

**РОЗДІЛ 1**  
**ТЕХНОЛОГІЇ ДЕРЕВООБРОБКИ**

**УДК 674.053:621.93.024.74**

**ДОСЛІДЖУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ У ПРОЦЕСІ  
ЗАГОСТРЮВАННЯ ДЕРЕВОРІЗАЛЬНИХ ПИЛОК  
КРУГАМИ З ПЕРЕРВНОЮ РОБОЧОЮ ПОВЕРХНЕЮ**

**Пилипчук М.І., к.т.н., доц., Павлюк Р.В., асист.**  
*(Національний лісотехнічний університет України)*

*Розроблено методикау експериментальних досліджень температури, що виникає у процесі загострювання сталевих пилок абразивними кругами з перервною робочою поверхнею. На основі проведених досліджень встановлено закономірність впливу кількості перерв круга, подачі на врізання та швидкості різання на температуру, що виникає в зоні контакту круга з поверхнею зубця пилки. Визначено раціональні режими загострювання сталевих пилок абразивними кругами з перервною робочою поверхнею*

***Ключові слова:** загострення, пилка, перервний абразивний круг, зона контакту, температура, рівняння регресії.*

**Актуальність теми дослідження.**

Одним із способів зниження температури в зоні шліфування є застосування перервного шліфування [1]. Сутність процесу перервного шліфування полягає в тому, що коли шліфування робити з певними інтервалами і тривалість різання між цими інтервалами зробити меншою від часу теплового насичення металу, то можна за час розриву процесу шліфування понизити температуру поверхні оброблюваної деталі. За рахунок перервної конструкції круга вдається помітно знизити температуру в зоні різання й уникнути появи дефектів шліфування. Такий процес здійснюють перервними кругами, що мають на робочій поверхні ряд виступів і западин, що чергуються.

Враховуючи ці переваги, прийнято рішення про застосування способу перервного шліфування для загострювання сталевих рамних та круглих пилок. Спосіб загострення зубців сталевих дереворізальних пилок абразивними кругами з перервною робочою поверхнею [2] відрізняється від загострення суцільними кругами тим, що застосовується круг з перервною робочою поверхнею з відповідними параметрами (кількістю перерв і співвідношенням довжин ріжучої поверхні та западини) та характеристикою

(електрокорунд 25А, твердість СТ2...Т, структура № 4...7, робоча швидкість круга 30...50 м/с).

Процес загострювання сталевих пилок супроводжується виділенням тепла, яке утворюється під час зрізання металу абразивним зерном і впливає на зміну властивостей поверхневого шару зубця [3]. У зв'язку з цим важливим є встановлення залежності температури в зоні контакту круга з поверхнею зубця пилки від кількості перерв круга та режимів різання.

### Розроблення плану експериментальних досліджень

Відомо [3], що на температуру під час загострювання мають вплив: кількість перерв абразивного круга ( $n$ ); подача на врізання ( $S_n$ ), швидкість різання ( $V_p$ ), вид зв'язки, структура, твердість, матеріал зерна та інші чинники. Перші три чинники є визначальними для подальших досліджень.

В даному випадку ставиться інтерполяційне завдання — встановити зв'язок між величиною температури і змінними чинниками. Вибрати модель — означає вибрати вид цього зв'язку, записати її рівняння. За результатами попередніх досліджень [1, 3] встановлено, що залежність температури від змінних чинників можна представити лінійною залежністю. Поліноміальна модель неповного квадратного рівняння із трьома чинниками [4] має вигляд

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + B_{12}X_1X_2 + B_{13}X_1X_3 + B_{23}X_2X_3 + B_{11}X_1^2 + B_{12}X_2^2 + B_{13}X_3^2$$

Всі взяті чинники, що впливають на величину температури під час загострювання є кількісними, контрольованими і керованими. Області інтересу цих чинників (табл. 1) забезпечувались технічними характеристиками експериментальної установки та абразивних кругів.

Таблиця 1 – Області визначення та інтересу чинників впливу на температуру під час загострювання

№ ч/ч	Назва чинника	Позначення	Один. вимір.	Область визначення	Область інтересу
1	Кількість перерв круга	$n$	шт	0...12	0...12
2	Подача на врізання	$S_n$	мм	0,05...0,5	0,3...0,5
3	Швидкість різання	$V_p$	м/с	30...60	38...50

У табл.2 наведено кодові та натуральні значення змінних чинників на трьох рівнях їх варіювання.

Таблиця 2 – Кодування чинників та рівні їх варіювання

Рівень	Код	Кількість перерв круга, $X_1$ , шт.	Подача на врізання, $X_2$ , мм	Швидкість різання, $X_3$ , м/с
Верхній	+1	12	0,5	50

Середній	0	6	0,4	44
Нижній	-1	0	0,3	38
Інтервал варіювання	-	6	0,1	6

Для реалізації експерименту розроблено матрицю В-плану другого порядку з трьома чинниками, що містить  $N = 2^3 + 2K + 1 = 15$  дослідів [4].

### Методика вимірювання температури під час загострювання пилок

Аналіз літературних джерел [1, 3] показав, що ефективним методом вимірювання температури під час шліфування є метод термопар, який характеризується стабільністю параметрів та відтворенням залежності термоелектрорушійної сили від температури. За допомогою термопар можливо фіксувати температуру в діапазоні від  $(-180^{\circ}\text{C})$  до  $1300^{\circ}\text{C}$ . Похибка вимірювань знаходиться в межах  $0,1...1\%$ . Вибір конструкції й схеми закладення термопари в абразивному крузі або в деталі обумовлений метою дослідження.

Для вимірювання температури під час експериментальних досліджень загострювання рамних пилок термопару було розміщено на задній поверхні зубця рамної пилки у спеціально вирізаному рівчаку розміром  $1 \times 1$  мм (рис. 1).

У зв'язку з тим, що спай термопари знаходився на глибині 1 мм від поверхні, яка загострюється, експеримент проводився шляхом послідовного зрізання шарів товщиною  $0,3...0,5$  мм і вимірювання температури під час кожного проходу. Під час останнього проходу, коли зрізається термопара, фіксується дійсна температура, що виникає в момент контакту круга із поверхнею зубця.

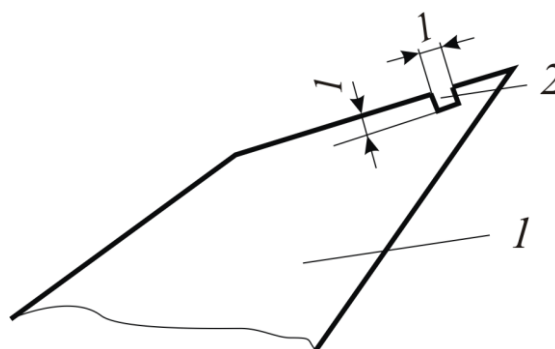


Рисунок 1 – Рівчак на зубці рамної пилки для розміщення спаю термопари: 1 – тіло зубця; 2 – рівчак

Для проведення експериментальних досліджень виготовлення експериментальних взірців абразивних кругів з перервною робочою поверхнею виконувалось шляхом вибирання частини абразиву з робочої поверхні стандартних суцільних абразивних кругів для загострювання

сталевих дереворізальних пилок (рис. 2 а). Таким чином, для забезпечення виконання дослідів експерименту, виготовлено круги, в кожному з яких сформовано задана кількість впадин та виступів на торці круга ( $n = 0, 6, 12$ ). Використано круги розміром  $300 \times 10 \times 72$ , матеріал абразивного зерна 25А - електрокорунд нормальний, зернистістю 40, твердістю СМ2, структурою №7, керамічною зв'язкою К15.

Експериментальна установка створена на базі загострювального верстата моделі ЗБ64А (рис. 2 б). Рамна пилка базувалась на магнітній плиті, що закріплена на рухомому столі верстата. Стіл забезпечував повздовжнє переміщення пилки відносно абразивного круга зі швидкістю  $S_{nd} = 5$  м/хв. Налагоджування на врізання відбувалося шляхом поперечного переміщення стола з пилкою відносно круга.

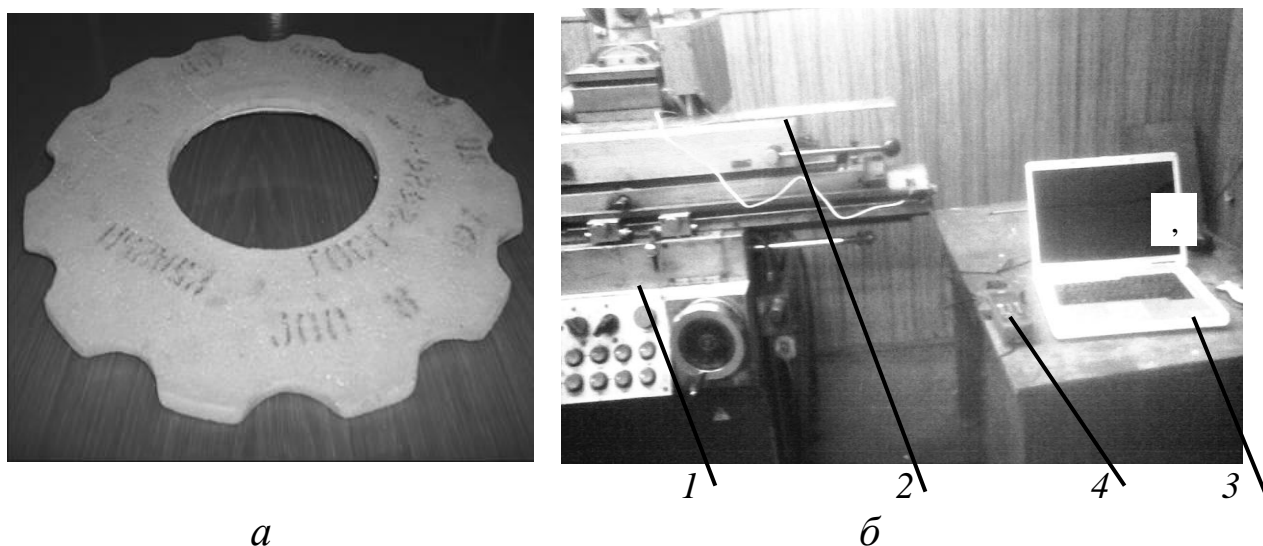


Рисунок 2 – Експериментальна установка для досліджування температури у зоні загострювання: а – абразивний круг з перервною робочою поверхнею ( $n = 12$ ); б – загострювальний верстат та вимірювальна апаратура: 1 – верстат моделі ЗБ64А; 2 – рамна пилка; 3 – ноутбук; 4 – мультиметр UT231

На рис. 3 показано встановлення рамної пилки на столі верстата та монтаж термомпари на зубці рамної пилки. Фіксування термомпари на задній поверхні зубця пилки (див. рис. 1) здійснювалось шляхом приварювання спаю термомпари до поверхонь рівчака.

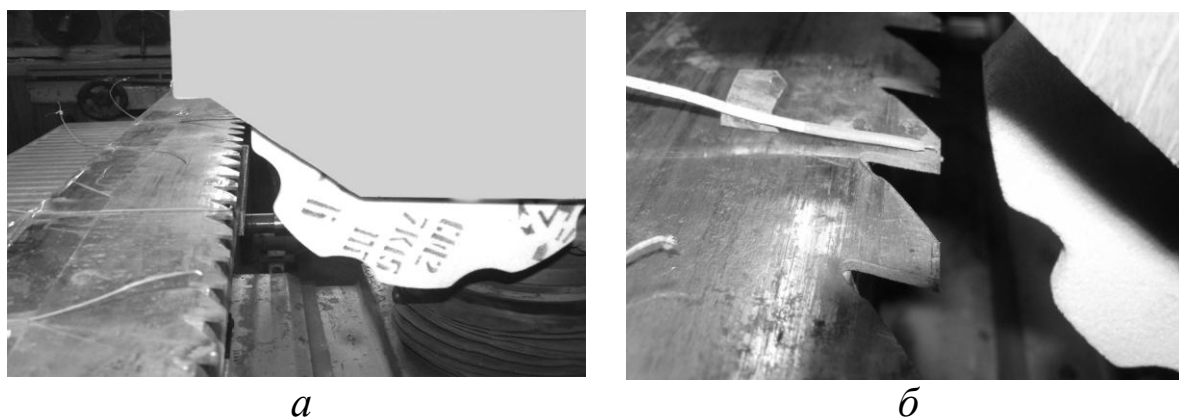


Рисунок 3 – Встановлення термопари на зубці рамної пилки: *а* – положення рамної пилки з термопарою на столі верстата; *б* – розміщення термопари на зубці рамної пилки

Для вимірювання температури застосовувався мультиметр UT231 (рис. 4 *а*). Діапазон вимірювання температури становить від  $(-40^{\circ}\text{C})$  до  $1000^{\circ}\text{C}$ , похибка вимірювання в межах:  $0,75\% \dots 1,5\%$ . Результати вимірювань температури передавались до ПК і фіксувались в табличних і графічних файлах (рис. 4 *б*).

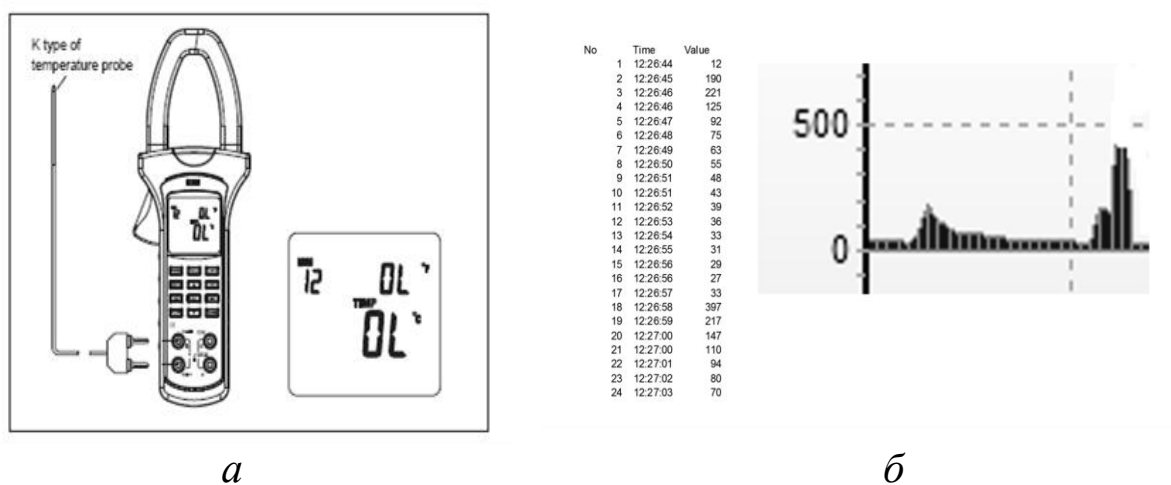


Рисунок 4 – Вимірювання температури на поверхні зубця пилки: *а* – мультиметр UT231 для вимірювання температури; *б* - результати вимірювання температури під час загострювання

### Аналіз результатів експериментальних досліджень

Оброблення результатів багатofакторного експерименту виконувалось за допомогою програми КоefRR6.0 [5]. Отримане рівняння регресії в кодових значеннях чинників впливу має вигляд:

$$T = 465,27 - 33,36X_1 + 23,82X_2 + 89,18X_3 + 5,30X_2X_3 + 79,90X_1^2 - 14,80X_2^2 + 60,00X_3^2$$

На основі аналізу рівняння регресії у нормалізованому вигляді слід відмітити наступне:

якщо значення трьох чинників знаходяться на середніх рівнях, величина температури становить 465°C, що відповідає значенню вільного члена одержаного рівняння;

коефіцієнт лінійного члену першого чинника рівняння регресії має від'ємне значення, отже при збільшенні величини кількості перерв круга температура зменшується, тобто між параметром оцінки і першим чинником впливу існує обернена залежність;

коефіцієнти лінійних членів другого і третього чинників впливу мають додатне значення, отже при збільшенні величини подачі на врізання круга та швидкості різання температура збільшується, тобто між параметром оцінки і цими чинниками існує пряма залежність;

наявність членів рівняння другого степеню всіх трьох чинників підтверджує параболічну залежність температури від кількості перерв круга, подачі на врізання та швидкості різання;

парний ефект чинників  $X_2X_3$  не має великого впливу, так як коефіцієнт рівняння регресії при ньому (5, 30) порівняно незначної величини.

На основі рівняння регресії у кодових значеннях чинників отримано рівняння регресії в явному вигляді:

$$T = 2974,78 - 32,19 n + 1033,32 S_n - 135,34 V_p + 8,83 S_n V_p + 2,22 n^2 - 1479,74 S_n^2 + 1,67 V_p^2.$$

Рівняння регресії в явному вигляді дає можливість побудувати графічні залежності температури від змінних чинників у натуральних значеннях (рис. 5 а, б), за якими можна провести більш детальний аналіз встановленої залежності.

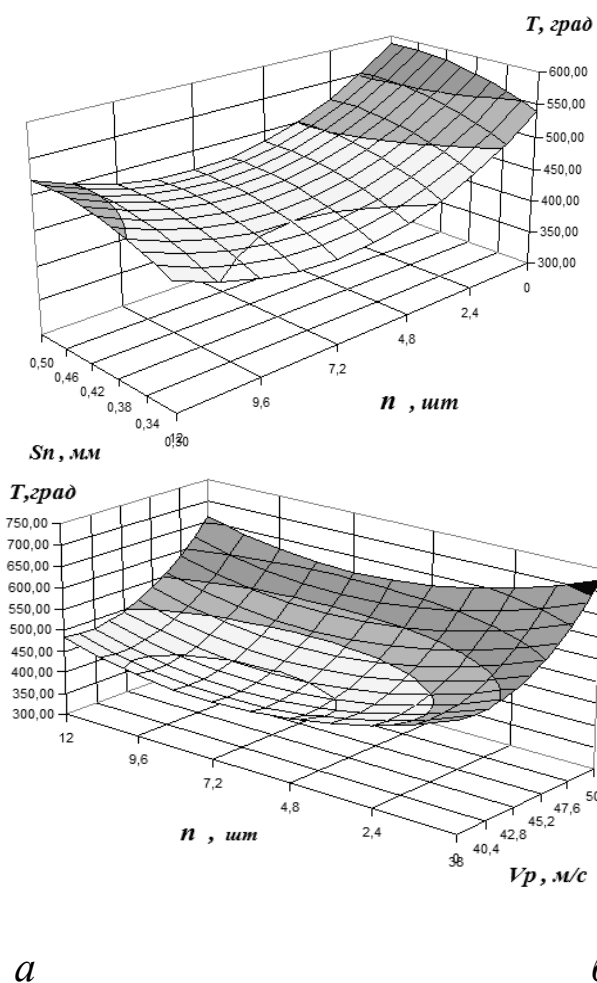


Рисунок 5 – Залежності температури поверхні зубців сталевих пилок у процесі загострення кругами різної конструкції: *а* – від кількості перерв круга та величини подачі круга на врізання; *б* – від кількості перерв круга та швидкості різання

Найбільший вплив на зниження температури у процесі загострення сталевих пилок має кількість перерв круга. Коли число перерв круга знаходиться у межах 6...8, а значення двох інших чинників відповідають нижньому рівню ( $S_n = 0,3\text{мм}$ ,  $V_p = 38\text{ м/с}$ ), температура має найменші значення ( $423...427^\circ\text{C}$ ), тобто у порівнянні із суцільним кругом зменшується у 1,23 рази (на  $126^\circ\text{C}$ ). Із збільшенням подачі круга на врізання у межах  $0,3...0,5\text{ мм}$  температура підвищується і при швидкості різання  $V_p = 44\text{ м/с}$  для суцільного круга сягає  $540...588^\circ\text{C}$ , а для круга з числом перерв 6...8 – значно нижча ( $470...474^\circ\text{C}$ ).

Збільшення швидкості різання також призводить до підвищення температури, особливо інтенсивне зростання температури відбувається у межах швидкостей  $44...50\text{ м/с}$ , при значенні подачі круга на врізання  $0,4\text{ мм}$  для суцільного круга температура сягає  $728^\circ\text{C}$ , а для круга з числом перерв 6...8 зменшується на  $117^\circ\text{C}$  (в межах  $611^\circ\text{C}...614^\circ\text{C}$ ).

Такий характер впливу чинників пояснюється значним ефектом насичення тепловою енергією зубців пилки внаслідок кращої теплопровідності сталі, а також клиноподібна форма зубця за малої товщини полотна пилки обмежує проникнення тепла на значну глибину тіла. Наявність перерв круга забезпечує переривання процесу теплового насичення і за рахунок вентиляційного ефекту охолодження поверхні зубця. Під час загострювання суцільним кругом зростання подачі круга на врізання та швидкості різання призводить до підвищення температури. В основному переривання робочої поверхні круга та зменшення подачі на врізання ведуть до значного пониження температури на поверхні зубця пилки.

### **Висновки**

1. На основі проведених експериментальних досліджень встановлено закономірність впливу кількості перерв круга, подачі на врізання та швидкості різання на температуру в зоні контакту круга з поверхнею зубця пилки у вигляді рівняння регресії другого порядку, що дозволяє визначати раціональні режими загострювання сталевих пилок абразивними кругами з перервною робочою поверхнею.

2. Аналіз отриманого рівняння регресії показав, що зі збільшенням подачі на врізання і швидкості різання для суцільних кругів температура в зоні контакту зростає до  $728^{\circ}\text{C}$ , а для кругів із кількістю перерв у межах 6...9 і мінімальних значеннях подачі на врізання і швидкості різання температура знижується до  $470^{\circ}\text{C}$ , тобто майже у 1.65 рази є меншою порівняно із суцільним кругом.

3. Результати експериментальних досліджень підтверджують ефективність застосування перервних абразивних кругів для загострення сталевих пилок, а також доводять, що досягнути зменшення температури і збільшення подачі на врізання можна тільки шляхом використання перервних абразивних кругів. Раціональна кількість перерв круга знаходиться у межах 6...9. Оптимальною кількістю перерв із врахуванням конструкційних міркувань є вісім.

### **Список літератури**

1. Якимов, А.В. Прерывистое шлифование [Текст] / А.В. Якимов. – Киев-Одесса: «Вища школа», 1986. – 174 с.

2. Деклараційний патент на винахід, В23D63/12. Спосіб загострення зубів сталевих дереворізальних пилок абразивними кругами с перервною робочою поверхнею / М.Д. Кірик, Р.В. Павлюк - № 41613А; Заявлено 26.10.2000; Опубл. 17.09.2001, Бюл. №8. - 1 с.

3. Сипайлов, В.А. Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхностного слоя [Текст] / В.А. Сипайлов. – М.: Машиностроение, 1978. – 167 с.



4. Пилипчук, М.І. Основи наукових досліджень [Текст]: Підручник для ВНЗ / М.І. Пилипчук, А.С. Григор'єв, В.В. Шостак. – К.: Знання, 2007. – 270 с.

5. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 44106. «Оброблення результатів експерименту за В-планом» («КоefRR6.0») / М.І. Пилипчук, С.П. Степанчук; влас. НЛТУ України; зареєстровано 05.06.2012.

#### **Аннотація**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В ПРОЦЕССЕ ЗАТОЧКИ ДЕРЕВОРЕЖУЩИХ ПИЛ АБРАЗИВНЫМИ КРУГАМИ С ПРЕРЫВИСТОЙ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ**

**Пилипчук М.И., Павлюк Р.В.**

*Разработана методика экспериментальных исследований температуры в процессе заточки зубьев рамных пил абразивными кругами с прерывистой рабочей поверхностью. Представлены результаты проведенных исследований. Установлено закономерности влияния количества прерываний круга, подачи на врезание и скорости резания на температуру возникающую в зоне контакта круга с поверхностью зуба пилы. Определены рациональные режимы заточки стальных пил абразивными кругами с прерывистой рабочей поверхностью.*

**Ключевые слова:** заточка, пила, прерывистый абразивный круг, зона контакта, температура, уравнение регрессии.

#### **Abstract**

### **TEMPERATURE EXPLORATION IN THE PROCESS OF SHARPENING WOOD- CUTTING SAWS BY INTERRUPTED ABRASIVE DISCS**

**M.I. Pylypchuk, R.V. Pavlyuk.**

*This article describes the method of experimental research of the process of frame saw teeth sharpening by interrupted abrasive discs with the aim to elucidate the influence of disc constructional parameters and grinding process operational factors on the temperature that occurs in the zone of contact between disc and surface of the frame saw tooth. The results of the research are presented. The regularities of the influence of the number of interruptions of the circle, the feed to the infeed and the cutting speed on the temperature appearing in the contact area of the circle with the tooth surface of the saw are established. The rational regimes of sharpening steel saws with abrasive wheels with a discontinuous working surface are determined.*

**Key words:** sharpening, steel saw blade, interruption abrasive circle, interaction zone, temperature, regression equation.