

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ



УДК 631.316.022.4; 004.942

М.И. Ананьев, А.В. Ишков, Н.Ф. Карпов
M.I. Ananyev, A.V. Ishkov, N.F. Karpov

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СТРЕЛЬЧАТЫХ ЛАП, ВЫПОЛНЕННЫХ ИЗ СТАЛИ И СТЕКЛОПЛАСТИКА

COMPARATIVE STUDIES OF THE STRESS-STRAIN STATE OF V-SHAPED SWEEPS MADE OF STEEL AND FIBERGLASS

Ключевые слова: *почвообрабатывающее орудие, стрелчатая лапа, износ, стеклопластик, распределение деформации/напряжений, износостойкость, долговечность.*

Приведены результаты сравнительных исследований напряженно-деформированного состояния стрелчатых лап, выполненных из стали и изотропного стеклопластика. Исследования выполнены на полноразмерных 3D-моделях детали СКП 01.08.080(1), используемой на широко распространенных в нашей почвенно-климатической зоне сеялках типа СЗС-2,1 различных производителей. Для проведения исследований использовали специализированное ПО: САПР Autodesk Inventor и CAD/CAM-систему Solid Works. Закрепление и нагружение моделей производили рассредоточенной силой 650 Н, прилагаемой к носку и крыльям стрелчатой лапы, что соответствует тяговому сопротивлению детали в

условиях ее реальной эксплуатации на скорости движения до 2,23 м/с. Показано, что в стрелчатой лапе, изготовленной из стеклопластика толщиной 5-6 мм, возникают деформации, величина которых в 1,5-2 раза меньше деформаций в стальной лапе, коэффициент запаса прочности стальной и композитной детали одинаков и равен 15, однако его распределение по поверхности детали неравномерное, поэтому прогнозируемая долговечность стеклопластиковой детали будет в 2 раза превышать долговечность стальной детали.

Keywords: *tillage implement, V-shaped sweep, wear, fiberglass, strain/stress distribution, wear resistance, durability.*

This paper presents the results of comparative studies of the stress-strain state of V-shaped sweeps made of steel and isotropic fiberglass. The studies were con-

ducted by using full-size 3D-models of the СКП 01.08.080(1) (in Russian) machine part used on the widely distributed in our soil and climate zone grain seeders of the СЗС-2.1 (in Russian) type of various manufacturers. To conduct the research, we used specialized software: Autodesk Inventor CAD-system and Solid Works CAD/CAM-system. The models were attached and loaded with a dispersed force of 650 N applied to the toe and wings of the V-shaped sweep which corresponded to the traction resistance of the part in real

agricultural operation at a speed of up to 2.23 m s. It is shown, that in a V-shaped sweep made of fiberglass with a thickness of 5...6 mm, there are deformations the value of which is 1.5...2 times less than the deformations in a steel sweep; the safety factor of the steel and composite parts is the same and amounts to 15 but its distribution on the surface of the part is uneven, so the predicted durability of the fiberglass part will be 2 times higher than the durability of the steel machine part.

Ананьев Максим Игоревич, аспирант каф. технологии конструкционных материалов и ремонта машин, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 20-33-13. E-mail: maxzaton@mail.ru.

Ишков Алексей Владимирович, д.т.н., проф. каф. технологии конструкционных материалов и ремонта машин, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 20-33-13. E-mail: aleksey-yishk@rambler.ru.

Карпов Николай Федорович, к.т.н., ст. преп. каф. математики, механики и инженерной графики, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 20-33-64. E-mail: mms.asau@yandex.ru.

Ananyev Maksim Igorevich, post-graduate student, Chair of Technology of Design Materials and Machinery Repair, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 20-33-13. E-mail: maxzaton@mail.ru.

Ishkov Aleksey Vladimirovich, Dr. Tech. Sci., Prof., Chair of Technology of Design Materials and Machinery Repair, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 20-33-13. E-mail: alekseyishk@rambler.ru.

Karpov Nikolay Fedorovich, Cand. Tech. Sci., Asst. Prof., Chair of Mathematics, Mechanics and Engineering Graphics, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 20-33-64. E-mail: mms.asau@yandex.ru.

Введение

В настоящее время основным типом рабочих органов большинства сеялок, почвообрабатывающих орудий и посевных почвообрабатывающих комплексов, применяющихся в современных системах земледелия с минимальной и нулевой обработкой почвы и работающих по технологии прямого высева, наряду с долотами анкерного типа, по-прежнему являются стрелчатые лапы (СЛ). Кроме того, СЛ различных конструкций входят в стандартную комплектацию многих других почвообрабатывающих орудий (культиваторов, рыхлителей, щелевателей и пр.), которые выполняют обработку почвы и иные агротехнические мероприятия при своем движении по полю на высоких скоростях как раз благодаря особой форме, конструкции и характеристикам этих рабочих органов [1]. Однако в процессе эксплуатации СЛ интенсивно изнашиваются при абразивном взаимодействии с частицами грунта, затупляется их режущая кромка, изнашиваются крылья,

теряется оптимальная треугольная форма и размеры рабочего органа. Все это приводит к снижению качества агротехнических мероприятий, качества обработки почвы, увеличению сроков проведения полевых работ и простоев техники, возрастают затраты на обработку почвы, ТСМ, уменьшается ресурс рабочих органов и возрастают эксплуатационные затраты [2].

Известно, что на интенсивность и механизм изнашивания материала СК существенное влияние оказывают не только характеристики и состав почвы, но и твердость (износостойкость) используемого для изготовления конструкционного материала, технология его упрочнения, а также наличие, вид (природа) и конструкция упрочняющего покрытия этого рабочего органа [3, 4]. Таким образом, повышение износостойкости и ресурса СЛ является сложной, актуальной и практически важной задачей.

Форма, размеры, варианты конструкции СЛ и используемые для их изготовления и

упрочнения материалы, в процессе многолетней эксплуатации рабочего органа на различных типах почв и почвообрабатывающих орудиях, многократно изменялись, поэтому в настоящее время разработаны: универсальная оптимизированная высокотехнологичная конструкция СЛ; перечень рекомендуемых конструкционных материалов; типовые технологии для изготовления СЛ.

Как правило, материалом для изготовления СЛ отечественного производства чаще всего служат пружинно-рессорные среднеуглеродистые и легированные стали марок: 50, 50Г, 65Г, 70Г, 50ХГА по ГОСТ 1343-82 [5], а для увеличения ресурса эти рабочие органы и(или) их режущие кромки упрочняют – подвергают термической обработке (объемная, ТВЧ-закалка), а также используют прогрессивные технологии: наплавку твердыми сплавами, ТВЧ-борирование [6, 7]. В последнее время для увеличения ресурса за рубежом предложено изготавливать СЛ из термоупрочняемой бористой стали марки 30MnB5 по стандарту EN 10083-3 [8]. Однако известные технологии и материалы для упрочнения и повышения ресурса рабочих органов позволяют увеличить твердость их поверхности (HV_{100}) до 1 ГПа, в то время как наиболее распространенный абразивный компонент почв – кварц, имеет твердость от 7 до 10 ГПа. Таким образом, потенциал многократного: 3-, 5- или 10-кратного (!) увеличения ресурса СЛ кроется в применении для их изготовления новых конструкционных материалов, твердость которых соизмерима с твердостью кварца: кислородсодержащей, бескислородной керамики и металло-керамических композитов [9], полимерных композитов и стеклопластиков [10]. Ранее нами уже была показана потенциальная перспективность и технологичность исполь-

зования стеклопластиков для изготовления СЛ и повышения их износостойкости [11, 12].

Целью работы являлось моделирование напряженно-деформированного состояния СЛ, выполненных из стали и стеклопластика, сравнение их прочностных характеристик и прогнозирование потенциального ресурса рабочего органа, выполненного из стеклопластика.

Экспериментальная часть

В качестве объекта для исследований (моделирования) была выбрана стрельчатая лапа СКП 01.08.080(1) для широко распространенных в нашей почвенно-климатической зоне сеялок зерновых стерневых типа СЗС-2,1 («Омичка», «Обь», «АгроМаш» и др.). Детали СКП 01.08.080(1) поставляются для этих машин различными производителями как индивидуально, так и в составе базовых сошниковых комплектов СЗС-2,1 К2.

Для построения полноразмерной (270×250×5 мм) 3D-модели СЛ использовали САПР Autodesk Inventor, предназначенную для создания цифровых прототипов промышленных изделий [13].

Напряженно-деформированное состояние 3D-моделей СЛ, выполненных из различных материалов, исследовали в системе твердотельного моделирования Solid Works с применением метода конечных элементов (МКЭ), встроенных библиотек и инструментов ПО [14]. МКЭ позволяет оценить виртуальные перемещения (деформации), возникающие на контактирующих с почвой плоскостях 3D-модели СЛ, а при использовании известных уравнений прочности (упругости), приближений, конечных условий и табличных свойств материала – возникающие при этом напряжения (запас прочности, долговечности) [15].

В качестве материала модели при расчетах (моделировании) выбирали из встроенных библиотек ПО: сталь с $\sigma_{изг.}$ 400 МПа и изотропный стеклопластик, разрушающее напряжение при изгибе ($\sigma_{изг.}$) у которого варьировало от 700 до 1200 МПа. Параметры нагружения модели СЛ, выполненной из стеклопластика, принимали следующими: плотность материала $d = 1,9$ г/см³; предел текучести $\sigma_{тп.} = 94$ МПа; предел прочности при растяжении $\sigma_{раст.} = 500$ МПа; модуль Юнга $E = 21$ ГПа; коэффициент Пуассона – 0,29; модуль упругости при сдвиге $E_{сдв.} = 8,14$ ГПа.

Закрепление модели осуществляли по 2 отверстиям, размещенным конструктивно в стойке лапы. Нагружение модели производили сосредоточенной силой 650 Н, прилагаемой с носку лапы (вариант 1), или распределенной силой (по 1/3 от варианта 1), прилагаемой к носку и крыльям (вариант 2). Вариант 2 соответствует тяговому сопротивлению СЛ при заглублении в почву 10,7 см и скорости движения 2,23 м/с.

Результаты и их обсуждение

Характер, интенсивность изнашивания и ресурс СЛ наиболее сильно зависят от физико-механических, абразивных свойств почвы. По абразивному воздействию на рабочие органы все почвы подразделяются на три категории в зависимости от коэффициента их изнашивающей способности – $K_{изн.}$ [2]. К первой категории относятся почвы с коэффициентом изнашивающей способности 1,3-3,0. При работе на данных почвах рабочие органы почвообрабатывающих орудий изнашиваются в основном по толщине. Ко второй категории относятся почвы с коэффициентом изнашивающей способности 0,5-1,3. При работе на почвах второй категории с коэффициентом изнашивающей способности 0,5-1,3 преобладающим является

износ режущих поверхностей СЛ по ширине. Третья категория включает почвы с коэффициентом изнашивающей способности 0,37-0,65, а износ рабочих органов на них происходит, как правило, также по ширине. Исследованиями многих ученых установлено, что наиболее интенсивно стальные рабочие органы почвообрабатывающих орудий, в том числе и СЛ, изнашиваются на песчаных почвах, для которых между долей песчаных компонентов и $K_{изн.}$ наблюдается линейная зависимость.

С другой стороны, процесс изменения формы и геометрических параметров стальных СЛ протекает в несколько стадий, характеризующихся степенью износа режущей кромки и размерами формирующейся затылочной фаски [16]. При изменении параметров затылочной фаски ухудшаются не только агротехнические показатели работы лапы, но и увеличивается ее тяговое сопротивление. Наиболее обоснованной причиной образования затылочной фаски (по Огрызкову Е.П. с соавт.) является движение рабочего органа в почве по сложным траекториям, обусловленным перемещением орудия в вертикальном направлении по глубине (низкочастотной вибрацией) и его поступательным движением [17].

Рассмотрим силы и реакции, возникающие при перемещении СК в почве (рис. 1).

При приложении тягового усилия к стойке и перемещении лапы в почве на нее будут действовать силы, возникающие от трения почвы о поверхность лапы, сила инерции в результате вертикального подъема подрезаемого пласта и сила, затрачиваемая на внедрение лапы в почву и разрушение корней растений.

Установлено, что без учета влияния затупления лезвия, при постоянном заглублении и скорости перемещения на изменение тягового сопротивления основное влияние будет оказывать сила трения лезвия о дно

борозды, которая определяется нормальной к плоскости затылочной фаски составляющей реакции почвы N_3 [17]. При уменьшении, вследствие изнашивания, ширины крыльев СЛ тяговое сопротивление будет снижаться, следовательно, наибольшее влияние на его изменение будут оказывать процессы трения, происходящие на границе взаимодействия лезвия СЛ с дном борозды.

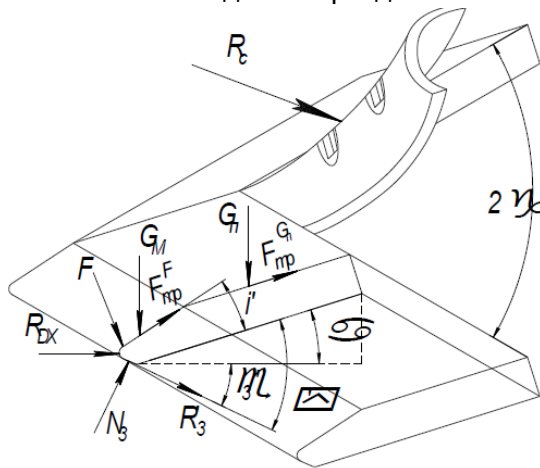


Рис. 1. Схема сил, действующих на стрельчатую лапу при ее перемещении в почве

В реальных же условиях процессы образования фаски и изменения ширины крыльев СЛ протекают одновременно, поэтому, теоретически, уменьшение веса орудия, толщины, увеличение твердости (износостойкости) СЛ будет снижать его тяговое сопротивление [18].

Практически же это возможно реализовать одновременно при использовании для изготовления СЛ новых материалов, в частности, стеклопластика [11].

Кроме того, по физико-механическим, триботехническим и коррозионным характеристикам стеклопластик также превосходит свойства стали (табл.).

Как следует из данных, приведенных в таблице 1, стеклопластик в 4,33 раза легче стали, в 2,35 раза превосходит ее по износостойкости в абразивной среде, моделирующей почву первой категории, в 1,75-2 раза превосходит сталь по прочности на изгиб, а также более устойчив к основным типам коррозионных сред.

Применение стеклопластика в конструкции СЛ при той же толщине материала приведет также к уменьшению веса орудия, что в совокупности с увеличением твердости, износостойкости будет способствовать снижению тягового сопротивления.

Поскольку нами предполагается замена стального изделия на стеклопластик, необходимо провести сравнительный анализ напряженно-деформированного состояния СЛ, выполненных из различных материалов, чтобы оценить эффективность замены. Основным условием здесь будет являться то, что свойства 3D-моделей (деформационные, прочностные) из сравниваемых материалов должны оказаться, как минимум, соизмеримы [12].

Таблица

Физико-механические, триботехнические и коррозионные характеристики исследуемых конструкционных материалов

Материал	d , кг/м ³	$T_{устир.}$, час	$\sigma_{изг.}$, МПа	Устойчивость к		
				коррозии	почвенным микроорганизмам	Red/Ox средам
Сталь	7800	34	400-600	+	+	+
Стеклопластик	1800	80	700-1200	-	±	±

Примечание. d – плотность; $T_{устир.}$ – сопротивление истиранию при трении о незакрепленный абразив (абразив: вода-песок, скорость испытания: 10 м/с); $\sigma_{изг.}$ – разрушающее напряжение при изгибе.

При имитационном моделировании деформаций, нагрузок по поверхности СЛ была распределена нагрузка, равная 650 Н, которая соответствовала тяговому сопротивлению при глубине хода, равной 10,7 см, и скорости движения равной 2,23 м/с.

Результаты моделирования представлены ниже (рис. 2, 3).

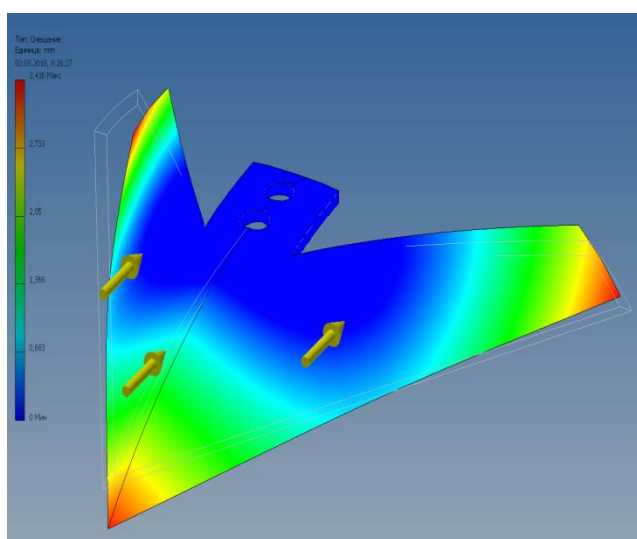
Как следует из рисунка 2, моделирование показало, что максимальная деформация стальной СЛ (красная зона) составляет величину $\varepsilon_{max} = 3,42$ мм, в то время как для стеклопластиковой модели $\varepsilon_{max} = 2,69$ мм. При этом картина распределения деформаций у обеих моделей также различается. В носовой части и на концах крыльев стальной СЛ локализуются обширные (до 20-25% ее площади) зоны деформаций, достигающие своих максимальных значений в крайних точках модели, которые совпадают с наиболее часто наблюдаемыми при эксплуатации стальных СЛ дефектами: обломка (потеря) носка, повышенный износ носовой части и первой трети крыльев, повышенный износ концов крыльев. У стеклопластиковой же СЛ зоны максимальных деформаций локализованы в основном только на концах крыльев. Это означает, что СЛ, изготовленная из

стеклопластика толщиной до 5-6 мм, соизмеримой с толщиной обычного стального проката, выдерживает уровень деформаций, превышающий уровень деформаций в стальной лапе до 10 (!) раз.

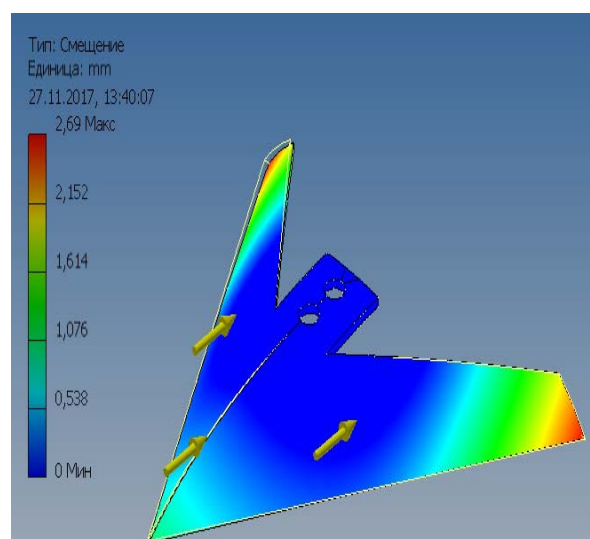
По всем деформационным параметрам стеклопластиковая СЛ может выдержать больший уровень деформаций при заданной толщине. Или же можно уменьшить толщину этой композитной детали на половину [19].

Для оценки такой возможности проведем проверочный расчет по оценке коэффициента запаса прочности стальной и стеклопластиковой модели СЛ.

Как следует из рисунка 3, моделирование показало, что максимальный коэффициент запаса прочности (красная зона) составляет и для стали, и для стеклопластика одну величину $K_{max} = 15$. Однако, для стеклопластика, данный коэффициент запаса одинаков для 90-95% поверхности изделия. В то время как для стальной лапы почти 2/3 ее поверхности имеет запас прочности не выше 6. Это означает, что прогнозируемая долговечность стеклопластиковой СЛ может превысить аналогичный параметр стальной СЛ практически в два раза [20].



а



б

Рис. 2. Распределение смещений (деформаций) в стальной (а) и стеклопластиковой (б) модели

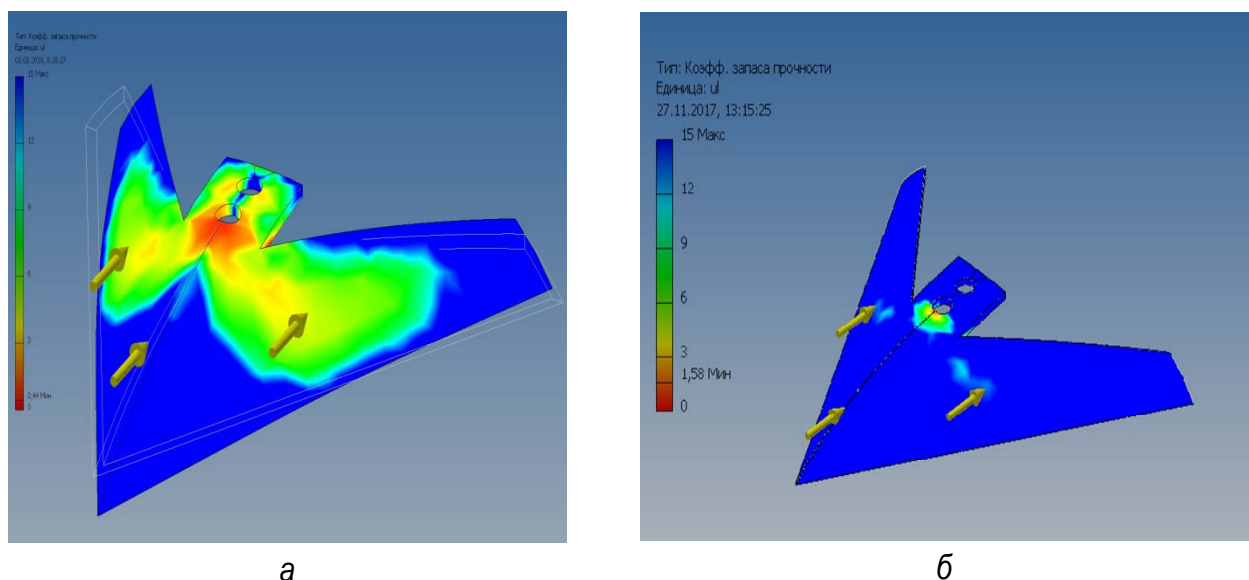


Рис. 3. Распределение коэффициента запаса прочности в стальной (а) и стеклопластиковой (б) модели

Таким образом, моделирование и сравнительные исследования напряженно-деформированного состояния стальной и стеклопластиковой СЛ показало, что использование стеклопластика в качестве конструкционного материала для изготовления данного типа рабочего органа целесообразно и эффективно. Полученные результаты свидетельствуют, что по физико-механическим, прочностным параметрам стеклопластиковая СЛ при меньшем весе может выдержать больший уровень деформаций при сопоставимой со стальной деталью толщине, а по износостойкости и коэффициенту запаса прочности может иметь повышенный потенциальный ресурс.

Выводы

1. В стрелчатой лапе, изготовленной из стеклопластика толщиной 5-6 мм, возникают максимальные деформации ε_{max} , величина которых до 1,5 раз меньше деформаций стальной лапы. При этом ε_{max} у стеклопластиковой лапы наблюдаются лишь на крыльях, в то время как у стальной захватывают еще и половину носовой части.

2. Максимальный коэффициент запаса прочности K_{max} стальной и стеклопластиковой стрелчатой лапы оказался одинаковым и составил величину 15. Однако распределение этого параметра по поверхности деталей неодинаково: для стеклопластика это практически 90% поверхности детали; для стали – 60% поверхности имеет запас прочности, равный 6. Поэтому прогнозируемая долговечность стеклопластиковой лапы может превысить долговечность стальной детали в 2 раза.

3. Конструкция режущей кромки и элементов крепления стеклопластиковой детали требует отдельной проработки, так как износостойкость и деформационные характеристики нового конструкционного материала в несколько раз отличаются от стали.

Библиографический список

1. Аксенов, П. И. Машины для обработки почвы / П. И. Аксенов. – Москва: Россельхозиздат, 1985. – 268 с. – Текст: непосредственный.
2. Бартенев, И. М. Изнашивающая способность почв и ее влияние на долговечность рабочих органов почвообрабатываю-

щих машин / И. М. Бартенев, Е. В. Поздняков. – Текст: непосредственный // Лесотехнический журнал. – 2013. – № 3. – С. 114-123.

3. Лялякин, В. П. Выбор сталей, упрочняемых индукционной наплавкой, по критерию структурной неоднородности / В. П. Лялякин, В. Ф. Аулов, А. В. Ишков [и др.]. – Текст: непосредственный // Сварочное производство. – 2015. – № 4. – С. 39-43.

4. Кривочуров, Н. Т. Сравнительные исследования износа стрелчатых лап производства АО «АНИТИМ», выполненных из различных конструкционных материалов / Н. Т. Кривочуров, В. В. Иванайский, А. В. Ишков [и др.]. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2018. – № 11 (169). – С. 99-108.

5. ГОСТ 1343-82. Лапы и стойки культиваторов. Технические условия. – Текст: непосредственный.

6. Ткачев, В. Н. Индукционная наплавка твердых сплавов / В. Н. Ткачев, Б. М. Фиштейн, Н. В. Казинцев, Д. А. Алдырев. – Москва: Машиностроение, 1970. – 177 с. – Текст: непосредственный.

7. Аулов, В. Ф. Получение износостойких композиционных боридных покрытий на стали 65Г при ТВЧ-нагреве В. Ф. Аулов, В. В. Иванайский, А. В. Ишков [и др.]. – Текст: непосредственный // Технология машиностроения. – 2015. – № 2. – С. 30-34.

8. EN 10083-3. Стали для закаливания и отпуска. Часть 3. Технические условия поставки бористых сталей. – Текст: непосредственный.

9. Shchegolev, A.V., Ishkov, A.V., Ivanayskiy, V.V. (2020). Comparative Study of High-Chromium Cast Iron Coatings Modified with WS-W₂C/Co+B₄S+Ni/Al Complexes and Cr₃C₂/PG-US₂₅ Ceramet. *Solid State Phenomena*. 299, 818-826.

<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ssp.299.818>.

10. Михайлин, Ю. А. Конструкционные полимерные композиционные материалы / Ю. А. Михайлин. – Санкт-Петербург: Научные основы и технологии, 2010. – 822 с. – Текст: непосредственный.

11. Ананьев, М. И. Перспективы применения стеклопластиков для изготовления почвообрабатывающих орудий / М. И. Ананьев, А. В. Ишков. – Текст: непосредственный // Ползуновский вестник. – 2018. – № 2. – С. 150-153.

12. Ананьев, М. И. Перспективы применения композиционных материалов для изготовления рабочих органов почвообрабатывающих орудий повышенной износостойкости / М. И. Ананьев, А. В. Ишков. – Текст: непосредственный // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник материалов XIII Международной научно-практической конференции. – Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2018. – Кн. 2. – С. 146-148.

13. INVENTOR: Профессиональная 3D-САПР для проектирования и конструирования изделий: сайт. – URL: <https://www.autodesk.ru/products/inventor/overview>. – Текст: электронный.

14. SOLIDWORKS: CAD для 3D-проектирования: сайт. – URL: <https://www.solidworks.com/ru>. – Текст: электронный.

15. Зенкевич, О. Метод конечных элементов в технике / О. Зенкевич. – Москва: Мир, 1975. – 271 с. – Текст: непосредственный.

16. Шайхудинов, А. С. Стрелчатые лапы посевных машин. Износ и эффективность применения / А. С. Шайхудинов, Н. Т. Кривочуров. – Saarbrücken (Deutschland): Изд-во LAP LAMBERT academic Publishing GmbH Co. KG., 2011. – 120 с. – Текст: непосредственный.

17. Огрызков, Е. П. Агротехнологические основы абразивного изнашивания лезвий

лемехов Е. П. Огрызков, В. Е. Огрызков, П. В. Огрызков. – Текст: непосредственный // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2002. – № 11. – С. 44-45.

18. Беляев, В. И. Обоснование влияния тягового сопротивления на параметры износа стрелчатых рабочих органов / В. И. Беляев, Н. Т. Кривочуров, В. В. Иванайский [и др.]. // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2009. – № 10 (60). – С. 92-95.

19. Берлин, А. А. Принципы создания композиционных материалов / А. А. Берлин, С. А. Вольфсон, В. Г. Ошмян. – Москва: Химия, 1990. – 240 с. – Текст: непосредственный.

20. Бунаков, В. А. Армированные пластики / В. А. Бунаков, Г. С. Головкин, Г. П. Машинская [и др.]; под редакцией Г. С. Головкина, В. И. Семенова. – Москва: Изд-во МАИ, 1997. – 404 с. – Текст: непосредственный.

References

1. Aksenov P.I. Mashiny dlya obrabotki pochvy. – Moskva: Rosselkhozizdat, 1985. – 268 s.

2. Bartenev I.M., Pozdnyakov E.V. Iznashivayushchaya sposobnost pochv i ee vliyaniye na dolgovechnost rabochikh organov pochvoobrabatyvayushchikh mashin // Lesotekhnicheskii zhurnal. – 2013. – No. 3. – S. 114-123.

3. Lyalyakin V.P., Aulov V.F., Ishkov A.V. i dr. Vybor staley, uprochnyaemykh induktsionnoy naplavykoy, po kriteriyu strukturnoy neodnorodnosti // Svarochnoe proizvodstvo. – 2015. – No. 4. – S. 39-43.

4. Krivochurov N.T., Ivanayskiy V.V., Ishkov A.V. i dr. Sravnitelnye issledovaniya iznosa strelchatykh lap proizvodstva AO «ANITIM», vypolnennykh iz razlichnykh konstruktsionnykh materialov // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2018. – No. 11 (169). – S. 99-108.

5. GOST 1343-82. Lapy i stoyki kultivatorov. Tekhnicheskie usloviya.

6. Tkachev V.N., Fishteyn B.M., Kazintsev N.V., Aldyrev D.A. Induktsionnaya naplavka tverdykh splavov. – Moskva: Mashinostroenie, 1970. – 177 s.

7. Aulov V.F., Ivanayskiy V.V., Ishkov A.V. i dr. Poluchenie iznosostoykikh kompozitsionnykh boridnykh pokrytiy na stali 65G pri TVCh-nagreve // Tekhnologiya mashinostroeniya. – 2015. – No. 2. – S. 30-34.

8. EN 10083-3. Stali dlya zakalivaniya i otpuska. Chast 3. Tekhnicheskie usloviya postavki boristykh staley.

9. Shchegolev, A.V., Ishkov, A.V., Ivanayskiy, V.V. (2020). Comparative Study of High-Chromium Cast Iron Coatings Modified with WS-W₂C/Co+B₄S+Ni/Al Complexes and Cr₃C₂/PG-US25 Ceramet. *Solid State Phenomena*. 299, 818-826. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ssp.299.818>.

10. Mikhaylin Yu.A. Konstruktsionnye polimernye kompozitsionnye materialy. – Sankt-Peterburg: Nauchnye osnovy i tekhnologii, 2010. – 822 s.

11. Ananov M.I., Ishkov A.V. Perspektivy primeneniya stekloplastikov dlya izgotovleniya pochvoobrabatyvayushchikh orudiy // Polzunovskiy vestnik. – 2018. – No. 2. – S. 150-153.

12. Ananov M.I., Ishkov A.V. Perspektivy primeneniya kompozitsionnykh materialov dlya izgotovleniya rabochikh organov pochvoobrabatyvayushchikh orudiy povyshennoy iznosostoykosti // Agrarnaya nauka – sel'skomu khozyaystvu: sbornik materialov: v 2 kn. / XIII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya (15-16 fevralya 2018 g.). – Barnaul: RIO Altayskogo GAU, 2018. – Kn. 2. – S. 146-148.

13. INVENTOR: Professionalnaya 3D-SAPR dlya proektirovaniya i konstruirovaniya izdeliy. –

Ofitsialnyy sayt. – Rezhim dostupa: <https://www.autodesk.ru/products/inventor/overview>.

14. SOLIDWORKS: CAD dlya 3D-proektirovaniya. – Ofitsialnyy sayt. – Rezhim dostupa: <https://www.solidworks.com/ru>.

15. Zenkevich O. Metod konechnykh elementov v tekhnike. – M.: Mir, 1975. – 271 s.

16. Shaykhudinov A.S., Krivochurov N.T. Strelchatye lapy posevnykh mashin. Iznos i effektivnost primeneniya. – Saarbrucken (Deutschland): Izd-vo LAP Lambert Academic Publishing GmbH Co. KG., 2011. – 120 s.

17. Ogryzkov E.P., Ogryzkov V.E., Ogryzkov P.V. Agrotekhnologicheskie osnovy abrazivnogo iznashivaniya lezviy lemekhov // Traktory

i selskokhozyaystvennyye mashiny. – 2002. – No. 11. – S. 44-45.

18. Belyaev V.I., Krivochurov N.T., Ivanayskiy V.V. i dr. Obosnovanie vliyaniya tyagovogo soprotivleniya na parametry iznosa strelchatykh rabochikh organov // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2009. – No. 10 (60). – S. 92-95.

19. Berlin A.A., Volfson S.A., Oshmyan V.G. Printsipy sozdaniya kompozitsionnykh materialov. – Moskva: Khimiya, 1990. – 240 s.

20. Bunakov V.A., Golovkin G.S., Mashinskaya G.P. i dr. Armirovannyye plastiki / pod red. G.S. Golovkina, V.I. Semenova. – Moskva: Izd-vo MAI, 1997. – 404 s.



УДК 620.179.13;621.791.92

В.В. Иванайский, А.В. Ишков, Д.И. Илющенко
V.V. Ivanayskiy, A.V. Ishkov, D.I. Ilyushchenko

**МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПРОФИЛЯ
 ПРИ СИНТЕЗЕ КОМПАКТНЫХ МАТЕРИАЛОВ УПРОЧНЯЮЩИХ ПОКРЫТИЙ
 С ПРИМЕНЕНИЕМ КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ**

**THE METHOD OF STUDYING THE TEMPERATURE PROFILE
 AT THE SYNTHESIS OF COMPACT MATERIALS OF REINFORCING COATINGS USING
 CONCENTRATED ENERGY SOURCES**

Ключевые слова: порошковые материалы, компактные материалы, упрочняющие покрытия, твердый сплав, термограмма, ХА-микротермопара.

Keywords: powder materials, compact materials, reinforcing coatings, hard alloy, thermogram, microthermocouple.