

УДК 621.43

**ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК ПАРАМЕТРІВ ВІБРАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ З ЯКІСТЮ ЗМІЦНЕННЯ РІЖУЧОГО ЕЛЕМЕНТУ КУЛЬТИВАТОРНИХ ЛАП**

**Пасюта А.Г., інженер, Біловод О.І., к.т.н., доцент,  
Келемеш А.О., к.т.н, Дудніков А.А., к.т.н., професор  
(Полтавська державна аграрна академія)**

*В статті розглядаються питання впливу режимних параметрів вібраційного зміцнення матеріалу ріжучих елементів стрілочастих культиваторних лап. Спосіб обробки суттєво впливає на фізико-механічні властивості матеріалу деталей ґрунтообробних машин. По результатах проведеного регресивного аналізу отримані системи рівнянь взаємозв'язку основних параметрів вібраційного зміцнення: амплітуди та частоти обробного інструменту, а також часу зміцнення. Знайдені математичні моделі зміни зношування носка та ширини крила на кінці леза культиваторних лап наступних варіантів: нових зі сталі 65Г; відновлених приварюванням кутових пластин зі сталі 45 з наплавленням сормайтом; відновлених приварюванням кутових пластин зі сталі 45 з наплавленням сормайтом та вібраційним деформуванням. Установлені оптимальні значення режимних параметрів обробки, при яких забезпечується найбільша зносостійкість ріжучих елементів стрілочастих лап.*

**Постановка проблеми.** Недостатня надійність сільськогосподарських машин спричиняє значні витрати запасних частин та підвищення затрат на їх експлуатацію та ремонт. Тому їх відновлення є економічно вигідним заходом та дозволяє ремонтним підприємствам скорочувати час простою, позитивно впливати на покращення показників довговічності та надійності робочих органів ґрунтообробних машин [1].

При відновленні указаних деталей необхідно забезпечити їх якість за рахунок підвищення твердості та зносостійкості робочих поверхонь, що може бути досягнуто розробкою та застосуванням прогресивних технологій, які дозволяють значно підвищити якісні показники відновлених деталей сільськогосподарських машин [2].

**Аналіз основних досліджень.** Сучасне машинобудування має у своєму розпорядженні різні методи підвищення ресурсу та зміцнення деталей.

Для одержання лез підвищеної довговічності в промисловості використовується метод нанесення твердих сплавів на поверхню робочих органів [3].

В ремонтних умовах зайшло застосування наплавлення сплавом сормайт із застосуванням газового полум'я, що забезпечує одержання на лезі утримуючого шару рівномірної товщини. Проте продуктивність цього методу дуже низька.

Незважаючи на важливість питання відновлення та зміцнення робочих органів культиваторів, указані та цілий ряд інших методів у зв'язку з високою складністю та вартістю обробки не знайшли доки належного застосування в ремонтному виробництві.

**Мета роботи.** Установити взаємозв'язок режимних параметрів вібраційної обробки з якістю зміцнення ріжучого елемента культиваторної лапи.

**Результати досліджень.** Вид обробки матеріалу деталей суттєво впливає на структуру та склад, що викликає зміну їх фізико-механічних властивостей.

По результатам багатофакторного експерименту були вибрані основні геометричні параметри – величина носка  $\Delta a$  та ширина крила на кінці леза  $\Delta c$  культиваторних лап наступних варіантів: нових зі сталі 65Г; відновлених приварюванням кутових пластин зі сталі 45 з наплавленням сормайттом та вібраційним зміцненням (табл. 1).

Таблиця 1 – Результати експериментальних досліджень культиваторних лап вібраційним зміцненням

Номер досліджу	Амплітуда коливань обробного інструмента $A$ , мм	Частота коливань обробного інструмента $n$ , $\text{хв}^{-1}$	Час зміцнення $t$ , с	Величина зносу $I$ , мм			
				варіанти лап			
				сталі 65Г		сталі 45 с наплавленням сормайттом	
				$\Delta a_1$	$\Delta c_1$	$\Delta a_2$	$\Delta c_2$
1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,5	700	20	1,24	0,78	1,20	0,82
2	0,5	700	30	0,82	0,53	0,78	0,56
3	0,5	700	40	1,15	0,75	0,14	0,79
4	0,5	1400	20	0,91	0,61	0,89	0,63
5	0,5	1400	30	0,40	0,27	0,38	0,30
6	0,5	1400	40	0,61	0,41	0,60	0,45
7	0,5	2100	20	1,04	0,67	0,99	0,71
8	0,5	2100	30	0,89	0,56	0,84	0,58
9	0,5	2100	40	1,09	1,03	1,05	1,05
10	0,75	700	20	1,11	0,72	1,07	0,76
11	0,75	700	30	0,79	0,52	0,77	0,55
12	0,75	700	40	1,06	0,67	0,98	0,71
13	0,75	1400	20	0,66	0,45	0,42	0,50
14	0,75	1400	30	0,52	0,36	0,51	0,41
15	0,75	1400	40	0,50	0,35	0,48	0,40
16	0,75	2100	20	0,75	0,51	0,78	0,54
17	0,75	2100	30	0,69	0,46	0,63	0,49
18	0,75	2100	40	0,64	0,44	0,68	0,50
19	1,0	700	20	1,02	0,65	1,05	0,68
20	1,0	700	30	0,90	0,57	0,94	0,61
21	1,0	700	40	1,00	0,65	1,05	0,69
22	1,0	1400	20	0,92	0,58	0,96	0,61
23	1,0	1400	30	0,62	0,43	0,65	0,47

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
24	1,0	1400	40	0,65	0,44	0,68	0,45
25	1,0	2100	20	1,09	0,69	1,13	0,72
26	1,0	2100	30	0,98	0,62	0,95	0,66
27	1,0	2100	40	1,01	0,63	1,06	0,67

В результаті проведеного регресивного аналізу одержані наступні системи рівнянь взаємозв'язку основних параметрів вібраційного зміцнення:

– знос  $\Delta a_1$  культиваторних лап зі сталі 65Г:

$$\Delta a_1 \begin{cases} 3,519 - 4,091 \cdot x_1 - 0,002 \cdot x_2 + 2,577 \cdot x_1^2 + 0,0002 \cdot x_1 \cdot x_2 + 6,451 \cdot 10^{-7} \cdot x_2^2; \\ 3,8345 - 3,8278 \cdot x_1 - 0,1126 \cdot x_3 + 2,5778 \cdot x_1^2 - 0,001 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,0018 \cdot x_3^2; \\ 3,685 - 0,001 \cdot x_2 - 0,113 \cdot x_3 + 6,45 \cdot 10^{-7} \cdot x_2^2 + 2,38 \cdot 10^{-7} \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,0018 \cdot x_3^2. \end{cases} \quad (1)$$

– знос  $\Delta c_1$  культиваторних лап зі сталі 65Г:

$$\Delta c_1 \begin{cases} 2,1476 - 2,5378 \cdot x_1 - 0,001 \cdot x_2 + 1,6978 \cdot x_1^2 - 6,19 \cdot 10^{-5} \cdot x_1 \cdot x_2 + 4,13 \cdot 10^{-7} \cdot x_2^2; \\ 2,4184 - 2,2944 \cdot x_1 - 0,073 \cdot x_3 + 1,6978 \cdot x_1^2 - 0,011 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,0013 \cdot x_3^2; \\ 2,5798 - 0,0013 \cdot x_2 - 0,086 \cdot x_3 + 4,138 \cdot 10^{-7} \cdot x_2^2 + 3,69 \cdot 10^{-6} \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,0013 \cdot x_3^2. \end{cases} \quad (2)$$

– знос  $\Delta a_2$  відновлених культиваторних лап приварюванням кутових пластин зі сталі 45 с наплавленням сормайтотом:

$$\Delta a_2 \begin{cases} 2,3578 - 2,8044 \cdot x_1 - 0,0013 \cdot x_2 + 2,4 \cdot x_1^2 - 0,0003 \cdot x_1 \cdot x_2 + 5,61 \cdot 10^{-7} \cdot x_2^2; \\ 3,855 - 4,1844 \cdot x_1 - 0,1103 \cdot x_3 + 2,4 \cdot x_1^2 + 0,0313 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,0013 \cdot x_3^2; \\ 3,588 - 0,0019 \cdot x_2 - 0,1042 \cdot x_3 + 5,61 \cdot 10^{-7} \cdot x_2^2 + 1,23 \cdot 10^{-5} \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,0013 \cdot x_3^2. \end{cases} \quad (3)$$

– знос  $\Delta c_2$  відновлених культиваторних лап приварюванням кутових пластин зі сталі 45 с наплавленням сормайтотом:

$$\Delta c_2 \begin{cases} 2,1256 - 2,3756 \cdot x_1 - 0,0011 \cdot x_2 + 1,57 \cdot x_1^2 - 4,76 \cdot 10^{-5} \cdot x_1 \cdot x_2 + 4,04 \cdot 10^{-7} \cdot x_2^2; \\ 2,4581 - 2,1522 \cdot x_1 - 0,0764 \cdot x_3 + 1,5733 \cdot x_1^2 - 0,0097 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,0014 \cdot x_3^2; \\ 2,6433 - 0,0013 \cdot x_2 - 0,089 \cdot x_3 + 4,04 \cdot 10^{-7} \cdot x_2^2 + 3,81 \cdot 10^{-6} \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,0014 \cdot x_3^2. \end{cases} \quad (4)$$

де  $x_1$  – фактор амплітуди робочого органу;  $x_2$  – фактор частоти коливань робочого органу;  $x_3$  – фактор часу обробки.

Значення коефіцієнтів кореляції  $R$  та детермінації  $R^2$  були отримані в результаті розрахунків в програмі Statistica 10.0. Коефіцієнти кореляції ( $R = 0,90\dots 0,92$ ) свідчать про високий ступінь взаємозв'язку між результативними та факторними показниками. Вплив даних факторів на результативні показники рівнянь складає 83...85%, що обумовлено відповідними коефіцієнтами детермінації  $R^2$  (0,83-0,85). Значення  $t$ -критеріїв суттєво перевищують критичні для сукупностей (2,58), а рівні значимостей ( $p$ -level) значно нижчі 0,05, що підтверджує надійність моделей.

Одержуємо математичні моделі зміни зносу носка  $\Delta a$  та ширини крила на кінці леза  $\Delta c$  культиваторних лап зі сталі 65Г з вібраційним зміцненням робочої поверхні та відновлених приварюванням кутових пластин зі сталі 45 з наплавленням сормайтотом та вібраційним деформуванням:

$$\Delta a_1 \begin{cases} 3,519 - 4,091 \cdot A - 0,002 \cdot n + 2,577 \cdot A^2 + 0,0002 \cdot A \cdot n + 6,451 \cdot 10^{-7} \cdot n^2; \\ 3,8345 - 3,8278 \cdot A - 0,1126 \cdot t + 2,5778 \cdot A^2 - 0,001 \cdot A \cdot t + 0,0018 \cdot t^2; \\ 3,685 - 0,001 \cdot n - 0,113 \cdot t + 6,45 \cdot 10^{-7} \cdot n^2 + 2,381 \cdot 10^{-7} \cdot n \cdot t + 0,0018 \cdot t^2. \end{cases} \quad (5)$$

$$\Delta c_1 \begin{cases} 2,1476 - 2,5378 \cdot A - 0,001 \cdot n + 1,6978 \cdot A^2 - 6,19 \cdot 10^{-5} \cdot A \cdot n + 4,13 \cdot 10^{-7} \cdot n^2; \\ 2,4184 - 2,2944 \cdot A - 0,073 \cdot t + 1,6978 \cdot A^2 - 0,011 \cdot A \cdot t + 0,0013 \cdot t^2; \\ 2,5798 - 0,0013 \cdot n - 0,0864 \cdot t + 4,138 \cdot 10^{-7} \cdot n^2 + 3,69 \cdot 10^{-6} \cdot n \cdot t + 0,0013 \cdot t^2. \end{cases} \quad (6)$$

$$\Delta a_2 \begin{cases} 2,3578 - 2,8044 \cdot A - 0,0013 \cdot n + 2,4 \cdot A^2 - 0,0003 \cdot A \cdot n + 5,61 \cdot 10^{-7} \cdot A^2; \\ 3,855 - 4,1844 \cdot A - 0,1103 \cdot t + 2,4 \cdot A^2 + 0,0313 \cdot A \cdot t + 0,0013 \cdot t^2; \\ 3,588 - 0,0019 \cdot n - 0,1042 \cdot t + 5,61 \cdot 10^{-7} \cdot n^2 + 1,23 \cdot 10^{-5} \cdot n \cdot t + 0,0013 \cdot t^2. \end{cases} \quad (7)$$

$$\Delta c_2 \begin{cases} 2,1256 - 2,3756 \cdot A - 0,0011 \cdot n + 1,57 \cdot A^2 - 4,76 \cdot 10^{-5} \cdot A \cdot n + 4,04 \cdot 10^{-7} \cdot n^2; \\ 2,4581 - 2,1522 \cdot A - 0,0764 \cdot t + 1,5733 \cdot A^2 - 0,0097 \cdot A \cdot t + 0,0014 \cdot t^2; \\ 2,6433 - 0,0013 \cdot n - 0,089 \cdot t + 4,047 \cdot 10^{-7} \cdot n^2 + 3,81 \cdot 10^{-6} \cdot n \cdot t + 0,0014 \cdot t^2. \end{cases} \quad (8)$$

Рівняння регресії (5-8) дають можливість графічно побудувати поверхні відгуків залежності величини зносу від часу зміцнення  $t$ , амплітуди  $A$  та частоти  $n$  коливань робочого органу. Для відновлення культиваторних лап приварюванням кутових пластин зі сталі 45 з наплавленням сормайтотом та вібраційним зміцненням поверхні відгуків показані на рис. 1-3.

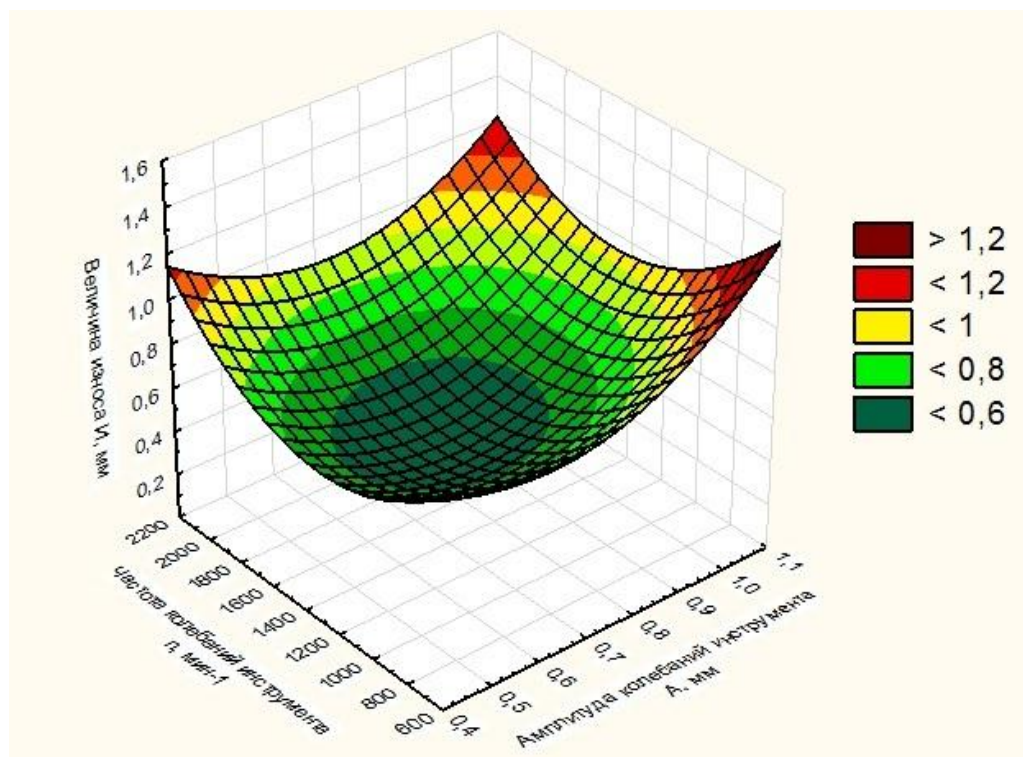


Рисунок 1 – Поверхня відгуку залежності величини зносу носка  $\Delta a$  від амплітуди  $A$  та частоти  $n$  коливань робочого органу

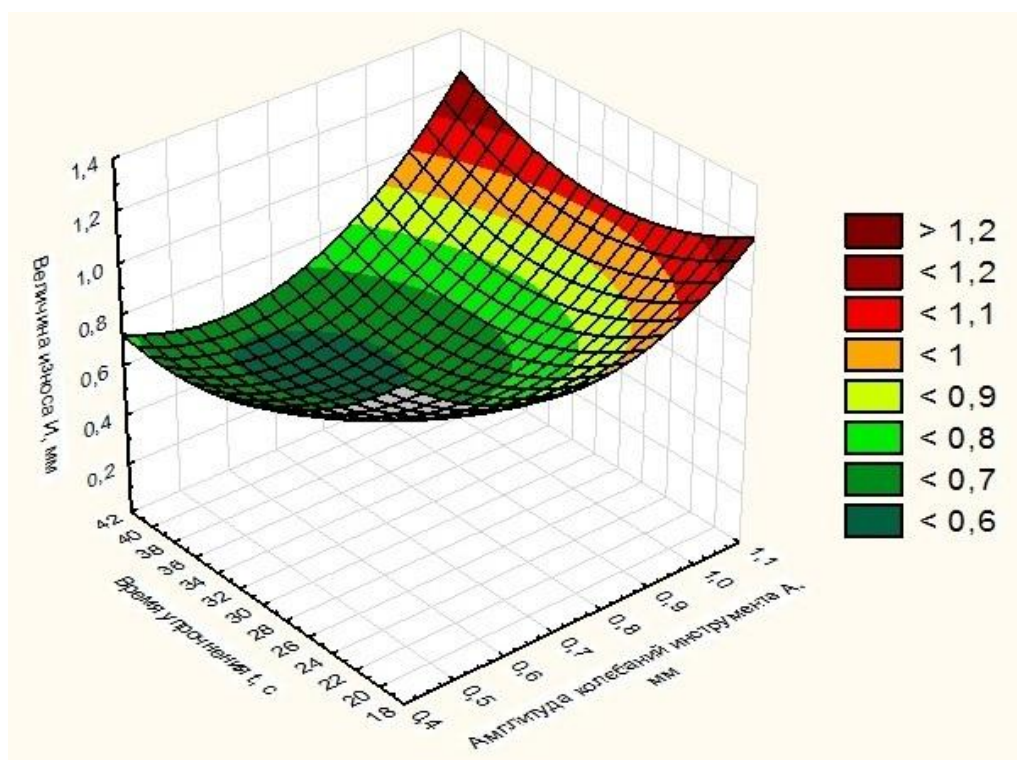


Рисунок 2 – Поверхня відгуку залежності величини зносу носка  $\Delta a$  від часу зміцнення  $t$  та амплітуди  $A$  коливань робочого органу

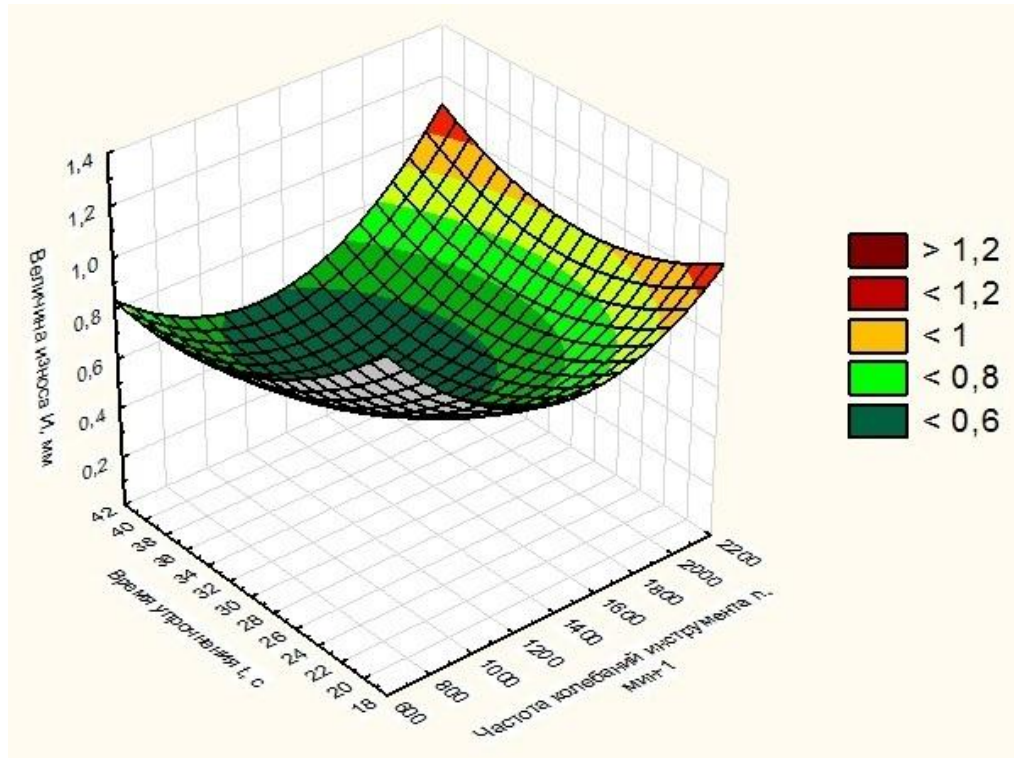


Рисунок 3 – Поверхня відгуку залежності величини зносу носка  $\Delta a$  від часу зміцнення  $t$  та частоти  $n$  коливань робочого органу

На основі аналізу одержаних поверхонь на умовах мінімум і максимум встановлено, що для збільшення зносостійкості стрілчастих культиваторних лап оптимальним режимом зміцнення є: амплітуда коливань – 0,75 мм; частота коливань обробного інструменту – 1400  $\text{хв}^{-1}$ ; час зміцнення – 30 с.

**Висновки.** Найбільшою зносостійкістю (30 мг) володіють зразки, відновлені приварюванням кутових пластин зі сталі 45, наплавленням сормайтотом та вібраційним зміцненням, а найменшою (68 мг) – відновлені відтягуванням. Ваговий знос лап, відновлених по запропонованій технології в 1,93 рази менше в порівнянні з новими зі сталі 65Г.

## Список літератури

1. Рибак Т.І. Пошукове конструювання на базі оптимізації ресурсу мобільних сільськогосподарських машин / Т.І. Рибак. – Тернопіль: ВАТ «ТВПК», 2003. – 332 с.
2. Проблеми реалізації технічної політики в агропромисловому комплексі / За ред. Я.К. Білоуська. – К.: ННЦ «ІАЕ», 2007. – 215 с.
3. Дудніков А.А. Забезпечення якості поверхні деталей при обробці тиском / А.А. Дудніков, А.О. Келемеш, Г.І. Семчук, С.Г. Єфремов // Механізація та електрифікація сільського господарства. Вип. 98, Т.2. – Глеваха, 2013. – 590 с.

**Аннотация****Взаимосвязь параметров вибрационной обработки с качеством упрочнения режущего элемента культиваторных лап**

Пасюта А.Г., инженер, Беловод А.И., к.т.н., доцент,  
Келемеш А.А., к.т.н, Дудников А.А., к.т.н., профессор

*В статье рассматриваются вопросы влияния режимных параметров вибрационного упрочнения материала режущих элементов стрелчатых культиваторных лап. Способ обработки оказывает существенное влияние на физико-механические свойства материала деталей почвообрабатывающих машин. По результатам проведенного регрессивного анализа получены системы уравнений взаимосвязи основных параметров вибрационного упрочнения: амплитуды и частоты обрабатываемого инструмента, а также времени упрочнения. Найдены математические модели изменения износов носка и ширины крыла на конце лезвий культиваторных лап следующих вариантов: новых из стали 65Г; восстановленных приваркой угловых пластин из стали 45 с наплавкой сормайт; восстановленных приваркой угловых пластин из стали 45 с наплавкой сормайт и вибрационным деформированием. Установлены оптимальные значения режимных параметров обработки, при которых обеспечивается наибольшая износостойкость режущих элементов стрелчатых лап.*

**Abstract****The relationship of parameters of vibrating processing with quality hardening of the cutting element tines**

Pasyuta A.G., engineer, Belovod A.I., Ph.D., Associate Professor,  
Kelemesh AA, Ph.D., Dudnikov AA, Ph.D., Professor

*The article examines the impact of regime parameters of vibrating material hardening of cutting elements lancet tines. The method of treatment has a significant impact on the physical and mechanical properties of the parts of tillers. According to the results of the regression analysis obtained system of equations relationship basic parameters of vibration hardening: amplitude and frequency of the machining tool, and hardening time. Found mathematical models of change of wear sock and the width of the wing at the end of the blade tines following: new steel 65G; recovered welding angular steel plates with 45 welding sormayt; recovered welding angular steel plates 45 and vibration welding sormayt deformation. The optimal values of the regime of processing parameters, which provide the greatest durability of cutting elements wing shares.*