

**Дудников А. А.,
Келемеш А. А.,
Канивец А. В.,
Горбенко А. В.,
Пасюта А. Г.**

ВИБРАЦИОННЫЕ КОЛЕБАНИЯ В УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

В данной работе приведены результаты проведенных исследований использования вибрационных колебаний в технологических процессах восстановления (изготовления) деталей машин с целью повышения их долговечности. Повышение ресурса деталей может быть достигнуто упрочнением поверхностного слоя их материала путем использования поверхностного вибрационного деформирования. Определены оптимальные параметры вибрационного упрочнения деталей, в частности режущих элементов сошников посевных машин, позволяющие повысить их долговечность и надежность.

Ключевые слова: *вибрационные колебания, деформирование, износостойкость, долговечность, вибрационное упрочнение, работоспособность.*

1. Введение

Для повышения долговечности деталей машин путем придания требуемых физико-механических свойств их поверхностному слою в машиностроении применяют различные методы поверхностного пластического деформирования. При этом в деформируемом слое происходят структурные изменения: повышается твердость; образуются благоприятные остаточные напряжения сжатия; снижается шероховатость обрабатываемой поверхности [1].

Область использования вибрационной обработки в различных технологических процессах достаточно многогранна и имеет тенденцию к дальнейшему расширению.

Касаясь перспектив использования колебаний в технологических процессах, следует отметить, что интерес к этой проблеме со стороны соответствующих специалистов различных отраслей будет возрастать.

Предпосылками к этому являются: возможность интенсификации уже существующих методов обработки поверхностей деталей и разработки новых способов повышения долговечности и надежности машин; снижение затрат и улучшение качества обработки.

Большое внимание при этом должно быть уделено совершенствованию конструкций технологического оборудования, повышению его работоспособности. Это подтверждает актуальность использования вибрационных колебаний в технологических процессах обработки деталей машин. Поэтому расширение технологических возможностей и использования вибраций как в машиностроении, так и ремонтном производстве является одной из актуальных прикладных задач [2].

2. Анализ литературных данных

В результате теоретических и экспериментальных исследований установлено, что повышению усталостной прочности деталей способствуют остаточные напряжения сжатия в поверхностном обрабатываемом слое [3]. В связи с этим одной из главных задач при решении

вопроса повышения долговечности деталей при их изготовлении или восстановлении следует считать выбор таких технологий и режимов обработки, которые обеспечивали бы в поверхностном слое материала детали наличие остаточных напряжений сжатия.

Одним из путей решения этой задачи является упрочнение деталей с использованием вибрационного поверхностного деформирования ввиду простоты и надежности используемого оборудования, экономичности и эффективности самого технологического процесса упрочнения.

По мнению И. В. Кудрявцева [4], применение упрочняющего поверхностного пластического деформирования создает значительную экономию материальных средств за счет увеличения эксплуатационных сроков службы деталей, снижения трудозатрат на отделочные операции.

К числу перспективных методов поверхностного пластического деформирования относится созданный в Национальном университете «Львовская политехника» метод вибрационно-упрочняющей обработки деталей формы тел вращения.

В Полтавской государственной аграрной академии изготовлена вибрационная установка, позволяющая восстанавливать изношенные детали методом раздачи, обжатия и вибрационного упрочнения. Основными параметрами обработки являются: возмущающая сила, амплитуда и частота обработки, скорость движения обрабатываемого инструмента. Изменение амплитуды колебаний и возмущающей силы осуществляется путем перестановки грузиков-дебалансов относительно вертикальной оси вала электродвигателя вибровозбудителя. Диапазон изменения возмущающей силы обеспечивается в пределах 9,4–24,5 кН.

Некоторые авторы [5, 6] отмечают, что, несмотря на перспективность метода вибрационного деформирования поверхностей деталей, последний изучен недостаточно, конкретной теории этого технологического процесса нет, отсутствуют рекомендации зависимости износостойкости от глубины упрочненного слоя. Вопросы влияния упрочнения материала рабочих органов почвообрабатывающих машин, в частности, культиваторных лап слабо

изучены; вопросы влияния вибрационного деформирования на повышение износостойкости культиваторных лап отсутствуют. Не выявлены режимные параметры вибрационного упрочнения стрелчатых культиваторных лап [7].

Применение упрочняющих обработок на основе вибрационных колебаний при восстановлении деталей почвообрабатывающих машин является важным и актуальным.

3. Объект, цель и задачи исследования

Объект исследования — ответственные детали сельскохозяйственной техники.

Целью работы является повышение долговечности деталей сельскохозяйственной техники при их изготовлении и восстановлении путем использования разработанной технологии вибрационного упрочнения.

Для достижения поставленной цели в работе определено решение следующих задач:

1. Оценить эксплуатационную стойкость указанных деталей сельскохозяйственной техники.

2. Сделать анализ износостойкости деталей при обычном и вибрационном методах восстановления.

4. Результаты исследования износостойкости деталей сельскохозяйственных машин

В процессе эксплуатации сельскохозяйственных машин (зерновые сеялки, свеклоуборочные комбайны, дисковые бороны и др.) их рабочие органы подвергаются воздействию целого ряда факторов, которые ухудшают технические характеристики и, тем самым, снижают работоспособность, характеризующиеся не только способностью выполнять заданные функции, но и необходимостью соблюдения выходных параметров изделия в допустимых пределах.

Указанные сельскохозяйственные машины работают в контакте с абразивной средой, которая оказывает интенсивное влияние на износ их рабочих органов (диски обрабатывающих и посевных машин).

Анализ публикаций по повышению долговечности деталей сельскохозяйственной техники позволили определить следующие направления исследования:

- разработка и применение высокоэффективных технологий восстановления изношенных поверхностей деталей;
- повышение износостойкости деталей путем применения вибрационного упрочнения.

При эксплуатации в результате действия абразивных частиц лезвия указанных рабочих органов интенсивно изнашиваются, в результате чего происходит увеличение толщины режущей кромки, что приводит к ухудшению качества технологического процесса.

Поскольку интенсивность изнашивания рабочих органов оказывает существенное влияние на надежность указанных машин, то при разработке технологического процесса их восстановления определяли оптимальные параметры обработки, снижающие величину износа режущего элемента рабочего органа.

Для определения влияния обычного и вибрационного деформирования на качество обрабатываемого материала исследования проводили в начале на образцах (моделях), а затем — на деталях. Исследования на образцах

позволили исключить такие факторы как характер протекания износа и его величина.

Восстановление рабочей поверхности диска проводили методом приваривания сегментов по его наружному диаметру (рис. 1).

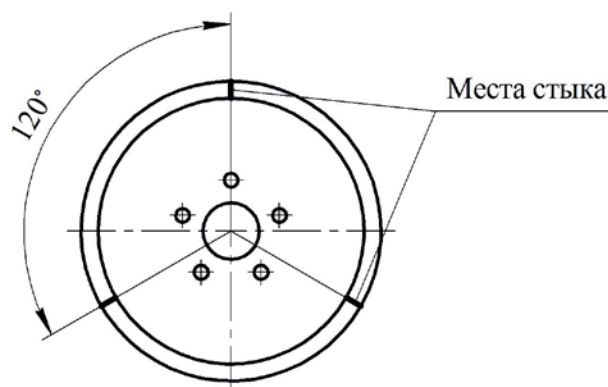


Рис. 1. Схема приваривания сегментов к восстанавливаемой поверхности диска

Сегменты, изготовленные из стали 45 толщиной 2,5 мм и шириной 15 мм на сорокатонном прессе приваривали проволокой $\varnothing 2$ 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⁻¹.

Долговечность дисков сошников сеялок оценивали для следующих вариантов дисков: новых из стали 65Г (вариант 1); восстановленных привариванием сегментов из стали 45 с наплавкой сормайтотом (вариант 2); восстановленных привариванием сегментов из стали 45 с наплавкой сормайтотом и вибрационным упрочнением (вариант 3).

Результаты исследований свидетельствуют, что диски, восстановленные привариванием сегментов из стали 45 с наплавкой сормайтотом и вибрационным упрочнением имели более низкую 0,003 мм/га по сравнению с другими вариантами скорость увеличения толщины лезвия и более высокий ресурс 222 га. Для дисков первого и второго вариантов эти данные составили соответственно 0,005 мм/га; 204 га и 0,009 мм/га; 176 га.

При восстановлении изношенных деталей одним из основных параметров обработки является величина деформации, служащая для компенсации величины износа, полученной в процессе их эксплуатации.

Для установления зависимости между величинами изменения диаметра диска, толщиной его лезвия и амплитудой колебания обрабатывающего инструмента исследованию подвергали образцы-диски $\varnothing 350$ мм, толщиной лезвия 2,5 мм. Амплитуда колебаний составляла 0,25 мм; 0,5 мм; 0,75 мм.

Экспериментальные данные увеличения диаметра диска ΔD и уменьшения толщины лезвия Δa в зависимости от амплитуды A при времени обработки $t = 30$ с представлены в табл. 1.

Полученные данные свидетельствуют о том, что характер изменения приращения диаметра ΔD и уменьшения толщины лезвия Δa дисков при различных значениях амплитуды колебаний обрабатывающего инструмента идентичен. Наибольшее значение изменения указан-

ных величин наблюдается при амплитуде колебания $A = 0,5$ мм, а наименьшее — при $A = 0,75$ мм.

Таблица 1

Изменение величины деформации диска по диаметру и по толщине лезвия при времени обработки 30 с

Амплитуда, мм	Увеличение диаметра диска ΔD , мм	Уменьшение толщины диска Δa , мм
0,25	3,28	0,18
0,5	3,53	0,21
0,75	3,05	0,17

Такой характер протекания деформации объясняется тем, что при амплитуде колебаний $A = 0,75$ мм происходит больший отрыв инструмента от обрабатываемой поверхности. При этом усилии обработки носит ударный характер, который снижает пластичность обрабатываемого материала. При амплитуде $A = 0,25$ мм недостаточно проявляются свойства вибрационных колебаний. Так, при амплитуде $A = 0,5$ мм величина приращения наружного диаметра диска сошника в 1,24 раза больше, чем при $A = 0,25$ мм и в 1,67 раза — при $A = 0,75$ мм. Это может быть объяснено совместным действием на обрабатываемый материал статических и циклических напряжений, облегчающих перемещение линий скольжения и увеличивающих величину деформации по диаметру.

В процессе стендовых испытаний определяли величину износа дисков по диаметру D и толщине лезвия a для дисков следующих вариантов (табл. 2):

- новые диски из стали 65Г $\varnothing 350$ мм (вариант 1);
- восстановленные привариванием сегментов из стали 45 с наплавкой сормайтотом (вариант 2);
- восстановленные привариванием сегментов из стали 45 с наплавкой сормайтотом и вибрационным упрочнением (вариант 3).

Таблица 2

Величина износа дисков при стендовых испытаниях

Вариант диска	Износ диаметра D		Износ толщины лезвия a	
	абсолютный износ, мм	относительный износ, мм	абсолютное изменение толщины, мм	относительное изменение толщины, мм
Вариант 1	0,86	0,0024	0,50	0,198
Вариант 2	0,81	0,0023	0,49	0,225
Вариант 3	0,24	0,0007	0,26	0,103

Наименьшее значение величины износа 0,24 мм по диаметру и 0,26 мм по толщине лезвия имели диски, восстановленные привариванием сегментов из стали 45 с наплавкой сормайтотом и вибрационным упрочнением [8].

Проведенные исследования позволили определить оптимальные значения диаметра и толщины диска сошника, а также выбрать более эффективный технологический процесс его восстановления.

Относительный износ дисков сошников диаметром 350 мм, восстановленных привариванием сегментов из стали 45 с наплавкой сормайтотом и упрочненных вибрационным нагружением в 3,43 раза меньше по сравнению

с новыми дисками. Это можно объяснить упрочнением материала их рабочей поверхности при вибрационном деформировании.

Анализ данных, полученных при стендовых испытаниях, позволяет сделать вывод, что износостойкость, а следовательно и ресурс дисков сошников зависят как от их геометрических параметров, так и в значительной степени от способа восстановления [9].

В результате проведенных испытаний дисков и исследования свойств их материала предложен вариант диска, восстановленного привариванием сегментов из стали 45 с наплавкой сормайтотом с последующим вибрационным упрочнением, для которого достигается относительное уменьшение толщины режущей кромки 0,103. Этот показатель износостойкости в 1,92 раза выше, чем у новых дисков из стали 65Г.

Величина относительного износа дисков сошников диаметром 350 мм, восстановленных привариванием сегментов из стали 45 с наплавкой сормайтотом и упрочненных вибрационным деформированием в 3,43 раза меньше по сравнению с новыми дисками из стали 65Г того же диаметра.

По полученным данным стендовых испытаний рекомендуется диск сошника диаметром 350 мм с приваркой сегментов из стали 45 с наплавкой сормайтотом с последующим вибрационным упрочнением рабочей поверхности. Толщина лезвия диска должна составлять $2,5^{+0,1}$ мм.

Для оценки подобия стендовых и эксплуатационных испытаний последние проводились на дисках сошников зерновой сеялки СЗ-3,6, изготовленных из стали 65Г с наплавкой сормайтотом с последующим вибрационным упрочнением.

Данные стендовых и эксплуатационных испытаний свидетельствуют о том, что распределение износа дисков по диаметру для любого времени подчиняется закону нормального распределения.

Следовательно, выполняется условие подобия режимов испытаний, поскольку функциональная зависимость между параметрами, полученными при стендовых и эксплуатационных испытаниях, имеет один и тот же вид.

На основании полученных данных предложена линейная модель ускоренных испытаний восстановленных разными методами дисков сошников зерновых сеялок, которая позволяет прогнозировать по величине износа стендовых испытаний ресурс в эксплуатации [10].

5. Обсуждение результатов исследования износостойкости деталей сельскохозяйственных машин

Стендовыми и эксплуатационными исследованиями установлено, что технологический процесс на основе вибрационных колебаний обеспечивает повышенную износостойкость и долговечность культиваторных лап по сравнению с существующими технологиями восстановления. Данные исследований могут быть полезны как в машиностроении для вибрационного упрочнения деталей машин, так и в ремонтном производстве при восстановлении деталей почвообрабатывающих машин. Полученные данные будут использованы в дальнейших исследованиях по повышению долговечности деталей почвообрабатывающей техники.

6. Выводы

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Предложен вариант диска, восстановленного привариванием сегментов из стали 45 с наплавкой сормайтотом и вибрационным упрочнением, для которого величина относительного износа в 3,43 раза меньше по сравнению с новыми дисками.

2. Разработана линейная модель ускоренных эксплуатационных испытаний дисков сошников, восстановленных разными технологиями.

Литература

1. Бабичев, А. П. Основы вибрационной технологии [Текст] / А. П. Бабичев, И. А. Бабичев. — Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2008. — 694 с.
2. Заика, П. М. Применение вибраций в технологии сельскохозяйственного производства и перерабатывающей промышленности [Текст] / П. М. Заика // Материалы международной научно-технической конференции. — Винница, 1994. — С. 57–59.
3. Ткачѳв, В. Н. Износ и повышение долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин [Текст] / В. Н. Ткачѳв. — М.: Машиностроение, 1984. — 372 с.
4. Кудрявцев, И. В. Усталость крупных деталей машин [Текст] / И. В. Кудрявцев. — М.: Машиностроение, 1981. — 240 с.
5. Голубев, Т. М. Новые методы обработки металлов давлением [Текст] / Т. М. Голубев. — К., 1987. — 208 с.
6. Гаркунов, Д. Н. Долговечность трущихся деталей машин [Текст] / Д. Н. Гаркунов. — М.: Машиностроение, 1988. — 203 с.
7. Дудников, А. А. Повышение долговечности деталей машин пластическим деформированием [Текст] / А. А. Дудников, А. И. Беловод, В. В. Дудник, А. В. Канівець // Наукові нотатки. — 2011. — Вип. 32. — С. 128–131.
8. Dudnikov, A. Dynamics of wear cutting elements of tillers [Text] / A. Dudnikov, A. Belovod, A. Pasyuta, A. Gorbenko, A. Kelemesh // Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW: Agriculture (Agricultural and Forest Engineering). — 2015. — № 65. — P. 15–19.
9. Дудніков, А. А. Підвищення надійності робочих органів ґрунтообробних машин [Текст] / А. А. Дудніков, О. І. Біловод, А. Г. Пасюта // Вісник Полтавської державної аграрної академії. — 2014. — № 3. — С. 172–177.
10. Канівець, О. В. Моделювання робочої поверхні дискового робочого органу [Текст] / О. В. Канівець // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка: «Механізація сільського виробництва». — 2011. — Вип. 107, Т. 1. — С. 336–340.

ВІБРАЦІЙНІ КОЛИВАННЯ В ЗМІЦНЮЮЧІЙ ОБРОБЦІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

В даній роботі наведені результати проведених досліджень застосування вібраційних коливань в технологічних процесах відновлення (виготовлення) деталей машин з метою підвищення їх довговічності. Підвищення ресурсу деталей може бути досягнуто зміцненням поверхневого шару їх матеріалу шляхом застосування поверхневого вібраційного деформування. Визначені оптимальні параметри вібраційного зміцнення деталей, зокрема ріжучих елементів сошників посівних машин, що дозволяють підвищити їх довговічність та надійність.

Ключові слова: вібраційні коливання, деформування, зносостійкість, довговічність, вібраційне зміцнення, роботоздатність.

Дудніков Анатолій Андреевич, кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедри ремонту машин і технології конструкційних матеріалів, Полтавська державна аграрна академія, Україна.

Келемеш Антон Александрович, кандидат технічних наук, старший преподаватель, кафедра ремонту машин і технології конструкційних матеріалів, Полтавська державна аграрна академія, Україна.

Канівець Александр Васильевич, кандидат технічних наук, доцент, кафедра общетехнических дисциплин, Полтавская государственная аграрная академия, Украина.

Горбенко Александр Викторович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра ремонту машин і технології конструкційних матеріалів, Полтавська державна аграрна академія, Україна.

Пасюта Андрей Григорьевич, кандидат технічних наук, директор, Государственное предприятие «Опытное хозяйство им. 9 января», с. Ялосовецкое, Полтавская обл., Украина.

Дудніков Анатолій Андрійович, кандидат технічних наук, професор, завідувач кафедри, кафедра ремонту машин і технології конструкційних матеріалів, Полтавська державна аграрна академія, Україна.

Келемеш Антон Олександрович, кандидат технічних наук, старший викладач, кафедра ремонту машин і технології конструкційних матеріалів, Полтавська державна аграрна академія, Україна.

Канівець Олександр Васильович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра загальнотехнічних дисциплін, Полтавська державна аграрна академія, Україна.

Горбенко Олександр Вікторович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра ремонту машин і технології конструкційних матеріалів, Полтавська державна аграрна академія, Україна.

Пасюта Андрій Григорович, кандидат технічних наук, директор, Державне підприємство «Дослідне господарство ім. 9 Січня», с. Ялосовецьке, Полтавська обл., Україна.

Dudnikov Anatoly, Poltava State Agrarian Academy, Ukraine.

Kelemesh Anton, Poltava State Agrarian Academy, Ukraine.

Kanivets Oleksandr, Poltava State Agrarian Academy, Ukraine.

Gorbenko Oleksandr, Poltava State Agrarian Academy, Ukraine.

Pasuta Andriy, The State Enterprise «Pilot Farm 9th January», Yalosoetskoe, Poltava region, Ukraine