

Дудников А.А.,  
Лапенко Т.Г.,  
Дудник В.В.,  
Канивец А.В.  
Полтавская государственная аграрная академия  
E-mail: anat\_dudnikov@mail.ru

**ВИБРАЦИОННЫЕ КОЛЕБАНИЯ В  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ  
УПРОЧНЕНИЯ**

УДК 621.9.048

*В статье рассматриваются вопросы применения вибрационных колебаний в технологических процессах восстановления и упрочнения деталей машин.*

**Ключевые слова:** *вибрационные колебания, поверхностный слой, рабочий орган, безотказность, вибрационное упрочнение.*

**Введение.** Вибрационные технологии связаны с использованием механических колебаний, воздействующих непосредственно как на объект обработки, так и на обрабатываемые среды. Они существенно отличаются от традиционных методов обработки и способствуют разработке ресурсосберегающих технологических процессов, характеризующихся более высокой интенсивностью и производительностью.

Высокая производительность методов вибрационного упрочнения способствовала широкому их распространению в различных народнохозяйственных отраслях [1].

Технологические возможности при выполнении различных процессов обработки деталей, материалов определяются прежде всего характером взаимодействия рабочего инструмента с обрабатываемой поверхностью, а также режимами обработки.

**Анализ основных достижений и публикаций.** Вибрационные колебания обрабатывающего инструмента вызывают изменение, главным образом, на обрабатываемой поверхности и в тонком поверхностном слое. Процесс соударения инструмента с обрабатываемым материалом детали сопровождается упругопластической деформацией в поверхностном слое и диффузионными явлениями в виде схватывания и переноса частиц материала детали на поверхность обрабатывающего инструмента[2].

Вибрационная обработка характеризуется воздействием ударных волн на структуру обрабатываемого материала, изменяющих уровень остаточных напряжений, повышением сопротивления усталости главным образом за счёт образования в поверхностном слое остаточных напряжений сжатия.

Широкие технологические возможности метода вибрационной обработки в сочетании с высокой производительностью на очистных, шлифовально-полировальных и упрочняющих операциях ставят его в число наиболее актуальных и перспективных способов обработки и упрочнения деталей машин [3].

В настоящее время специалистами различных отраслей хозяйства ведутся исследования в этой области; совместно с предприятиями проводятся работы по освоению виброобработки на различных технологических операциях как в машиностроении, так и в ремонтном производстве.

Доказано, что при вибрационном шлифовании цилиндров двигателей производительность труда увеличивает в два раза и повышается качество обработки[4].

При вибрационной притирке клапанов значительно повышается их износостойкость за счёт упрочнения рабочих поверхностей [5].

Вибрационное упрочнение, как отмечает академик А.П. Бабичев, является универсальным методом упрочняющей обработки как в условиях промышленного, так и ремонтного производства [6].

**Цель исследования.** Изучить влияние вибрационных колебаний на прочностные характеристики материала деталей для разработки технологического процесса их восстановления.

**Результаты исследования.** Проведенные нами исследования прочности поршневых пальцев показали, что величина припуска на обработку и число проходов при их раздаче не оказывают существенного влияния. То же самое наблюдали при испытании с глубиной закалённого слоя 0,4-0,9 мм. При глубине слоя закалки 1-1,5 мм прочность несколько выше.

Экспериментально установлено, что величина средней нагрузки, при которой поршневые пальцы, восстановленные обычным деформированием и новые, разрушались составила 83 и 94 кН. Среднее значение разрушающей нагрузки для пальцев, восстановленных вибрационным деформированием, составило 103 кН, т.е. соответственно в 1,24 и 1,1 раза меньше [7].

Остаточные тангенциальные напряжения на наружной поверхности поршневых пальцев при припусках на обработку  $\Pi = 0,16-0,26$  мм при вибрационном деформировании в 1,29-1,37 раза меньше, чем при обычной раздаче.

Нами были проведены исследования использования вибрационных колебаний при восстановлении рабочих органов почвообрабатывающих машин: плужных лемехов, дисков зерновых сеялок, лап культиваторов.

Надёжность работы рабочих органов почвообрабатывающих машин зависит не только от условий эксплуатации, но и от состояния рабочей поверхности, которая должна соответствовать следующим условиям: иметь высокую износостойкость, достаточные сжимающие остаточные напряжения, равномерную мелкозернистую структуру, соответствующую техническим условиям шероховатость [8].

Для разработки технологического процесса восстановления рабочих органов почвообрабатывающих машин были исследованы и определены оптимальные значения следующих параметров: частоты колебаний обрабатывающего инструмента, его амплитуды колебаний, времени упрочнения, а также обоснованы толщина режущей кромки и угол заточки лезвия.

Надёжность рабочего органа (лемеха) может быть определена вероятностью безотказной работы  $P_t$ , а долговечность оценивается вероятностью того, что износ не выйдет за величину предельного износа.

Исследованиями установлено, что изменение геометрических параметров рабочих органов почвообрабатывающих машин подчиняется закону нормального распределения. Следовательно, увеличение толщины кромки лемеха изменяется по следующей зависимости [9].

$$f(a/t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_a} \exp \left\{ -\frac{[a-\bar{a}(t)]^2}{2\sigma_a^2} \right\}, \quad (1)$$

где  $a$  – текущее значение толщины кромки;

$\sigma_a$  – среднеквадратическое отклонение в момент времени  $t$ ;

$\bar{a}(t)$  – среднее значение толщины кромки.

Вероятность безотказной работы определяли:

$$P(t) = 1 - \frac{1 - \Phi\left(\frac{a_n - \sigma - kt}{\sigma_a + \sigma_k t}\right)}{\Phi\left(\frac{\sigma + kt}{\sigma_a + \sigma_k t}\right)}, \quad (2)$$

где  $\Phi$  – функция Лапласа;

$a_n$  – предельное значение толщины кромки лезвия;

$v, k, \sigma_v, \sigma_k$  – постоянные коэффициенты, определяемые по экспериментальным данным методом наименьших квадратов.

Коэффициенты  $v$  и  $\sigma_v$  определяют начальное качество рабочего органа и его изменение, а коэффициенты  $k$  и  $\sigma_k$  – скорость изменения толщины и рассеяния скорости.

Долговечность рабочего органа оценивалась:

$$T = \frac{I_n}{i(t)} t, \quad (3)$$

где  $I_n$  – предельный износ;

$t$  – время безотказности работы.

Значения указанных коэффициентов приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Показатели наработки плужных лемехов**

Вариант лемеха	$v$ , мм	$c$ , мм	$\bar{t}$ , га	$\bar{T}$ , га
1. Новые из стали 65Г без упрочнения	0,35	0,07	28,8	38
2. Восстановленные приваркой шин из стали 45 с наплавкой сормайт и вибрационным упрочнением	0,29	0,05	31,2	40

Как показали полученные данные, метод допустимой вероятности даёт наиболее приемлемое совпадение с фактическими данными по ресурсу и позволяет более точно учитывать разброс экспериментальных данных, что видно на примере лемеха, восстановленного приваркой шин из стали 45 с наплавкой сормайт и вибрационным упрочнением. Эти лемехи имеют более низкую 0,003 мм/га скорость увеличения толщины лезвия по сравнению с новыми, что можно объяснить наличием в структуре упрочнённого материала включений карбидной фазы.

Наиболее наглядны преимущества вибрационного упрочнения при обработке деталей работающих в тяжёлых условиях (рабочие органы посевных, уборочных машин, культиваторов).

Методы вибрационной обработки при восстановлении изношенных поверхностей указанных деталей машин обеспечивают более высокую степень упрочнения и уровень остаточных напряжений сжатия, что способствует повышению усталостной прочности деталей, в особенности работающих в абразивной среде [10].

Метод поверхностного пластического деформирования с применением механических колебаний обрабатывающего инструмента позволяет значительно повысить долговечность дисков сошников зерновых сеялок за счёт изменения физико-механического состояния и свойств обрабатываемой поверхности, что обеспечит повышение их ресурса.

Повышение долговечности дисков сошников поверхностным вибродеформированием обеспечивается за счёт структурных изменений и появления в обрабатываемом материале сжимающих остаточных напряжений, оказывающих благоприятное воздействие на его прочностные характеристики.

Степень упрочнения материала дисков сошников определяли по следующей функциональной зависимости:

$$\eta = \log_{\varepsilon} \frac{\sigma_s}{\sigma_T}, \quad (4)$$

где  $\varepsilon$  – логарифмическая степень деформации;

$\sigma_s$  – напряжение течения материала;  
 $\sigma_T$  – предел текучести материала детали.

Расчетные значения степени упрочнения, полученные по указанной зависимости, приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Расчетные значения степени упрочнения**

Обрабатываемый материал	Степень упрочнения $\eta$	
	обычное деформирование	вибрационное деформирование
Сталь 65Г	0,112	0,155
Сталь 45, сормайт	0,099	0,139
Сталь 65Г, сормайт	0,081	0,112

Исследованиями установлено, что степень упрочнения материала дисков сошников, восстановленных привариванием сегментных шин с последующей наплавкой сормайтом при вибрационном деформировании в 1,4 раза больше, чем при обычной обработке.

В результате проведенных испытаний дисков и исследования свойств их материала предложен вариант диска, восстановленного привариванием сегментов из стали 45 с наплавкой сормайтом с последующим вибрационным упрочнением, для которого достигается относительное уменьшение толщины режущей кромки. Этот показатель износостойкости в 1,92 раза выше, чем новых дисков из стали 65Г.

**Выводы.** Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о более высоком упрочнении материала деталей при вибрационном деформировании и будут использованы при разработке технологии их восстановления.

### Литература

1. Берник П.С. Классификация способов вибрационной обработки / П.С. Берник, Л.В. Ярошенко // Вибрации в технике и технологиях, Винница: 1992, №3. – С. 48-50.
2. Голубев Т.М. Новые методы обработки металлов давлением / Т.М. Голубев.– К.: 1981. – 208 с.
3. Бабичев А.П. Основы вибрационной технологии / А.П. Бабичев, И.А. Бабичев.– Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2008. – 694 с.
4. Стойков С.Н. и др. Комплексное восстановление цилиндрической группы двигателей / С.Н. Стойков и др.– К.: УНИИТЭН, 1983, № 4. – С. 73-75.
5. Лапенко Т.Г. Упрочнение поверхности деталей при обычном и вибрационном деформировании / Т.Г. Лапенко. БСХ.– Горки: 1998. – С. 110-115.
6. Бабичев А.П. Состояние вибрационной отделочно-зачистной обработки / А.П. Бабичев // Вибрации в технике и технологиях.– 1997. – №1. С. 72-74.
7. Дудников А.А. Упрочнение материала образцов с помощью вибраций / А.А. Дудников, Е.В. Иванкова, Т.Г. Лапенко // сб. науч. тр.: ХДТУСГ, – Харьков, 1996. – С. 32-35.
8. Аулін В.В. Характер та інтенсивність зношування робочих органів ґрунтообробних машин / В.В. Аулін, В.М. Бобрицький // Проблеми трибології. – Хмельницький: ХДУ, 2004. – №2. – С. 107-112.
9. Анілович В.Я. Надійність машин в завданнях та прикладах / В.Я. Анілович, О.С. Грінченко, В.Л. Литвиненко.– Харків: Око, 2001. – 320 с.
10. Vibrations in Rotating Machinery. Proceedings of Conferense.

## Summary

**Dudnikov A.A., Lapenko T.G., Dudnik V.V., Kanivets A.V.** Vibrations in technological processes of hardenin

*This article discusses the use of the vibration in the various processes in the reduction of (manufacturing) working organs of the car and provides examples. Peculiarities of the vibration treatment of proven machine components and reveals the mechanism of the vibration exposure of vibration waves on the structure of the processed material, altering the level of residual stresses. We investigated and the optimal values of the following parameters: frequency of oscillation of the machining tool, its oscillation amplitude, hardening time, justified the parameters of the cutting edge plowshare, the disc coulter grain drill. Research has identified the law of variation of geometrical parameters of working organs of tillers.*

*The advantages of surface plastic deformation by mechanical vibrations of the machining tool can significantly improve the durability of these parts at the expense of physical and mechanical condition of the properties of the treated surface, which increases the life of machines. The effect of deformation of the vibration on the value of compressive residual stresses of the processed material, have an impact on its strength characteristics.*

*The recommendations on the choice of optimal technological parameters of the hardening of the vibration treatment is functional relationship to determine the degree of hardening, which is calculated on the basis of its value in the normal vibration and deformation.*

*Research has established that the degree of hardening of the material disc coulter recovered segmental tire welding with subsequent vibratory welding deformation Sormayt at 1.4 times greater than in conventional processing.*

**Keywords:** vibrations, the surface layer, the working body, reliability, vibration hardening.

## References

1. Bernik P.S. Classification methods of vibrating processing / P.S. Bernik, L.V. Yaroshenko // Vibrations in technics and technologies, Vinnitsa: 1992, №3. – S. 48-50.
2. Golubev T.M. New methods of metal forming / T.M. Golubev.– K.: 1981. – 208 p.
3. Babichev A.P. Fundamentals of vibration technology / A.P. Babichev, I.A. Babichev.– Rostov n/D: Publishing Center DSTU, 2008. – 694 p.
4. Persistent S.N. and others. Comprehensive recovery cylinder-piston engines / S.N. Racks and others.– K.: UNIITEN 1983, number 4. – S. 73-75.
5. Lapenko T.G. Surface hardening of parts in conventional deformation and vibration / T.G. Lapenko. BSKH.– Hills: 1998. – S. 110-115.
6. Babichev A.P. Status vibratory finishing and stripping processing (030) / A.P. Babichev // Vibrations in technics and tehnologiyah.– 1997. – №1. S. 72-74.
7. Dudnikov A.A. Hardening of the material samples via vibration / A.A. Dudnik, E.V. Ivankov, T.G. Lapenko // sb. scientific. tr.: HDTUSG – Kharkiv, 1996. – P. 32-35.
8. V.V. Aulin Character is the intensivnist znoshuvannya robochem organiv rruntoobrobnih machines / V.V. Aulin, V.M. Bobritsky // Problems tribologii. – Khmelnytskyi: KSU, 2004. – №2. – S. 107-112.
9. Anilovich V.Y. Nadiynist machines zavdannayah that butts / V.Y. Anilovich, O.S. Grinchenko, V.L. Litvinenko.– Kharkiv: Eye, 2001. – 320 p.
10. Vibrations in Rotating Machinery. Proceedings of Conferense.