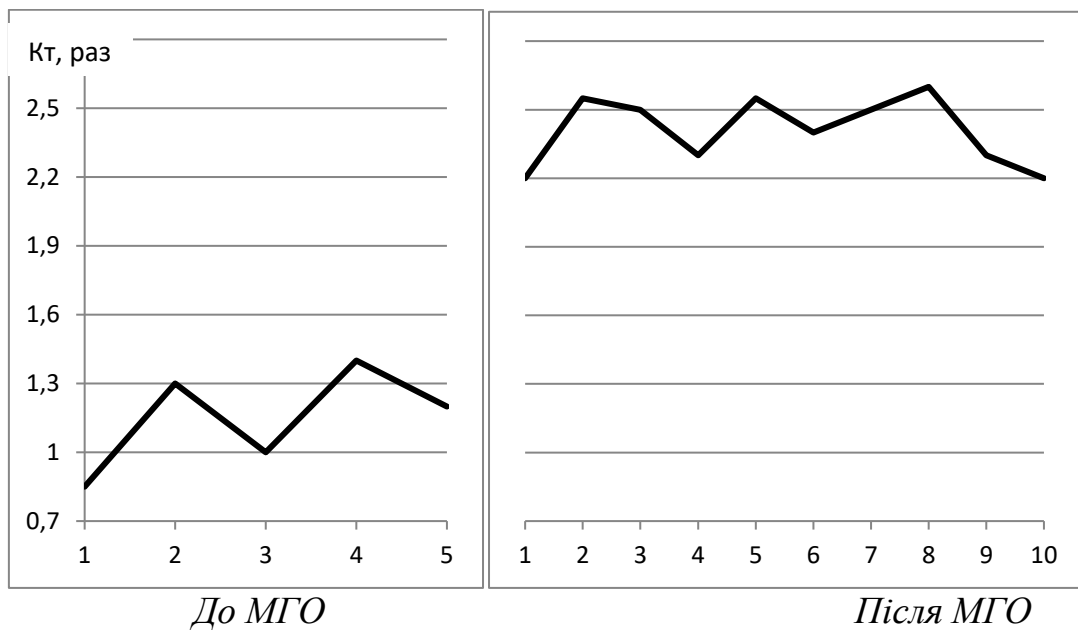
Відомо [56], що збереження підвищеної ріжучої здатності у магнітно-обробленого інструменту спостерігається і після його переточувань (рис.2.4). Тому дослідження впливу операцій переточувань на стійкість магнітно-обробленого інструменту мають велике практичне значення. Це говорить про перевагу обробки інструменту в імпульсних магнітних полях в порівнянні з видами впливу на інструмент, які забезпечують лише одноразовий ефект.

Одночасно ці дослідження допомогли б відповісти на питання про необхідність підмагнічування інструменту після переточування для здійснення $j \rightarrow \alpha$ перетворень в поверхневих шарах інструменту з метою підвищення його стійкості.

З теоретичної точки зору питання про вплив магнітного стану та полярності робочої частини інструменту на його експлуатаційні властивості, тобто перевірка значимості впливу термомагнітного ефекту Рігі-Ледюка, має особливе значення.

В роботі [50] досліджувався вплив імпульсного магнітного поля на зносостійкість швидкорізальної сталі Р6М5К5 при обробці жароміцних сплавів на нікелевій основі.

Показано, що при магнітній обробці необхідно враховувати, який полюс буде на ріжучій частини інструменту під час магнітної обробки. Рекомендується так орієнтувати інструмент в установці, щоб під час магнітної обробки на ріжучій частини інструменту був північний полюс.



*Режим різання: $V=6,3\text{ м/хв}$; $S=0,10\text{ мм/об}$
 Характер поля – імпульсне
 Напруженість поля – $1,2 \cdot 10^5\text{ А/м}$
 Охолодження при переточуванні – 3% р-н кальцинованої соди у воді
 Спосіб заточування - глибинне шліфування
 Рисунок 2.4 – Вплив операцій переточки свердла Р6М5 на стійкість при обробці сталі 12Х18Н10Т*

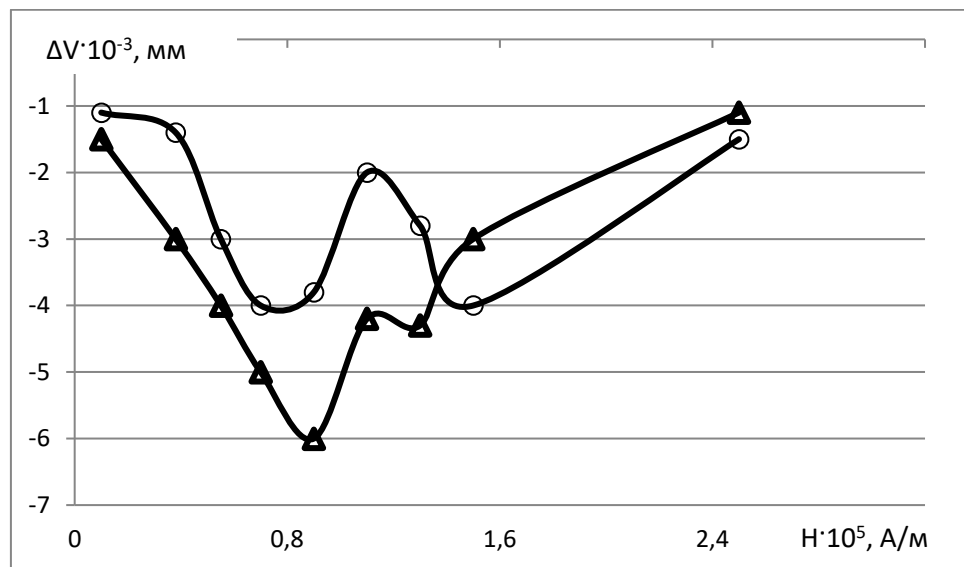
На рисунку 2.5 представлено вплив напруженості H магнітного поля на зміну об'ємного зносу ΔV на північному і південному полюсах зразка. Необхідно відзначити, що і полюс зразка впливає на знос зразка. Залежність $\Delta V=f(H)$ має складний вид: спостерігаються два мінімуму ΔV .

З рисунку 2.5 випливає, що для кожного полюса зразка є оптимальна напруженість H_0 імпульсного магнітного поля, яка забезпечує максимальне зменшення об'ємного зносу ΔV зразка після магнітної обробки.

З практичної точки зору дослідження стійкостних залежностей інструменту з різним магнітним станом дозволить розробити рекомендації по наданню інструменту того чи іншого магнітного стану в кожному конкретному випадку.

Грунтуючись на положенні про поліпшення фізико-механічних властивостей інструментальної сталі в результаті впливу магнітного поля, доцільно визначити області раціональної експлуатації магнітнообробленого ріжучого інструменту.

В роботах [46, 48, 56, 58] встановлено, що при використанні магнітнообробленого інструменту спостерігається збільшення оптимальних швидкостей різання.



$\circ$ – південний полюс

Δ – північний полюс

Рисунок 2.5 – Вплив напруженості поля на зміну зносу сталі Р6М5К5

Всі розглянуті вище технологічні напрямки експериментальних досліджень в області технології магнітної обробки інструменту в імпульсних магнітних полях пов'язані з впливом магнітної обробки на стійкостні залежності різального інструменту.

Однак, якщо ґрунтуватися на зміні фізико-механічних властивостей інструментального матеріалу як основної причини підвищення стійкості інструменту, необхідно порівняти конкретні властивості швидкорізальних сталей до обробки і після неї, причому, в першу чергу, такі властивості, які зумовлюють стійкість інструменту.

Збільшення кількості карбідів і зменшення їх здатності до коагуляції при зростанні температури в зоні різання має виразитися в підвищенні теплостійкості швидкорізальної сталі.

У той же час магнітна обробка повинна привести до збільшення холодної твердості швидкорізальної сталі, а більш рівномірною структура матеріалу повинна зменшити розкид значень твердості в обсязі одного і того ж інструмента.

Великий інтерес викликає дослідження зміни і гарячої твердості після магнітної обробки. Дослідження зазначених властивостей сталі треба провести при різних режимах магнітної обробки з метою визначення умов впливу, що призводять до максимального підвищення стійкості інструменту.

Зазначений тісний зв'язок зміцнення інструментального матеріалу з роботою намагнічування одиниці його обсягу і питомою потужністю впливу магнітного поля змушує досліджувати залежність оптимальних значень напруженості поля від розмірів оброблюваного інструменту.

Виходячи з результатів експериментів робіт, проаналізованих вище, можна сформулювати принципи вибору технологічних напрямків в області експериментальних досліджень способу магнітної обробки.

Експериментальна частина досліджень має складатися з трьох істотно відмінних один від одного напрямків:

1. Дослідження впливу магнітного поля на властивості швидкорізальних сталей, які зумовлюють експлуатаційні властивості інструмента.

До цього напрямку належать:

1.1. Дослідження впливу магнітної обробки на холодну HRC твердість швидкорізальних сталей.

1.2. Дослідження впливу магнітної обробки на гарячу HB твердість швидкорізальних сталей.

1.3. Дослідження впливу магнітної обробки на теплоємність HRC_T. Під теплоємністю, в даному випадку, розуміється твердість зразків (HRC_T) після 4-х годинної витримки при температурах, що викликають незворотні процеси знеміцнення в матеріалах.

1.4. Дослідження впливу напруженості магнітного поля на геометричні параметри оброблюваного різального інструменту.

1.5. Дослідження режимів магнітної обробки та їх вплив на фізико-механічні властивості інструментального матеріалу і коефіцієнт стійкості магнітнообробленого інструменту.

2. Дослідження впливу магнітного поля на стійкість різального інструмента. Оцінка ефективності магнітної обробки визначається коефіцієнтом підвищення стійкості (K_T), під яким розуміється відношення стійкості (T_m) інструменту після магнітної обробки до стійкості ($T_{поч}$) того ж інструменту в початковому стані.

До цього напрямку належать:

2.1. Дослідження впливу напруженості магнітного поля на стійкість (K_T). Визначення оптимальної напруженості H магнітного поля $K_T=f(H_0)$.

2.2. Дослідження впливу витримки інструменту в магнітному полі. Визначення залежності $K_T=f(\tau)$.

2.3. Дослідження впливу часу старіння інструменту після магнітної обробки. Визначення залежності $K_T=f(T)$.

2.4. Дослідження впливу операцій переточки (Π) на стійкість магнітнообробленого інструменту $K_T=f(\Pi)$.

2.5. Дослідження впливу магнітного стану (полярності робочої частини інструменту) на стійкість інструменту.

2.6. Дослідження впливу режимів різання на стійкість магнітнообробленого інструменту.

3. Експлуатаційний регламент магнітнообробленого інструменту і технологічні рекомендації по впровадженню у виробництво методу магнітної обробки.

До цього напрямку належать:

3.1. Забезпечення раціональної експлуатації магнітнообробленого інструменту.

3.2. Облік і зберігання магнітнообробленого інструменту.

3.3. Ремонтопридатність магнітнообробленого інструменту.

3.4. Технологічні рекомендації щодо визначення областей впровадження магнітнообробленого інструменту.

2.4.Висновки

1. Гіпотеза про магнітострикційне зміцнення і магнітнодисперсійне твердіння швидкорізальної сталі в результаті впливу магнітного поля дозволяє пояснити поліпшення експлуатаційних характеристик ріжучого інструменту, що піддається імпульсній магнітній обробці.

2. Аналіз основних положень про магнітострикційне зміцнення і магнітнодисперсійне твердіння показує, що в результаті магнітної обробки швидкорізальна сталь зазнає об'ємне зміцнення, дисперсійне твердіння, стає більш однорідною за структурою і покращує свої фізико-механічні властивості.

3. Встановлено, що рівень теоретичних розробок при відсутності експериментальних даних про властивості швидкорізальних сталей поки не дозволяє отримувати оптимальні режими магнітної обробки розрахунковим шляхом для конкретного інструменту і умов обробки.

4. Вивчення фізико-механічних властивостей окремих компонентів антифрикційних мастил показало, що застосування епілам і технологічних твердих мастил в якості антифрикційного покриття в поєднанні з магнітнообробленим інструментом дозволяє вирішити комплекс технологічних завдань щодо підвищення продуктивності процесу обробки, збільшення точності і якості оброблених деталей.

5. Механізм змащувальної дії досліджених покриттів обумовлюється, з одного боку, фізичними явищами адсорбції, диспергування, пластифікування і адгезії, з іншого - хімічними перетвореннями, що відбуваються в тонких поверхневих шарах контакту інструменту з оброблюваною поверхнею.

6. Показано, що нанесення епілами на робочу поверхню інструменту після його обробки в імпульсному магнітному полі, сприяє тому, що адсорбуючись на твердій поверхні у вигляді тонкого шару, антифрикційне масло різко знижує мікротвердість, поверхневі напруги, а отже і поверхневу енергію.

7. В результаті виконаних досліджень і виробничих випробувань сформульовані принципи вибору технологічних напрямків в області експериментальних досліджень технології магнітної обробки.

8. Отримані результати дали можливість розробити три напрямки технологічних рекомендацій, які охоплюють дослідження впливу магнітного поля на властивості швидкорізальних сталей, що визначають експлуатаційні властивості інструменту, дослідження впливу магнітного поля на стійкість різального інструмента і експлуатаційний регламент магнітнообробленого інструменту і технологічні рекомендації по впровадженню у виробництво методу магнітної обробки.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ПІДТВЕРДЖЕННЯ ЕФЕКТУ МЕТОДУ ОІМП З ПОДАЛЬШИМ НАНЕСЕННЯМ АНТИФРИКЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ

3.1 Методичне забезпечення досліджень і обробка експериментальних даних

Експерименти включали: дослідження стійкості, механізму зношування свердел і мітчиків зі швидкорізальних сталей після комбінованого зміцнення; дослідження фрикційних властивостей інструментальних матеріалів, що пройшли зміцнення, дослідження точності і якості обробленої поверхні, дослідження по оптимізації умов використання інструментів попередньо зміцнених і можливості використання отриманих рекомендацій для підвищення надійності технології виготовлення деталей на верстатах з ЧПУ.

Дослідження у основному проводилися при точінні корозійностійких (нержавіючих) хромисто-ферромартенситних сталей і жаростійких хромонікелевих сталей аустенітного класу 20Х13, 12Х18Н10Т – типових представників конструкційних матеріалів для виготовлення відповідальних деталей, що працюють у важких умовах виробництва.

Хімічний склад сплавів, що надійшли для дослідження, відповідав вимогам ДСТУ (табл. 3.1).

Таблиця 3.1– Хімічний склад досліджуваних сталей

Марка сталі	Хімічний склад								S	P
	C	S ₁	Mn	Cr	N ₁	M ₀	T ₁	Fe	Не більш	
12Х18Н10Т	0,12	0,8	2,0	17,0-19,0	9,0-11,0	-	0,8	осн.	0,020	0,035
20Х13	0,16	0,6	0,6	12,0	-	-	-	осн.	0,025	0,030

Фізико-механічні властивості сталей наведені у таблиці 3.2.

Досліди зі свердління проводилися на заготовках довжиною 200 мм, шириною 200 мм і товщиною 20 мм у стані поставки. Порівняльні експерименти проводилися на спеціальних заготовках, які мають форму і розміри реальної деталі.

У дослідженні використовувалися стандартні свердла зі швидкорізальної сталі Р6М5. Ідентичність результатів експерименту забезпечувалась попередньою розбивкою свердел на дві групи, з яких одна була контрольною, а друга використовувалася для випробування [57].

Геометричні параметри інструменту були обрані на підставі аналізу літературних джерел ($2\varphi = 125^\circ$; $\psi = 55^\circ$; $\alpha = 12^\circ$; $\alpha_1 = 32^\circ$) [35, 57].

Режими свердління при дослідженні інтенсивності зносу інструменту та якості поверхневого шару змінювалися у наступних межах:

швидкість різання – $V=14,0 \div 24,0$ м/хв;

подача – $S=0,063 \div 0,125$ мм/об;

глибина різання – $t = 20$ мм.

Лабораторні дослідження зі свердління проводилися на радіально-свердильному верстаті нормальної жорсткості фірми CSEPEL RF 31/B.

Таблиця 3.2 – Фізико-механічні властивості досліджуваних сталей

Марка сталі	Режими термічної обробки	Фізико-механічні властивості при нормальній температурі					
		HRC HB	σ_B , МПа	σ_T , МПа	Щільність г/см ³	при 1000 ⁰ С Вт/мК	10 ⁶ при 20-100 ⁰ С
12X18H10T	Аустенізація при 1050-1150 ⁰ С, охолодження на повітрі	200	520	200	7,90	14,6	16,60
20X13	загартування 1000-1500 ⁰ С на повітрі, відпуск при 700-790 ⁰ С, охолодження у маслі	220	660	450	7,75	22,1	10,10

Для визначення фізико-механічних властивостей магнітнооброблених швидкорізальних сталей були виготовлені зі сталей Р18 і Р6М5 спеціальні зразки. При виготовленні зразків витримувалася вимога: відношення довжини зразка до його діаметру повинно бути не менше восьми. Цим виключався вплив намагнічувального фактора при магнітній обробці.

Для вимірів твердості зразків використовувалися прилади Роквелла ТК-2 та Віккерса ТП-7Р-1. При випробуваннях на теплостійкість нагрів і витримка зразків проводилася у лабораторній муфельній печі.

Підготовка зразків до випробувань проводилася відповідно до вимог, відображених у роботах [18, 85]. Робочі поверхні зразків були виконані строго паралельними одна до одної, не мали дефектів типу окалин і т.д. Шліфування робочих поверхонь проводилося за допомогою ельборового круга із застосуванням охолодження, що не дозволяло зразкам у процесі обробки нагріватися.

При вимірах твердості на зразках проводилося не менше 10 наколів, що забезпечувало достатню статистичну оцінку результатів експериментів.

Зразки нагрівалися до відповідної температури початку необоротних процесів зміни структури матеріалу, витримувалися при цій температурі протягом 4-х годин, потім охолоджувалися разом з піччю. Зміна твердості оцінювалась у процентах, щоб мати можливість співставляти зразки з різними вихідними значеннями HRC.

Для дослідження залежності твердості та теплостійкості від різних параметрів магнітної обробки використовувалися одні і ті ж зразки. Після закінчення експериментів по твердості вони випробовувалися на теплостійкість.

Експерименти по визначенню гарячої твердості проводилися спільно з кафедрою «Металознавство і термічна обробка матеріалів» Донбаської державної машинобудівної академії.

Для випробувань на гарячу твердість зразки готувалися таким чином. Виготовлялися звичайні зразки з відношенням довжини до діаметра рівним 8-10. Потім половина з них проходила магнітну обробку, а друга половина зразків залишалася в початковому стані.

Після цього всі зразки на електроерозійному верстаті моделі 157 розрізали на циліндри висотою 8 мм і після старіння направлялись на випробування. Така технологія підготовки зразків дозволила в процесі магнітної обробки уникнути впливу розмагнічувального фактора, забезпечити ідентичність магнітної обробки зразків, а при розвантаженні уникнути впливу високих температур, неминучих при механічній обробці, на структуру інструментального матеріалу.

Гаряча твердість вимірювалася на установці, сконструйованій в «ГіпроЦМО» (м.Москва). Вимірювання проводилося методом Брінелля при навантаженні 3000 кгс/мм². Індентором служила закарбована сапфірова куляка діаметром 5 мм.

Нагрівання вимірювальної камери здійснювалося в трубчастій печі опору. Витримка зразків при заданій температурі нагріву становила 20 хвилин.

Контроль температури здійснювався платино-родієвою або хромель-алюмелевою термопарою (в залежності від температури випробування). У випробувальній камері створювали вакуум 10⁻⁴мм рт. ст., а потім подавали інертний газ - аргон.

Для отримання надійних результатів вимірювання (помилка вимірювання $\pm 2\%$) проводили не менше ніж на трьох зразках при кожній температурі, по 2-3 вимірювання на кожному зразку.

Статистична обробка результатів експериментів проводилася за відомою методикою.

Опишемо методику досліджень [28, 51, 84] і обробки експериментальних даних комбінованої обробки магнітнообробленого інструменту епіламіруючою композицією марки 6СФК-180-05 і твердим технологічним масилом (ТТМ).

Епіламіруючий склад являє собою прозору, безбарвну, негорючу, нетоксичну, пожежовибухобезпечну рідину з щільністю 1,57 г/см³.

Розчин містить 99,5% хладона 113, інше - добавка поверхнево-активної речовини (ПАР). Температура кипіння розчину 47°C. Плівка ПАР, що утворюється на твердій поверхні інструменту, термостабільна до температури 400°C, не розчиняється ні в одному з відомих загально споживаних розчинників.

В якості твердих технологічних мастил (ТТМ) в роботі були використані ТТМ структурно розроблені в Одеському національному політехнічному університеті [89].

Технологічні тверді мастила уявляють собою зв'язувальну основу, до складу якої в певному співвідношенні введені антифрикційні і адгезійні компоненти, а також ряд поверхнево активних речовин.

Для нанесення епіламіруючих покриттів на різальний інструмент використовувалася спеціальна установка Е91А, загальний вигляд якої показаний на рисунку 3.1.

Установка має місткість 8 л. Вона складається з металевого зварного бака 2, в який заливається епіламіруючий склад. Опрацьований інструмент поміщається в кошик 3 з металеві сітки і занурюється в бак з епіламіруючим складом. Розчин доводиться до кипіння нагрівачем 1. Хладон 113, випаровуючись, конденсується в теплообміннику 5 і знову повертається в бак 2.

Для зливу епіламіруючого складу з бака передбачено кран 7, а для контролю температури - термометр 8, для завантаження-вивантаження інструменту є швидко знімна кришка 4.

Під час експлуатації установка поміщається в витяжну шафу типу ШНЖ, до стіни якої кріпиться теплообмінник 5.

Обробка робочих поверхонь інструменту епіламіруючим складом здійснювалася за наступним технологічним процесом:

1. Видалення задирок з різальних крайок інструменту (за допомогою ультразвукової ванни типу УЗВ-0,25 або механічним шляхом).
2. Промивання робочих поверхонь інструменту хладоном 113.
3. Кипіння інструменту в хладоні 113 протягом 15 хвилин з метою остаточного знежирення.
4. Кип'ятіння інструменту протягом однієї години в епіламіруючому складі.
5. Сушка інструменту в сушильній шафі протягом 15 хвилин при температурі 150°C.
6. Упаковка обробленого інструменту в щільний папір, попередньо покривши робочі поверхні технічним вазеліном.

Для контролю вмісту ПАР в епіламіруючому складі був використаний метод за допомогою двох металевих платівок.[84].

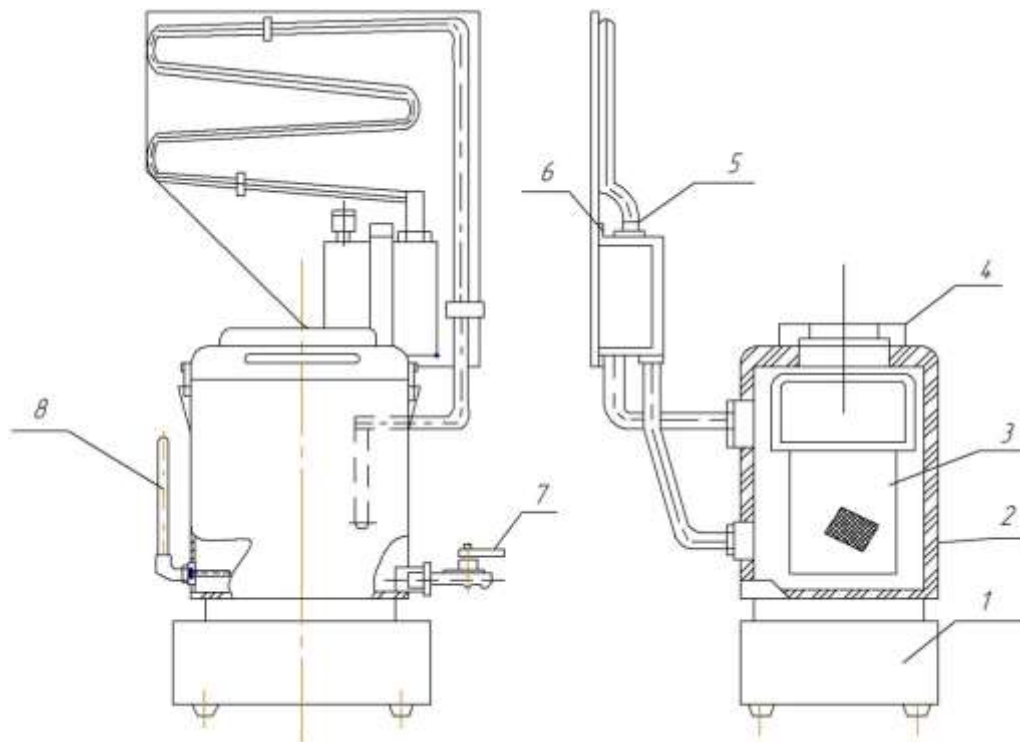


Рисунок 3.1– Технологічна установка для нанесення епіламіруючих складів на ріжучий інструмент і технологічне оснащення

Платівки довжиною 100 мм шліфуються з одного боку, поліруються і знежирюються, одна з них епіламірується в контрольованому розчині. Потім на платівки наноситься по краплині індустріальне масло. Кожну з платівок повільно піднімають за один кінець до тих пір, поки крапля не почне стікати. Якщо масло почне стікати приблизно при одному куті нахилу, то ПАР в розчині відсутня. Якщо крапля масла на епіламіруючій платівці утримується при більшому куті нахилу, то це доводить про наявність ПАР в розчині, нанесення покриттів можна продовжити.

Для оцінки працездатності магнітнообробленого інструменту з комбінованою обробкою епіламою і твердими технологічними мастилами були використані математичні методи планування експериментів, що дозволяють отримувати шукану функцію у вигляді полінома заданого порядку з одночасним визначенням відносної і абсолютної похибки розрахунків.

Для оцінки процесу різання найбільше значення мають характеристики, пов'язані зі зносом і стійкістю ріжучого інструменту, якими визначається продуктивність і собівартість обробки, якість поверхневого шару деталі, їх експлуатаційна надійність і довговічність.

Стійкостні залежності в роботі встановлювалися на основі кривих зносу задньої поверхні свердел. Закономірно зростаюча зі збільшенням часу роботи, ширина фаски зносу об'єктивно відображає процес зношування інструменту і дозволяє судити про його розмірний знос [35]. Залежність допустимого зносу по задній поверхні $h_{зк}$ від діаметра свердла розраховується за такою формулою:

$$h_{зк} = -0,056 + 0,069 \cdot d - 0,002 \cdot d^2, \quad (3.1)$$

де d – діаметр свердла.

Тоді в якості характеристик розмірної стійкості інструменту можуть служити період стійкості T і довжина шляху різання l до розрахованого технологічного критерію затуплення $h_{зк}$, а також відносні показники - безрозмірна величина лінійної інтенсивності зносу:

$$J_k = h_{олз} = \frac{h_{зк} - h_{зн}}{l_k - l_n} \cdot 10^3 \quad (3.2)$$

або відносний поверхневий знос:

$$h_{опз} = \frac{(h_з - h_{зн}) \cdot 100}{(l - l_n) \cdot S}, \text{ мм/}10^3\text{см}^2 \quad (3.3)$$

де $h_з$ и $h_{зн}$ – величини фаски зносу по задній поверхні при обраному критерію затуплення і до кінця періоду прироблення, мм;

l и l_n – довжини шляху різання, що відповідають обраному критерію затуплення до кінця періоду прироблення, м;

S – подача, мм/об.

або інтенсивність зношування:

$$J = \left(\frac{h_з}{V \cdot \tau} \right) \cdot 10^4, \quad (3.4)$$

де J – інтенсивність зношування, мм/м;

$h_з$ – фаска зносу задньої поверхні, мм;

V – швидкість різання, м/хв;

τ – час роботи свердла до моменту фіксації даної фаски, мкм.

Для контролю якості магнітної обробки інструменту зі швидкорізальної сталі були виготовлені зі сталі Р18, Р6М5 та сталі 45 спеціальні зразки, що представляють собою циліндри довжиною $L = 80$ мм і діаметром $D = 8$ мм, що мають по обох торцях центрові отвори.

Підготовка зразків до випробувань проводилася відповідно до вимог, відображених в роботі [69]. Робочі поверхні зразків були виконані строго паралельними одна одній, не мали дефектів типу окалин і т.п. Шліфування робочих поверхонь проводилося за допомогою ельборового круга із застосуванням охолодження, що не дозволяло зразкам в процесі обробки нагріватися.

З практичної точки зору основними вимогами до засобів зазначеного контролю є оперативність і доступність їх використання відповідно до високої чутливості і відтворюваності. Цим вимогам задовольняє новий спосіб порівняльної оцінки ефективності зміцнюючих технологій, який реалізується на приладі ЕХО-1 (рис.3.2).

В його основу покладена відома схема тертя двох схрещених циліндрів, що дозволяє забезпечити високу відтворюваність початкових умов контактної взаємодії. Досліджуваний зразок (індентор) впроваджують при його обертальному русі в контртіло, твердість якого нижче твердості індентора. Отримані на контртілі відбитки вимірюють по двом діаметрам, орієнтованим уздовж ($d_{пр}$) і поперек ($d_{поп}$) осі контртіла. Потім визначають значення

$$d_{cp1} = \frac{d_{пр1} + d_{поп1}}{2}, \quad (3.5)$$

За співвідношенням середніх діаметрів відбитків, отриманих на контртілі до і після обробки, визначають її ефективність:

$$k = \frac{\sum_{d=1}^m d_{cp1} \cdot n}{m \cdot \sum_{l=1}^m d_{cp1}}. \quad (3.6)$$

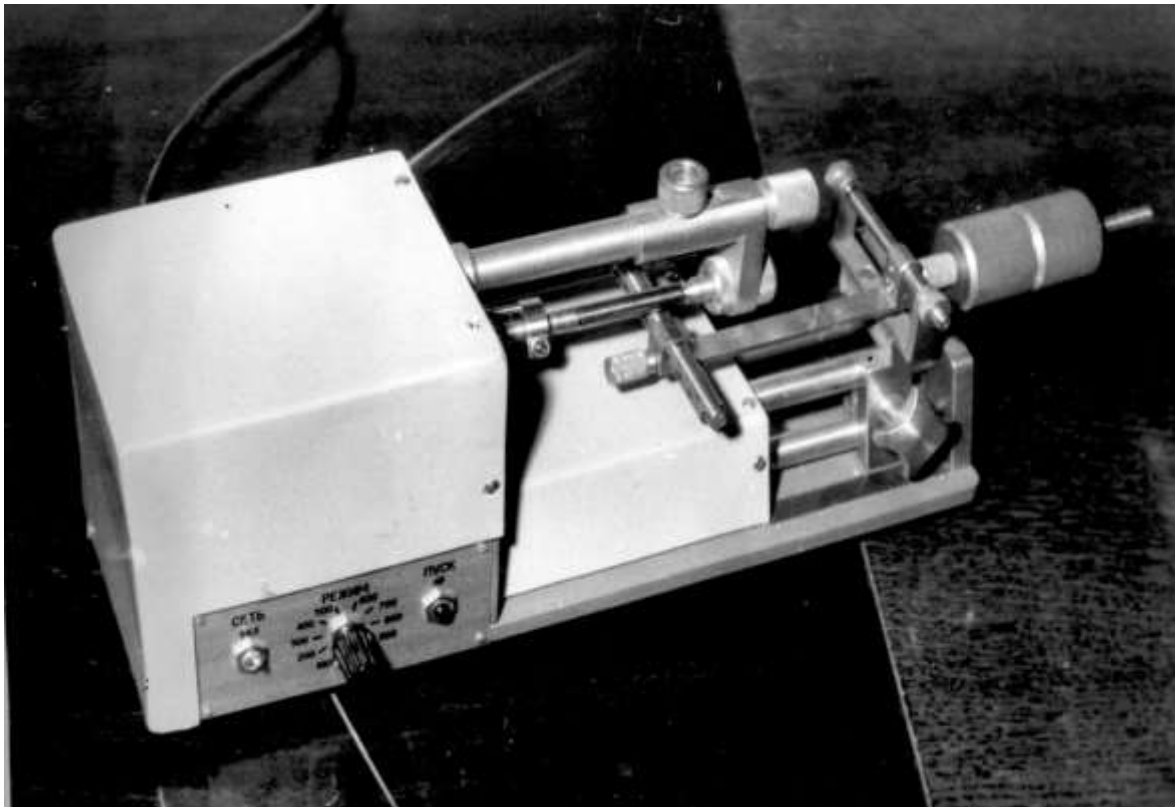


Рисунок 3.2– загальний вигляд приладу для оцінки ефективності зміцнення поверхневих шарів EXO-1

Пристрій працює наступним чином. Після установки індентора в центрах і контртіла в циліндричній обоймі за допомогою приводу індентору повідомляють обертальний рух, а контртіло підтискають до нього під навантаженням. Через заданий час на контртілі з'являється відбиток. Потім каретку змішують уздовж осі індентора, а контртіло в обоймі - перпендикулярно їй, забезпечуючи новий точковий контакт.

При вимірах діаметра відбитка на зразках проводилося не менше 10 операцій отримання відбитків, що забезпечувало достатню статистичну оцінку результатів експериментів.

3.2 Механізм зношування і працездатність інструменту зі швидкорізальної сталі зміцненого методом ОІМП.

Дослідженнями [52] було показано, що працездатність інструменту зі швидкорізальних сталей при досить високих швидкостях різання визначається здатністю швидкорізальної сталі чинити опір незворотнім, динамічно протікаючим рекристалізаційним процесам поблизу задньої поверхні.

Працездатність інструментів зі швидкорізальної сталі досліджували при обробці отворів в нержавіючої сталі X18H9T свердлами Р6М5. Для експериментів відбирали свердла однакової твердості HRC 63, які поділяли на

партії: одна з них склала контрольну групу, на іншій партії свердел була здійснена обробка в імпульсному магнітному полі при оптимальному співвідношенні параметрів процесу ОІМП.

Кінематику зношування свердел з Р6М5 досліджували під час свердління отворів в деталях з нержавіючої сталі Х18Н9Т. Узагальнені криві залежності $h_z - T$ для трьох швидкостей різання показані на рисунку 3.3.

Отримані дані свідчать про те, що свердла, оброблені в імпульсному магнітному полі і застосування твердих мастил, уповільнює розвиток осередків зносу передньої і задньої поверхонь інструменту. Відзначено практично повна відсутність проточин і вусів зносу у країв контактних площадок інструменту, де найбільш сильно реалізуються хіміко-окислювальні види зносу. Відсутність додаткових осередків зносу у країв контактних площадок свердла позитивно впливає на стійкість свердла, так як при цьому усуваються джерела інтенсивного тертя і тепловиділення.

Аналіз залежності $h_z - T$ для свердел зі швидкорізальної сталі Р6М5 показує, що зі збільшенням швидкості різання стійкість інструменту обробленого ОІМП стає помітно більше в порівнянні зі стійкістю свердел при звичайному свердлінні.

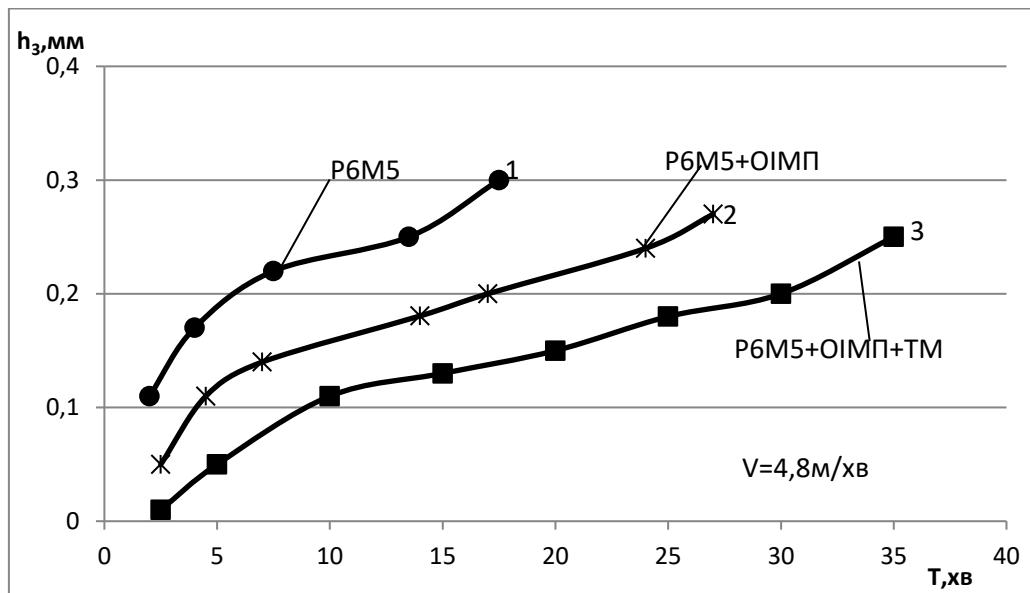
Одночасний розгляд співвідношення часу роботи свердел оброблених ОІМП і застосованих твердих мастил до руйнування до періоду стійкості свердел показало, що безпосередньою причиною зростання ефективності інструменту зі швидкорізальної сталі з ОІМП на великих швидкостях різання є різке збільшення цього співвідношення по мірі зростання швидкості різання.

Першопричиною поліпшення експлуатаційних характеристик свердел, що піддалися магнітній обробці, є зміна властивостей інструментального матеріалу. Воно відбувається за рахунок магніострикційного зміцнення швидкорізальної сталі, що виражається в підвищенні її теплостійкості.

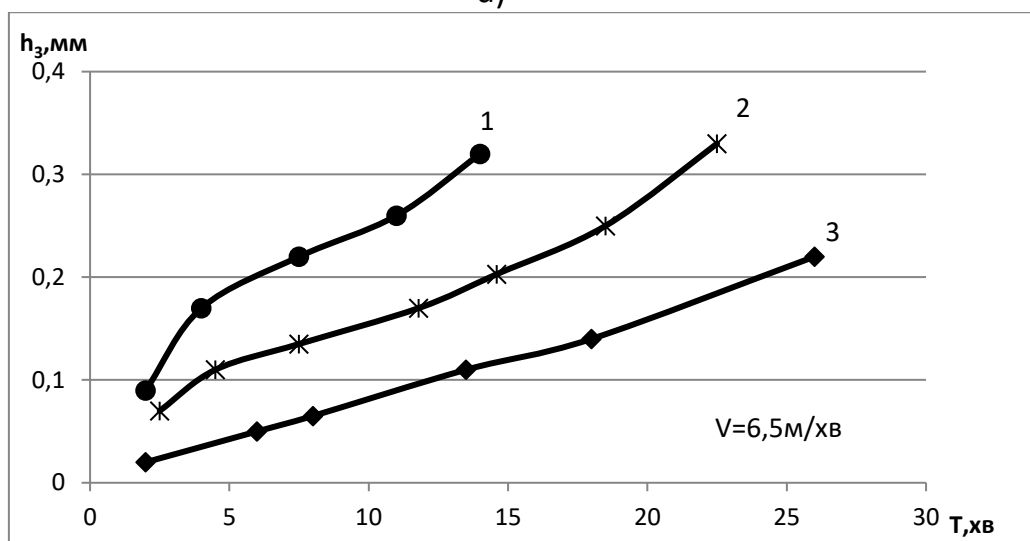
Відомо [8], що процес рекристалізації в швидкорізальній сталі є головною причиною руйнування інструменту на стадії катастрофічного зносу при різанні.

Для оцінки впливу ОІМП на стримування цих процесів були проведені спеціальні досліді. Оцінка ефективності магнітної обробки інструменту проводилася за допомогою коефіцієнта підвищення стійкості (K_T), під яким розуміється відношення $T_m/T_{поч}$, де T_m – стійкість інструменту після обробки інструменту в імпульсному магнітному полі, а $T_{поч}$ - стійкість того ж інструменту в початковому стані.

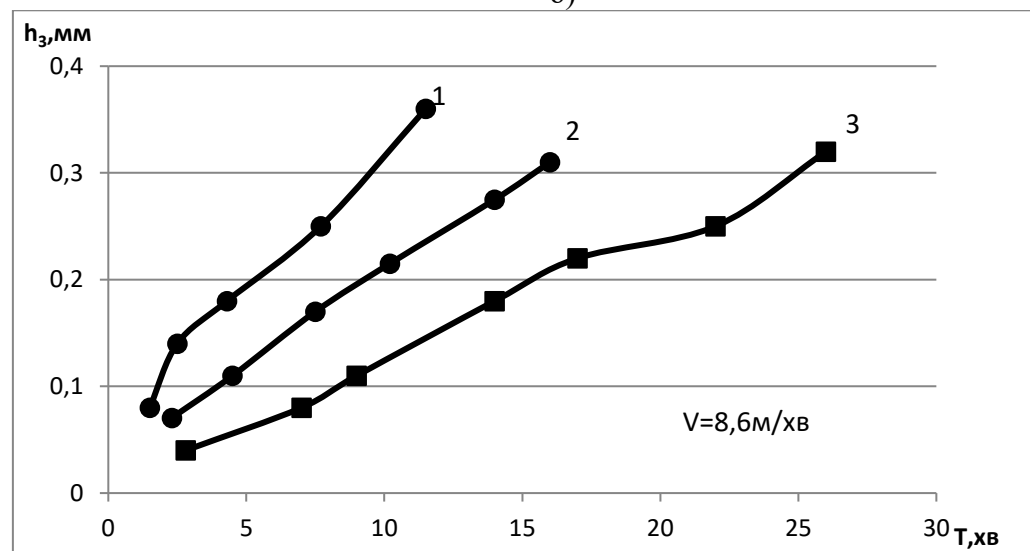
Роботами С.М. Постнікова, Ю.А. Бородкіна, М.Т. Галея та ін. [56] показано, що магніострикційне зміцнення швидкорізальної сталі, що викликає поліпшення фізико-механічних властивостей матеріалу, тісно пов'язане з напруженістю накладеного на інструментальний матеріал магнітного поля.



a)



б)



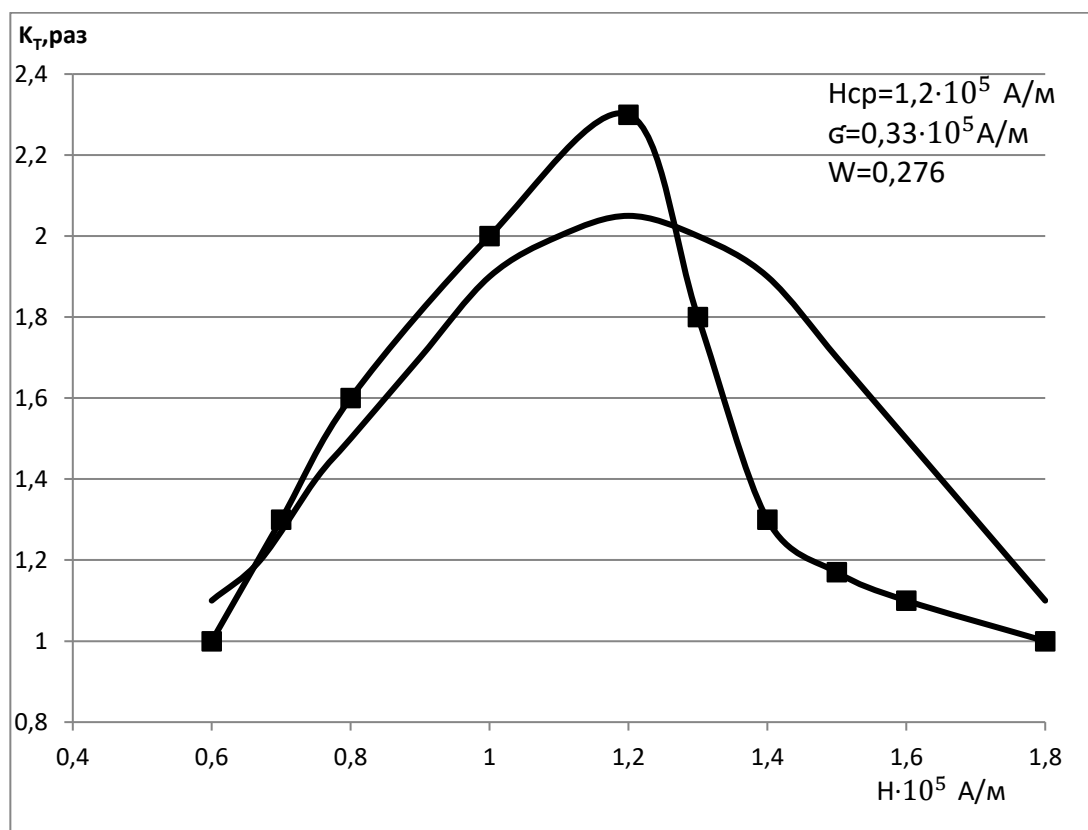
в)

Рисунок 3.3 – Залежність зносу задньої поверхні свердел P6M5 від часу роботи при $S = 0.14 \text{ мм/об}$

Дослідження впливу напруженості магнітного поля на коефіцієнт підвищення стійкості свердел Р6М5 проводилось у всьому діапазоні полів, створюваних установкою ОІМП-РК1. Як критерій затуплення приймався знос по задній грані h_3 . У свердл h_3 на відстані 0,5 мм від периферії свердла приймався 0,30 мм.

Залежність $K_T=f(H)$ будувалася на підставі закономірностей зносу по задній грані від часу роботи інструменту в початковому стані і після його магнітної обробки. Напруженість поля при цьому змінювалася в діапазоні $1,5 \cdot 10^4 - 1,7 \cdot 10^5$ А/М. Час витримки інструменту в обробній катушці для операції свердління було вибрано 1 хвилина.

На рисунку 3.4 приведена залежність коефіцієнта підвищення стійкості від напруженості магнітного поля. З рисунку 3.4 випливає, що залежність $K_T=f(H)$ має досить складний характер.



*Сталь 12Х18Н10Т. Свердло Φ 6,2 мм
 Геометрія: $\alpha=9^\circ$; $\alpha_1=18^\circ$; $2\phi=125^\circ$; $\psi=55^\circ$
 Режим різання: $V=7,8$ м/хв; $S=0,14$ мм/об
 Характер поля - імпульсне*

Рисунок.3.4 –Залежність коефіцієнта підвищення стійкості швидкорізальних свердел від напруженості магнітного поля

Вплив магнітного поля напруженістю близько $0,5 \cdot 10^5$ А/м не привело до підвищення стійкості свердла. Потім коефіцієнт підвищення стійкості

почав рости пропорційно значенню напруги магнітного поля і досяг максимуму при $H \approx 1,2 \cdot 10^5$ А/м. Подальше збільшення значень H призвело до зниження K_T і при напруженості поля $\approx 1,75 \cdot 10^5$ А/м $K_T=1,0$, тобто ефект підвищення стійкості дорівнює нулю.

Підвищення значень напруженості поля за $1,75 \cdot 10^5$ А/м при дуже крутому передньому фронті імпульсу призводило до зниження стійкості інструменту в порівнянні з вихідним станом, а механізм зносу мав характерні ознаки крихкого сколювання. Подальше збільшення напруженості поля приводило до викришування інструменту під час роботи.

Проведені експерименти дозволили встановити цілком певний діапазон значень напруженості магнітного поля, обробка в якому помітно покращує експлуатаційні властивості ріжучого інструменту зі швидкорізальної сталі.

Для практичних розрахунків стійкості інструменту використовуємо емпіричні формули ступеневого вигляду. З цією метою при обробці узагальнюючих математичних залежностей для визначення стійкості свердел діаметром 6,2 мм зі швидкорізальної сталі Р6М5 використана методика математичного планування експериментів.

В якості досліджуваної функції або параметра оптимізації $Y = f \cdot (X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot \dots \cdot X_k)$ вибрали стійкість інструменту, а в якості змінних факторів - режим різання свердлом $X_1=V$ м/хв., $X_2=S$ мм/об. і робоча напруга соленоїда при зміцненні інструмента $X_3=U$ В.

Функцію Y апроксимували степеневим поліномом виду:

$$Y = b_0 + b_i \cdot x_i + b_{i,i} \cdot x_i + b_{ii} \cdot x_i^2, \quad (3.7)$$

де $b_0, b_i, b_{i,i}, b_{ii}$ – коефіцієнти регресії.

Для 3-х змінних рівняння (3.7) приймає вигляд:

$$Y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + b_{123} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (3.8)$$

Інтервали варіювання для обраних змінних, що впливають на параметр оптимізації, наведені в таблиці 3.3.

Так як рівняння, за допомогою яких описується основна залежність процесу різання, носить статечний характер (логарифмічні функції), то при плануванні експерименту з метою отримання лінійних залежностей визначаємо логарифмічні значення змінних факторів.

$$X_i = \frac{\lg X_i - \lg X_{i\text{cp}}}{\lg X_{i\text{cp}} - \lg X_{i\text{min}}}, \quad (3.9)$$

$$\text{де} \quad X_{i\text{cp}} = \frac{\lg X_{i\text{max}} - \lg X_{i\text{min}}}{2} \quad (3.10)$$

Таблиця 3.3 – Значення інтервалів варіювання і рівнів змінних факторів

Інтервал варіювання і рівень факторів	Швидкість різання V, м/хв	Подача S, мм/об	Робоча напруга U, В
Нульовий рівень $x_i = 0$	18,8	0,094	550
Інтервал варіювання Δi	—	0,031	100
Нижній рівень $x_i = 1$	14,87	0,063	450
Верхній рівень $x_i = + 1$	23,35	0,125	650
Кодове позначення	X_1	X_2	X_3

Стосовно до даних дослідження значення змінних факторів визначаються залежностями:

$$X_1 = \frac{2 \cdot (\lg V - \lg V_{\text{max}})}{\lg V_{\text{max}} - \lg V_{\text{min}}} + 1 \quad (3.11)$$

$$X_2 = \frac{2 \cdot (\lg S - \lg S_{\text{max}})}{\lg S_{\text{max}} - \lg S_{\text{min}}} + 1 \quad (3.12)$$

$$X_3 = \frac{2 \cdot (\lg U - \lg U_{\text{max}})}{\lg U_{\text{max}} - \lg U_{\text{min}}} + 1 \quad (3.13)$$

Після підстановки даних ці залежності матимуть вид:

$$X_1 = 10,2 \cdot \lg V - 12,96 \quad (3.14)$$

$$X_2 = 6,72 \cdot \lg S - 7,08 \quad (3.15)$$

$$X_3 = 12,73 \cdot \lg U - 34,79 \quad (3.16)$$

Умови експерименту представлені у вигляді таблиці 3.4.

В таблиці 3.5 наведені результати дослідів.

Розрахунок коефіцієнтів регресії проведений за формулою:

$$b_1 = \frac{\sum_{n=1}^N X_{1n} \cdot Y_n}{N}, \quad (3.17)$$

де X_{1n} – значення 1-го фактора в n-му досліді;

Y_n – значення параметра оптимізації в тому ж досліді;

N – число дослідів.

Таблиця 3.4 – Матриця планування експериментів

№№ експерименту	X_1	X_2	X_3	X_1X_2	X_1X_3	X_2X_3	$X_1X_2X_3$
1	-	-	-	+	+	+	-
2	+	-	-	-	-	+	+
3	-	+	-	-	+	-	+
4	+	+	-	+	-	-	-
5	-	-	+	+	-	-	+
6	+	-	+	-	+	-	-
7	+	-	+	-	+	-	-
8	+	+	+	+	+	+	+

Значення коефіцієнтів регресії для розглянутого випадку зведені в таблицю 3.6.

Коефіцієнт вважається значущим, якщо виконується нерівність:

$$|b_1| \geq \Delta b_1 = t(0,05; f) \cdot \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (3.18)$$

Критичне значення критерію Ст'юдента на рівні значущості $\alpha = 0,05$; $t_{f_\alpha} = 2,04$.

Визначаємо критерій Кохрена:

$$G = \frac{S_{1\max}}{\sum S_1} = \frac{0,01363}{0,04400} = 0,31 \quad (3.19)$$

Критичне значення на рівні значущості $\alpha = 0,05$ при числі ступенів свободи

$$G_{f_1 f_2_\alpha} = 0,391$$

Таблиця 3.5 – Результати експериментів по дослідженню залежності $K_T=f(H)$

№№ дос- ліда	Н, А/м	Коефіцієнт підвищення стійко- сті K_1					K_1	п, кількість отворів	lgn	$\Sigma(K_1-K)^2$	S_1^2	S_1	(K_1-K)
		1	2	3	4	5							
1	$0,8 \times 10^5$	1,23	1,35	1,31	1,38	1,27	1,31	170	2,23	0,0145	0,00363	0,06028	0,03706
2	$0,8 \times 10^5$	1,47	1,35	1,41	1,38	1,44	1,41	240	2,38	0,0090	0,00225	0,04743	0,00856
3	$0,8 \times 10^5$	1,27	1,30	1,20	1,27	1,30	1,27	190	2,27	0,0067	0,00168	0,04093	0,05406
4	$0,8 \times 10^5$	1,50	1,17	1,17	1,33	1,50	1,33	40	1,60	0,1090	0,02725	0,16508	0,02976
5	$1,2 \times 10^5$	1,62	1,69	1,58	1,65	1,54	1,62	210	2,32	0,0545	0,01363	0,11673	0,01381
6	$1,2 \times 10^5$	1,85	1,88	1,82	1,91	1,94	1,88	320	2,50	0,0162	0,00405	0,06364	0,14251
7	$1,2 \times 10^5$	1,60	1,50	1,53	1,52	1,50	1,53	230	2,36	0,0067	0,00168	0,04093	0,00076
8	$1,2 \times 10^5$	1,67	1,50	1,67	1,83	1,67	1,67	50	1,70	0,0545	0,01363	0,11673	0,02806
							12,02				0,04400		0,31458

Таблиця 3.6 – Значення коефіцієнтів регресії

b_0	b_1	b_2	b_3	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{123}
2,17	-0,13	-0,19	0,05	-0,2	-0,003	0,005	0

Так як $G \angle Gf_1 f_2$, то дисперсії однорідні і дисперсія генеральної сукупності:

$$S^2 = \frac{\sum S_1^2}{m} = \frac{0,04400}{8} = 0,0055 \quad (3.20)$$

Середнє квадратичне відхилення $S=0,07416$.

Довірчий інтервал значень результатів експерименту:

$$\Delta b_1 = t_{f\alpha} \cdot \frac{S}{\sqrt{n}} = 2,04 \cdot \frac{0,07416}{\sqrt{5}} = 0,04307 \quad (3.21)$$

В даному випадку значущими є коефіцієнти $b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}$, а коефіцієнти рівняння регресії b_{13}, b_{23} і b_{123} незначущі.

Надалі статистична обробка експериментів, де було потрібно визначення значущості впливу будь-якого фактору, виконувалося ідентично.

Після підстановки в рівняння (3.8) значень змінних факторів, рівняння регресії запишеться як

$$Y = 0,76 - 1,33 \cdot \lg V - 1,28 \cdot \lg S + 0,64 \cdot \lg U - 0,2 \cdot ((10,2 \cdot \lg V - 12,96) \cdot (6,72 \cdot \lg S + 7,08)); \quad (3.22)$$

Провівши потенціювання отримаємо остаточний вираз

$$Y = 10^{19,04} \cdot V^{(-13,71 \cdot \lg S - 15,77)} \cdot S^{16,7} \cdot U^{0,64} \quad (3.23)$$

Перевірка адекватності лінійної моделі виконується за допомогою критерію Фішера. Адекватність обґрунтована, якщо виконується нерівність

$$F = \frac{S_{ад}^2}{S^2} \leq F(0,05; f_1; f_2) \quad (3.24)$$

дисперсія адекватності

$$S_{ад}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_1 - Y_i)^2}{n - k - 1}, \quad (3.25)$$

де Y_1 – експериментальне значення параметра оптимізації;
 Y_i – розрахункове значення відгуку в i -ом досліді.

$$S_{ад}^2 = \frac{3 \cdot (1,03)^2 + 1,05^2 + 1,07^2}{8 - 3 - 1} = 1,3575 \quad (3.26)$$

$$\text{Тоді} \quad F = \frac{1,3575}{1,013} = 1,34 \quad (3.27)$$

Критичне значення критерію Фішера - на рівні значущості $\alpha=0,05$ при числі ступенів свободи $f_1=n-1=5-1=4$ і $f_2=m \cdot (n-1)=32$ $F(0,05; f_1; f_2)=2,6896$, що більше розрахункового, отже, математична модель експерименту адекватна.

Практичний інтерес з точки зору трудомісткості здійснення технологічної операції обробки інструменту в імпульсному магнітному полі представляє час витримки інструменту в магнітному полі.

Дослідження впливу витримки інструменту в імпульсному магнітному полі на коефіцієнт підвищення стійкості проводилося під час свердління сталі марки 12X18H10T свердлами Р6М5.

Залежність $K_T=f(T)$ при оптимальній напруженості робочого магнітного поля ($H \approx 1,2 \cdot 10^5$ А/м) будувалася на підставі зносу інструменту по задній грані в початковому стані, так і після магнітної обробки.

З рисунку 3.5 випливає, що збільшення часу витримки до 40 ... 60 секунд призводить до зростання коефіцієнта підвищення стійкості.

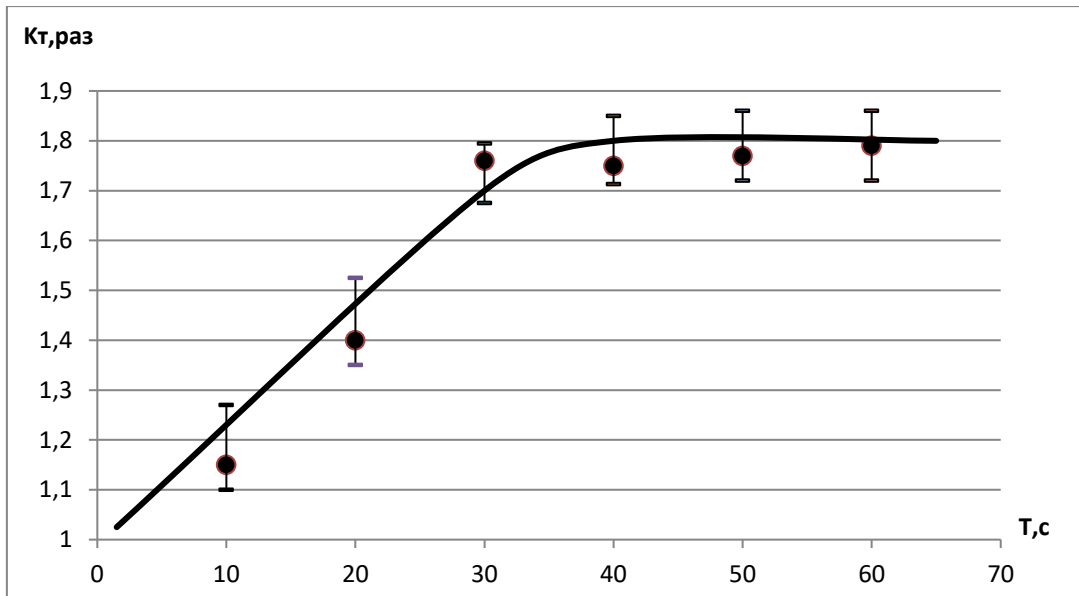
Подальше підвищення часу (Т) обробки інструменту (в наших дослідах цей час доводився до 2-х годин) не приводило до зміни величини K_T .

Результати, отримані в цій серії дослідів, дозволяють відзначити, що технологічні операції магнітної обробки інструменту є способом з найменшою трудомісткістю з усіх відомих способів підвищення стійкості ріжучого інструменту.

Аналіз існуючих гіпотез і досліджень про причини підвищення стійкості інструменту в результаті обробки в імпульсному магнітному полі [11, 13, 14, 24, 25, 61, 67, 72, 73, 78, 86, 88, 91] показує, що процес магнітодисперсійного твердіння протікає не миттєво і, очевидно, необхідно якийсь час після операції магнітної обробки, щоб стабілізувати нові властивості інструментальної сталі.

З цією метою були проведені спеціальні досліді. Дослідження з вивчення впливу часу старіння інструменту після магнітної обробки виконувалися під час свердління і нарізування різьб в сталі марки 12X18H9T інструментами зі сталі Р6М5 (рис. 3.6). Стійкостні випробування проводилися

по кілька разів на добу протягом усього того часу, поки не стабілізувалися значення K_T . Залежність $K_T=f(T)$ будувалася на підставі залежності $h_3=f(T)$ для інструменту, що пройшов магнітну обробку.



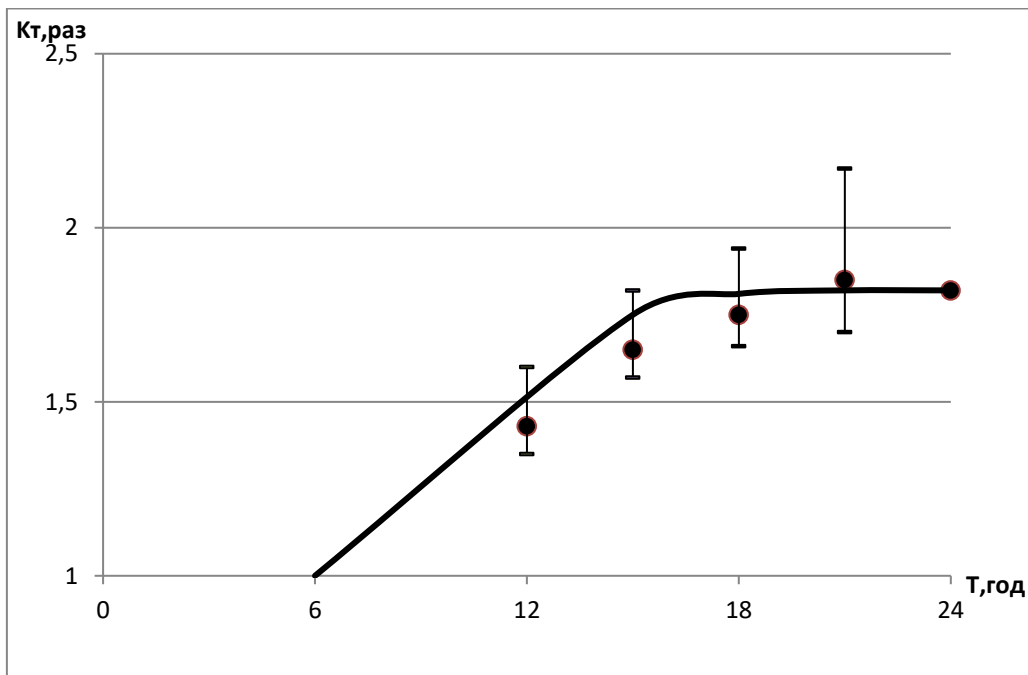
Сталь 12X18H9T. Свердло Р6М5

Геометрія: $\alpha=9^\circ$; $\alpha_1=18^\circ$; $2\phi=125^\circ$; $\psi=55^\circ$; Φ 6,2 мм

Режим різання: $V=7,8$ м/хв; $S=0,14$ мм/об

Характер поля – імпульсне, $H=1,2 \cdot 10^5$ А/м

Рисунок 3.5 – Залежність підвищення стійкості свердел із швидкорізальної сталі від часу витримки в магнітному полі



Сталь 12X18H10T. Свердло Р6М5

Геометрія: $\alpha=9^\circ$; $\alpha_1=18^\circ$; $2\phi=125^\circ$; $\psi=55^\circ$; Φ = 6,2 мм

Рисунок 3.6 – Залежність коефіцієнта підвищення стійкості інструменту від часу старіння після магнітної обробки

Встановлено, що протягом 6 годин після магнітної обробки коефіцієнт підвищення стійкості залишається рівним 1.0, тобто підвищення стійкості не спостерігається. Протягом 12 та 18 годин відбувається зростання значень K_T і до кінця доби стійкість інструменту стабілізується.

Таким чином, для поліпшення експлуатаційних властивостей інструменту зі швидкорізальної сталі марки Р6М5 магнітною обробкою необхідно час старіння порядку 1-єї доби.

Отримані експериментальні дані дозволяють зробити висновок про те, що для стійкої появи ефекту ОІМП необхідно враховувати напруженість магнітного поля, час витримки інструменту в магнітному полі і час старіння інструментального матеріалу

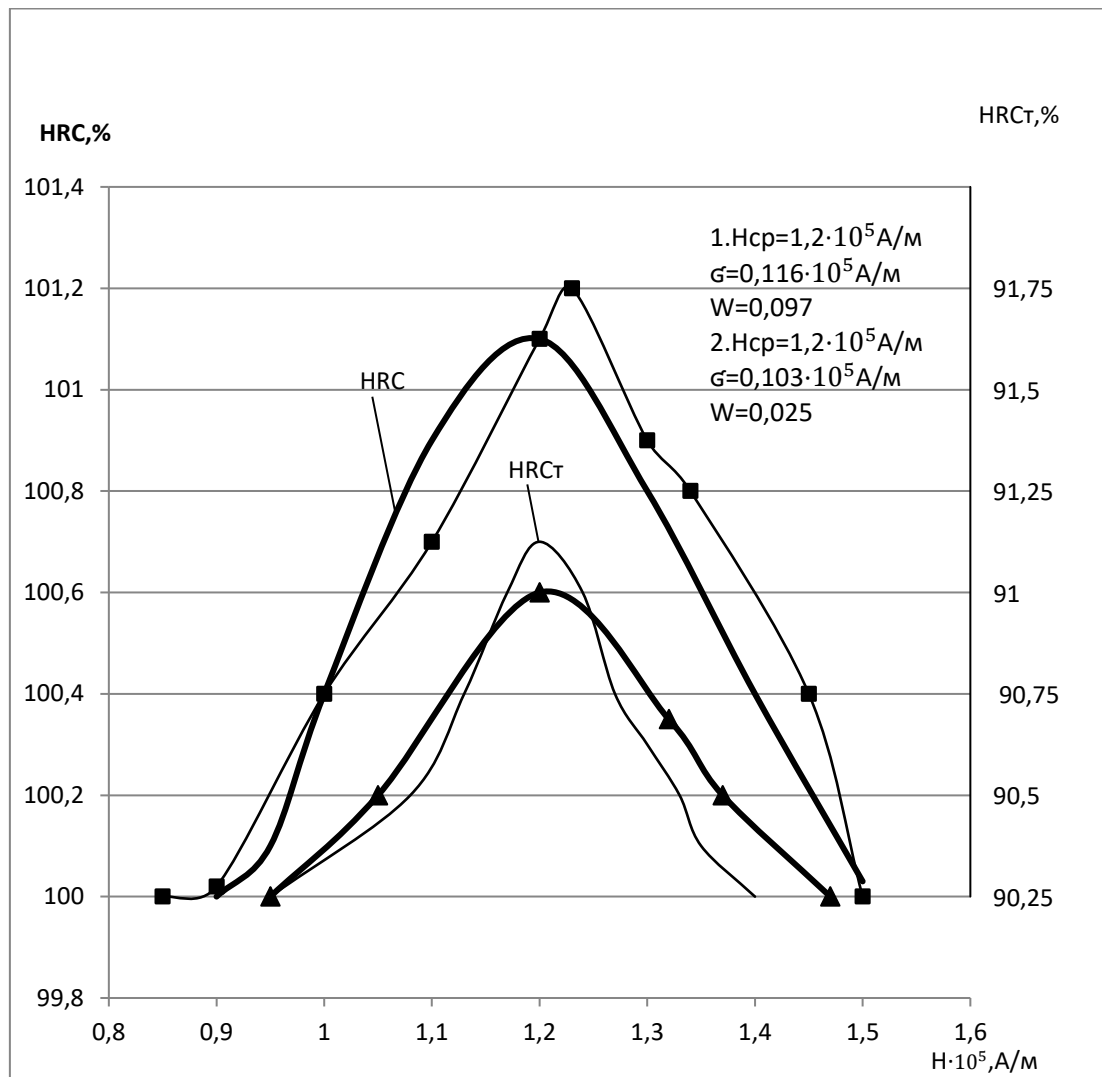
Слід зауважити, що в усіх експериментах після кожної переточки проводилася повторна магнітна обробка при частоті проходження імпульсів 5 Гц.

3.3 Дослідження впливу режимів магнітної обробки на фізико-механічні властивості швидкорізальних сталей.

З метою отримання найбільшої кількості експериментальних даних від однієї партії зразків зі швидкорізальних сталей було вирішено об'єднати дослідження щодо впливу значень напруженості магнітного поля і часу старіння матеріалу на зміни твердості і теплоємності. Зразки витримувалися в магнітному полі (як і при стійкостних випробуваннях) протягом 1-ої хвилини.

Залежність $HRC=f(H)$ для сталі марки Р6М5 будувалася в діапазоні напруженості полів, що використовувалися для дослідження залежностей $K_T=f(H)$. Необхідно відзначити, що значення твердості (HRC) для кожного значення поля замірялися протягом ряду доби, аж до закінчення зміни його значень. Виявилось, що значення твердості зі зразків змінювалися протягом 1-х діб, після чого твердість стабілізувалася. Потім ці ж зразки піддавалися випробуванням на теплостійкість (HRC_T).

На рисунку 3.7 представлені результати виконаних експериментів. Дослідження показали, що відносно слабкі магнітні поля не призводять до зміни значень твердості і теплостійкості. Залежність $\Delta HRC=f(H)$ і $\Delta HRC_T=f(H)$ мають максимум при напруженості поля $H \approx 1,2 \cdot 10^5$ А/м. Подальше збільшення H призводить до зниження твердості і теплостійкості і при $H = 1,6 \cdot 10^5$ А/м ці параметри практично не відрізняються від твердості і теплостійкості зразків у вихідному положенні.



— твердість і теплостійкість в початковому стані

- - - твердість і теплостійкість після ОІМП

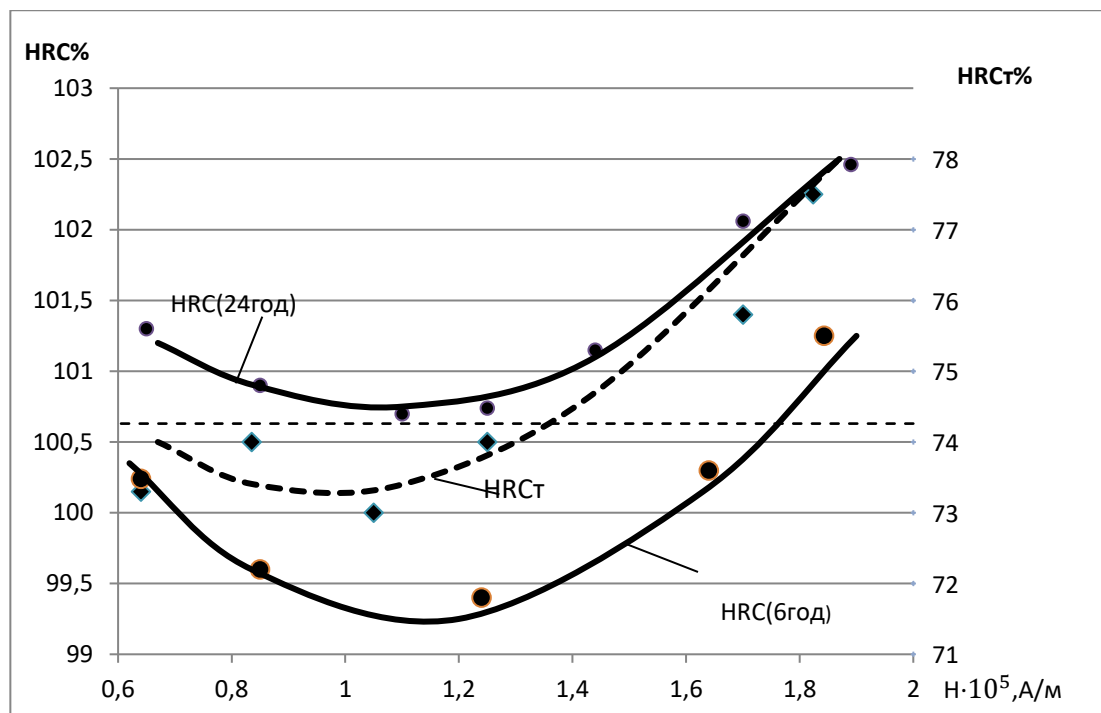
Рисунок 3.7 – Залежність зміни твердості та теплостійкості сталі Р6М5 від напруженості магнітного поля після 24-годинної витримки інструменту

Як показали стікольні дослідження в лабораторних умовах і виробничі випробування швидкорізальних свердел, мітчиків і кінцевих фрез при оптимальній напруженості H_0 повинна проводитися магнітна обробка швидкорізального інструменту. Встановлено, що найбільше підвищення стійкості магнітнообробленого інструменту і найбільше підвищення значень твердості і теплостійкості отримані при одних і тих же значеннях робочого поля ($H_0 = 1,2 \cdot 10^5 \text{ A/m}$).

Максимальне підвищення твердості і теплостійкості швидкорізальної сталі при напруженості поля $H_0 = 1,2 \cdot 10^5 \text{ A/m}$ відбувається за рахунок магнітострикційного субструктурного зміцнення [76].

Важливим елементом режиму магнітної обробки є час витримки інструменту після магнітної обробки.

На рисунку 3.8 представлені експериментальні дані зміни твердості та теплостійкості сталі Р6М5К5 в початковому стані після термообробки, через 6 годин і через 24 години після магнітної обробки.



Режим обробки: $f=5$ Гц; $\tau=60$ с

----- теплостійкість в початковому стані

Рисунок 3.8 – Залежність зміни твердості та теплостійкості сталі Р6М5К5 від напруженості поля і часу старіння

Проведені дослідження показали, що в сталі Р6М5К5 через 6 годин після магнітної обробки значення твердості в діапазоні полів $1,5 \cdot 10^4$ – $1,2 \cdot 10^5$ А/м зменшуються, досягаючи мінімуму при $H=1,2 \cdot 10^5$ А/м. При подальшому збільшенні напруженості поля значення твердості ростуть і, починаючи з робочих полів напруженістю більше $1,35 \cdot 10^5$ А/м, стають вище вихідних.

Потім протягом 24 годин триває зростання твердості всіх зразків і після витримки вони мають твердість на 0,75 - 2,25% вище вихідної з максимальною твердістю, отриманої після використання полів максимальної напруженості для експериментальної установки ОІМП-РК1.

Випробування сталі Р6М5К5 на теплостійкість (рис 3.8) показали, що вона підвищується в порівнянні з вихідним станом тільки після обробки в полях напруженістю вище $1,35 \cdot 10^5$ А/м, і досягає максимальних значень, як і твердість, при найвищому значенні напруженості поля, створюваної установкою.

У таблиці 3.7 представлені експериментальні дані, отримані при вивченні значень підвищення твердості сталі Р6М5 (по Віккерсу) після впливу

H_{opt} для цієї марки матеріалу. Встановлено, що середнє збільшення твердості зразків склало близько 3%. Аналогічні результати були отримані і при вивченні підвищення твердості за способом Брінелля.

Таблиця 3.7 – Вплив магнітної обробки на твердість (по Віккерсу) сталі Р6М5

№ досліджу	Твердість (HV)			
	зразок №1		зразок №2	
	до МГО	після МГО	до МГО	після МГО
1	816	868	826	871
2	811	847	855	842
3	820	854	881	864
4	812	843	839	845
5	819	824	834	840
6	841	863	855	848
7	822	853	839	879
8	827	850	821	863
9	843	836	817	870
10	865	926	840	847
Середнє значення	827,5	856,4	840,7	856,9
%	100	103,5	100	101,9

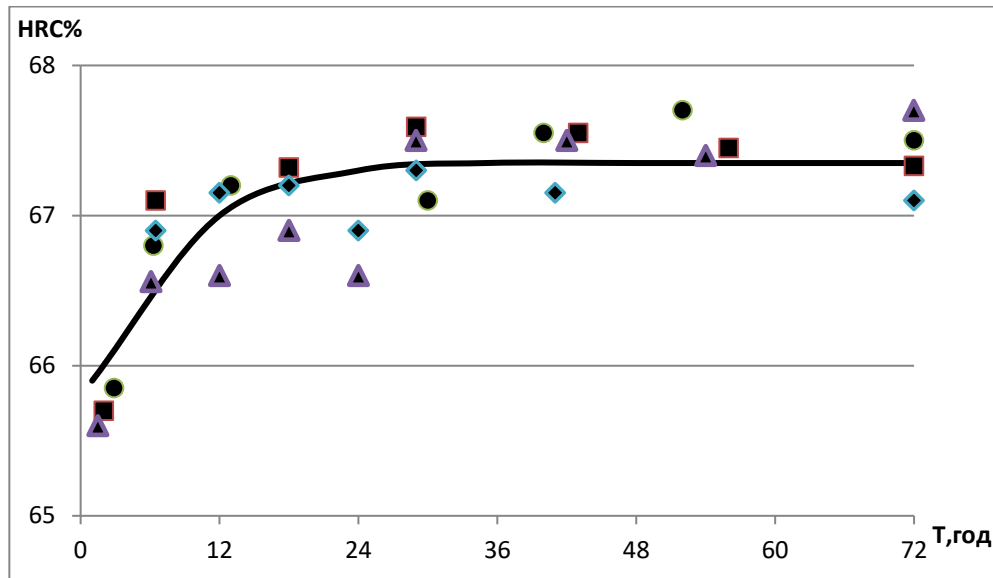
З таблиці 3.8 випливає, що спостерігається зменшення розкиду значень твердості по довжині кожного зразка. Це свідчить про більш однорідну структуру магнітнообробленої швидкорізальної сталі.

Таблиця 3.8 – Вплив магнітної обробки на розкид значення твердості по довжині зразків зі сталі Р6М5

№ зразка	ΔHRC		діагоналі відбитка (ΔHV), мм	
	до МГО	після МГО	до МГО	після МГО
1	1,6	0,8	-	-
2	1,7	1,0	-	-
3	2,1	1,0	-	-
4	-	-	0,08	0,04
5	-	-	0,09	0,07
6	-	-	0,08	0,05
7	-	-	0,11	0,08
Середнє значення	1,8	0,8	0,09	0,06

Представляють практичний інтерес дослідження з вивчення впливу частоти проходження імпульсів магнітного поля на зміну властивостей інструментального матеріалу.

На рисунку 3.9 показано вплив частоти імпульсів на зміну твердості швидкорізальної сталі. З рисунку 3.9 випливає, що варіювання частоти імпульсів не впливає на зміну твердості досліджуваної швидкорізальної сталі.

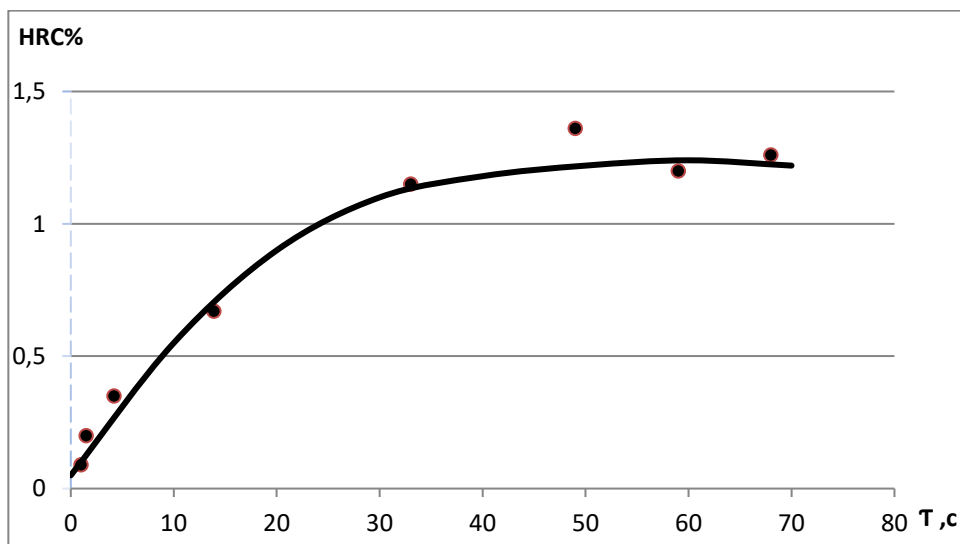


Частота імпульсів: $\blacklozenge$ -2Гц; $\blacktriangle$ -4Гц; $\blacksquare$ - 5Гц; $\bullet$ -7Гц
 Напруженість поля $H=1,2 \cdot 10^5 A/$
 . Час обробки $\tau = 60 c$

Рисунок 3.9 – Залежність твердості сталі Р6М5К5 від часу старіння після магнітної обробки

У зв'язку з встановленим фактом все наступні досліді проводилися з частотою проходження імпульсів 5 Гц, так як на цих режимах установка ОІМП-РК1 працює найбільш стійко.

Час витримки інструменту в процесі магнітної обробки є важливим елементом режиму магнітної обробки. Досліді показали, що для сталі Р6М5 достатньо часу впливу магнітного поля протягом 60 с., щоб досягти найбільшого збільшення твердості матеріалу (рис. 3.10).

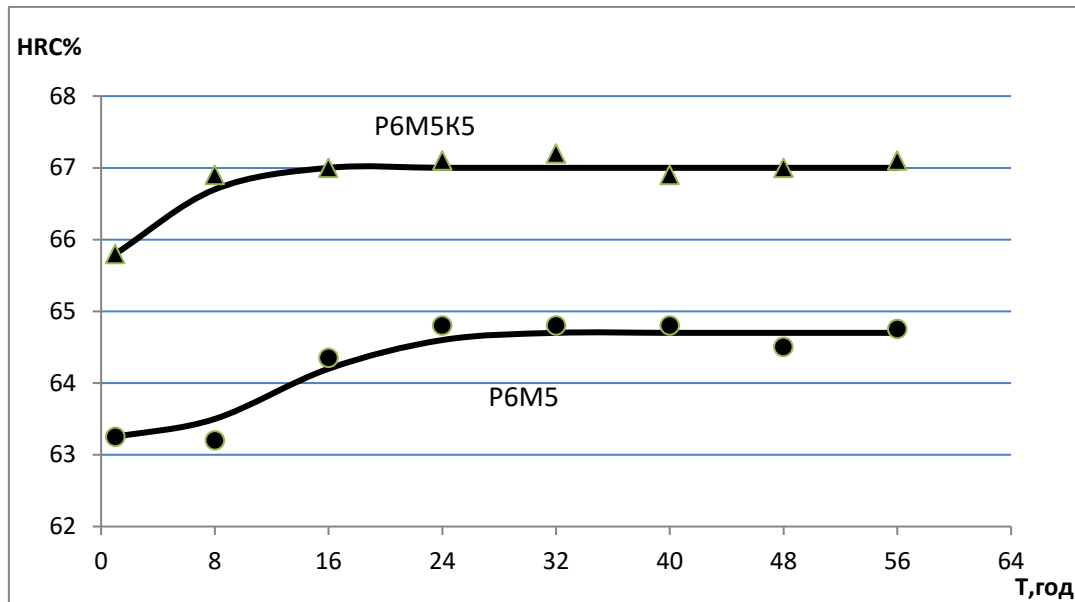


Режим обробки: $H=1,2 \cdot 10^5 A/м$; $f=5 Гц$

Рисунок 3.10 – Залежність зміни твердості швидкорізальної сталі Р6М5 від тривалості магнітної обробки

Динаміка старіння зразків зі швидкорізальної сталі вивчалася на сталях Р6М5 і Р6М5К5. Закінченням часу старіння вважалося такий час, після закінчення якого припинялася зміна твердості зразків.

Дані про вплив часу старіння зразків після магнітної обробки наведені на рисунку 3.11. Ці дані показують, що зростання твердості зразків зі сталі марки Р6М5 починається після 6-ти годин після обробки і через 24 години після цієї операції досягає максимальних значень.



Режим обробки: для сталі Р6М5 – $H=1,2 \cdot 10^5 \text{ А/м}$; $\tau=60 \text{ с}$; $f=5 \text{ Гц}$
 для сталі Р6М5К5 – $H=1,2 \cdot 10^5 \text{ А/м}$; $\tau=65 \text{ с}$; $f=5 \text{ Гц}$

Рисунок 3.11– Залежність твердості швидкорізальної сталі від часу старіння після магнітної обробки

Стабілізація твердості у сталі Р6М5К5 сталася через 36 годин.

На підставі наведених досліджень магнітна обробка мітчиків зі сталі Р6М5 проводилася на наступних режимах:

- | | |
|------------------------------|--------------------------------------|
| напруженість магнітного поля | - $H = 1,2 \cdot 10^5 \text{ А/м}$; |
| частота імпульсів | - $f = 5,0 \text{ Гц}$; |
| час магнітної обробки | - $\tau = 60 \text{ с}$; |
| час витримки після МГО | - $T = 24 \text{ години}$. |

На даному етапі роботи паралельно з дослідями по зміні твердості інструментальної сталі, після впливу на неї оптимального магнітного поля, досліджувався також вплив магнітної обробки інструменту на основні характеристики процесу різьбонарізання.

Після магнітної обробки мітчика зі сталі Р6М5 спостерігається збільшення довжини шляху різання L , періоду стійкості T і зниження відносного зносу h_{03} у всьому дослідженому діапазоні швидкостей різання. При цьому швидкість різання дуже впливає на ефективність магнітної обробки інструменту.

Це, на наш погляд, викликано підвищенням теплостійкості швидкорізальних сталей після магнітної обробки, що раніше було встановлено в роботах [8, 13, 52, 56].

На рисунку 3.12 показано вплив швидкості різання на коефіцієнт зміни шляху різання K_L після магнітної обробки мітчиком:

$$K_L = \frac{L_m}{L}, \quad (3.28)$$

де L_m – довжина шляху різання для інструменту після магнітної обробки, м.;

L – довжина шляху різання для інструменту в початковому стані, м.

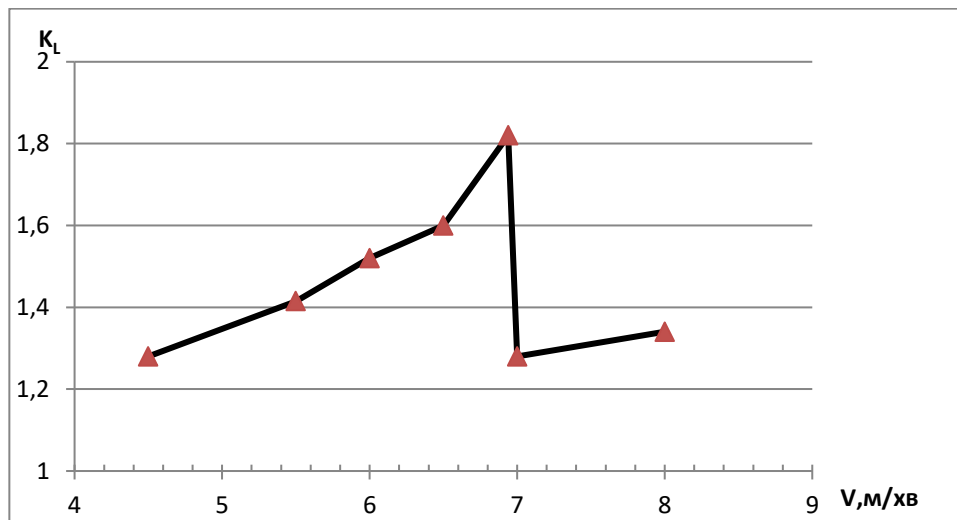


Рисунок 3.12 – Залежність швидкості різання на коефіцієнт зміни довжини шляху різання при обробці сталі 1X18H9T мітчиком Р6М5 після магнітної обробки

Зі збільшенням швидкості різання від 4,82 до 8 м/хв коефіцієнт K_L змінюється в інтервалі від 1,3 до 1,8 і має максимальне значення при оптимальній швидкості різання $V_0 = 6,7$ м/хв.

Таким чином, імпульсна магнітна обробка інструменту забезпечує найбільше збільшення довжини шляху різання, а отже і числа оброблених деталей при оптимальній швидкості різання V_0 .

С теоретичної і практичної точок зору найбільший інтерес для поліпшення фізико-механічних властивостей інструменту представляє гаряча твердість швидкорізальної сталі, тобто твердість при температурах, що виникають в процесі різання. Гаряча твердість швидкорізальної сталі зумовлює здатність інструменту зберігати формостійкість ріжучого клина в умовах процесу різання.

Дослідження показали, що в області температур 525-650° для сталі Р6М5 гаряча твердість у магнітнообробленої сталі вище, ніж в початковому

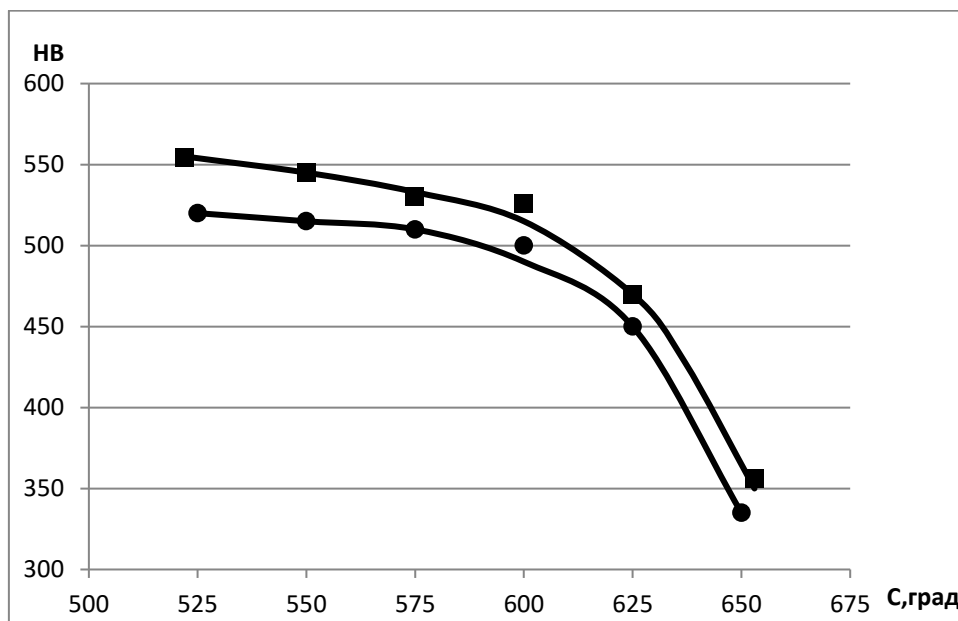
стані (рис. 3.13). Це ще раз підтверджує, що в підвищенні стійкості інструменту в результаті імпульсної магнітної обробки основну роль грає поліпшення експлуатаційних властивостей інструментального матеріалу.

Для вивчення впливу розміру оброблюваного інструменту на напруженість магнітного поля були проведені спеціальні досліді (рис. 3.14). Встановлено, що зі збільшенням розмірів інструменту зростає і значення напруженості магнітного поля, в якому його треба обробляти.

Залежність оптимальної напруженості поля від площі поперечного перерізу інструменту для сталі марки Р6М5 має такий вигляд:

$$H_0 = 1,425 \cdot S + 1400, \quad (3.29)$$

де S – площа поперечного перерізу інструменту в мм^2 .



● – початковий стан; ■ – після МГО

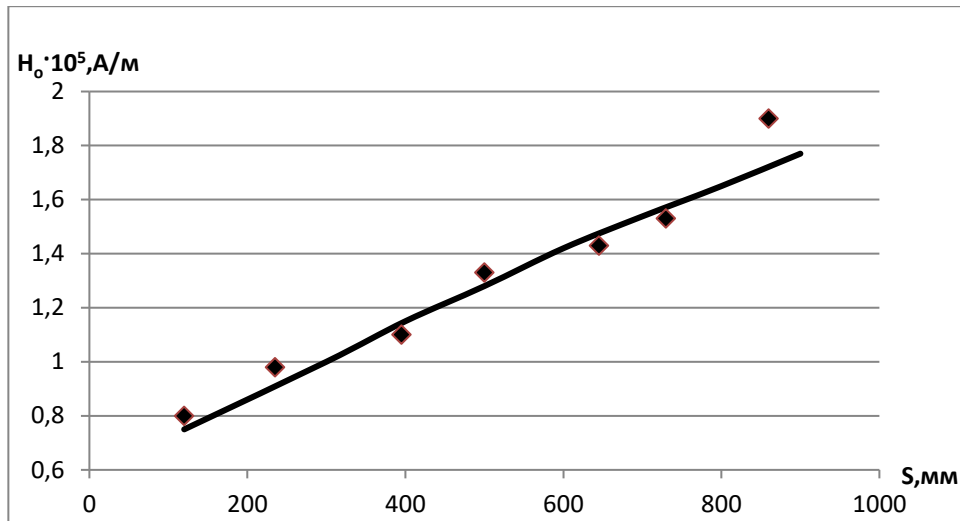
Рисунок 3.13 – Залежність твердості сталі Р6М5 від температури нагріву

В роботі [13] показано, що стійкість магнітнообробленого інструменту підвищується не за рахунок поліпшення якості термічної обробки інструменту, а за рахунок поліпшення комплексу фізико-механічних властивостей інструментального матеріалу.

Для проведення серії експериментів з дослідження даного питання були відібрані різці зі сталі марки Р6М5К5, які мали однакову твердість HRC 66, причому одна партія цих різців мала цю твердість вже в початковому стані, а інша придбала її в результаті магнітної обробки.

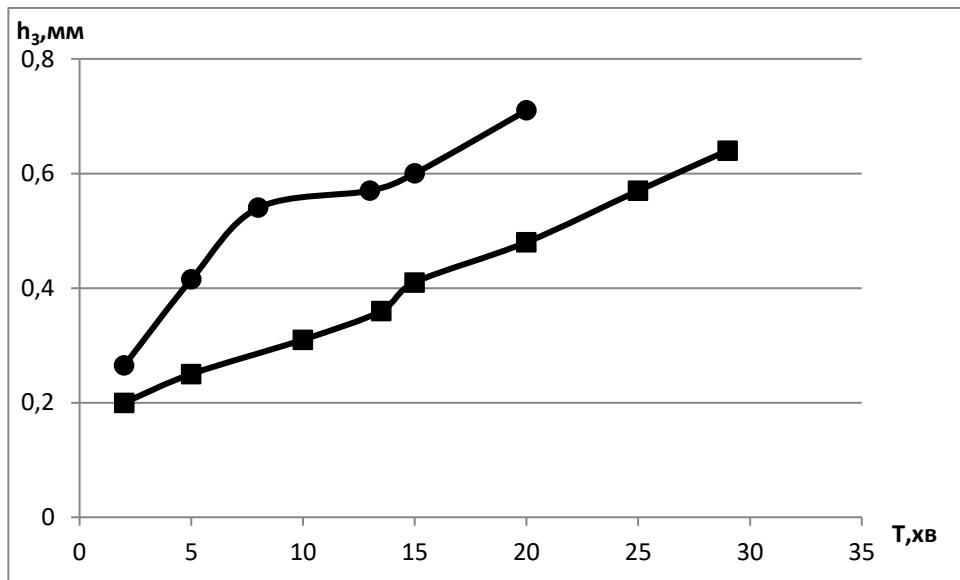
На рисунку 3.15 представлені результати досліджень. З рисунку 3.15 випливає, що, незважаючи на однакову холодну твердість, інструмент, що

піддавався впливу магнітного поля, має стійкість майже в 2 рази вище в порівнянні з інструментом в початковому стані.



Режим обробки: $\tau = 60 \text{ с}$; $f = 5 \text{ Гц}$

Рисунок 3.14 – Залежність оптимальної напруженості поля H_0 від площі поперечного перерізу інструменту Р6М5



Режим різання: $V = 28 \text{ м/хв}$; $S = 0,29 \text{ мм/об}$; $t = 1,0 \text{ мм}$

● — без МГО-НРС 66

■ — після МГО-НРС 66

Рисунок 3.15 – Вплив часу обробки на знос інструменту Р6М5К5 при обробці сталі 12Х18Н10

Звідси можна зробити важливий висновок про те, що підвищення стійкості інструменту відбувається не за рахунок недоліків термічної обро-

бки, що виражається в підвищенні холодної твердості, а за рахунок поліпшення властивостей інструментального матеріалу і в першу чергу таких експлуатаційних властивостей як твердість і теплостійкість.

3.4 Особливості контактних процесів і характеристики різання інструментами, обробленими методом ОІМП

Важливу роль для дослідження зносу інструменту і характеристик різання має вивчення питання про контактні явища на поверхнях інструменту.

Зовнішнє тертя є одним з головних елементів процесу різання і в значній мірі визначає продуктивність, стійкість інструменту і якість обробленої поверхні, а, отже, довговічність і працездатність деталей, отриманих обробкою різанням.

Вивчення контактних явищ на передній і задній поверхнях інструменту обробленого в імпульсному магнітному полі і факторів, від яких вони залежать, грають важливу роль для встановлення закономірностей зміни характеристик процесу різання і зносу інструменту.

Експериментальне визначення елементів механіки процесу різання досліджуваних матеріалів 12X18H10T і 20X13 проводилося на тих же заготовках, які були використані раніше для стійкостних випробувань.

Для визначення коефіцієнтів тертя і питомих контактних навантажень по задній і передній поверхнях інструменту необхідно визначити сили, що діють по гранях інструменту.

З відомих методів визначення зусиль на поверхнях інструменту був обраний метод порівняння сил різання при різних величинах зносу задньої поверхні інструмента [35].

В застосовуваний метод визначення сил по гранях різця були внесені деякі зміни, докладно ці зміни розглянуті в роботі проф. А.Д.Макарова [60].

У дослідженнях застосовувалися різці із загостреною вершиною ($R < 0,20$ мм) і ширина фаски зносу по задній поверхні змінювалася лише вздовж головної різальної кромки. Ці зміни в методиці дозволяють уточнити схему сил діючих на різець, що є особливо важливим при дослідженні питань механіки чистового точіння.

Якщо всі умови різання залишаються постійними, а збільшується тільки ширина фаски зносу по задній поверхні, то процес стружкоутворення зазвичай не змінюється. Але завдяки збільшенню площі контакту інструменту з оброблюваним матеріалом, сила, що діє на задню поверхню, зростає, відповідно зростає і сила різання.

Отже, спостережуване при цьому прирощення сили різання повинно бути віднесено за рахунок збільшення сили, що діє по задній поверхні.

Грунтуючись на положенні, що приблизно пропорційна залежність між шириною h_3 фаски зносу Δh_3 і силами P_x , P_y , P_z дотримується при обробці деталей з різних матеріалів, можна, знаючи приращення зносу Δh_3 , визначити і самі сили, що діють на задній поверхні при певній величині фаски зносу h_3 .

Це визначається на графіку залежності впливу ширини фаски зносу по задній поверхні на проекції сил різання при точінні (рис. 3.16).

Приращення сил різання при даної величині h_3 будуть силами, що діють на задній поверхні різця (P_x' , P_y' , P_z'). З цього ж графіка знаходимо сили, що діють на передню поверхню інструменту (P_x'' , P_y'' , P_z'').

Рівнодіючі горизонтальних складових сили різання при невірному різанні, враховуються як сили:

$$P_{xy} = \sqrt{P_x^2 + P_y^2}; \quad P_x' = \sqrt{(P_x')^2 + (P_y')^2} \quad \text{и} \quad P_{xy}'' = \sqrt{(P_x'')^2 + (P_y'')^2} \quad (3.30)$$

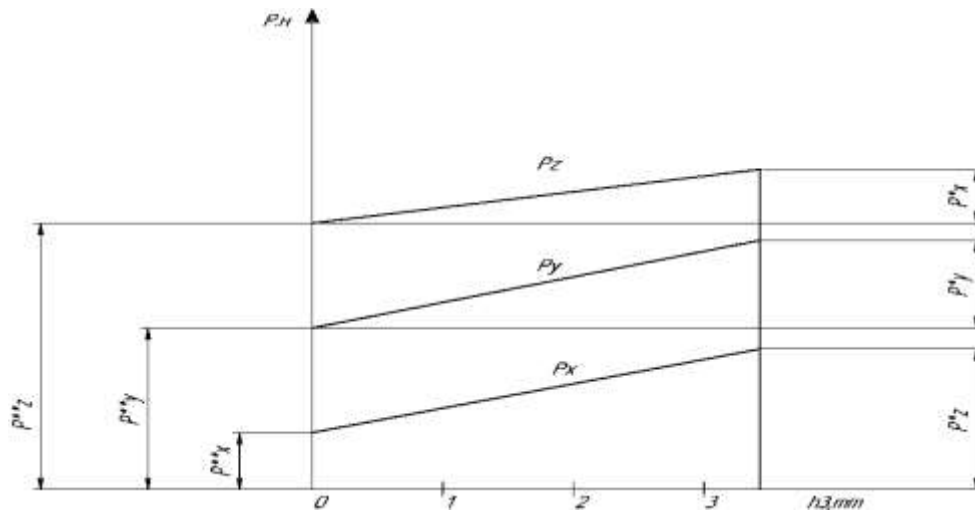


Рисунок 3.16 – Вплив ширини фаски зносу по задній поверхні на проекції сил різання при точінні

Коефіцієнт тертя по задній поверхні може бути виражений через відношення контактних напружень в зоні різання

$$M' = \frac{qK'}{qN'}, \quad (3.31)$$

де $qN' = \frac{P_{xy}'}{f_3}$ – нормальна напруга на задню поверхню;

$qK' = \frac{P_z'}{f_z}$ – дотичне напруження на задню поверхню.

Площина f_3 пропорційна ширині фаски зносу h_3 і може бути визначена як добуток сумарної довжини робочих ділянок ріжучих кромek на ширину фаски зносу задньої поверхні:

$$f_3 = h_3 \cdot \left(\frac{t}{\sin \Phi} + 2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\Phi}{2} + S \right) \quad (3.32)$$

Середній коефіцієнт тертя стружки з передній поверхні при невільному різанні:

$$M = \frac{P_{xy}'' + P_z'' \cdot \operatorname{tg} j}{P_z'' - P_{xy}'' \cdot \operatorname{tg} j} \quad (3.33)$$

Середній тиск напруги на передній поверхні:

$$qN = \frac{P_z'' \cdot \cos j - P_{xy}'' \cdot \sin j}{c \cdot b}, \quad (3.34)$$

де $c \cdot b$ - площа контакту стружки з передньою поверхнею різця.

Середнє дотичне напруження на передній поверхні

$$qF = M \cdot qN \quad (3.35)$$

Питома сила стружко утворення

$$Q_c = \frac{P_z}{t \cdot S} \quad (3.36)$$

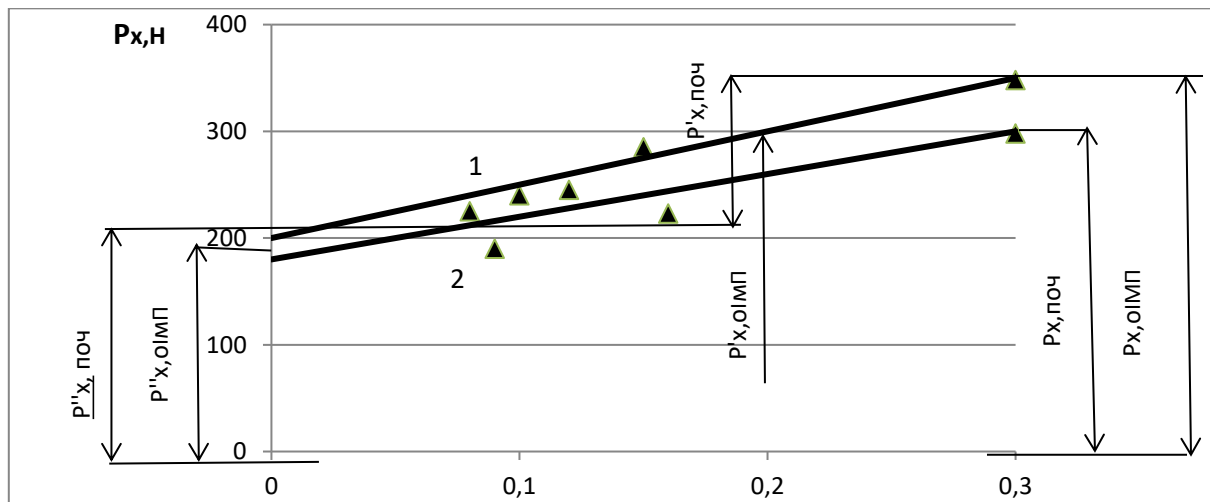
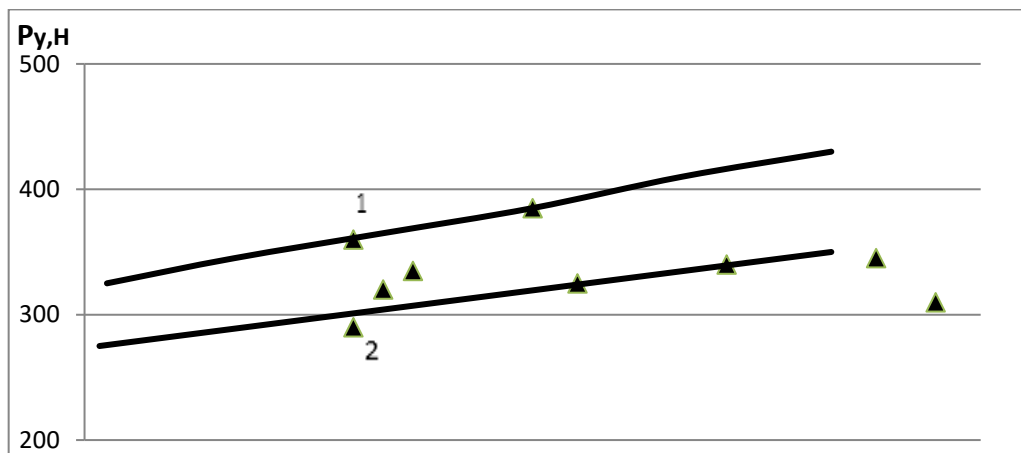
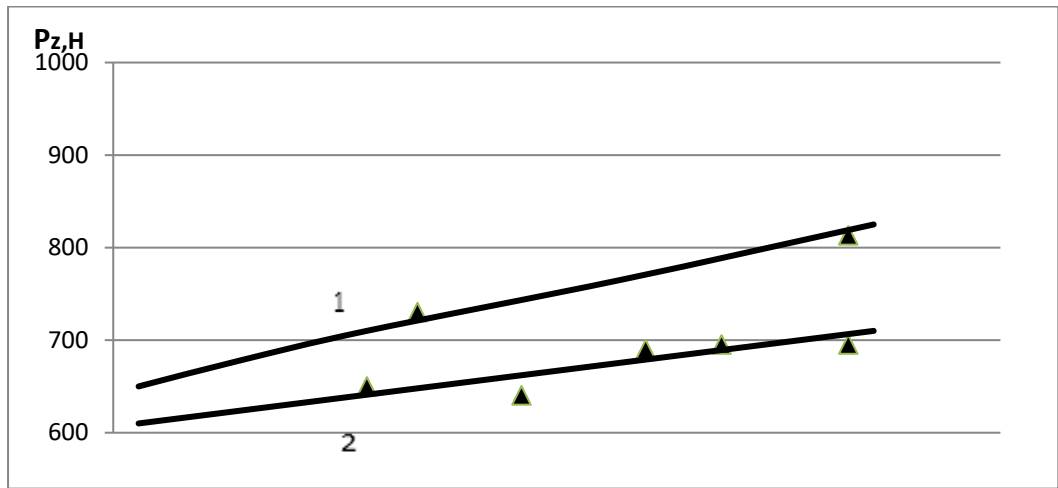
При проведенні експериментів для визначення сил різання застосовувався динамометр марки УДМ-600. Знос інструменту і пляма контакту стружки по передній поверхні вимірювався за допомогою мікроскопів МІР-2 и БМІ-1.

На рисунку 3.17 представлена залежність впливу ширини фаски зносу по задній поверхні на проекції сил різання при точінні різцем Р6М5 сталі марки 20Х13.

Нижче наведено розрахунок елементів механіки стружкоутворення за експериментальними даними.

$$P_{xy}'_{поч} = \sqrt{(P_x')^2 + (P_y')^2} = \sqrt{100^2 + 120^2} = 156,2 \text{ Н} .$$

$$P_{xy}'_{окм} = 106,1 \text{ Н} .$$



Сталь 20X13. Різець Р6М5. Геометрія: $\alpha = 7^\circ$; $\gamma = 12^\circ$; $\phi = 45^\circ$

Режим різання: $V = 70$ м/хв; $S = 0,195$ мм/об; $t = 1,0$ мм

1- початковий стан; 2- після ОІМП

Рисунок 3.18 – Вплив ширини фаски зносу по задній поверхні на проєкції сил різання при точінні

$$f_3 = h_3 \cdot \left(\frac{t}{\sin \Phi} + 2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\Phi}{2} + S \right) = 0,3 \cdot \left(\frac{1,0}{\sin 45^\circ} + 0,3 \cdot \operatorname{tg} \frac{45}{2} + 0,195 \right) = 0,3 \cdot 1,733 = 0,52 \text{ мм}^2$$

$$\begin{aligned}
q' N_{пoch} &= \frac{P_{xy\,пoch}}{f_3} = \frac{156,2}{0,52} = 0,30 \, H / M^2 \\
q' N_{олмн} &= 0,204 \, H / M^2 \\
qF_{пoch} &= \frac{P'_{z\,пoch}}{f_3} = \frac{180}{0,52} = 0,346 \, H / M^2 \\
q' F_{олмн} &= 0,212 \, H / M^2 \\
M'_{пoch} &= \frac{q' F_{пoch}}{q' N_{пoch}} = \frac{0,346}{0,30} = 11,53 \\
M'_{олмн} &= 10,32 \\
M_{пoch} &= \frac{P_{xy\,пoch}'' + P_{z\,пoch}'' \cdot tgj}{P_{z\,пoch}'' - P_{xy\,пoch}'' \cdot tgj} = \frac{394 + 650 \cdot tg 12^\circ}{650 - 394 \cdot tg 12^\circ} = 0,93 \\
M_{олмн} &= 0,91 \\
qN_{пoch} &= \frac{P_{z\,пoch}'' \cdot \cos j - P_{xy\,пoch}'' \cdot \sin j}{c_{пoch} \cdot b_{пoch}} = \frac{650 \cdot \cos 12^\circ - 394 \cdot \sin 12^\circ}{1,68} = 0,330 \, H / M^2 \\
qN_{олмн} &= 0,299 \, H / M^2 \\
qF_{пoch} &= M_{пoch} \cdot qN_{пoch} = 0,93 \cdot 0,330 = 0,307 \, H / M^2 \\
qF_{олмн} &= 0,278 \, H / M^2 \\
Qc_{пoch} &= \frac{P_{пoch}''}{t \cdot S} = \frac{650}{1,0 \cdot 0,195} = 3,333 \, H / M^2 \\
Qc_{олмн} &= 3,077 \, H / M^2
\end{aligned}$$

Результати експериментів по дослідженню впливу магнітної обробки на механіку процесу стружкоутворення при точінні різцем Р6М5 сталі 20Х13 при різних режимах наведені в таблицях 3.9 і 3.10.

Узагальнюючи короткий огляд результатів експериментів по дослідженню впливу імпульсної магнітної обробки на механіку процесу стружкоутворення можна відзначити наступне.

1. Практично всі елементи механіки стружкоутворення при різанні магнітнообробленим інструментом мають значення нижче, ніж при роботі того ж інструменту в початковому положенні (рис. 3.18).

2. Існує певний діапазон швидкостей різання, при яких механіка стружкоутворення найбільш сильно відрізняється за своїми значеннями (рис.3.19). Так для сталі 20Х13 це швидкість різання 50 м/хв. Цим можна пояснити факт підвищення ефективності магнітної обробки інструменту зі збільшенням до граничної межі швидкості різання.

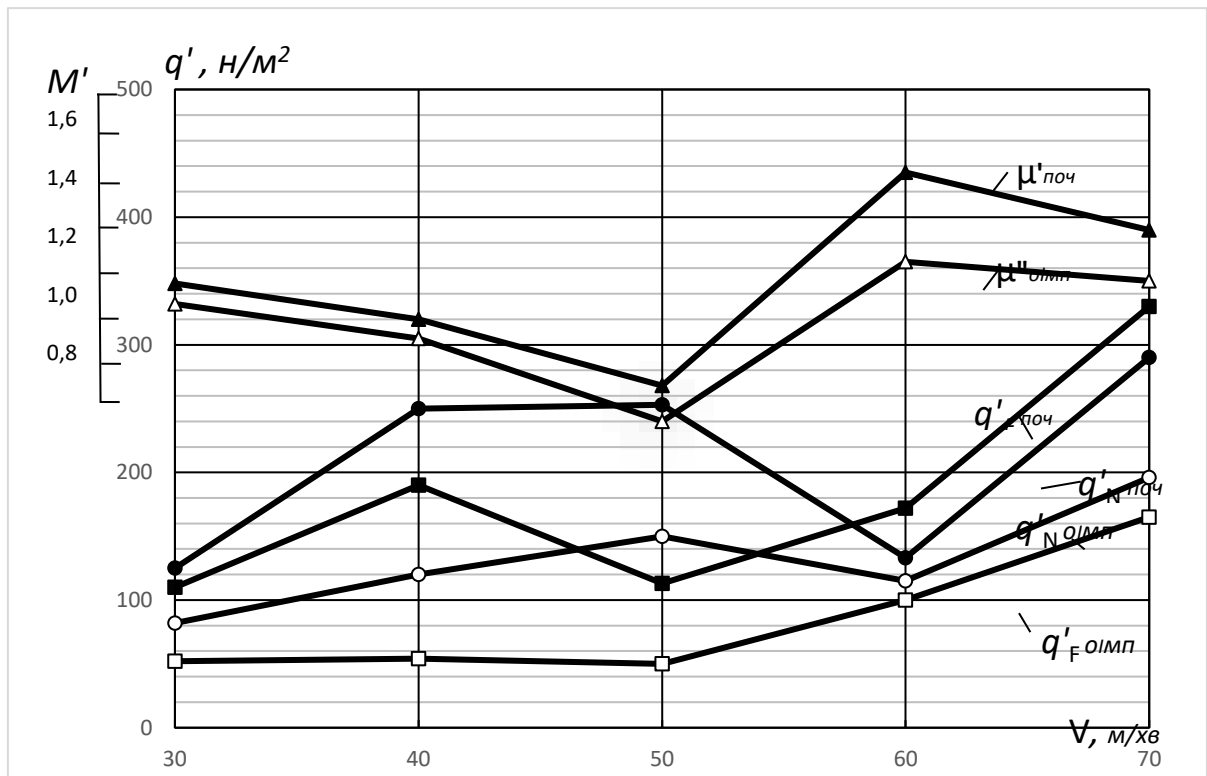
3. Вивчення коефіцієнтів усадки стружки при різанні інструментом в початковому стані і після магнітної обробки (рис. 3.20) показало, що цей показник також нижче у магнітнообробленого інструменту. Це також вказує на поліпшення умов стружкоутворення.

Таблиця 3.9 – Вплив імпульсної магнітної обробки на елементи механіки стружкоутворення по h_3 при точінні сталі 20X13 різцем P6M5

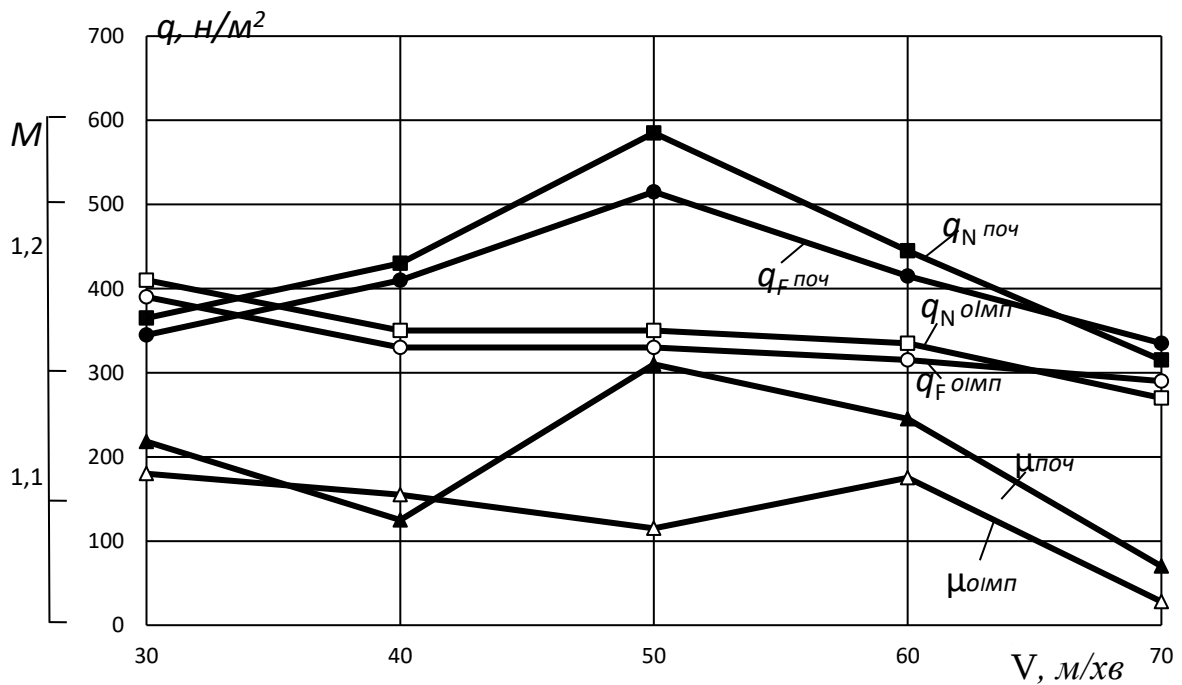
магнітний стан різця	V, м/хв	f_3 , мм	Pz, Н	Py, Н	Px, Н	Pz, Н	Py, Н	Px, Н	Pxy, Н	М	qN, Н/м ²	qF, Н/м ²
			при $h_3 = 0,30$ мм									
20X13												
До ОІМП	30.0	0.52	940	540	400	50	40	60	64.3	9.41	0.123	0.115
Після ОІМП			880	500	360	30	40	40	50.1	8.17	0.960	0.770
До ОІМП	40.0	0.52	920	520	400	100	90	100	135.7	7.45	0.260	0.192
Після ОІМП			820	460	350	40	50	30	58.5	6.94	0.112	0.870
До ОІМП	50.0	0.52	880	500	400	70	110	60	130.8	4.63	0.250	0.163
Після ОІМП			750	440	310	30	80	30	85.4	3.51	0.164	0.580
До ОІМП	60.0	0.52	780	430	330	50	40	40	64.2	14.13	0.123	0.173
Після ОІМП			720	400	290	40	40	60	57.0	10.56	0.115	0.110
До ОІМП	70,0	0,52	830	440	330	180	120	100	156,2	11,53	0,300	0,346
Після ОІМП			710	360	280	110	80	70	106,1	10,32	0,204	0,212

Таблиця 3.10 – Вплив імпульсної магнітної обробки на елементи механіки стружкоутворення по h_3 при точінні сталі 20X13 різцем P6M5

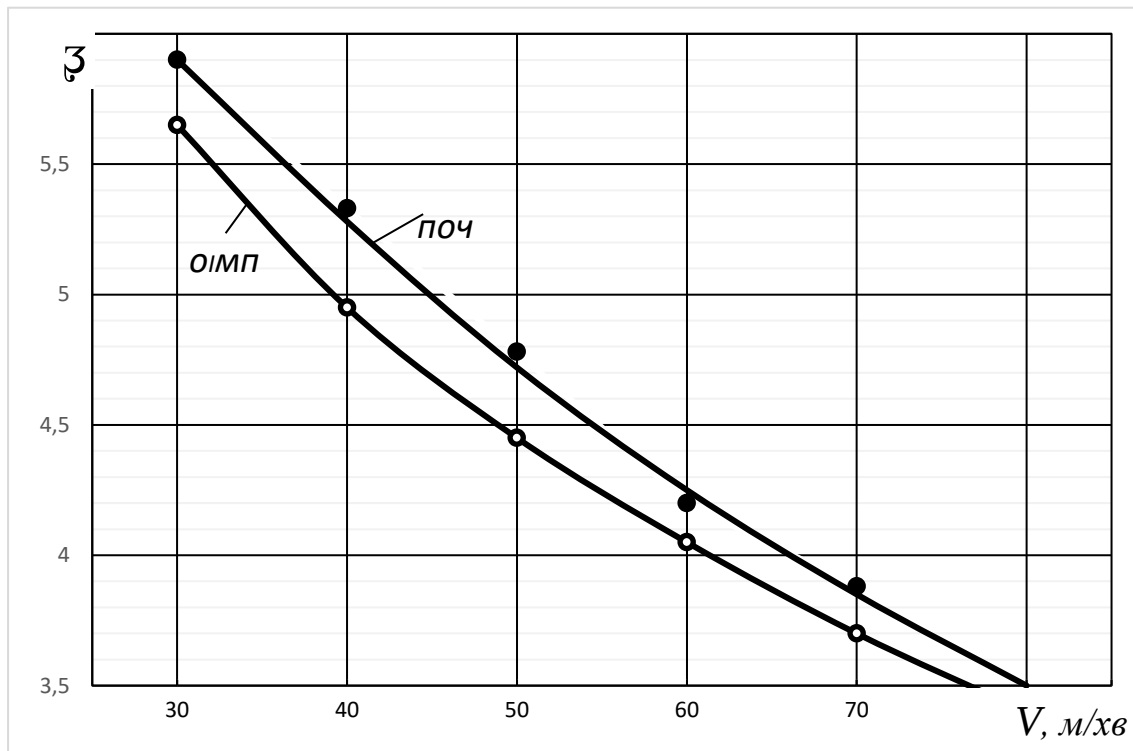
магнітний стан різця	V, м/хв	fN, мм ²	Pz, кгс	Py, кгс	Px, кгс	Pxy, кгс	M	qN, Н/м ²	qF, Н/м ²	Qc, Н/м ²
20X13										
До ОІМП	30.0	1.97	880	500	610	610.4	1.06	0.373	0.375	4.513
Після ОІМП		1.77	840	460	330	556.1	1.03	0.397	0.410	4.300
До ОІМП	40.0	1.67	820	430	300	524.7	0.99	0.415	0.411	4.207
Після ОІМП		1.90	780	410	320	520.0	1.02	0.345	0.353	4.012
До ОІМП	50.0	1.74	820	390	330	511.3	1.11	0.523	0.581	4.205
Після ОІМП		1.71	720	440	280	450.0	0.98	0.356	0.349	3.692
До ОІМП	60.0	1.39	690	390	280	480.8	1.07	0.414	0.443	3.538
Після ОІМП		1.71	660	360	280	438.2	1.02	0.324	0.331	3.333
До ОІМП	70.0	1.68	650	320	230	394.0	0.93	0.330	0.307	3.333
Після ОІМП		1.72	600	320	210	350.0	0.91	0.299	0.278	3.077



Сталь 20X13. Різець Р6М5. Задня поверхня
Рисунок 3.18 – Вплив імпульсної магнітної обробки інструменту на елементи механіки стружкоутворення при різних швидкостях різання



Сталь 20X13. Різець Р6М5. Передня поверхня
Рисунок 3.19 – Вплив імпульсної магнітної обробки інструменту на елементи механіки стружкоутворення при різних швидкостях різання



Сталь 20Х13. Різець Р6М5

Рисунок 3.20 – Вплив імпульсної магнітної обробки інструменту на коефіцієнт усадки стружки при різних швидкостях різання

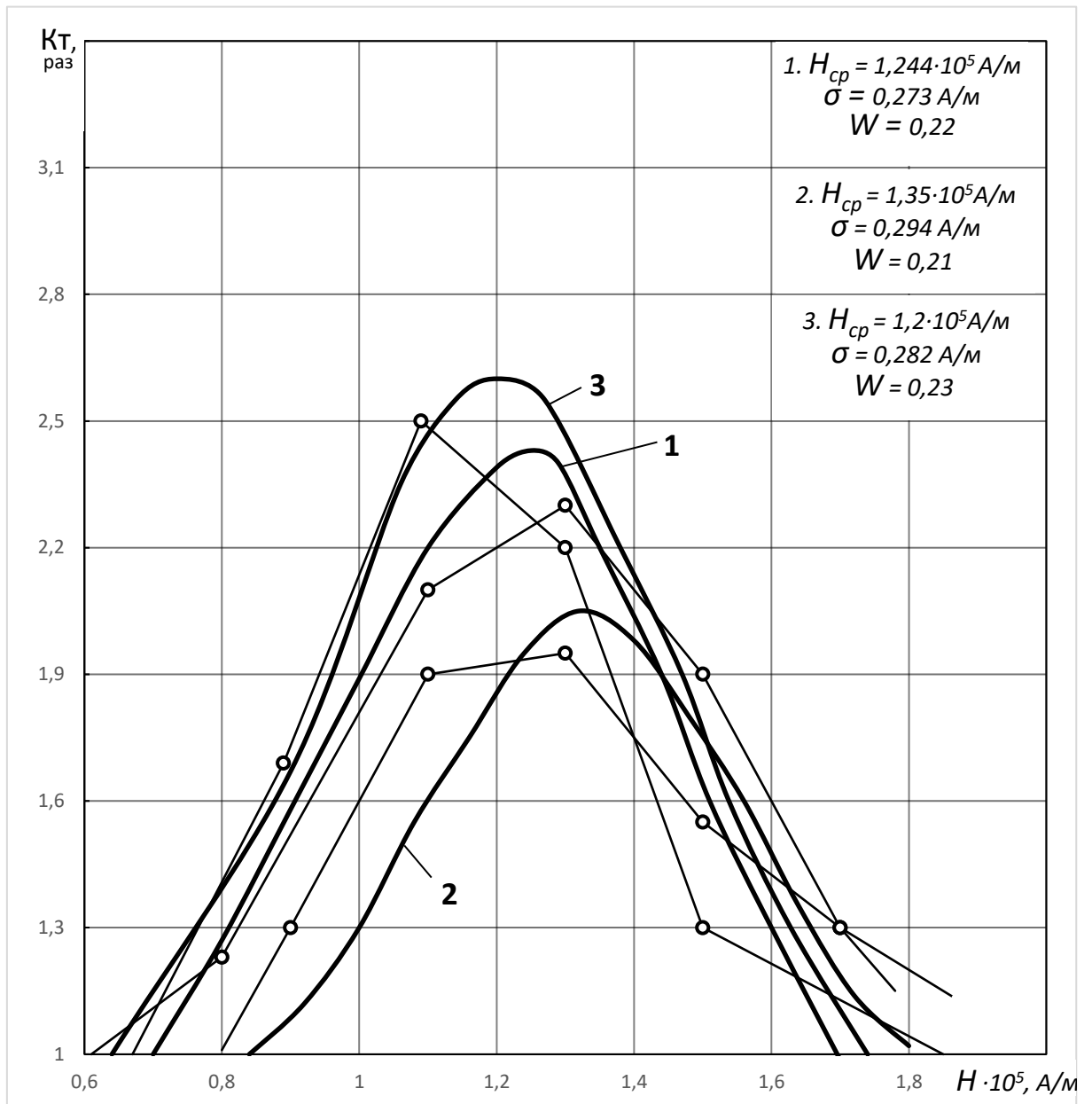
3.5 Дослідження впливу режимів ОІМП на стійкість розмірного інструменту

Як показали попередні експерименти, позитивний прояв ефекту імпульсної магнітної обробки буває далеко не однаковим.

Виявилося, що ефективність обробки залежить від її режиму, що визначається напруженістю магнітного поля (рис.3.4). Тому великий науковий і практичний інтерес представляє дослідження впливу режимів ОІМП на стійкість інструменту.

Ці дослідження показали, що існує певний інтервал значень напруженості поля, магнітна обробка в якому покращує експлуатаційні властивості досліджуваного інструменту. Поза цим інтервалом ефективність магнітної обробки знижується (рис.3.21).

Спостерігалися навіть випадки, коли після обробки відносно потужним імпульсним полем з крутим фронтом імпульсу стійкість була нижче вихідної, а його знос мав характерні ознаки крихкого сколювання. Подальше збільшення напруженості поля приводило до викришування інструменту в процесі різання.



1 – свердління; 2 – точіння; 3 – різьбонарізання
Рисунок 3.21 – Залежність коефіцієнта підвищення стійкості від напруженості магнітного поля

Цікаво відзначити, що зі збільшенням напруженості магнітного поля від 0 до $1,2 \cdot 10^5$ А/м стійкість швидкоріжучого інструменту при різних видах операцій змінюється монотонно. Найбільше підвищення K_T спостерігається при певній напруженості магнітного поля, яка залежить від марки швидко-різальної сталі.

Для сталі Р18 – $1,0 \cdot 10^5$ А/м, Р6М5 – $1,2 \cdot 10^5$ А/м і для сталі Р9К5 – $0,7 \cdot 10^5$ А/м.

Результати виробничих випробувань представлені в таблиці 3.11.

Таблиця 3.11– Результати виробничих випробувань

Інструмент	Оброблю- ваний мате- ріал	Режим різання		Кількість отворів		Коефіцієнт підвищення стійкості
		V, м/хв	S, мм/об	до ОІМП	після ОІМП	
Свердло Ø 6,3 Р6М5	ЭИ698ВД	6,9	0,2	64	128	2,0
				41	62	1,5
				53	95	1,8
				47	80	1,7
Мітчик М12 Р6М5	Сталь 45	ручний	-	31	100	3,2
Мітчик М8 Р6М5	20Х13	ручний	-	22	55	2,5

З таблиці 3.11 випливає, що в залежності від умов обробки стійкість інструменту підвищується після магнітної обробки в оптимальному діапазоні в 1,5 - 3,2 рази в порівнянні з вихідною.

3.6 Дослідження впливу операцій переточки на стійкість інструменту, обробленого методом ОІМП

Великий науковий і практичний інтерес представляє дослідження впливу фактора переточки інструменту після одноразової магнітної обробки на його стійкість.

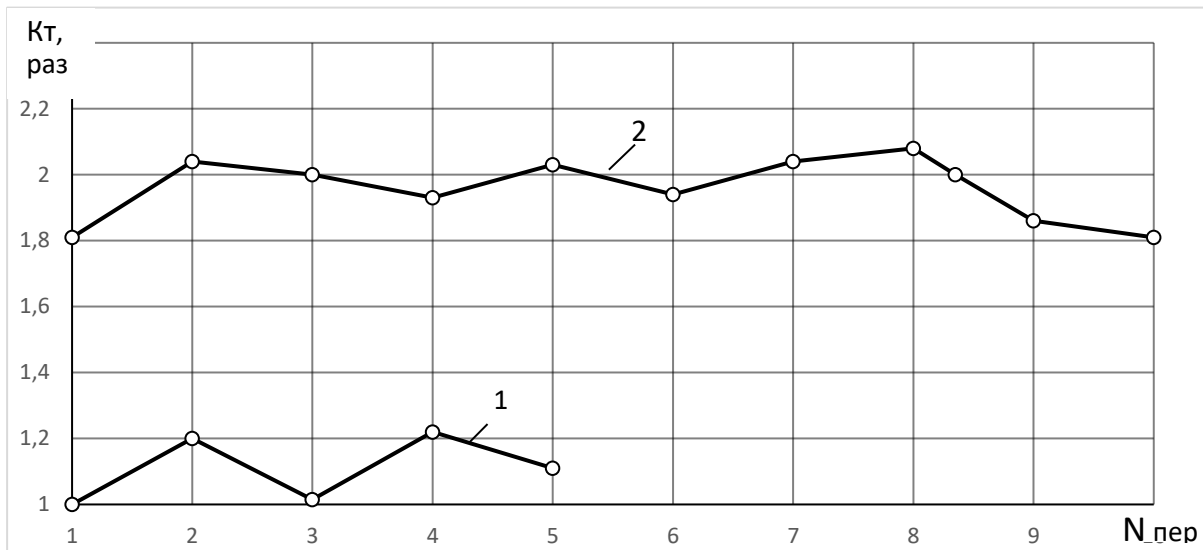
Дослідження проводилися під час свердління сталі марки 12Х18Н10Т інструментом зі сталі марки Р6М5. На початку відібрана партія свердел багаторазово доводилася до величини критичного затуплення в початковому стані. Потім проводилася магнітна обробка в оптимальних режимах, і після цього інструмент доводився до затуплення і переточувався десятикратно.

Результати досліджень наведені на рисунку 3.22, з яких випливає, що не мартенситне перетворення у вторинне загартованому поверхневому шарі, що утворився в результаті заточування, є основною причиною поліпшення експлуатаційних властивостей інструменту.

При високій технологічній культурі заточувальних операцій навіть 10 переточувань одноразово обробленого інструменту не призводить до зникнення ефекту.

Слід зазначити, що у всіх дослідах операція заточення виконувалася з охолодженням.

Якщо ж операція заточення здійснювалася в суху, то ефективність магнітної обробки знижується після 3-х, 4-х переточувань на 10-15%, а іноді і більш. У цих випадках, очевидно, відбувається знеміцнення інструментального матеріалу внаслідок високих температур що виникають при заточуванні.



Сталь 12Х18Н10Т. Свердло Р6М5

Режим різання: $V = 6,3$ м/хв; $S = 0,1$ мм/об

Напруженість магнітного поля – $H = 1,2 \cdot 10^5$ А/м

Охолодження при переточуванні – 3% р-н кальцинованої соди у воді

Спосіб заточування – глибоке шліфування

1 – до ОІМП; 2 – після ОІМП

Рисунок 3.22 – Вплив операцій переточки на стійкість магнітнообробленого інструменту

Але навіть в цих умовах можна говорити про перевагу запропонованого способу підвищення стійкості в порівнянні з видами впливу на інструмент, які забезпечують лише одноразовий ефект, що знімається в результаті першої ж заточки.

Крім цього, практична відсутність зниження стійкості при виконанні операції заточування на високому технічному рівні, уявлення про магнітострикційне твердіння як об'ємному зміцненні інструментального матеріалу [78, 88] дозволяє стверджувати, що головним результатом магнітної обробки є поліпшення властивостей швидкорізальної сталі за рахунок тих структурних змін, які відбуваються в ній під дією магнітного поля.

Тому в подальших дослідженнях використовувався інструмент, що піддається тільки одноразового ОІМП.

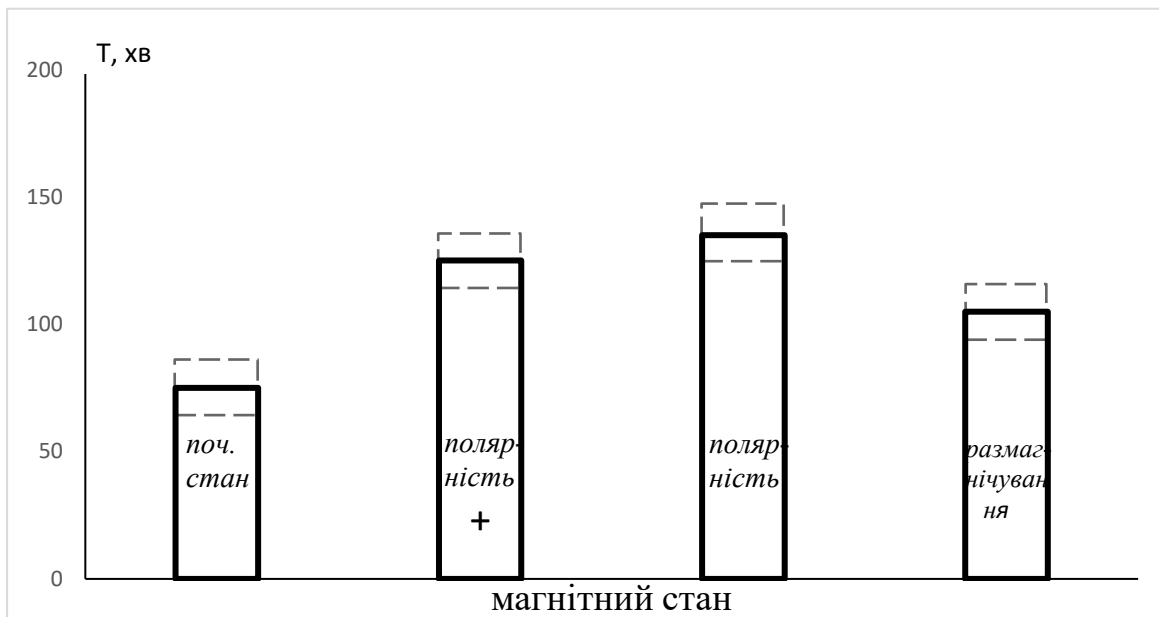
3.7 Дослідження впливу магнітного стану інструменту на його стійкість

У ряді робіт, присвячених впливу магнітного стану інструменту на його стійкість [11, 13, 67, 86, 88, 91], особливе місце серед причин підвищення стійкості магнітнообробленого інструменту відводиться впливу магнітного стану та полярності робочої частини інструменту.

В інших роботах [5, 6, 24, 48, 75, 88] заперечується будь-який вплив цих факторів. Тому для визначення впливу магнітного стану інструменту на його стійкість були виконані спеціальні дослідження, пов'язані з обробкою матеріалів з різними магнітними властивостями.

З цієї метою були обрані сталі марок 12X18H10T і 20X13. Стійкостні випробування проводилися в наступній послідовності. Спочатку випробувалися свердла, що мають по черзі на робочій частині північну і південну полярність, потім цей же інструмент використовувався після операції розмагнічування, тобто його залишкова намагніченість була близькою до нуля.

На рисунку 3.23 представлені результати дослідження впливу магнітного стану та полярності інструменту на його стійкість при різанні аустенітної сталі марки 12X18H10T.



Свердло Р6М5

Геометрія: $\alpha = 9^\circ$; $\alpha_1 = 18^\circ$; $2\phi = 125^\circ$; $\psi = 55^\circ$

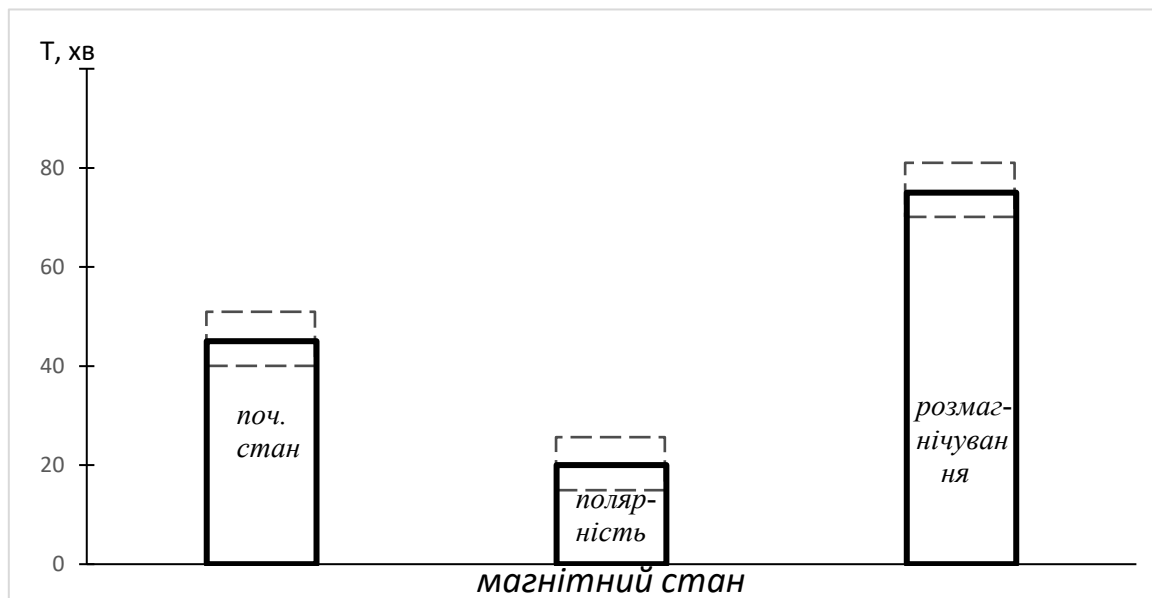
Режим різання: $V = 6,3$ м/хв; $S = 0,1$ мм/об

Напруженість магнітного поля – $H = 1,2 \cdot 10^5$ А/м

Рисунок 3.23 – Вплив магнітного стану та полярності інструменту на його стійкість під час свердління сталі 10X18H9T

З рисунку 3.23 слідує, що стійкість інструменту в будь-якому магнітному стані практично не відрізняється, хоча по відношенню до інструменту в початковому стані вона багато вище.

При різанні мартенситної сталі марки 20X13 встановлено (рис.3.24), що стійкість інструменту, обробленого в оптимальних полях і який має залишкову намагніченість, стає нижче вихідної. Це відбувається внаслідок інтенсивного налипання стружки на інструмент-магніт, через що ускладнюється вихід стружки і, отже, погіршується процес різання.



Свердло Р6М5

Геометрія: $\alpha = 9^\circ$; $\alpha_1 = 18^\circ$; $2\varphi = 125^\circ$; $\psi = 55^\circ$

Режим різання: $V = 12,5$ м/хв; $S = 0,1$ мм/об

Напруженість магнітного поля – $H = 1,2 \cdot 10^5$ А/м

Рисунок 3.24 – Вплив магнітного стану та полярності інструменту на його стійкість під час свердління сталі 20X13

При обробці немагнітної сталі 12X18Н10Т такого впливу не спостерігається. При розмагнічуванні інструменту змінним полем ефективність магнітної обробки на сталі 20X13 відновлюється.

Звідси випливає важливий практичний висновок, що полягає в тому, що для підвищення ефективності магнітнообробленого інструменту, його доцільно розмагнічувати.

Тому в наших подальших експериментах інструмент мав залишкову намагніченість, близьку до нуля.

В таблиці 3.12 наведені дані результатів експериментів по дослідженню впливу магнітного стану інструменту на його стійкість.

Обробка результатів експериментів проводилася в такий спосіб.

Середня стійкість в n повторних випробуваннях:

$$T = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n} \quad (3.37)$$

Дисперсія (емпірична)

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (T_i - P)^2}{n - 1} \quad (3.38)$$

Таблиця 3.12 – Результати дослідження впливу магнітного стану інструменту на його стійкість

Стан інструменту	Стійкість T_i , хв					$\bar{T}$, хв	$(T_i - \bar{T})^2$	S^2	S , хв
	1	2	3	4	5				
Початковий	70	50	90	60	80	70	1000	250,0	15,81
Північна полярність	115	127	146	100	112	120	1214	303,5	17,42
Південна полярність	106	133	121	110	125	119	486	121,5	11,02
Розмагнічений	120	112	110	119	124	117	136	34,0	5,83

Середнє квадратичне відхилення (емпіричне)

$$S = \sqrt{S^2} \quad (3.39)$$

Перевірку однорідності дисперсій проводимо за критерієм Кохрена.

$$G = \frac{S_{i\max}}{\sum S_i} = \frac{303,5}{250 + 303,5 + 121,5 + 34} = 0,43$$

Критичне значення критерію Кохрена на рівні значущості $\alpha=0,05$ при числі ступенів свободи $f_1=n-1$ и $f=m=4$.

$$G_{f_1 f_2 \alpha} = 0,6287$$

Так як $G \leq G_{f_1 f_2 \alpha}$, то дисперсії однорідні.

Для визначення значущості магнітного стану інструменту на його стійкість проведемо порівняння середніх стійкостей, отриманих в дослідках з північною полярністю і з розмагніченим інструментом, різниця між якими найбільша.

Визначаємо критерій Ст'юдента:

$$t = \frac{|\bar{T}_1 - \bar{T}_2|}{\sqrt{n_1 \cdot S_1^2 + n_2 \cdot S_2^2}} \cdot \sqrt{\frac{n_1 \cdot n_2 \cdot (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}} = \frac{120 - 117}{\sqrt{5 \cdot 303,5 + 5 \cdot 34}} \cdot \sqrt{\frac{5 \cdot 5 \cdot (5 + 5 - 2)}{5 + 5}} = 0,073 \cdot 4,47 = 0,33$$

Критичне значення критерія Ст'юдента на рівні значущості $\alpha = 0,05$ при числі ступенів свободи $f = n_1 + n_2 - 2 = 5 + 5 - 2 = 8$.

$$t_{f\alpha} = 2,31$$

Так як $t \leq f$, то розбіжність середніх випадкове, і вплив магнітного стану інструменту на його стійкість незначно.

Всі три магнітних стану інструменту належать одній генеральній сукупності із середнім:

$$T = \frac{\sum T_1}{m} = \frac{120 + 119 + 17}{3} = 118,7 \text{ (хв)}$$

і середнім квадратичним відхиленням

$$S = Z_2 \cdot \bar{S} = 1,577 \cdot 12,37 = 19,51$$

де $Z_2 = 1,577$ при $f = m \cdot n = 3 \cdot 5 = 15$

$$S = \sqrt{\frac{\sum S_1^2}{m}} = \sqrt{\frac{303,5 + 121,5 + 34}{3}} = 12,37 \text{ (хв)}$$

Довірчий інтервал середніх значень стійкості інструменту в початковому стані:

$$\Delta T_{исх} = t_{f\alpha} \cdot \frac{S}{\sqrt{n}} = 2,78 \cdot \frac{15,81}{\sqrt{5}} = 19,66$$

де $t_{f\alpha} = 2,78$ - критичне значення при $\alpha=0,05$ и $f=n-1=4$ /

Довірчий інтервал середніх значень стійкості інструменту після магнітної обробки:

$$T_{оип} = t_{f\alpha} \cdot \frac{S}{\sqrt{n}} = 2,14 \cdot \frac{19,51}{\sqrt{15}} = 10,78$$

Таким чином, середнє значення стійкості інструменту в початковому стані $T_{вих} = 70 \pm 20 = 50-90$ хв, а середня стійкість інструменту після магнітної обробки $T_{оип} = 118,7 + 11 = 129,7$ хв.

Оскільки довірчі інтервали середніх значень не перекриваються, можна зробити висновок, що розбіжність середніх значень стійкості інструменту в початковому стані і після магнітної обробки значимо, а ОІМП істотно впливає на стійкість інструменту.

3.8 Дослідження впливу твердих технологічних мастил і епілами на стійкість магнітнообробленого інструменту

Порівняльні стійкостні випробування по дослідженню впливу твердих технологічних мастил (ТТМ) і епілами на стійкість магнітнообробленого інструменту проводились на двох технологічних операціях: свердління і різьбонарізання (табл.3.13).

Таблиця 3.13– Умови випробувань за оцінкою ефективності ТТМ

Найменування операції	Обладнання	Оброблюваний матеріал	Інструмент	Інструментальний матеріал	Режим різання		
					V, м/хв	S, мм/об	t, мм
Свердління	ст. мод. 2Н125	Сталь 45	Свердло Ø 6,2	P6M5	14,87	0,063	3,1
Різьбонарізання	ст. мод. 2Н125	20Х13	Мітчик М10	P6M5	6,70	0,14	-

На кожній з операцій було проведено три серії дослідів:
серія 1 – магнітнооброблений інструмент в початковому стані;
серія 2 - магнітнооброблений інструмент + тверде технологічне мастило;

серія 3 - магнітнооброблений інструмент після епіламірування.

Для виключення можливих систематичних помилок в результатах випробувань проводилася рандомізація. За критерій затуплення інструменту приймався знос по задній поверхні h_3 , вимір якого здійснювався за загальноприйнятою схемою на мікроскопі ММІ-2 з точністю 0,01 мм.

Виробничі випробування інструменту проводилися безпосередньо в цехах ПАТ Дружківського метизного заводу і оцінювалися середньою кількістю отворів оброблених до переточування, кількістю викришування і поломок, кількістю зупинок верстата в зміну до переточування, а також середньою кількістю переточувань за час обробки певного числа отворів

Порівняння результатів лабораторних випробувань виконувалося на основі статистичних методів їх аналізу і обробки. Схема такого порівняння в припущенні, що закон розподілу стійкості близький до нормального, включала статистичну оцінку параметрів розподілу, статистичну перевірку гіпотез і, нарешті, визначення за середніми коефіцієнтами зміни зносу K_h (або питомого зносу K_q) по відношенню до вихідного рівня.

Значимість фактора (обробки інструменту) і статистичну відміну середніх значень його рівнів (методів обробки) визначали з довірчою ймовірністю 0,95.

Зведені результати виробничих і лабораторних випробувань наведені у таблицях 3.14, 3.15, 3.16.

Статистична перевірка стійкості випробувань свердел і мітчиків, оброблених різними методами, підтвердила значущий вплив будь-якого з використаних методів на знос інструменту. У всіх серіях дослідів розміри вибірок виявилися рівними числу повторів, що свідчить про задовільну якість інструменту і нормальні умови його експлуатації.

З таблиць 3.14 і 3.15 випливає, що метод ОІМП+ТТМ в порівнянні з методами ОІМП і ОІМП+ епіламірування виявився дещо ефективніше під час свердління і значно ефективніше при різьбонарізанні. Застосування комбінованої обробки магнітнообробленого інструменту шляхом епіламірування і застосування твердих технологічних мастил призводить до підвищення зносостійкості інструменту від 1,5 до 3,0 раз. Ефективність залежить від виду механічної обробки, режиму різання, властивостей інструментального та оброблюваного матеріалів.

Виробничі випробування інструментів з антифрикційними покриттями ТТМ проводилися на ПАТ Дружківський метизний завод.

Випробування свердел з низьковольфрамової сталі Р6М5 зі застосуванням ТТМ проводилися під час свердління деталі зі сталі 45 з підвищеними характеристиками міцності зі швидкістю 14,87 м/хв, подачею 0,74 мм/об. Свердлами діаметром 6,2 мм обробляли програмні деталі на спеціальному вертикально-свердлильному автоматі з двома чотирьохшпіндельними головками, які працювали синхронно.

Таблиця 3.14 – Порівняння стійкостних випробувань свердел, оброблених різними методами

№№ пп	Метод обробки	Результати статистичної обробки даних				
		Середнє значення зносу, мм	Довірливий інте- рвал, мм	Диспер- сія $\cdot 10^5$	Коефіцієнт варіації	Коефіцієнт зміни зносу, K_h
1	ОІМП	0,203	0,013	57	0,117	1,0
2	ОІМП+епіламі- рування	0,140	0,007	16	0,090	0,7
3	ОІМП+ТТМ	0,121	0,007	16	0,104	0,6

Таблиця 3.15 – Порівняння стійкостних випробувань мітчиків, оброблених різними методами

№№ пп	Метод обробки	Результати статистичної обробки даних				
		Середнє значення зносу, мм	Довірливий інте- рвал, мм	Диспер- сія $\cdot 10^5$	Коефіцієнт варіації	Коефіцієнт зміни зносу, K_h
1	ОІМП	0,208	0,035	172	0,199	1,0
2	ОІМП+ епіламі- рування	0,163	0,020	25	0,097	0,8
3	ОІМП+ТТМ	0,042	0,012	9	0,130	0,5

З метою отримання достовірних результатів випробування проводилися в різних варіантах. Спочатку в одну з головок були встановлені два досліджуваних свердла: одне з них здійснювало процес різання з ТТМ, друге не мало ТТМ, а інші свердла були робочими. Через кожні 30 просвердлених отворів обидва свердла обміряли для визначення зносу. Потім в одну головку були встановлені чотири свердла з ТТМ, а в іншу - без антифрикційного покриття.

Всі вони працювали зміну, просвердливши за цей час 339 отворів. В результаті для свердел з ТТМ не потрібно було жодної переточки, а без покриття переточувалися 9 разів

Після цього в кожену головку встановлювали 2 свердла з ТТМ і два без покриття. За час випробування кожне свердло опрацювало 1840 отворів, причому свердла з ТТМ переточували 20, а непокріті 31 раз. У свердел з ТТМ тільки одне переточування викликало викришування перемички, інші ж переточки проводилися через притуплення різальних крайок. Зведені результати наведені в таблиці 3.16.

З даних таблиці 3.16, а також за результатами інших випробувань можна зробити висновок, що застосування магнітнооброблених свердел в комплекті з твердим технологічним мастилом стабілізує процес свердління і сприяє поліпшенню оброблюваності конструкційних матеріалів і ріжучих властивостей використовуваного інструменту.

Таблиця 3.16– Результати проміжних випробувань свердел зі сталі Р6М5 з різними покриттями

№№ пп	Дані для одного свердла	ОІМП	ОІМП+ТТМ
1	Середня кількість переточувань за час обробки 1840 отворів	8	4
2	Середня кількість отворів, оброблених до переточування	185	446
3	Кількість викришувань і поломок	5	0
4	Кількість зупинок верстата в зміну для переточки	2,5	1

У виробничих умовах був проведений комплекс випробувань мітчиків зі сталі Р6М5. Магнітнооброблені мітчики з ТТС нарізали різьбу в 2300-2500 гайках, в той час як мітчики, оброблені в імпульсному магнітному полі в 1500-1800 гайках, а мітчики без покриття після нарізування різьби в 500-800 гайках ставали непридатними для подальшої роботи.

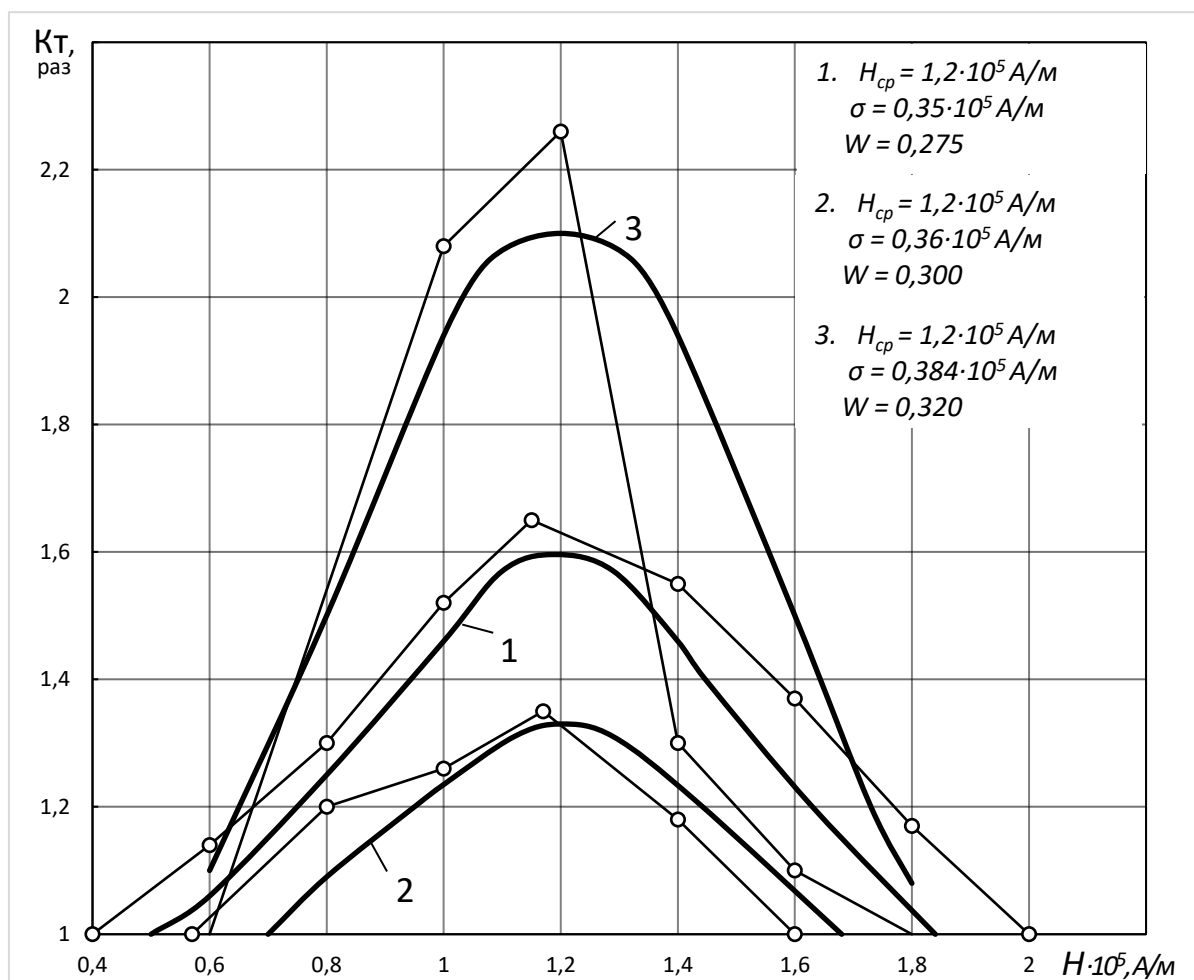
В процесі нарізання мітчики не нагрівалися, підвищення зусиль не спостерігалось, вхід ріжучої частини мітчиків в зону різання відбувався плавно, без ривків, якість різьби вийшла гарна.

Економічна ефективність від впровадження магнітнообробленого інструменту в комплексі з антифрикційними твердими технологічними мастилами виходить за рахунок зменшення витрат на виготовлення або придбання інструментів, від підвищення продуктивності внаслідок збільшення

режимів різання і економії від експлуатаційних витрат внаслідок збільшення стійкості інструментів.

3.9 Дослідження впливу режимів різання на стійкість інструменту, обробленого методом ОІМП з подальшим нанесенням твердого мастила

Результати стійкостних випробувань інструменту, обробленого методом ОІМП, представлені на рисунку 3.25. Встановлено, що ефективність магнітної обробки зростає зі збільшенням швидкості. Особливо помітно це проявилось на оптимальних режимах магнітної обробки.



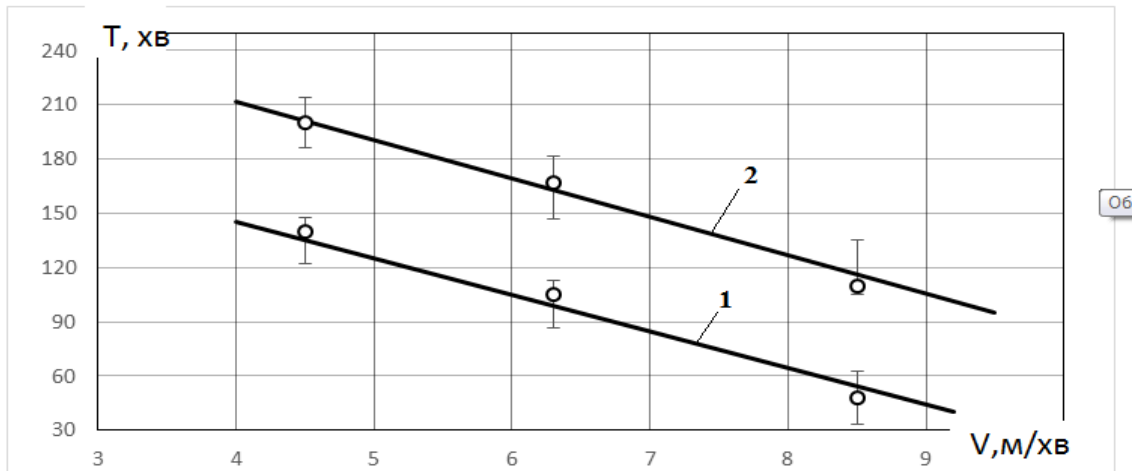
Сталь 12Х18Н10Т. Свердло Р6М5. $S = 0,1 \text{ мм/об}$

1 – $V = 8,8 \text{ м/хв}$; 2 – $V = 6,3 \text{ м/хв}$; 3 – $V = 4,5 \text{ м/хв}$

Рисунок 3.25 – Залежність коефіцієнта підвищення стійкості швидкорізальних свердел від напруженості магнітного поля

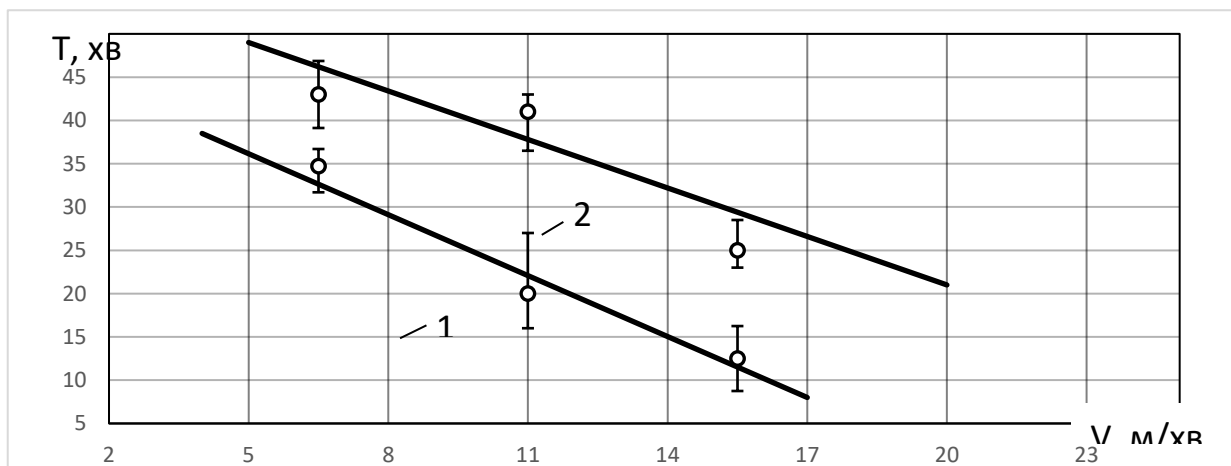
Дані, отримані при дослідженні залежності стійкості інструменту,

обробленого в оптимальному режимі, від швидкості різання, показали, що до деякого, зазвичай реалізованого на практиці значення швидкості різання, коефіцієнт стійкості зростає (рис.3.26).



Режим різання: $S = 0,1$ мм/об; $t = 17$ см; Робота без охолодження
 1 – до магнітної обробки; 2 – після магнітної обробки
 Рисунок 3.26 – Залежність стійкості свердел Р6М5 від швидкості різання до і після ОІМП

При переході на більш жорсткі режими різання спостерігається його зниження, хоча сам ефект магнітної обробки залишається чітко вираженим (рис.3.27).



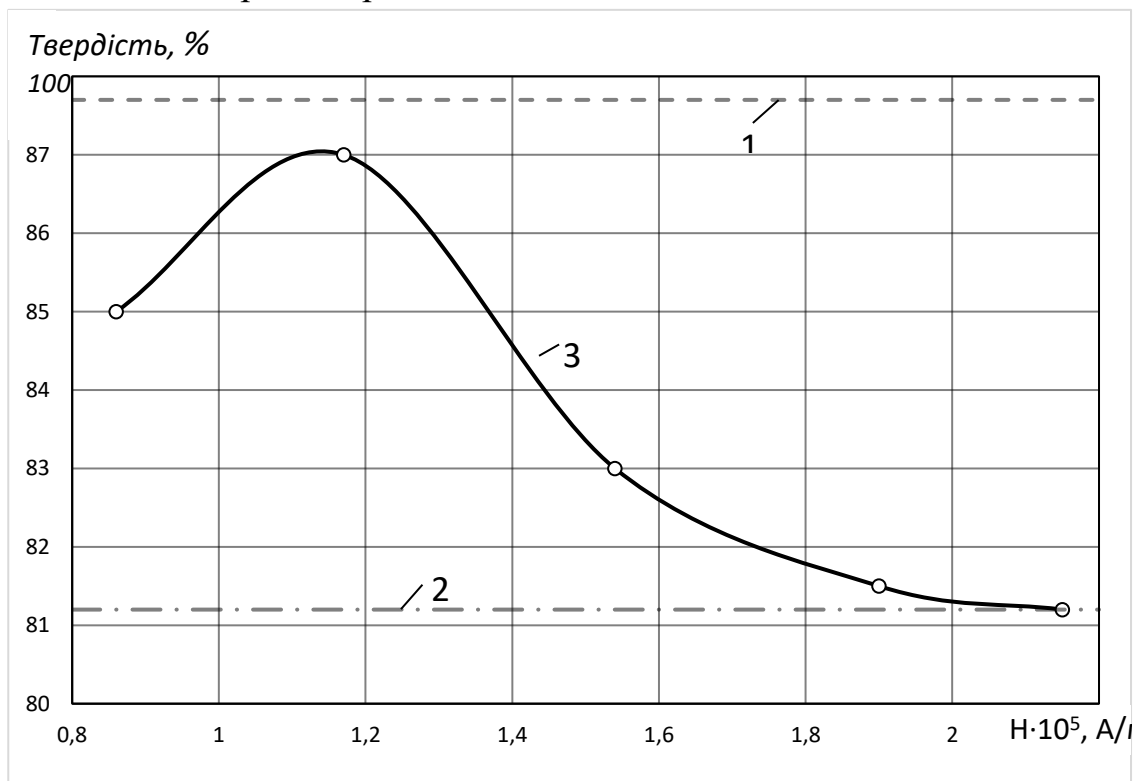
Сталь 12Х18Н10Т
 Геометрія: $\alpha = 9^\circ$; $\alpha_1 = 18^\circ$; $2\varphi = 125^\circ$; $\psi = 55^\circ$; $\varnothing 8$ мм
 Режим різання: $S = 0,1$ мм/об; $t = 17$ м
 Напруженість магнітного поля – $H = 1,2 \cdot 10^5$ А/м
 Охолодження 5% -й розчин емульсії
 1 – до ОІМП; 2 – після ОІМП
 Рисунок.3.27 – Залежність стійкості свердел Р18 від швидкості різання до і після ОІМП

3.10 Прискорений метод визначення оптимальних режимів магнітної обробки і режимів різання

Відомий прискорений метод визначення оптимальних режимів магнітної обробки [77], заснований на вимірюванні твердості і теплоємності на зразках зі швидкорізальних сталей.

Для перевірки цього способу була виготовлена спеціальна партія зразків зі швидкорізальної сталі Р6М5 і заміряна на твердість в початковому стані. Потім зразки були розподілені на однакові групи.

У першій групі термостійкість вимірювалася в початковому стані, а зразки другої групи спочатку оброблялися магнітними полями різної напруженості, і потім у них визначалася теплоємність. Результати дослідів представлені на рисунку 3.28. Зміна твердості оцінювалося в %, щоб мати можливість зіставляти зразки з різними вихідними значеннями HRC.



1 – вихідне положення; 2 – до магнітної обробки; 3 – після магнітної обробки

Рисунок 3.28 – Зміна твердості швидкорізальної сталі Р6М5 після 6-ти годинної витримки при температурі 630°C

Значення напруженості поля, при якому отримані найбільший приріст холодної твердості і найменше скидання теплоємності і будуть оптимальними в даному випадку. Встановлення ж оптимальних режимів різання для різноманітних умов експлуатації є однією з найважливіших задач науки про різання металів.

Для визначення оптимальних швидкостей різання зазвичай проводять стійкостні дослідження при 6-8 швидкостях різання і ту швидкість різання, при якій забезпечується максимальна розмірна стійкість інструменту або найменша інтенсивність його зносу, і приймають за оптимальну.

Цей метод визначення оптимальних швидкостей різання є досить надійним, але має дуже високу трудомісткість і вимагає великої витрати досліджуваних на оброблюваність матеріалів [60].

Професором А.Д. Макаровим і його учнями розроблений ряд способів прискореного визначення оптимальних швидкостей різання.

Зазначені способи можна розділити на наступні основні групи:

1. Способи, засновані на скороченні тривалості стійкостних випробувань, коли інтенсивність зносу інструменту визначається лише по початковій ділянці періоду нормального зносу інструменту без доведення його до повного зносу [57].

2. Способи, засновані на заміні трудомістких стійкостних випробувань, необхідних для побудови кривої $h_{\text{оп}} = f(V)$, дослідями по встановленню закономірностей зміни від швидкості різання якихось інших, легко і швидко визначених характеристик процесу різання.

Точність цих методів буде залежати від сили і стабільності реагування тієї чи іншої характеристики на перехід швидкості різання через оптимальне значення, від наявності надійних засобів вимірювання, необхідних для фіксації критичних точок на кривих, що виражають залежність замінюючих характеристик від швидкості різання.

3. Третя група прискорених способів визначення оптимальних швидкостей різання ґрунтується на науково встановлених фактах збігу оптимальних температур різання з критичними температурами різного роду перетворення в оброблюваних матеріалах.

3.11 Висновки.

1. Обробка інструменту в магнітному полі принципово не змінює механізми зношування інструменту зі швидкорізальної сталі, зрушуючи їх в область більш високих швидкостей різання за рахунок зниження рівня термомеханічної напруженості зони різання.

2. В результаті впливу імпульсного магнітного поля відбувається зміна фізико-механічних властивостей швидкорізальних сталей, зростає холодна і гаряча твердість і інструментальний матеріал стає більш однорідним за структурою.

3. Для стійкого прояву ефекту магнітної обробки інструменту необхідно в кожному конкретному випадку враховувати значення напруженості магнітного поля, час витримки інструменту в робочому індукторі і час старіння інструменту після магнітної обробки.

4. Залежність $K_T = f(H)$ має складний характер. Існує певний інтервал значень напруженості поля, магнітна обробка в якому помітно покращує експлуатаційні властивості інструмента.

Встановлено, що значення H_{opt} для однієї і тієї ж марки інструментального матеріалу співпадає незалежно від виду обробки і марки оброблюваного матеріалу.

5. Показано, що технологічні операції магнітної обробки інструменту є методом з найменшою трудомісткістю з усіх відомих способів підвищення стійкості ріжучого інструменту.

6. Для максимального поліпшення експлуатаційних властивостей інструменту зі швидкорізальної сталі після магнітної обробки необхідно час старіння близько трьох діб.

7. Встановлено, що для стійкого прояву ефекту ОІМП необхідно враховувати напруженість магнітного поля, час витримки інструменту в магнітному полі і час старіння інструментального матеріалу.

8. Показано, що практично всі елементи механіки стружкоутворення при різанні магнітнообробленим інструментом мають значення нижче, ніж при роботі того ж інструменту в початковому положенні.

9. Встановлено, що існує певний діапазон швидкостей різання, при яких механіка стружкоутворення найбільш сильно відрізняється за своїми значеннями.

10. Вивчення коефіцієнтів усадки стружки при різанні інструменту у вихідному стані і після магнітної обробки показало, що цей показник також нижче у магнітнообробленого інструменту, що вказує на поліпшення умов стружкоутворення.

11. Встановлено, що у залежності від умов обробки стійкість інструменту підвищується після його магнітної обробки в оптимальному діапазоні у 1,5-2 рази в порівнянні з вихідною.

12. Показано, що багаторазові переточки одноразово обробленого інструменту не знижують його експлуатаційних властивостей.

13. Ріжучий інструмент повинен мати після магнітної обробки залишкову намагніченість близьку до нуля, тому що в іншому випадку інтенсивно налипаюча на інструмент стружка оброблюваного матеріалу ускладнює процес різання і знижує його стійкість.

14. Підвищення стійкості магнітнообробленого інструменту особливо ефективно при застосуванні в процесі різання твердих антифрикційних мастил.

15. На основі рівності температур $Q_0 = Q$ розроблений прискорений спосіб визначення оптимальної швидкості різання.

РОЗДІЛ 4

ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ЗАБЕСПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ РОЗМІРНОГО ІНСТРУМЕНТУ

4.1. Технологічні рекомендації по впровадженню комбінованого способу обробки кінцевого інструмента.

Ефективність працездатності кінцевого інструмента може бути істотно підвищена в результаті використання технології магнітної обробки інструменту. Це обумовлено високими експлуатаційними характеристиками кінцевого інструмента обробленого ОІМП в порівнянні зі стандартним інструментом.

Інструменти, оброблені ОІМП, мають підвищену поверхневу твердість і теплостійкість, поліпшені експлуатаційні характеристики і властивості швидкорізальної сталі за рахунок тих структурних змін, які відбуваються в ній під дією магнітного поля.

Використання методу ОІМП дозволяє по новому підійти до проблеми вдосконалення властивостей швидкорізальних матеріалів, управління процесом різання з точки зору підвищення стабільності його протікання, управління зношуванням розмірного інструменту і формуванням поверхневого шару деталей. Використання магнітнообробленого розмірного інструменту вимагає нового підходу до його експлуатації. Це пов'язано з деяким аспектом [5, 63].

По-перше, перевагами методу ОІМП є простота установок, їх мала енергоємність, відсутність високих вимог до кваліфікації обслуговуючого персоналу. Установки не вимагають спеціальних приміщень для їх розміщення, що обумовлює можливість їх використання, як в централізованому інструментальному виробництві, так і в загальних умовах цеху.

По-друге, недоліком цієї технології є такі фактори, як слабкий вплив на матеріали, які мають попередньо поліпшену структуру, і необхідність витримки інструменту в нормальних умовах протягом певного проміжку часу необхідного для прояву всіх позитивних ефектів.

По-третє, найбільш вигідно експлуатувати магнітнооброблений інструмент на оптимальних швидкостях різання, що мінімізують знос інструменту, які на 30-50% перевищують оптимальні швидкості для стандартного інструменту.

Результати проведених досліджень показують, що ефективність магнітної обробки ріжучого інструменту пов'язана, перш за все, з технологічними режимами самого процесу впливу магнітного поля на інструментальний матеріал.

До технологічних режимів, перш за все, відносяться:

- значення напруженості магнітного поля;
- час витримки інструменту в магнітному полі;
- час старіння інструменту.

Дані, отримані при дослідженні залежності стійкості розмірного інструменту, обробленого в оптимальному магнітному полі з оптимальним часом витримки інструменту в цьому полі і який пройшов подальше старіння, від швидкості різання показали, що найбільш вигідно експлуатувати магнітнооброблений інструмент на оптимальних швидкостях різання, при яких забезпечується максимальна розмірна стійкість інструменту і найменша інтенсивність його зносу.

Технологічні рекомендації розроблені для магнітнообробленого кінцевого інструмента на основі виконаних теоретичних і експериментальних досліджень.

У таблицях 4.1 і 4.2 представлені технологічні рекомендації для двох груп розмірного інструменту.

Таблиця 4.1 – Рекомендовані режими магнітної обробки кінцевого інструмента зі швидкорізальної сталі

Інструментальний матеріал	Діаметр описаного кола ріжучої частини інструменту, мм	Показання приладу на установці, В	Частота проходження імпульсів, Гц	Час обробки інструменту, с	Час старіння, год
P18, P6M5	Від 1 до 5	350	5	50	24
	Від 5 до 15	450	5	60	24
P6M3, P9 та ін.	Від 15 до 25	600	5	60	24
	Понад 25	700	5	70	24
P6M5K5, P9K5 та ін.	Від 1 до 50	750	5	60	24

Таблиця 4.2 – Рекомендовані режими різання для магнітнообробленого в оптимальному полі кінцевого інструмента

Оброблюваний матеріал	Марка інструментального матеріалу	Режими різання			Коефіцієнт підвищення стійкості
		глибина різання, мм	подача, мм/об	швидкість різання, м/хв	
Сталь 45	P6M5	20	0,094	18,80	1,00
	P6M5+OIMP	20	0,125	23,35	1,85
	P6M5+OIMP+тв. мастило	20	0,125	23,35	2,00
12X18H10T	P6M5	20	0,063	14,87	1,00
	P6M5+OIMP	20	0,094	18,80	1,65
	P6M5+OIMP+тв. мастило	20	0,094	18,80	1,75

4.2. Вибір оптимальної технології нарізування різьби магнітно-обробленим осьовим інструментом

Труднощі, що виникли при обробці високоміцних нержавіючих і жароміцних сталей, найбільш різко проявляються при нарізанні різьби мітчиками.

Умови роботи мітчиків дуже ускладнені: в роботі бере участь одночасно велика кількість зубів, контакт інструменту з деталлю здійснюється не тільки в зоні різання, а й по неробочим бічним поверхням; як окремі ріжучі зуби, так і весь мітчик недостатньо міцні, особливо при нарізанні різьби з малим діаметром і кроком; зона різання малодоступна для мастильно-охолоджуючий рідини і т.п.

Збільшена площа контакту інструменту з деталлю, недостатнє змазування і охолодження, зумовлюють зростання моменту і роботи тертя, що викликає підвищення температури різання і інтенсивний знос мітчика. Дуже часто при нарізанні різьби мітчиками в жароміцних і нержавіючих сталях спостерігаються відколи і викришування окремих зубів і поломка мітчиків.

Підвищення стійкості інструменту і продуктивності праці при нарізанні різьби в нержавіючих сталях досягається шляхом застосування магнітнообробленого інструменту зі швидкорізальних сталей, а також удосконаленням конструкції мітчиків.

Хороші результати при нарізанні різьби в деталях з високоміцних нержавіючих сталей, показують мітчики з гвинтовими стружковими канавками, про що свідчить досвід впровадження цих інструментів на машинобудівних підприємствах [27, 32, 68].

Ефективність використання магнітнооброблених стандартних і з гвинтовими стружковими канавками мітчиків при нарізуванні різьби в деталях з високоміцних матеріалів підтверджується результатами лабораторних і виробничих випробувань.

Стійкість мітчиків різної конструкції при обробці деталей зі сталі Х18Н10Т, загартованої сталі 30ХГСНА і конструкційної сталі з поліпшеними характеристиками міцності наведена в таблиці 4.3.

Швидкість різання при нарізуванні різьби стандартними мітчиками + ОІМП + тверде мастило в деталях зі сталі 45 з поліпшеними характеристиками міцності визначалася із формули

$$V = \frac{C \cdot d^k}{T^x \cdot S^y} \cdot K_v, \text{ м/хв} \quad (4.1)$$

В таблиці 4.4 наводяться оптимальні швидкості різання при нарізуванні різьби в деталях зі сталі 45 і сталі Х18Н10Т стандартними мітчиками,

обробленими в оптимальному імпульсному магнітному полі (напруга $H = 1,2 \cdot 10^5$ А/М; витримка в магнітному полі; час старіння $T=24$ год.)

Таблиця 4.3 – Стійкість мітчиків різних конструкцій (різьба М 10×1,5; мітчики зі сталі Р6М5; тверде мастило)

Оброблюваний матеріал	V, м/хв	Мітчики			
		Стандартні+ОІМП +тверде мастило		3 гвинтовими стружко- вими канавками + ОІМП + тв.мастило	
		T, хв	число отворів	T, хв	число отворів
Сталь 45 ($\sigma_B = 70$ кг/мм ²)	28,0	75	720	100	960
X18H10T	9,5	12	140	40	470
30ХГСНА ($\sigma_B = 140-160$ кг/мм ²)	2,0	20	160	28	224

Таблиця 4.4 – Рекомендовані оптимальні швидкості різання при нарізуванні різби магнітообробленими мітчиками

Оброблюваний матеріал	Різьба	Мітчики	
		Стандартні+ОІМП	Стандартні+ОІМП+тверде мастило
		V ₀ , м/хв	V ₀ , м/хв
Сталь45 ($\sigma_B = 70$ кг/мм ²)	М 6×1,0	14,9	19,5
	М 8×1,25	19,9	25,9
	М 10×1,5	24,8	32,5
	М 14×1,0	33,5	40,2
X18H10T	М 6×1,0	2,9	3,8
	М 8×1,25	4,0	5,2
	М 10×1,5	5,1	6,5
	М 14×1,0	6,7	8,7

Застосування магнітнооброблених мітчиків і твердих мастил забезпечує зниження крутного моменту на 30-35% в порівнянні зі стандартними мітчиками і на 20-25% в порівнянні з нормальними коригованими мітчиками. Тут слід зазначити, що зменшення тертя по бічних поверхнях зубів магнітнооброблених мітчиків, застосування твердих мастил, нарізування різьб на оптимальних швидкостях різання обумовлює зниження температури різання на 100-150°С в порівнянні з нормальними мітчиками. На підставі виконаних експериментальних досліджень та аналізу факторів, що впливають на працездатність і надійність магнітнооброблених мітчиків різної конструкції можна зробити наступний висновок.

Застосування в якості мастильно-охолоджуючих засобів антифрикційних твердих мастил, обробка мітчиків в оптимальному режимі імпульсного магнітного поля, впровадження коригованих мітчиків і спеціальних мітчиків з гвинтовими стружковими канавками забезпечують високу продуктивність і надійність технологічного процесу обробки різбових отворів в деталях з високоміцних сталей.

4.3. Узагальнена схема формування алгоритму і номограм для визначення раціональних режимів різання

Для полегшення завдання практичного використання рекомендацій по оптимізації процесів різання магнітнообробленим кінцевим інструментом отримані параметричні рівняння максимальної розмірної стійкості та розроблено відповідні номограми.

У числі досліджуваних параметрів знаходилися як геометричні, так і фізико-механічні характеристики інструменту в кінематичній взаємодії процесу різання. Алгоритм обробки результатів досліджень наведено на рисунку 4.1.

При обробці результатів на ПЕОМ спочатку в базу даних вводиться число паралельних дослідів, матриці планування, число їх рядків і стовпців, теоретичне значення критерію Ст'юдента та критерію Фішера, дослідне значення кожного параметра, число факторів і умова закінчення програми L . Якщо $L = 1$, то приймається версія, що програма працює в оцінці лінійної моделі процесу, якщо $L = 2$, то програма оцінює адекватність статичної моделі. Далі проводиться перевірка відтворюваності дослідів, адекватності лінійної моделі і оцінка значущості коефіцієнтів регресії. При однаковому числі паралельних дослідів на кожному рівні факторів відтворюваність процесу перевіряється за критерієм Кохрена. У разі відтвореного процесу розраховуються коефіцієнти регресії. Оцінка значущості коефіцієнта регресії проводиться за допомогою критерію Ст'юдента. Незначний коефіцієнт при факторі означає, що даний фактор не впливає (або впливає незначно) на критерій оптимізації.

Перевірка адекватності лінійної моделі виконується за допомогою критерію Фішера. За результатами розрахунку записується рівняння регресії, що показує зв'язок основних параметрів процесу різання і процесу магнітної обробки інструментів.

На рисунку 4.2 приведена номограма для визначення оптимальних режимів різання під час свердління деталей з високоміцних матеріалів магнітнообробленими в оптимальному магнітному імпульсному полі свердлами.

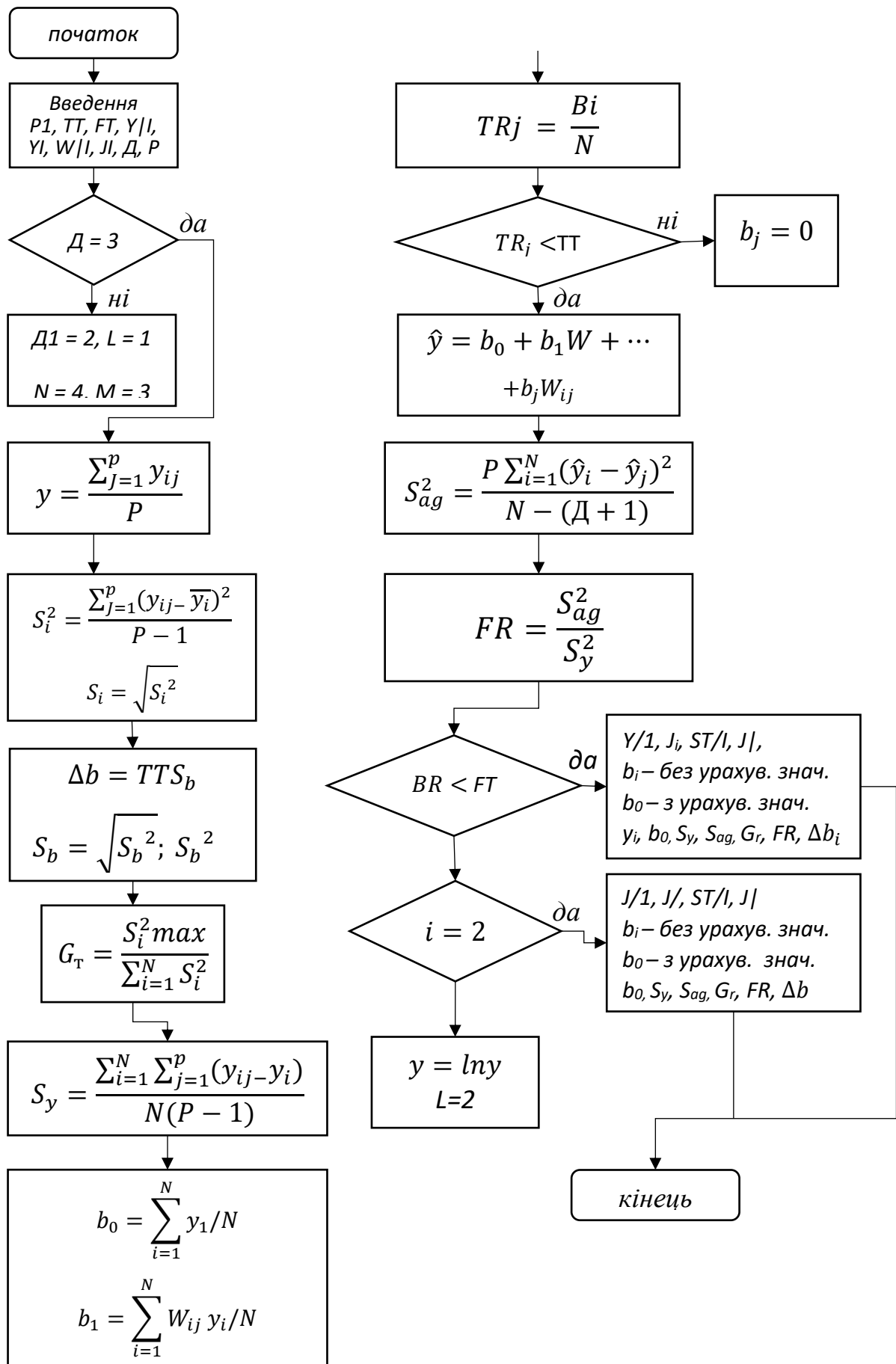


Рисунок 4.1 – Алгоритм обробки результатів експерименту

На рисунку 4.3 приведена номограма для визначення оптимальних режимів різання при нарізуванні різьби в деталях з нержавіючої сталі Х18Н10Т коригованими мітчиками, обробленими в оптимальному магнітному полі.

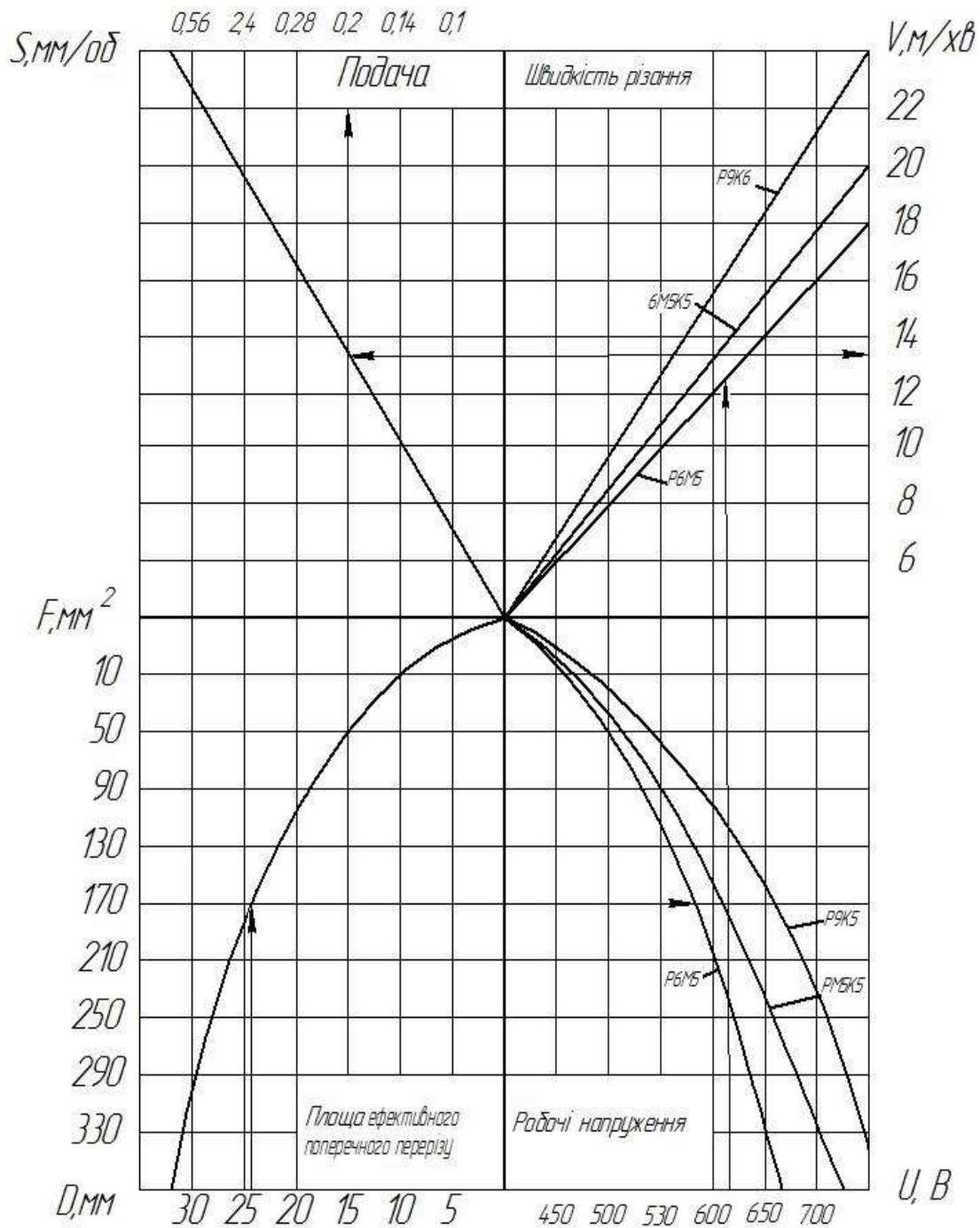


Рисунок 4.2 – Номограма для визначення параметрів процесу ОІМП і режимів різання при свердлінні

В основі номограм лежать параметричні рівняння максимальної розмірної стійкості, дослідження висоти мікронерівностей обробленої поверхні, дослідження оптимальних параметрів ОІМП.

Для визначення необхідної швидкості різання за прийнятою по номограмі подачі нанесені лінії оптимальних швидкостей, які також відповідають і економічним швидкостям різання.

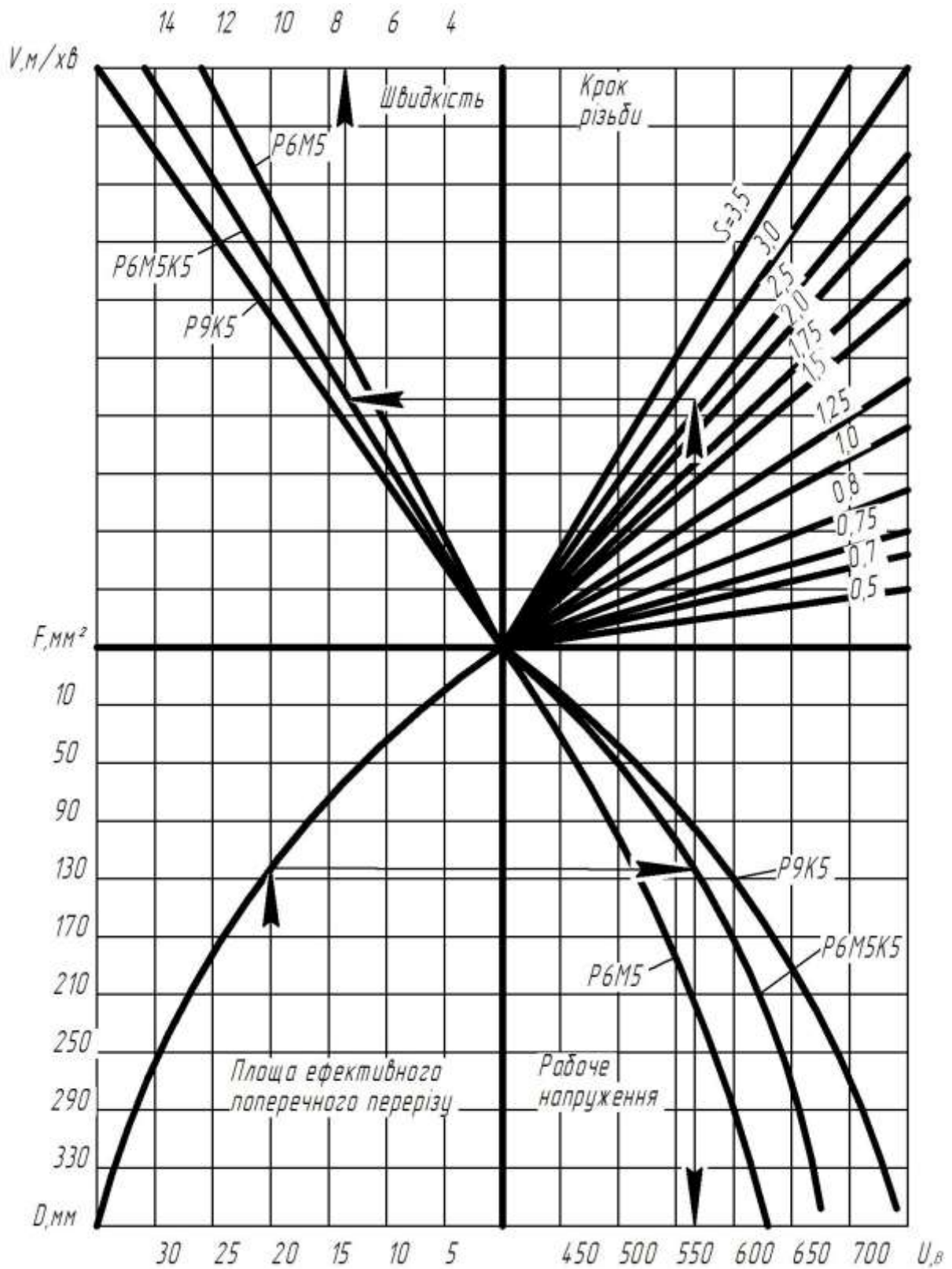


Рисунок 4.3 – Номограма для визначення параметрів процесу ОІМП і режимів різання при нарізуванні різьби

Характерною особливістю номограм є наявність зв'язку обраного режиму різання з характеристиками магнітного стану ріжучого інструменту.

Наведені на номограмі режими різання є оптимальними не тільки по точності обробки, собівартості і продуктивності праці, але оптимальними за якістю обробленого поверхневого шару і за експлуатаційними властивостями.

Номограми вельми зручні на практиці, так як дозволяють пов'язати вибір режимів різання з якістю поверхневого шару, точністю, продуктивністю і собівартістю магнітнообробленого інструменту.

4.4 Висновки

1. В результаті впливу імпульсного магнітного поля відбувається зміна фізико-механічних властивостей швидкорізальних сталей. Встановлено, що магнітна обробка з оптимальними технологічними режимами підвищує холодну і гарячу твердість швидкорізальної сталі, а також підвищує його теплостійкість.

2. Найбільше збільшення коефіцієнта стійкості магнітнообробленого інструменту і найбільше поліпшення фізико-механічних властивостей інструментального матеріалу отримані при однакових режимах магнітної обробки.

3. При обробці деталей з високоміцних сталей найбільш вигідно експлуатувати магнітнооброблений кінцевий інструмент на оптимальних швидкостях різання, що мінімізують знос інструменту, які на 30-50% перевищують оптимальні швидкості для стандартного інструменту.

4. Технологічні рекомендації являють собою дані по H_0 , τ і T , V_0 для двох, що найбільш вживаються в промисловості, груп швидкорізальних сталей (помірної і підвищеної теплостійкості).

5. Розроблено технологію нарізування різьби в деталях з нержавіючих сталей магнітнообробленими коригованими мітчиками з гвинтовими стружковими канавками.

6. Ефективність використання магнітнооброблених стандартних коригованих мітчиків і мітчиків з гвинтовими стружковими канавками при нарізанні різьби в деталях з високоміцних матеріалів підтверджуються результатами лабораторних і виробничих випробувань.

7. Застосування антифрикційних твердих мастил, обробка кінцевого інструмента в оптимальному режимі імпульсного магнітного поля, впровадження коригованих мітчиків і спеціальних мітчиків з гвинтовими стружковими канавками і ведення процесу різання на оптимальних режимах забезпечують високу продуктивність і надійність технологічного процесу обробки різьбових отворів в деталях з високоміцних сталей.

8. Економічними розрахунками встановлено, що при обробці деталей з високоміцних сталей магнітнообробленим кінцевим інструментом мінімум собівартості обробки, максимум розмірної стійкості (максимум довжини шляху різання і мінімум поверхневого відносного зносу) спостерігаються практично при одній і тій же оптимальній швидкості різання.

9. Розроблені номограми дозволяють пов'язувати вибір режимів різання поряд з розмірною стійкістю інструмента і собівартістю обробки, так само з оптимальними режимами імпульсного магнітного поля.

ЗАКЛЮЧЕННЯ

Проблема вдосконалення технологічних процесів механічної обробки деталей осьовим інструментом зі швидкорізальної сталі, що забезпечує високу продуктивність, мінімальну собівартість, високу точність, задану якість і експлуатаційні властивості деталей машин, є досить актуальною.

Аналіз великої кількості літературних джерел і власних експериментальних досліджень в області підвищення стійкості осьового інструменту показав, що одним з основних напрямків фізичної технології на сучасному етапі є магнітна обробка швидкорізальних сталей з наступним нанесенням антифрикційних покриттів.

Магнітна обробка ріжучого інструменту в змінному і постійному полях приблизно одного і того ж діапазону напруженостей дозволяє підвищити стійкість в 1,5-2 рази.

Однак з розгляду фізичних аспектів проблеми в ряді робіт зроблено висновок про доцільність проводити обробку інструменту в імпульсних магнітних полях. За допомогою таких полів легко здійснити інтенсивний енергетичний вплив на матеріал інструменту за допомогою ударних електромагнітних хвиль. До того ж вибір імпульсного поля дозволяє спростити технічні вимоги до джерел живлення і зробити портативними промислові зразки установок.

На базі відомих теоретичних уявлень про механізм магнітно-імпульсної обробки інструменту в роботі виконано комплекс науково-дослідних робіт з вивчення впливу імпульсної магнітної обробки в поєднанні з антифрикційними покриттями на стійкість осьового різального інструменту зі швидкорізальних сталей, розроблені конкретні технологічні рекомендації щодо застосування способу підвищення стійкості інструменту шляхом впливу на нього імпульсних магнітних полів в поєднанні з антифрикційними покриттями (епілама і тверді технологічні мастила).

Встановлено, що вплив імпульсних магнітних полів на осьовий інструмент зі швидкорізальних сталей є ефективним тільки при певних (оптимальних) режимах магнітної обробки (напруженості магнітного поля, часу обробки інструменту і часу витримки після обробки).

Показано, що при належній технологічній культурі заточувальних операцій вони практично не знижують той додатковий резерв стійкості, який отриманий в результаті магнітної обробки. Ефект магнітної обробки інструменту (МОІ) не пов'язаний з його магнітним станом. Ріжучий інструмент повинен мати після магнітної обробки залишкову намагніченість, близьку до нуля, тому що в іншому випадку, інтенсивно налипаюча стружка оброблюваного матеріалу ускладнює процес різання і знижує стійкість інструменту.

Встановлено факт існування певної швидкості різання, при якій ефект МОІ виражений найбільш сильно. Як правило, ця швидкість різання перевищує значення швидкостей, прийнятих в практиці металообробки.

При різанні різних конструкційних матеріалів найбільший ефект МОІ забезпечується при одних і тих же оптимальних режимах впливу магнітного поля, знайдених для конкретної марки інструментального матеріалу.

Показано, що при оптимальних режимах магнітної обробки поліпшуються фізико-механічні властивості швидкорізальної сталі (холодна і гаряча твердість, теплостійкість).

Поліпшення фізико-механічних властивостей інструментального матеріалу в результаті його імпульсної магнітної обробки забезпечує поліпшення умов стружкоутворення при різанні магнітнообробленим інструментом і призводить до підвищення його стійкості.

Встановлено, що оптимальні режими магнітної обробки, при яких досягається найбільше підвищення стійкості ріжучого інструменту і максимальне поліпшення властивостей інструментального матеріалу збігаються.

Вся сукупність проаналізованих теоретичних і експериментальних досліджень в області імпульсної магнітної обробки підтверджує правильність наукових положень про магнітострикційну природу зміцнення інструменту зі швидкорізальних сталей під впливом імпульсних магнітних полів.

Дослідження стійкостних залежностей магнітнообробленого інструменту, виконане на основі теоретичних уявлень про механізм магнітострикційного зміцнення швидкорізальних сталей, дозволяє запропонувати технологічні рекомендації, реалізація яких забезпечує підвищення стійкості осьового різального інструменту в 1,5-2 рази.

Встановлено, що застосування антифрикційних покриттів в складі комплексних зміцнюючих технологій дозволяє підвищити стабільність експлуатаційних властивостей осьового різального інструменту.

Визначено, що вплив антифрикційних покриттів на експлуатаційні характеристики магнітнообробленого інструменту дозволяє досягти підвищення зносостійкості інструментів до 2-3 разів, підвищити надійність інструментів в процесі обробки, значно підвищити якість обробки, знизити фактори процесу різання, що негативно впливають на стан інструменту: температуру, складові сили різання, рівень вібрацій.

Технологія магнітної обробки і антифрикційних покриттів легко здійсненна, не пов'язана з присутністю токсичних середовищ і не вимагає будь-якої реорганізації інструментального господарства підприємства.

Про ефективність комплексної технології магнітної обробки і антифрикційних покриттів свідчить її виробниче апробування та впровадження низкою галузевих інститутів і заводів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. **Аваков, А. А.,** Маркосян Р. Г. Действие магнитного поля на износостойкость режущих инструментов // Прогрессивная технология машиностроения. – Минск, 1974. – С. 197–201.
2. **Аваков, А. А.** Физические свойства теорий стойкости режущих инструментов / А. А. Аваков. – М. : Машгиз, 1960. – 308 с.
3. **Барон, Ю. М.** Влияние магнитной обработки контактирующих поверхностей на процесс трения / Ю. М. Барон, И. А. Сенчило // Оптимизация процессов резания жаро- и особопрочных материалов : межвузовский научный сборник. – Уфа : Уфимский авиационный институт, 1980. – Вып. 5. – С. 151–156.
4. **Берштейн, М. Л.** Термическая обработка стальных изделий в магнитном поле / М. Л. Берштейн, В. Н. Пустовойт. – М. : Машиностроение, 1987. – 256 с.
5. **Бородкин, Ю. А.** Влияние магнитной обработки на стойкостные зависимости инструмента из быстрорежущих сталей / Ю. А. Бородкин // Магнитная обработка режущего инструмента и перспективы дальнейшего развития этого метода. – М., 1978. – С. 13–17.
6. **Бородкин, Ю. А.** Повышение стойкости режущего инструмента способом магнитной обработки / Ю. А. Бородкин // Вопросы судостроения. Сер. Технология и организация производства судового машиностроения. – 1979. – Вып. 15. – С. 81–88.
7. **Бородкин, Ю. А.** Исследование влияния магнитной обработки на стойкость инструмента из быстрорежущих сталей: автореф. диссертации канд. техн. наук. – Уфа, 1980. – 24 с.
8. **Верещака, А. С.** Режущие инструменты с износостойкими покрытиями / А. С. Верещака, И. П. Третьяков. – М. : Машиностроение, 1986. – 192 с.
9. **Винтер, Э. К.** Магнитный резонанс в металлах/ Э. К. Винтер. – М. : Мир, 1976. – 486 с.
10. Влияние намагниченности резца и заготовки на стойкость / Г. °И. ° Якунин, Э. А. Умаров, Ф. Я. Якубов, С. М. Хасанов // Труды Ташкентского политехн. ин-та, Ташкент: 1966. – Вып. 40. – С. 18–24.
11. Влияние магнитного состояния быстрорежущих резцов на их стойкость / Г. °И. ° Якунин, Э. А. Умаров // Известия академии наук УзССР. Серия технические науки. – 1967. – № 2. – С. 70–71.
12. Влияние магнитной обработки режущего инструмента на его стойкость / С. Н. Постников, В. А. Курбашов, Ю. А. Бородкин, А. Д. Овчинников // Вопросы судостроения. Сер. технология и организация производства судового машиностроения. – 1975. – Вып. 3. – С. 92–96.

13. Влияние магнитных полей на износостойкость режущего инструмента / Э. А. Умаров, С. М. Хасанов, А. И. Анцупов, Г.И. Якунин // Теория трения, износа и смазки. – Ташкент: 1975. – Ч. 2. – С.117-118.

14. Галей, М. Т. Повышение стойкости режущих инструментов путём магнитной обработки / М. Т. Галей // Станки и инструмент. – 1973. – № 5. – С. 31.

15. Галей, М. Т. Некоторые особенности эксплуатации намагниченного режущего инструмента / М. Т. Галей // Магнитная обработка режущего инструмента и перспективы дальнейшего развития этого метода. – М. : 1978. – С. 18–20.

16. Галей, М. Т. Изучение влияния магнитного поля на стойкость быстрорежущего инструмента / М.Т. Галей, В. С. Ашихмин // Станки и инструмент. – 1981. – № 6. – С. 31–34.

17. Гаркунов, Д. Н. О природе повышения износостойкости деталей и инструмента магнитной обработкой / Д. Н. Гаркунов, Г. И. Суранов, Г. Б. Контяева // Трение и износ. – 1982. – № 2. – С. 496-498.

18. Геллер, Ю. А. Материаловедение / Ю. А. Геллер, А. Г. Рахштадт – М. : Металлургия. 1975. – 447 с.

19. Герасимова, Н. В. Эффективность эпиламирования в импульсном магнитном поле / Н.В. Герасимова, Г.Г. Громыко, Е.Б. Райкова //Матер. 4 науч.-техн. семинара с международным участием по нетрадиционным технологиям АМО'89 (Ботевград, 12-14 окт. 1989 г.) – София – Горький: 1989. – С. 113-119.

20. Гольдшмидт, Х. Дж. Сплавы внедрения / Х. Дж. Гольдшмидт. – М. : Мир, 1971. – Вып. 1. – 117 с.

21. Григорьев, Н. А. О возможности управления стойкостью режущих инструментов методом термоэлектрического и термомагнитного вмешательства / Н.А. Григорьев // Теория трения, износа и смазки. – Ташкент : 1975. – Ч. 2. – С. 105–106.

22. Гузенков, П. Г. Детали машин / П. Г. Гузенков. – М. : Высшая школа, 1986. – 490 с.

23. Димитров, Л. Д. Влияние магнитного состояния инструмента и заготовки на температуру резания / Л. Д. Димитров // Всесоюз. ин-т машиностр. механ. и электрофиз. сельск. стоп. : науч. тр. – Русе, 1971. – Т. 12, Вып. 2. – С. 189–198.

24. Димитров, Л. Д. Влияние намагниченности режущего инструмента на его стойкость / Л. Д. Димитров // Всесоюз. ин-т машиностр. механ. и электрофиз. сельск. стоп. : науч. тр. – Русе, 1971. – Т. 13, Вып. 2. – С. 62–72.

25. Димитров, Л. Д. Влияние магнитной обработки на аустенитно-мартенситное превращение в поверхностном слое, полученном после заточки быстрорежущей стали / Л. Д. Димитров // Всесоюз. ин-т машиностр. механ. и электрофиз. сельск. стоп. : науч. тр. – Русе, 1971. – Т. 13, Вып. 2. – С. 73–81.

26. **Есин, А. И.** Магнитно-импульсная обработка металлов / А. И. Есин, В. И. Кашковин. – М. : НИИМАШ, 1975. – Вып. 14 (108). – С. 48–49.

27. **Зиновьев, Н. И.** Технология обработки резьбовых отверстий малого диаметра в деталях из стали 25Х17Н2Б-Ш / Н. И. Зиновьев // Организация производства, прогрессивная технология в приборостроении. – 1983. – № 1. – С. 12–15.

28. **Зиновьев, Н. И.** Технология нанесения поверхностно-активных веществ на режущий инструмент и оснастку / Н. И. Зиновьев, О. В. Карпенко // Организация производства, прогрессивная технология. – М. : ЦНИИАтоминформ, 1983. – № 3. – С. 26–28.

29. **Зиновьев, Н. И.** Обеспечение качества быстрорежущего инструмента на базе интегрированного упрочнения / Н. И. Зиновьев, Ю. В. Мирошниченко, Н. И. Кинденко // Эффективные технологические процессы и оборудование для восстановления и упрочнения деталей машин. – Пенза, 1991. – С. 71–72.

30. **Зиновьев, Н. И.** Технология комплексного упрочнения быстрорежущего инструмента / Н. И. Зиновьев, Ю. В. Мирошниченко, Н. И. Кинденко // Качество и надёжность технологических систем металлообработки. – Краматорск, 1991. – С. 31.

31. **Зиновьев, Н. И.** Повышение надёжности быстрорежущего инструмента путём интегрированного упрочнения / Н. И. Зиновьев, Ю. В. Мирошниченко, В. И. Коровченко // Технологические методы повышения эффективности и качества механосборочного производства: Тез. докл. – Домбай, 1992. – С. 15–16.

32. **Зиновьев, Н. И.** Технологическое обеспечение повышения износостойкости инструмента из быстрорежущей стали с использованием метода ОИМП / Н. И. Зиновьев, Н. И. Кинденко // Качество и надёжность технологических систем металлообработки. – Краматорск, 1992. – С. 50.

33. **Зиновьев, Н. И.** Опыт внедрения магнитной обработки инструмента на машиностроительных предприятиях / Н. И. Зиновьев, Н. И. Кинденко, А. А. Алибеков // Новые стали и сплавы, режимы их термической обработки. – Санкт-Петербург, 1992. – С. 18–20.

34. **Зиновьев, Н. И.** Обработка импульсным магнитным полем / Н. И. Зиновьев, Г. П. Клименко, Н. И. Кинденко // Технология ремонта машин и механизмов. – Киев, 1994. – С. 67.

35. **Зорев, Н. Н.** Вопросы механики процесса резания металлов / Н. Н. Зорев – М. : Машгиз. 1956. – 126 с.

36. Исследование влияния импульсной магнитной обработки в среде эпилама на износостойкость быстрорежущих сталей / Ю. М. Кичко, Н. В. Бычков, Л. В. Карючина, З. Г. Загидуллин // Оптимизация процессов резания жаро- и особопрочных материалов : межвузовский тематический научный сборник. – Уфа, 1986. – С. 169–177.

37. **Кинденко, Н. И.** Исследование контактных процессов резания инструментами, обработанными методом ОИМП поля / Н. И. Кинденко // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. – Краматорськ, 2003. – Вип. 13. – С. 87–89.

38. **Кинденко, Н. И.** Влияние режимов магнитной обработки инструмента на физико-механические свойства его материала / Н. И. Кинденко // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні. – Краматорськ, 2004. – С. 173–175.

39. **Кинденко, Н. И.** Изменение стойкости инструмента, обработанного импульсным магнитным полем, с последующим нанесением твердых технологических смазок и эпиламы / Н. И. Кинденко // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні. – Краматорськ, 2004. – С. 461–463.

40. **Кинденко, Н. И.** Повышение работоспособности сверл из быстрорежущей стали упрочненных методом ОИМП с последующим нанесением твердых смазок / Н. И. Кинденко // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. – Краматорськ-Київ, 2004. – Вип. 15. – С. 98–102.

41. **Кинденко, Н. И.** Повышение надежности вольфрамсодержащего инструмента обработкой в импульсном магнитном поле / Н. И. Кинденко // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. – Краматорськ, 2005. – Вип. 17. – С. 113–118.

42. **Кинденко, Н. И.** Обобщенная схема формирования алгоритма и номограмм для определения рациональных режимов резания магнитообработанным инструментом / Н. И. Кинденко // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. – Краматорськ, 2005. – Вип. 17. – С. 235–240.

43. **Кинденко, Н. И.** О физической сущности процесса магнитной обработки осевого инструмента из быстрорежущей стали / Н. И. Кинденко // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. – Краматорськ, 2010. – Вип. 26. – С. 203–208.

44. **Кинденко, Н. И.** Повышение надежности быстрорежущего инструмента, подвергнутого комплексному упрочнению / Н. И. Кинденко // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. – Краматорськ, 2011. – № 2 (23). – С. 168–173.

45. **Кинденко, Н. И.** Характеристика методов магнитной обработки режущих инструментов из быстрорежущих сталей / Н. И. Кинденко // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. – Краматорськ, 2012. – № 3 (28). – С. 287–292.

46. **Кичко, Ю. М.** Механическая обработка жаропрочных сплавов с применением магнитного поля / Ю. М. Кичко, В. Н. Плашков // Оптимізація процесів резання жаро- и особопроочных материалов : міжвузовський научний збірник – Уфа : Уфимський авіаційний інститут, 1978. – Вип. 3. – С. 26–32.

47. **Кичко, Ю. М.** Опыт внедрения магнитной обработки режущего инструмента / Ю. М. Кичко, О. И. Долгополов, Н. В. Бычков // Оптимизация процессов резания жаро- и высокопрочных материалов.: Межвузовский научный сборник Уфимск. авиац. ин-т. – Уфа, 1979. – Вып. 4. – С. 100–106.

48. **Кичко, Ю. М.** Влияние магнитной обработки инструмента на характеристики процесса резания жаропрочных сплавов / Ю. М. Кичко, О. И. Долгополов, Н. В. Бычков // Оптимизация процессов резания жаро- и высокопрочных материалов.: Межвузовский научный сборник. – Уфа, 1981. – Вып. 6. – С. 156–162.

49. **Кичко, Ю. М.** Исследование влияния физических свойств быстрорежущих сталей на оптимальную напряженность импульсного магнитного поля / Ю. М. Кичко, Н. В. Бычков // Оптимизация процессов резания жаро- и высокопрочных материалов.: Межвузовский научный сборник. – Уфа, 1983. – С. 150–156.

50. **Кичко, Ю. М.** Исследование влияния импульсного магнитного поля на износостойкость быстрорежущих сталей / Ю. М. Кичко, Н. З. Загидуллин, Н. В. Бычков // Оптимизация процессов резания жаро- и высокопрочных материалов : межвузовский научный сборник. – Уфа : Уфимский авиационный институт, 1984. – С. 129–137.

51. **Кичко, Ю. М.** Исследование влияния импульсной магнитной обработки в среде эпилама на износостойкость быстрорежущих сталей / Ю. М. Кичко, Н. В. Бычков // Оптимизация процессов резания жаро- и высокопрочных материалов.: Межвузовский научный сборник Уфимск. авиац. ин-т. – Уфа, 1986. – С. 169–177.

52. **Кремнев, Л.С.** Изменение структуры и свойств в режущей части инструментов из быстрорежущих сталей в процессе непрерывного точения / Л. С. Кремнев, В. А. Синопальников // Вестник машиностроения, 1974. – № 5. – С. 63–67.

53. **Курбатов, В. А.** Некоторые особенности проведения стойкостных испытаний быстрорежущих свёрл / В. А. Курбатов, Ю. А. Бородкин, В. Н. Ткачук // Вопросы судостроения. Сер. Технология и организация производства судового машиностроения. – 1976. – Вып. 7. – С. 35–38.

54. **Курчик, Н. И.** Смазочные материалы для обработки металлов резанием (состав, свойства, основы производства) / Н. И. Курчик, Л. Г. Вайншток, Ю. И. Шехтер. – М. : Химия, 1972. – 312 с.

55. **Лоладзе, Т. П.** Прочность и износостойкость режущего инструмента / Т. П. Лоладзе. – М. : Машиностроение, 1982. – 320 с.

56. Магнитная обработка режущего инструмента и перспективы дальнейшего развития этого метода: Тезисы докладов научно-технического семинара. – М, 1978. – 32 с.

57. **Макаров, А. Д.** Износ и стойкость режущих инструментов / А. Д. Макаров. – М. : Машиностроение, 1966. – 264 с.

58. **Макаров, А. Д.** Некоторые вопросы влияния магнитного поля на стойкостные характеристики режущего инструмента / А. Д. Макаров,

- В. Н. Плешков, Ю. М. Кичко // Вопросы оптимального резания металлов. – Уфа, 1975. – Вып. 77. – С. 27–31.
59. **Макаров, А. Д.** Влияние магнитного поля на качество обработанной поверхности жаропрочного сплава ЭП220 / А. Д. Макаров, Ю. М. Кичко, Н. В. Бычков // Вопросы оптимального резания металлов : труды УАИ. – Уфа, 1975. – Вып. 84. – С. 176–178.
60. **Макаров, А. Д.** Оптимизация процессов резания / А. Д. Макаров. – М. : Машиностроение, 1976. – 278с.
61. **Макаров, А. Д.** Опыт внедрения магнитной обработки режущего инструмента на Уфимском моторостроительном заводе / А. Д. Макаров, Ю. М. Кичко, С. А. Шустов // Магнитная обработка режущего инструмента и перспективы дальнейшего развития этого метода. – М. : 1978. – С.23–25.
62. **Макаров, А. Д.** Дальнейшее развитие оптимального резания металлов / А. Д. Макаров. – Уфа, 1982. – 56 с.
63. **Македонски, Б. Г.** Обработка режущих инструментов импульсным магнитным полем / Б. Г. Македонски // Обработка импульсным магнитным полем. – София-Горький, 1989. – С. 30–36.
64. **Малыгин, Б. В.** Магнитное упрочнение инструмента и деталей машин / Б. В. Малыгин. – М. : Машиностроение, 1989. – 112 с.
65. **Маталин, А. А.** Технологические модели повышения долговечности деталей машин / А. А. Маталин. – Киев: Техніка, 1984. – 286с.
66. **Михтман, В. И.** Физико-химическая механика металлов / В. И. Михтман, Е. Д. Щукин, П. А. Ребиндер. – М. : АН СССР, 1962. – 126 с.
67. **Молчанова, Н. Г.** Влияние магнитного состояния режущего инструмента на его стойкость.: автореф. диссертации канд. техн. наук. – Ташкент, 1968. – 16 с.
68. Обработка резанием жаропрочных, высокопрочных и титановых сплавов. / Под ред. Н. И. Резникова. – М. : Машиностроение, 1972. – 202 с.
69. Обработка импульсным магнитным полем (метод и техника) / С. Н. Постников : материалы 4 научно-технического международного семинара по нетрадиционным технологиям АМО'89 ; под ред. С. Н. Постникова (Ботевград, 12 – 14 октября 1989 г.). – София – Горький, 1989. – 134 с.
70. Обработка импульсным магнитным полем (метод и техника) / Под ред. С. Н. Постникова: матер. 5 науч.-техн. семинара с международным участием по нетрадиционным технологиям АМО'91 (Ботевград, 1991 г.) – София-Нижний Новгород, 1991. – 86 с.
71. О стойкостных зависимостях свёрл, подвергнутых магнитной обработке / Ю. А. Бородкин, В. А. Курбашов, А. Е. Силуанов, В. Н. Ткачук // научн. тр. Горьк. политехн. ин-т. – 1974. – Т. 30, Вып. 4. – С. 36-39.
72. **Постников, С. Н.** Некоторые физические аспекты магнитной обработки инструмента / С. Н. Постников, А. Ф. Годлина, В. Н. Тараканов // научн. тр. Горьк. политехн. ин-т. – 1974. – Т. 30, – Вып. 4. – С. 27–35.
73. **Постников, С. Н.** Электрические явления при трении и резании / С. Н. Постников. – Горький : Волго-Вят. кн. изд-во, 1975. – 280 с.

74. **Постников, С. Н.** Магнитная обработка режущего инструмента / С. Н. Постников, Ю. А. Бородкин // Теория трения, износа и смазки. –Ташкент, 1975, – Ч. 2. – С. 113–114.

75. **Постников, С. Н.** Магнитная обработка быстрорежущего инструмента / С. Н. Постников, Ю. А. Бородкин // Вопросы судостроения. Сер. Технология и организация производства судового машиностроения. – 1976. – Вып. 7. – С. 14–17.

76. **Постников, С. Н.** Субструктурное упрочнение быстрорежущих сталей в импульсных магнитных полях/ С. Н. Постников, А. В. Иляхинский // Прикладные проблемы прочности и пластичности. Механика деформируемых систем: Всесоюз. межвуз. сб. Горьк. ин-т. – 1976. – С. 143–145.

77. **Постников, С. Н.** Магнитная обработка режущего инструмента с целью повышения его стойкости / С. Н. Постников, Ю. А. Бородкин //Высокопроизводительное оборудование с ЧПУ для размерной обработки. – М. : ВИМИ, 1978. – С.95–105.

78. **Постников, С. Н.** Субструктурное упрочнение быстрорежущих сталей в импульсных магнитных полях / С. Н. Постников, А. В. Иляхинский //Прикладные проблемы прочности и пластичности. Механика деформируемых систем: Всесоюз. межвуз. сб. Горьк. ун-т. – Горький, 1979. – С. 143–149.

79. **Постников, С. Н.** Об одной из причин повышения стойкости быстрорежущего инструмента, подвергнутого магнитной обработке / С. Н. Постников, А. Д. Кунгин //Оптимизация процессов резания жаро- и особопрочных материалов.: Межвузовский научный сборник Уфимск. авиац. ин-т. – Уфа, 1980. – Вып. 5. – С. 157–160.

80. **Постников, С. Н.** Физические основы обработки материалов и изделий последовательностью импульсов слабого магнитного поля / С. Н. Постников // Докл. третьего научно-техн. семинара с междунар. участием по технологии финишной обработки АМО'87 (Варна, окт. 1987г.). – София : 1988. – С. 199-207.

81. **Преображенский, А. А.** Теория магнетизма, магнитные материалы и элементы / А. А. Преображенский. – М. : Высшая школа, 1972. – 460 с.

82. Расчеты экономической эффективности новой техники: Справочник / под ред. К. М. Великанова. – Л. : Машиностроение, 1975. – 430 с.

83. **Резников, А. Н.** Теплофизика резания / А. Н. Резников. – М. : Машиностроение, 1969. – 288 с.

84. Рекомендации по обработке твёрдой поверхности эпиламирующими составами. – Л. : ГИНХ, 1980. – 5 с.

85. **Самохоцкий, А. И.** Лабораторные работы по металловедению/ А. И. Самохоцкий, М. Н. Кунявский. – М. : Машиностроение, 1971, – 184 с.

86. **Талантев, Н. В.** Влияние магнитных процессов на интенсивность износа зенкеров при обработке жаропрочных сталей / Н. В. Талантев,

Ю. А. Плющ // Технология и автоматизация машиностроения: научн. тр. Волгоградский политехн. ин-т. – Волгоград, 1975. – С. 61–67.

87. Температурное поле стальной пластины в магнитном поле / Г. М. Гаврилов, В. И. Скиданенко, В. М. Будяк, А. И. Пончив // Теплофизика технологических процессов. – Саратов, 1973. – С. 135–143.

88. **Чижов, В. Н.** Исследование влияния магнитной обработки свёрл на их стойкость/ В. Н. Чижов, В. В. Тюпиков //Станки и инструмент. – 1977. – № 11. – С. 31–32.

89. **Якимов, А. В.** Опыт внедрения твёрдых технологических смазок для лезвийной и абразивной обработки / А. В. Якимов, В. Н. Винникова, В. П. Ларшин // Новые технологические процессы в механической обработке: Тез. докл. – Одесса, 1992. – С. 46–47.

90. **Якунин, Г. И.** Повышение стойкости быстрорежущих резцов с помощью их намагничивания / Г. И. Якунин, М. Т. Балабеков. – Янги техника, 1965. – № 4. – С. 18–20.

91. **Якунин, Г. И.** Влияние локальных магнитных полей на стойкость режущего инструмента и возможность их практического использования/ Г. И. Якунин, Н. Т. Молчанова // Электрические явления при трении. – М. : Наука, 1973. – С. 128-132.

92. **Badchi, P. K.** Effect of magnetication on the wear characteristics of cutting tools / P. K. Badchi, Ghoska // J.Just Eug. (India). Mech. Eug. Div. – 1970. – № 9. – Part 5. – С.50.

93. **Pal, C. N.** Jufluence of magnetic fuld on drill life in drilling cart iron / C. N. Pal, D. K. Pal, M. C. Das Yupta // J.Just Eug. (India). Mech. Eug. Div. – 1974. – № 5. – С. 241–246.

94. **Drits, V.** Влияние магнитной обработки на эксплуатационные характеристики режущих инструментов и трущихся деталей / V. Drits, R. Dubravsky, T. L. Vander Wert. // Обработка импульсным магнитным полем (метод и техника) : материалы 4 научно- технического международного семинара по нетрадиционным технологиям АМО'89 ; под ред. С. Н. Постникова (Ботевград, 12 – 14 октября 1989 г.). – София – Горький, 1989. – С. 85–97.

КІНДЕНКО Микола Іванович

**ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ
ВЛАСТИВОСТЕЙ ОСЬОВОГО ІНСТРУМЕНТУ
ШЛЯХОМ ІМПУЛЬСНОЇ МАГНІТНОЇ ОБРОБКИ
І НАНЕСЕННЯ АНТИФРИКЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ**

Монографія
(Українською мовою)

Редактор О. О. Дудченко

00/2022. Формат 60 x 84/16. Ум. друк. арк. 2,09.
Обл.-вид. арк. 1,41. Тираж прим. Зам. №

Видавець і виготівник
Донбаська державна машинобудівна академія
84313, м. Краматорськ, вул. Академічна, 72.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК №1633 від 24.12.03.