

УДК 621.9.048

DOI: 10.15587/2312-8372.2019.157827

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВИБРАЦИОННЫХ КОЛЕБАНИЙ В ПРОЦЕССАХ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Дудников А. А., Дудник В. В., Канивец А. В., Беловод А.И., Бурлака А. А.

### 1. Введение

К числу важных задач машиностроения и сельскохозяйственного производства относится проблема повышения качества и долговечности деталей машин, как при изготовлении, так и восстановлении. Успешное решение данной проблемы в основном зависит от разработки прогрессивных технологий и современного технологического оборудования, обеспечивающей повышение производительности труда, снижение трудоемкости при одновременном повышении качества и высокой надежности при изготовлении и восстановлении деталей машин.

В последние годы для обеспечения размерной стабильности деталей стала применяться виброударная обработка, способствующая изменению состояния поверхностного слоя, более глубокое проникновение вибрационного воздействия на обрабатываемый материал.

Распространение волнового воздействия в твердых телах представляет большой интерес для исследований, относящихся к области металлообработки. Однако в специальной литературе не уделяется должного внимания описанию физики волновых процессов. Различное поведение материалов является следствием проявления динамических свойств инерции и упругости [1].

Вопросы вибрационной обработки деталей, несмотря на актуальность, недостаточно освещены в литературе, содержащей противоречивые и частично устаревшие представления о возможностях и достигнутых результатах [2].

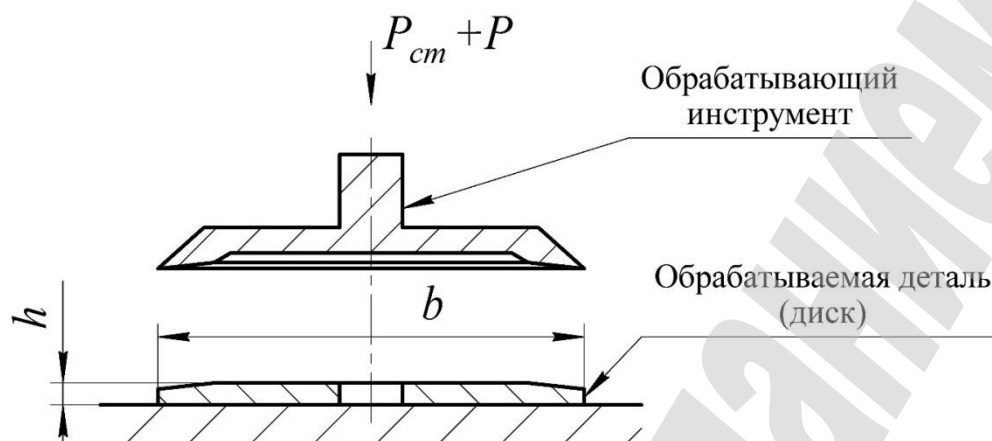
Несмотря на большое количество методов упрочнения материала деталей, универсального, пригодного для большого их многообразия, не существует.

В связи с этим актуальными являются вопросы проведения исследований по влиянию параметров вибрационной обработки на качественные характеристики материала восстанавливаемых (изготавливаемых) деталей.

### 2. Объект исследования и его технологический аудит

Объектом исследования является технологический процесс повышения надежности восстановления дисков сошников зерновых сеялок вибрационным упрочнением.

Схема колебательного удара обрабатывающего инструмента, к которому приложены возмущающая сила  $P_{cm}=const$  и сила инерции  $P$ , представлены на рис. 1.



**Рис. 1.** Схема колебательного удара обрабатывающего инструмента на обрабатываемую деталь (диск)

Обработку давлением рабочей поверхности детали можно рассматривать как технологическую операцию (осадку), при которой происходит уменьшение ее высоты  $h$  и увеличение ширины  $b$  по окружности. При этом деформация по оси действующего усилия  $P$  отрицательна, но по двум другим осям – положительна.

В данной работе рассматриваются вопросы создания основ по выявлению оптимальных параметров технологического процесса вибрационной обработки дисковых рабочих органов при их восстановлении.

Поэтому исследования, направленные на разработку технологического процесса упрочнения таких деталей с применением вибрационных колебаний, могут быть отнесены к числу перспективных для агропромышленного комплекса.

Анализ существующих технологических решений по упрочнению поверхностного слоя деталей свидетельствует о недостаточных данных по влиянию таких параметров, как: амплитуда, частота колебаний, скорость деформирования на величину упрочнения материала обрабатываемой поверхности.

Износостойкость поверхности деталей, обработанных вибрационным методом, в значительной степени зависит от глубины упрочненного слоя, однако, в литературе отсутствуют конкретные рекомендации по ее определению [3].

Представляет практический интерес проведения дальнейших исследований процесса вибрационного упрочнения деталей, работающих в особо нагруженных условиях, для разработки технологии, обеспечивающей повышение долговечности и надежности.

### **3. Цель и задачи исследования**

*Цель исследования* – разработка технологического процесса восстановления деталей типа «диски» с использованием вибрационного упрочнения их режущих элементов.

Для достижения этой цели ставились следующие задачи:

1. Сделать анализ условий работы и причин потери работоспособности дисковых рабочих органов.
2. Исследовать влияние вибрационной обработки на характер упрочнения восстанавливаемых дисков.
3. Выполнить оценку надежности дисковых сошников зерновых сеялок.

#### **4. Исследование существующих решений проблемы**

При эксплуатации сельскохозяйственных машин происходит изнашивание рабочих органов в результате трения их поверхностей с обрабатываемой средой. При этом изменяются геометрические параметры режущих элементов почвообрабатывающих деталей.

В поверхностных слоях сопрягаемых поверхностей возникают механические и молекулярные взаимодействия, вызывающие износ [4].

Интенсивность протекания изнашивания зависит от скорости процесса разрушения поверхностных микрообъемов материала. Все виды изнашивания можно разделить на быстро протекающие, средней скорости и медленные процессы разрушения микрообъемов.

Быстро протекающие процессы являются особо опасными видами разрушения. Процессы средней скорости изнашивания характерны для циклических видов разрушения [5]. Медленные процессы, как правило, наблюдаются при усталостном и окислительном изнашивании.

Приведенные литературные источники [6, 7] свидетельствуют о важности разработки наиболее эффективных технологических процессов восстановления режущих элементов дисковых рабочих органов почвообрабатывающих машин.

Для повышения долговечности режущих элементов дисковых рабочих органов иногда применяют упрочнение индукционным способом. Недостаток данного метода состоит в том, что с уменьшением толщины восстановленного слоя наплавкой до 0,2 мм снижается качество упрочнения и значительная потеря формы деталей [8].

В ремонтном производстве имеют некоторое применение следующие способы: метод плакирования износостойкой лентой, метод упрочнения трением, лазерная наплавка. Однако, указанные способы отличаются довольно высокой сложностью, требуют специального дорогостоящего оборудования и пока еще не нашли широкого применения при восстановлении дисковых рабочих органов.

Имеются данные восстановления поверхности диска по диаметру методом контактного шовного сваривания внахлестку с дальнейшим упрочнением порошковыми материалами на основе сормайта [9]. Данный технологический процесс отличается сложностью, трудоемкостью и не обеспечивает в полной мере гарантии от возможного усталостного разрушения в процессе эксплуатации дисков.

С учетом перечисленных недостатков существующих способов восстановления дисковых деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин необходимо в их материале создать условия для возникновения сжимающих напряжений.

Анализ приведенных методов восстановления дисковых изношенных деталей почвообрабатывающих машин позволяет сделать вывод о том, что для указанных деталей целесообразно использовать метод упрочнения их рабочей поверхности на основе вибрационных колебаний обрабатывающего инструмента.

Касаясь перспектив использования механических колебаний различного спектра в технологических процессах восстановления деталей, следует

отметить, что интерес к этой проблеме со стороны соответствующих специалистов в ближайшие годы будет возрастать.

Основными предпосылками к этому являются:

- интенсификация существующих технологических процессов и методов воздействия на обрабатываемый материал предмета;
- возможность разработки новых способов обработки материалов;
- снижение энергозатрат и повышение экономической эффективности при восстановлении (изготовлении) деталей машин.

Вибрационные колебания позволили создать новые технологические процессы обработки.

Для решения поставленной проблемы, выявленной при анализе мировой научной литературы, можно выделить следующие аспекты:

- разработка ресурсосберегающих технологий, характеризующихся более высокой интенсивностью и производительностью, оригинальными качественными показателями [2, 3];
- обеспечение более высокой степени упрочнения и уровня остаточных напряжений сжатия, способствующих повышению усталостной прочности деталей, в особенности, работающих в абразивной среде [5].

Разработка технологических основ восстановления дисковых рабочих органов с меньшей интенсивностью изнашивания методом приваривания сегментов с последующим вибрационным упрочнением обеспечивает повышение их долговечности и ресурса.

Авторы работы [10] отмечают, что в процессе эксплуатации деталей машин в слоях, прилегающих к поверхности, нередко формируется новая структура, в которой возникают остаточные напряжения. Но остается не раскрытый вопрос их влияния на прочностные характеристики материала деталей, работающих в почвенной среде.

В частности, работа [11] посвящена повышению долговечности деталей, которая достигается применением передовых технологий по улучшению свойств материалов, в том числе и с использованием вибрационных колебаний. Авторы отмечают, что этого можно достигнуть применением разных конструктивных схем в процессе воздействия давлением. Однако, предложенная схема в этой работе не позволяет применить ее при восстановлении дисков зерновых сеялок.

Как отмечают авторы работы [12], благодаря приданию материалу поверхностного слоя необходимых физико-механических свойств циклическим нагружением повышается долговечность восстанавливаемых деталей. При этом в поверхностном слое возникают все характеристики сопротивления деформации (пределы твердости, упругости, прочности, усталости, текучести), пластичность при этом понижается, металл становится более хрупким. Однако, описанные параметры не имеют фактического подтверждения при восстановлении деталей, работающих в почвенной среде.

По мнению авторов работы [13], сбережение показателей износостойкости и прочностных характеристик обрабатываемых поверхностей частично достигается с применением направленных колебаний. Однако, в этой работе не

до конца раскрыт данный процесс, что накладывает определенные ограничения на использование предложенных решений.

Вопросы повышения долговечности деталей при обработке их материала с применением вибрационных колебаний рассмотрены в работе [14]. Но остается не раскрытый вопрос поиска оптимальных параметров при пластическом деформировании деталей.

Как отмечают авторы работы [15], во время вибрационной обработки периодически совершается отрыв поверхности рабочей части инструмента от обрабатываемой поверхности детали. При этом происходит микропроцесс разгрузки контактируемых поверхностей, что приводит к возрастанию динамического воздействия с увеличением амплитуды и частоты колебаний обрабатывающего инструмента. По мнению авторов работы [16], указанные параметры оказывают существенное влияние на поверхностное упрочнение деталей.

Износостойкость деталей, работающих в почвенной среде, подвергаемых вибрационному деформированию, во многом определяется глубиной закаленного слоя. Тем не менее, работа [17] указывает на отсутствие конкретных рекомендаций по определению его значений в литературе.

Результаты анализа литературных данных позволяют сделать вывод о том, что имеющиеся технологические решения по упрочнению материала поверхности деталей свидетельствуют о неиспользованных резервах в процессе упрочняющей их обработки.

## **5. Методы исследований**

Анализ публикаций по повышению долговечности деталей сельскохозяйственной техники позволил определить следующие направления исследований:

- разработка различных эффективных технологий восстановления изношенных деталей;
- повышение износостойкости деталей путем применения способа вибрационного упрочнения.

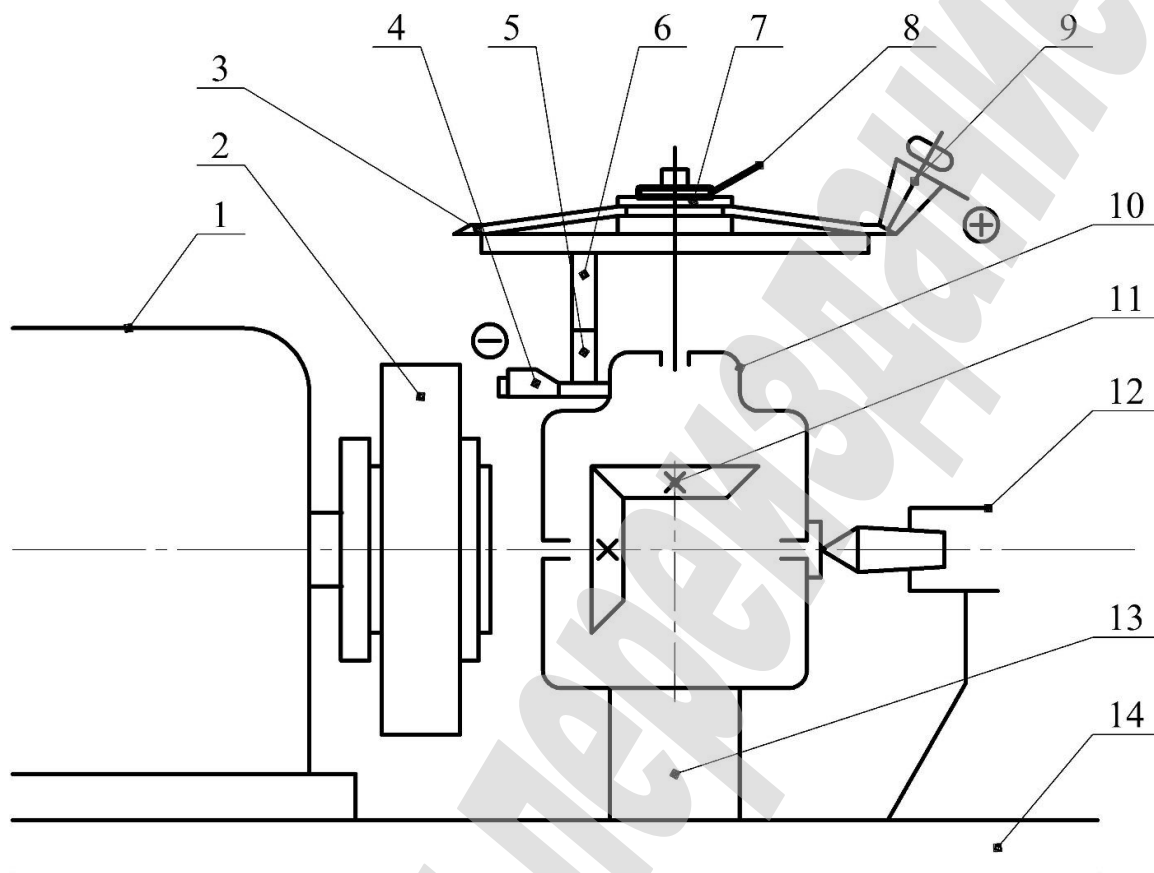
При разработке технологического процесса восстановления дисковых рабочих органов производили выбор оптимальных параметров обработки, снижающих величину их износа.

Замеры толщины режущей части диска проводили микрометром МКЦ 25 (Китай) с электронным отсчетным устройством (ГОСТ 6507), а микрометраж диска осуществляли штангенциркулем ШЦЦ-II (Украина) с точностью отсчета 0,01 мм (ГОСТ 166).

Величину угла лезвия диска оценивали угломером 5УМ (Россия, ГОСТ 5378) с дискретностью отсчета 5'.

Исследования влияния обычного и вибрационного деформирования на упрочнение обрабатываемого материала проводили вначале на образцах-моделях, а затем – на деталях. Образцами служили новые диски, исследования на которых позволяли исключить такие факторы, как величина износа и характер его протекания. Это позволило уточнить основные параметры технологического процесса обработки.

Процесс восстановления осуществлялся вибродуговым способом на универсальной наплавочной установке (рис. 2).



**Рис. 2.** Схема наплавки: 1 – передняя бабка; 2 – патрон; 3 – наплавляемая деталь; 4 – электропровод; 5 – щетка; 6 – контактная пластина; 7 – прижимная шайба; 8 – зажим; 9 – наплавляемая головка; 10 – корпус редуктора; 11 – коническая шестерня; 12 – задняя бабка; 13 – кронштейн; 14 – станина

Процесс наплавки осуществлялся следующим образом. Горизонтальный вал конического редуктора закреплялся в патроне (2) наплавочной установки. В зажимное устройство устанавливается деталь, которой передается вращательное движение от шпинделя редуктора (10). К изношенной поверхности подводится мундштук наплавочной головки (9). Подача осуществляется с помощью ходового винта установки.

Восстановление рабочей поверхности диска проводилось методом приварки сегментов по его наружному диаметру.

Сегменты, изготовленные из стали 45 толщиной 2 мм и шириной 15 мм на сорокатонном прессе, приваривались проволокой диаметром 2 мм из стали 08ГС с последующей наплавкой сормайтотом.

Амплитуду колебаний обрабатывающего инструмента изменяли в пределах 0,25–0,75 мм, а частоту колебаний – 700–2100 мин<sup>-1</sup>.

Для оценки влияния метода обработки на свойства материала дисков были проведены микроструктурные исследования, необходимые для выбора оптимальных параметров технологического процесса восстановления. Твердость

материала определялась по методу Роквелла на приборе ТК-2М (Россия, ГОСТ 23677). Микротвердость измерялась на микротвердомере ПМТ-3 (Украина) в соответствии с ГОСТ 9450-76.

## 6. Результаты исследований

Упрочнение поверхности дисков зависит от многочисленных факторов, исследование влияния которых имеет важное значение для разработки технологического процесса их восстановления.

Были определены и обоснованы три основных параметра упрочнения: амплитуда  $A$ , частота колебаний обрабатывающего рабочего органа  $n$  и время упрочнения  $t$ .

В качестве критериев оптимизации при многофакторном эксперименте, были выбраны износы диска по диаметру  $\Delta D$  и толщине  $\Delta a$ . Исследования проводили для дисков сошников из стали 65Г, новых с виброупрочнением рабочей поверхности и восстановленных приваркой сегментов из стали 45 с наплавкой сормайтотом и вибрационным упрочнением.

В результате проведенных экспериментальных исследований получены следующие уравнения взаимосвязи основных параметров вибрационного упрочнения:

– износ  $\Delta D_1$  нового диска из стали 65Г:

$$\Delta D_1 = 1,3076 - 1,2709x_1 - 0,0005x_2 - 0,0341x_3 + 1,5729x_1^2 + 1,9 \cdot 10^{-7}x_2^2 + 0,0007x_3^2; \quad (1)$$

– износ  $\Delta a_1$  нового диска из стали 65Г:

$$\Delta a_1 = 1,3941 - 1,484864x_1 - 0,0048x_2 - 0,0451x_3 + 1,5019x_1^2 + 1,64 \cdot 10^{-7}x_2^2 + 0,001x_3^2; \quad (2)$$

– износ  $\Delta D_2$  восстановленного диска из стали 45 с наплавкой сормайтотом:

$$\Delta D_2 = 1,3819 - 1,6527x_1 - 0,0049x_2 - 0,0392x_3 + 1,6535x_1^2 + 1,77 \cdot 10^{-7}x_2^2 + 0,0088x_3^2; \quad (3)$$

– износ  $\Delta a_2$  восстановленного диска из стали 45 с наплавкой сормайтотом:

$$\Delta a_2 = 1,4889 - 1,9108x_1 - 0,00065x_2 - 0,0343x_3 + 1,9202x_1^2 + 2,18 \cdot 10^{-7}x_2^2 + 0,0002x_3^2, \quad (4)$$

где  $x_1$  – фактор амплитуды обрабатывающего рабочего органа;  $x_2$  – фактор частоты колебания рабочего органа;  $x_3$  – фактор времени обработки.

Подставляя в системы уравнений (1)–(4) реальные значения параметров, получаем математические модели изменения износов по диаметру  $\Delta D$  и толщине  $\Delta a$ :

– износ  $\Delta D_1$  и  $\Delta a_1$  нового диска из стали 65Г с виброупрочнением:

$$\Delta D_1 = 1,3076 - 1,2709A - 0,0005n - 0,0341t + 1,5729A^2 + 1,9 \cdot 10^{-7}n^2 + 0,0007t^2; \quad (5)$$

$$\Delta a_1 = 1,3941 - 1,484864A - 0,0048n - 0,0451t + 1,5019A^2 + 1,64 \cdot 10^{-7}n^2 + 0,001t^2; \quad (6)$$

– износ  $\Delta D_2$  и  $\Delta a_2$  восстановленного диска приваркой сегментов из стали 45 с наплавкой сормайтм вибрационным деформированием:

$$\Delta D_2 = 1,3819 - 1,6527A - 0,0049n - 0,0392t + 1,6535A^2 + 1,77 \cdot 10^{-7}n^2 + 0,0088t^2; \quad (7)$$

$$\Delta a_2 = 1,4889 - 1,9108A - 0,00665n - 0,0343t + 1,9202A^2 + 2,18 \cdot 10^{-7}n^2 + 0,0002t^2. \quad (8)$$

Уравнения регрессий (5)–(8) позволяют определить изменение величины износа дисков в зависимости от амплитуды  $A$ , частоты колебаний обрабатывающего инструмента  $n$  и времени обработки (упрочнения)  $t$ .

На основании исследования на экстремумы полученных поверхностей, построенных по данным уравнениям, установлено, что оптимальными режимами вибрационного упрочнения являются:

- частота колебаний рабочего органа  $n=1400$  мин<sup>-1</sup>;
- амплитуда рабочего органа  $A=0,5$  мм;
- время упрочнения  $t=20$  с.

Повторяемость опытов и замеров параметров дисков в размеченных точках была принята трехкратной (табл. 1).

**Таблица 1**

Изменение параметров дисков диаметром 350 мм

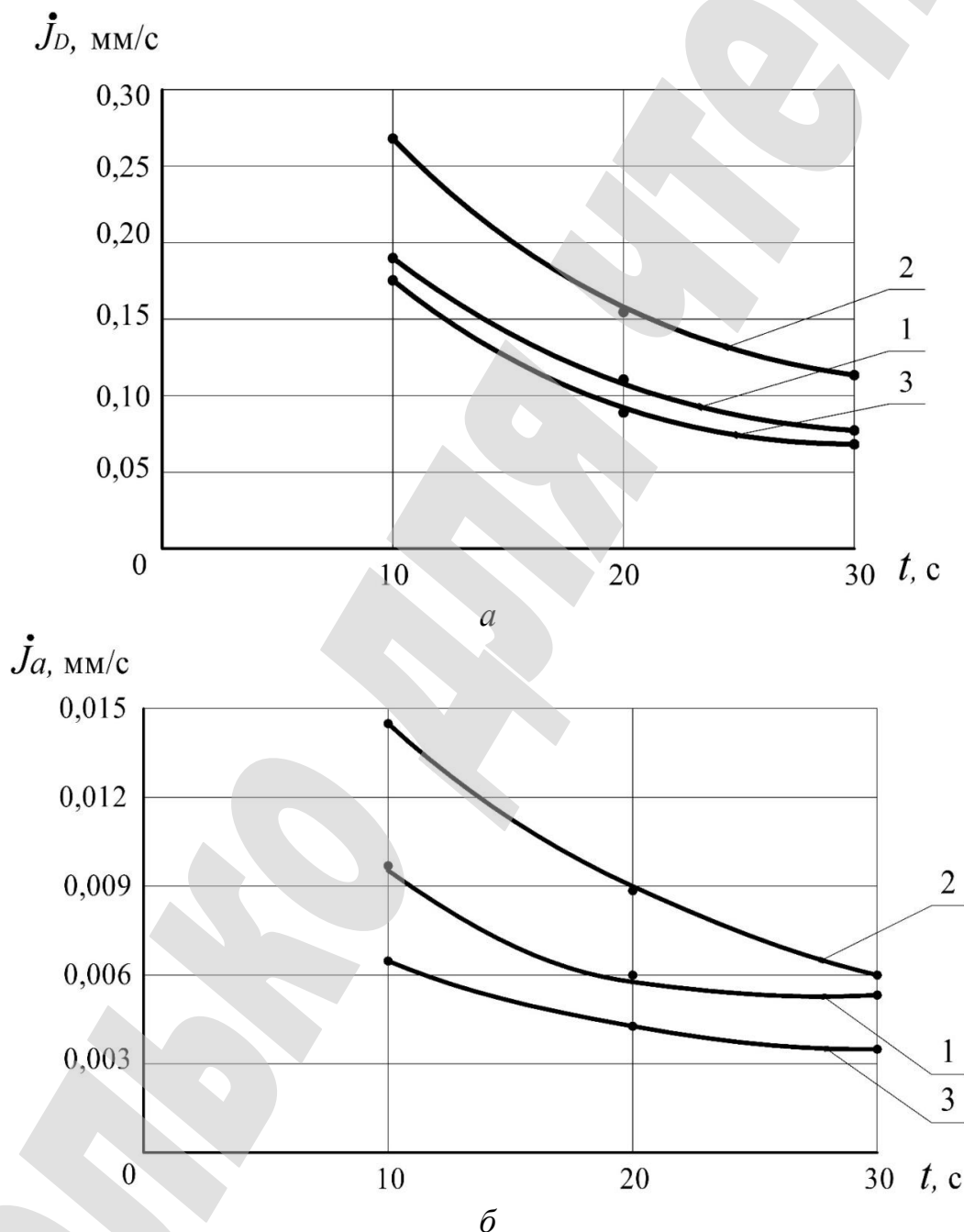
Вариант диска	Время упрочнения, с	Увеличение диаметра диска, мм	Уменьшение толщины режущей кромки, мм
1. Новые диски из стали 65Г	10	1,79	0,11
	20	2,02	0,12
	30	2,18	0,14
2. Восстановленные приваркой сегментов из стали 45 с наплавкой сормайтм	10	2,78	0,15
	20	3,17	0,17
	30	3,48	0,19
3. Восстановленные приваркой сегментов из стали 65Г с наплавкой сормайтм	10	1,82	0,07
	20	1,95	0,09
	30	2,08	0,11



Полученные данные свидетельствуют, что наибольшее увеличение диаметра диска 3,48 мм имело место при восстановлении сегментов из стали 45 с наплавкой сормайт. Наибольшее уменьшение толщины режущей кромки 0,19 мм наблюдалось также у дисков второго варианта.

Экспериментально выявлена идентичность приращения диаметра диска и уменьшения его толщины лезвия при вибрационном упрочнении.

Характер изменения интенсивности приращения диаметра дисков при амплитуде  $A=0,5$  мм представлен на рис. 3.



**Рис. 3.** Интенсивность изменения параметров диска в зависимости от времени при  $A=0,5$  мм: *a* – увеличение диаметра; *б* – уменьшение толщины лезвия

Исследованиями установлено, что при времени упрочнения  $t=20$  с наибольшая интенсивность приращения диаметра диска 0,158 мм/с отмечалась

у восстановленных приваркой сегментов из стали 45 с наплавкой сормайтот. Наименьшая интенсивность приращения – 0,097 мм/с у дисков, восстановленных приваркой сегментов из стали 65Г с наплавкой сормайтот.

Наибольшая интенсивность уменьшения толщины лезвия 0,009 мм/с наблюдалась у дисков, восстановленных приваркой сегментов из стали 65Г, а наименьшая – 0,004 мм/с у дисков, восстановленных приваркой сегментов из стали 65Г с наплавкой сормайтот.

Полученные экспериментальные данные позволили подтвердить следующее:

– оптимальным значением амплитуды обрабатывающего рабочего органа (инструмента) является  $A=0,5$  мм. Увеличение значения амплитуды вызывает неравномерность приращения диаметра дисков по окружности, а при уменьшении наблюдается снижение величины деформации в радиальном направлении;

– наибольшее значение равное 3,48 мм величины деформации при  $t=30$  с в радиальном направлении имело место у дисков, восстановленных приваркой сегментов из стали 45 с наплавкой сормайтот.

При наплавке и упрочнении вибрационным деформированием восстановленной поверхности происходит изменение ее механических и технологических свойств. Микроструктурные исследования производились на микрошлифах, изготовленных из лезвия дисков сошников вариантов, указанных в табл. 1.

При вибрационном деформировании структура более мелкозернистая и равномерная по сравнению со структурой материала образцов, не подвергавшихся вибрационному упрочнению.

Глубина упрочнения материала дисков, восстановленных приваркой сегментов из стали 45 с наплавкой сормайтот в 2,45 раза больше, чем у дисков, восстановленных приваркой сегментов из стали 65Г.

Исследования позволяют заключить, что при вибрационном упрочнении структура металла более равномерна, мелкозернистая и характеризуется однородным распределением фаз на глубину 170–300 мкм.

При эксплуатации дисков в результате действия абразива происходит изнашивание их лезвия, что вызывает затупление (увеличение толщины) режущей кромки. Это приводит к ухудшению технологического процесса посева.

Скорость движения сеялок при полевых испытаниях с указанными вариантами дисков составила 10...12 км/ч. Данные о их наработке приведены в табл. 2.

**Таблица 2**

**Результаты эксплуатационных испытаний**

Вариант диска сошника	Засеянная площадь, га	Износ диска по диаметру, мм	Увеличения толщины лезвия, мм
1. Новые диски из стали 65Г	190	1,40	0,94
2. Восстановленные приваркой сегментов из стали 45 с наплавкой сормайтот	256	0,86	0,49
3. Восстановленные приваркой сегментов из стали 65Г с наплавкой сормайтот	232	0,84	0,53

Данные табл. 2 свидетельствуют, что наибольшее значение наработки равное 256 га имеет сеялка с дисками сошников, восстановленными приваркой сегментов из стали 45 с последующей наплавкой сормайтотом и вибрационным деформированием. Увеличение наработки даже по сравнению с новыми дисками составило 1,34 раза.

Эксплуатационные испытания показали, что для всех вариантов дисков скорость затупления толщины лезвия в 1,49...1,70 раза меньше скорости изнашивания диаметра.

Оценку эксплуатационной надежности дисковых рабочих органов сеялок проводили по таким показателям:

- наработка за сезон;
- коэффициент технического использования, который количественно характеризует свойства как безотказности объекта, а также учитывает время пребывания объекта в работоспособном состоянии и время на проведение технического обслуживания и ремонта.

Средние значения коэффициента технического использования зерновых сеялок, работающих с дисками сошников указанных вариантов, приведены в табл. 3.

**Таблица 3**

Значения коэффициента технического использования

Вариант диска сошника	Время работы, ч	Коэффициент технического использования, $K_{ТИ}$
1. Новые диски из стали 65Г	62	0,936
2. Восстановленные приваркой сегментов из стали 45 с наплавкой сормайтотом	78	0,986
3. Восстановленные приваркой сегментов из стали 65Г с наплавкой сормайтотом	70	0,948

Наибольшее значение  $K_{ТИ} = 0,986$  имели сеялки, работающие с дисками сошников, восстановленными приваркой сегментов из стали 45 с наплавкой сормайтотом и вибрационным упрочнением, который в 1,053 раза выше, чем у сеялок с новыми дисками сошников.

Проведенные эксплуатационные исследования позволяют прогнозировать бóльшую надежность всего технологического комплекса при посеве зерновых культур и планировать число технических обслуживаний и ремонтов в определенный период времени для обеспечения его бесперебойной работы.

В табл. 4 представлены цены диска сошника зерновых сеялок украинского производства.

Таблица 4

Стоимость диска сошника Ø350 мм зерновых сеялок украинского и зарубежного производства

Фирма-производитель	Стоимость, грн./дол. США
ООО «Агросервис», г. Орехов, Украина	187/6,93
ВФ «Агросоюз», г. Полтава, Украина	258/9,55
ПАО «Червона зирка», г. Кропивницкий, Украина	150/5,56
ООО «Агротранзит», г. Минск, Беларусь	240/8,89

Стоимость диска сошника, восстановленного приваркой сегментов из стали 45 с наплавкой сормайтотом и вибрационным упрочнением в 1,50...1,55 раза меньше стоимости новых дисков сошников украинского производства.

## 7. SWOT-анализ результатов исследования

*Strengths.* Применение разработанной технологии восстановления дисков сошников зерновых сеялок способствует повышению коэффициента технического использования в 1,053 раза, по сравнению с сеялками с новыми сошниками. Это способствует увеличению их ресурса.

Стоимость одного диска восстановленного за разработанной технологией в 1,50–1,55 раза ниже стоимости нового.

*Weaknesses.* Следует отметить, что средняя установленная мощность электродвигателей (кВт) на установке по восстановлению дисков сошников в 1,34 раза выше.

*Opportunities.* Полученные основные данные параметров технологического процесса восстановления методом вибрационного упрочнения будут использованы в продолжении исследования проблемы повышения долговечности деталей машин как при изготовлении, так и восстановлении с целью повышения их надежности и ресурса.

*Threats.* Экономический эффект от внедрения разработанной технологии составил 88492 грн./3277,17 дол. США при годовом объеме внедрения 2400 шт [18].

## 8. Выводы

1. Сделан анализ условий работы и причин потери работоспособности дисков сошников зерновых сеялок. Установлено, что в процессе их эксплуатации в результате трения происходит изменение параметров режущих элементов (уменьшение диаметра и затупление режущей кромки), что снижает качество посева зерновых.

2. Исследовано влияние вибрационной обработки на характер упрочнения материала лезвия дисков. Установлены основные параметры вибрационного упрочнения: амплитуда, частота колебаний обрабатываемого инструмента и время упрочнения. Определены оптимальные значения указанных параметров, обеспечивающих наибольшее упрочнение: амплитуда  $A=0,5$  мм; частота колебаний  $n=1400$  мин<sup>-1</sup>; время упрочнения  $t=20$  с.

3. Выполнена оценка надежности дисковых сошников зерновых сеялок, определяемая по коэффициенту технического использования (КТИ). Наибольшее значение КТИ=0,986 имели зерновые сеялки СЗ-3,6 с дисками сошников, восстановленными приваркой сегментов из стали 45 с автоматической наплавкой сормайтотом и вибрационным упрочнением. Это в 1,053 раза выше, чем у сеялок с новыми дисками.

### Литература

1. Каледин Б. А., Чепа П. А. Повышение долговечности деталей поверхностным деформированием. Минск: Наука и техника, 1984. 230 с.

2. Олейник Н. В., Кравчук В. С. Снижение материалоемкости деталей, упрочненных поверхностным пластическим деформированием. Киев: Наукова Думка, 1982. С. 104–109.

3. Downham E. Vibration in rotating machinery: Malfunction diagnosis – Art Science // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers – Vibrations in Rotating Machinery. 1986. P. 1–6.

4. Ramesh K. T. Nanomaterials: Mechanics and Mechanisms. Boston: Springer, 2009. 316 p. doi: <http://doi.org/10.1007/978-0-387-09783-1>

5. Заїка П. М. Теорія сільськогосподарських машин. Харків: ОКО, 2001. 443 с.

6. Bowden F. P., Tabor D. The friction and lubrication of solids. Oxford University Press, 2001. 424 p.

7. Cameron T., Yarin A. Handbook of experimental fluid Mechanics. Springer, 2007. 1557 p.

8. Прокофьев П. И. О графоаналитическом моделировании формообразования лезвия при изнашивании ножей сельскохозяйственных машин. Киев: Техника, 1982. 284 с.

9. Черновол М. И. Повышение качества восстановления деталей машин. Киев: Техника, 1999. 168 с.

10. Dynamics of wear of the cutting elements of tillers / Dudnykov A. et. al. // Annals of Warsaw University of Life Science. 2015. Issue 65. P. 15–19.

11. Nikolaenko A., Hussein A. T. Modeling of vibrating machine-tool with improved construction // ТЕКА. Commission of motorization and energetics in agriculture. 2014. Vol. 14, Issue 1. P. 174–181. URL: [http://www.pan-ol.lublin.pl/wydawnictwa/TMot14\\_1/Teka\\_14\\_1.pdf](http://www.pan-ol.lublin.pl/wydawnictwa/TMot14_1/Teka_14_1.pdf)

12. Effect of the Velocity of Rotation in the Process of Vibration Grinding on the Surface State / Hamouda K. et. al. // Materials Science. 2016. Vol. 52, Issue 2. P. 216–221. doi: <http://doi.org/10.1007/s11003-016-9946-9>

13. Surface Modification of Products by Plastic Deformation and the Application of Functional Coatings / Belevskii L. S. et. al. // Metallurgist. 2016. Vol. 60, Issue 3-4. P. 434–439. doi: <http://doi.org/10.1007/s11015-016-0310-y>

14. Effects of vibration amplitude and relative grain size on the rheological behavior of copper during ultrasonic-assisted microextrusion / Lou Y. et. al. // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2017. Vol. 89, Issue 5-8. P. 2421–2433. doi: <http://doi.org/10.1007/s00170-016-9288-7>

15. Gichan V. Active control of the process and results of treatment // Journal of Vibroengineering. 2011. Vol. 13, Issue 2. P. 371–375.

16. Jurcius A., Valiulis A., Kumslytis V. Vibratory stress relieving – it's advantages as an alternative to thermal treatment // Journal of Vibroengineering. 2008. Vol. 10, Issue 1. P. 123–127.

17. The Impact of Mechanical Vibration on the Hardening of Metallic Surface / Djema M. A. et. al. // Advanced Materials Research. 2012. Vol. 626. P. 90–94. doi: <http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/amr.626.90>

18. Канівець О. В. Обґрунтування параметрів процесу відновлення та підвищення надійності дисків сошників зернових сівалок: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Харків, 2012. 22 с.

НЕ ЯВЛЯЕТСЯ ПЕРИЗДАТОМ