

УДК 621.98.043

<https://doi.org/10.56619/2078-7138-2024-166-6-8-14>

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ ТЕРМОПЛАСТИЧНЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Н.К. Толочко,*профессор каф. технологий и организации технического сервиса БГАТУ, докт. ф.-м. наук, профессор***П.В. Авраменко,***зав. каф. стандартизации, метрологии и инженерной графики БГАТУ, канд. техн. наук, доцент***В.Б. Кравцов,***ст. преподаватель каф. технологий и организации технического сервиса БГАТУ***Д.И. Копчик,***магистрант БГАТУ***А.П. Левшуков,***гл. инженер ОАО «Минский завод шестерен»***К.Ю. Астрейко,***начальник управления сельскохозяйственных машин ОАО «Минский завод шестерен»*

В статье рассмотрены особенности технологии листовой штамповки термопластов и применяемой оснастки. В рамках экспериментального моделирования процесса листовой штамповки пластикового отвала предплужника исследованы закономерности формирования нагретых листов термопласта под действием прижимающих усилий штампа с секционной конструкцией матрицы и пуансона.

Ключевые слова: плуг, предплужник, отвал, пластик, штамповка, штамп.

The features of thermoplastic sheet forming technology and equipment used are considered in the article. Within the framework of experimental modeling of the plastic coultter moldboard sheet forming process, the regularities of heated thermoplastic sheets forming under the influence of pressing forces of a die with a sectional design of the die and punch are investigated.

Key words: plow, coultter, moldboard, plastic, stamping, die.

Введение

Применение пластиковых деталей для сельскохозяйственной техники вместо традиционных металлических позволяет повысить их эксплуатационные свойства, уменьшить массу и себестоимость. Характерным примером являются отвалы плугов.

По мнению специалистов компании PRF Mouldboards (Новая Зеландия), которая одна из первых начала производить пластиковые отвалы, важным преимуществом их является значительное снижение массы по сравнению со стальными аналогами [1]. Малый вес пластиковых отвалов, а также низкий коэффициент трения при прохождении почвы через них приводят к снижению требуемой мощности. При этом пластик, благодаря высокой ударной прочности и стойкости к истиранию, может служить дольше стали.

В Европе пластиковые отвалы плугов производятся фирмами Röchling (Германия) [2], Lemken (Германия) [3], Plast-Agra (Венгрия) [4], MORO Aratri (Италия) [5].

В Беларуси пластиковые отвалы до сих пор не производились и не применялись.

В 2023-2024 гг. в Белорусском государственном аграрном техническом университете совместно с Минским заводом шестерен (МЗШ) проводились исследования по разработке технологии изготовления пластиковых отвалов лемешных плугов и предплужников [6, 7]. Результатом данных исследований явилось создание в заводских условиях экспериментальных образцов пластикового отвала предплужника плуга 5-6-7-корпусного оборотного навесного ПОН-(5+1+1)-40С и пластикового отвала плуга 4-5-корпусного полунавесного оборотного ПО-4+1-40К (оба плуга предназначены для гладкой вспашки старопахотных слабокаменистых почв).

Отвалы изготавливали из полиэтилена РЕ-1000 листовой штамповкой. Согласно предварительным расчетам, изготовление пластиковых отвалов вместо аналогичных стальных позволяет сократить трудоемкость, энергетические затраты и число технологических операций, что приводит к снижению себестоимости.

Проведенные полевые испытания изготовленных пластиковых отвалов в составе плугов показали, что они обладают требуемым уровнем работоспособно-

сти, и в сравнении с аналогичными стальными отвалами имеют более высокую износостойкость, обеспечивают улучшение качества вспашки, увеличивая производительность, а также позволяют снизить расход топлива за счет уменьшения адгезии поверхности отвалов с почвой и их массы.

Вместе с тем при изготовлении пластиковых отвалов были выявлены и проблемы, связанные с подбором рациональных режимов технологии листовой штамповки, при которых обеспечивается требуемое качество получаемых изделий, с учетом особенностей конструкции используемых формообразующих элементов штамповой оснастки.

Цель работы – исследование закономерностей процесса листовой штамповки пластиковых элементов плуга, в частности, отвала предплужника.

Основная часть

Особенности листовой штамповки термопластов

Листовая штамповка термопластов является разновидностью технологических процессов термоформования (изделия изготавливаются из термопластов путем изменения формы предварительно нагретых заготовок) [8], осуществляемых в штампах с жесткими формообразующими элементами – матрицей и пуансоном, между которыми располагается листовая заготовка, подвергаемая формованию под действием изгибающих усилий, создаваемых прессовым оборудованием. Листовая штамповка термопластов применяется в основном для изготовления неглубоких пластиковых изделий.

В промышленности также широко применяется листовая штамповка металлов. Типовые технологические процессы листовой штамповки подобны друг другу, как по операционной структуре, так и по штамповой оснастке. Различия между ними состоят, главным образом, в технологических параметрах. Поэтому экономически целесообразно проводить ее на основе использования имеющейся на предприятии штамповой оснастки. Типичным примером такой замены является переход к производству пластиковых отвалов плугов вместо стальных отвалов с той же геометрией [6, 7].

Традиционно в способах листовой штамповки стальных отвалов используются штампы, состоящие из стальных матриц и пуансонов, которые имеют монолитную конструкцию и, соответственно, сплошные формообразующие поверхности. С помощью таких матриц и пуансонов можно формовать изделия одинаковой геометрии, как из металлических, так и из пластиковых листовых заготовок [8].

Однако для получения матриц и пуансонов с монолитной конструкцией приходится использовать сложные и дорогостоящие технологии. Обычно их изготавливают из цельных металлических заготовок в виде проката, поковок или отливок, которые подвергаются обработке резанием, давлением или электроэрозивной обработке для обеспечения требуемой конфигурации [9]. При этом наиболее сложно создавать

рабочие формообразующие поверхности, поскольку для этого необходимо использовать не только специализированные станки, но и труд высококвалифицированных специалистов, способных проводить некоторые виды обработки вручную. Все это обуславливает высокую стоимость таких матриц и пуансонов и, соответственно, себестоимость осуществляемой с их помощью листовой штамповки. Кроме того, данные матрицы и пуансоны имеют недостатки, связанные с их большим весом, из-за чего повышается сложность изготовления, затрудняется транспортировка, ухудшается ремонтпригодность, что особенно заметно с увеличением их размеров.

Использование матриц и пуансонов с монолитной конструкцией в способах листовой штамповки является недостаточно эффективным. Поэтому на производственных предприятиях для традиционного изготовления стальных отвалов плугов получают распространение способы листовой штамповки, основанные на использовании стальных матриц и пуансонов, которые не имеют монолитную конструкцию и состоят из секций (ребер) в виде плоскопараллельных пластин, установленных относительно друг друга с зазором на матрицедержателе и пуансонодержателе, и соответствующих по форме сечениям матрицы и пуансона плоскостями, перпендикулярными поверхности матрицедержателя и пуансонодержателя [10].

Зазоры между секциями матрицы или секциями пуансона могут быть сравнимы с толщиной секций и даже превышать их, поэтому вес матриц и пуансонов с секционной (реберной) конструкцией уменьшается более чем в два раза по сравнению с весом матриц и пуансонов с монолитной конструкцией. Кроме того, изготовление матриц и пуансонов при переходе от монолитной конструкции к секционной проще и дешевле. Например, в стальных матрице и пуансоне с секционной конструкцией, используемых в штампе для изготовления стального отвала плуга ППН.8.30/50-311, толщина секций составляет 18 мм, а зазоры между ними – 50 мм и 90 мм [10].

На рисунке 1 представлено графическое изображение штампа с секционной конструкцией матрицы и пуансона

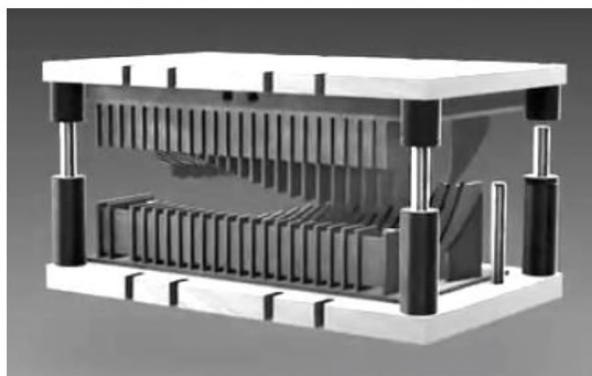


Рисунок 1. Графическое изображение штампа с секционной конструкцией матрицы и пуансона

пуансона, предназначенного для изготовления стального отвала листовой штамповкой [11].

Особенность матриц и пуансонов с секционной конструкцией состоит в том, что в отличие от матриц и пуансонов с монолитной конструкцией они не имеют сплошной формообразующей поверхности. У них эта поверхность является секционной, состоящей из отдельных, отстоящих друг от друга участков.

Секционный характер формообразующих поверхностей штампа ограничивает его функциональные возможности. Штамп, содержащий секционные матрицу и пуансон, позволяет осуществлять листовую штамповку, гарантированно обеспечивая высококачественную (гладкую, безрельефную) поверхность штампуемых изделий, лишь при условии, что штамповке подвергают листовые заготовки из достаточно твердых материалов, сравнимых по твердости со сталями, из которых изготовлены секции матриц и пуансонов.

Указанное выше условие обеспечивается при реализации типового способа листовой штамповки листовых заготовок из стали. Этот способ обычно используется для изготовления стальных отвалов плугов и включает нагревание стальной листовой заготовки вне зоны формования до температуры формования, укладку нагретой заготовки в штамп, содержащий стальные матрицу и пуансон, которые состоят из секций в виде плоскопараллельных пластин, установленных с зазором относительно друг друга перпендикулярно плоскости листа, и формование нагретой заготовки [12].

Согласно данному способу, стальная листовая заготовка нагревается для повышения ее пластичности и, соответственно, для облегчения ее последующего формования, т.е. для уменьшения прилагаемых к ней изгибающих усилий. Нагрев заготовки осуществляется в электропечи. При этом заготовка нагревается до такой температуры, при которой во время формования создается изделие с заданной геометрией, и вместе с тем предотвращается вдавливание секций матрицы и пуансона в нагретый стальной лист с образованием в нем вмятин. При изготовлении стальных изделий такие условия формования являются легко достижимыми, поскольку стальные заготовки, несмотря на их нагрев, остаются довольно твердыми. По твердости они сравнимы со стальными секциями матрицы и пуансона, вследствие чего механические воздействия, прикладываемые к заготовке, являются, с одной стороны, достаточными, чтобы вызывать ее формование, а с другой стороны, недостаточными, чтобы вызвать вдавливание в нее секций матрицы и пуансона.

Однако при аналогичном изготовлении изделий из термопластов достижение таких условий формования, когда полученное изделие приобретает заданную геометрию и вместе с тем не имеет вмятин, которые могли бы быть вызваны вдавливанием секций матрицы и пуансона в нагретый лист из термопласта, является

весьма проблематичным [13]. Это связано с тем, что при формовании нагретой заготовки из термопласта создается пластиковое изделие с заданной геометрией, в котором в отличие от аналогично создаваемого стального изделия имеются вмятины, образованные в результате вдавливания стальных секций матрицы и пуансона в нагретый лист термопласта. Причем вмятины образуются даже при сравнительно небольших изгибающих усилиях, прикладываемых к заготовке.

Внешний вид штампа с секционной конструкцией стальных матрицы и пуансона в процессе листовой штамповки пластикового отвала на МЗШ представлен на рисунке 2.



Рисунок 2. Внешний вид штампа с секционной конструкцией матрицы и пуансона в процессе листовой штамповки пластикового отвала

Появление вмятин в отформованной пластиковой заготовке обусловлено тем, что формование происходит в соответствии с типовым процессом термоформования термопластов, когда заготовка нагревается до такой температуры, при которой термопласт переходит в высокоэластичное состояние, т.е. настолько сильно размягчается, что может деформироваться при сравнительно слабых механических воздействиях [8]. Как следствие, величина изгибающих усилий, необходимая для формования термопласта, нагретого до такой температуры, оказывается достаточной для вдавливания в него стальных секций матрицы и пуансона.

Чтобы предотвращать вдавливание секций стальной матрицы и пуансона в листовую заготовку из сильно размягченного термопласта, было предложено на участках поверхности секций матрицы и пуансона, обращенных друг к другу, устанавливать технологические металлические защитные накладки, соответствующие по форме сплошным формообразующим поверхностям, характерным для монолитных матрицы и пуансона [13]. На рисунке 3 показан внешний вид штампа с секционной конструкцией стальных матрицы и пуансона, снабженных стальными защитными накладками, в процессе листовой штамповки пластикового отвала на МЗШ. Однако такая модернизация штампа приводит к повышению сложности и длительности процесса подготовки производства, а также стоимости изготовления изделий.

Особенно важно определить условия формования листового термопласта, при которых предотвращается вдавливание секций матрицы и пуансона в размягченный в результате нагрева лист термопласта. При проведении предварительных работ по изготовлению на МЗШ экспериментальных образцов пласти-

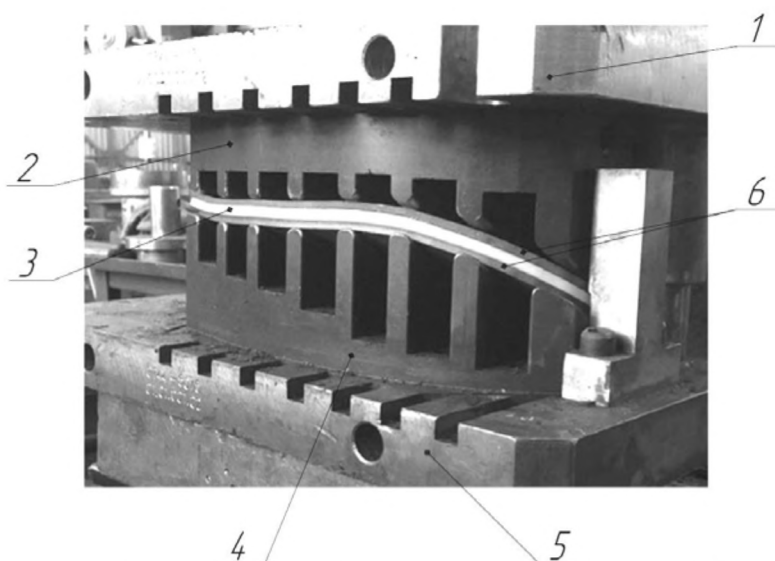


Рисунок 3. Внешний вид штампа с секционной конструкцией с использованием защитных накладок в процессе листовой штамповки пластикового отвала: 1 – пуансонодержатель; 2 – пуансон; 3 – пластиковый отвал; 4 – матрица; 5 – матрицдержатель; 6 – защитные накладки

кового отвала предпружника и плуга листовой штамповкой с использованием матрицы и пуансона с секционной конструкцией было установлено, что такие условия могут обеспечиваться при некоторых рациональных сочетаниях значений температуры нагрева формируемого термопласта и изгибающего усилия формования. Поэтому необходимо выяснить закономерности формования листов термопласта при различных температурных и силовых параметрах процесса формования с учетом термомеханических свойств и толщины листов формируемого термопласта.

Закономерности формования листов термопласта

Исследование закономерностей формования листов термопласта проводилось в рамках экспериментального моделирования процесса листовой штамповки пластикового отвала предпружника по описанной ниже методике.

Исследуемые образцы (заготовки) представляли

собой пластины из сверхвысокомолекулярного полиэтилена высокой плотности РЕ 1000, которые имели следующие размеры: толщина $b_{п} = 5$ мм (в соответствии с толщиной пластикового отвала предпружника), ширина $h_{п} = 10$ мм и длина $l_{п} = 100$ мм (выбирались с учетом характерных размеров экспериментального оборудования).

Эксперименты по формованию проводились в последовательности, соответствующей технологии. Вначале пластиковую пластину помещали в термощкаф (модель ШСТ ГП80-410), где ее нагревали до определенной температуры и выдерживали в течение 5 минут. Затем нагретую пластину извлекали из термощкафа и размещали в нагрузочном устройстве (приспособление для проверки упругости пружин КИ-050778) на опорах высотой 6,8 мм, расположенных на краях пластины. Прижимали заготовку сверху до полного прогиба стальным пуансоном, прикладывая плавно

(без рывков) нагрузку, заранее выставленную на весах (величина полного прогиба определяется высотой опор). Пуансон оказывал прижимное действие на пластину в ее средней части торцевой поверхностью в форме прямоугольника (шириной 10 мм и длиной 20 мм), так что площадь контакта пластины с пуансоном составляла 100 мм^2 . На поверхности отформованных пластин, в месте контакта с пуансоном, фиксировали наличие или отсутствие отпечатка, образующегося при вдавливании пуансона в пластину. Как показали исследования, незначительный отпечаток начал появляться при достижении температуры $130 \text{ }^\circ\text{C}$ и давления – 900 кПа.

Положения пластиковой пластины в нагрузочном устройстве до и после формования представлены на рисунке 4. На рисунке 5 представлен характерный вид отпечатка пуансона на поверхности пластины после формования.



Рисунок 4. Пластиковые пластины в нагрузочном устройстве до (а) и после (б) формования



**Рисунок 5. Отпечаток пуансона на поверхности отформованной пластиковой пластины:
а – вид сверху; б – вид сбоку**

При проведении экспериментов определяли следующие параметры с использованием соответствующих измерительных средств: температуру нагрева заготовки перед началом формования T (пирометр НТ-19); давление пуансона на образец P (нагрузочное устройство КИ-050778); глубину вдавливания пуансона в заготовку (глубина отпечатка) h (микрометр МК-102).

Основные факторы, влияющие на процесс формования: температура нагрева пластиковой пластины T , °С и давление штампа на заготовку P , кПа. Температура T влияет на изменения прочности и жесткости полиэтилена. Диапазон варьирования температуры T был принят в пределах от 130 °С до 140 °С с интервалом 5 °С, исходя из температуры плавления пластика $T = 135$ °С [14]. Диапазон варьирования давления P был принят от 90 до 110 кПа с интервалом варьирования 10 кПа, исходя из особенностей конструкции используемого штампа и необходимых нагрузок, установленных при проведении предварительных

экспериментов.

Согласно плану экспериментальных исследований, для оценки влияния глубины проникновения штампа в пластиковую пластину h от температуры нагрева T и давления штампа на пластину P был проведен двухфакторный эксперимент:

$$h = f(T; P).$$

Уровни и значения факторов, которые варьировались при проведении эксперимента, приведены в таблице 1.

Для оценки влияния основных факторов на глубину проникновения штампа в пластину h был выбран ортогональный центральный композиционный план второго порядка (ОЦКП). В таблице 2 представлена матрица планирования эксперимента.

Из данных таблицы 2 следует, что выборочные дисперсии S_j^2 однородны по критерию Кохрена, так как $G_s < G_T$.

Таблица 1. Уровни и интервалы варьирования факторов

Факторы	1-й фактор (температура)		2-й фактор (давление)	
Нижний уровень	$X_{1 \min} = 130$ °С	$X_1 = -1$	$X_{2 \min} = 90$ кПа	$X_2 = -1$
Верхний уровень	$X_{1 \max} = 140$ °С	$X_1 = +1$	$X_{2 \max} = 110$ кПа	$X_2 = +1$
Основной уровень	$X_{10} = 135$ °С	$X_1 = 0$	$X_{20} = 100$ кПа	$X_2 = 0$
Интервал варьирования	$\Delta x_1 = 5$ °С		$\Delta x_2 = 10$ кПа	
Формулы взаимосвязи нормированных X_1, X_2 с натуральными x_1, x_2	$X_{1j} = \frac{x_{1j} - 135}{5}; \quad x_{1j} = 135 + 5 \cdot X_{1j};$ $X_{2j} = \frac{x_{2j} - 100}{10}; \quad x_{2j} = 100 + 10 \cdot X_{2j}.$			

Таблица 2. Матрица планирования двухфакторного уравнения регрессии второго порядка на базе ОЦКП с числом опытов $N_2 = 9$ и числом дублей $n = 3$. Предварительная обработка экспериментальных данных

N_2	X_{1j}	X_{2j}	x_{1j}	x_{2j}	Y_{1j} , МКМ	Y_{2j} , МКМ	Y_{3j} , МКМ	$Y_{\text{ср}}$, МКМ	S_j^2 , МКМ ²
1	-1	-1	130	90	20	30	30	26,67	33,33
2	+1	-1	140	90	60	50	70	60,00	100,0
3	-1	+1	130	110	60	60	70	63,33	33,33
4	+1	+1	140	110	140	130	150	140,0	100,0
5	0	0	135	100	80	80	90	83,33	33,33
6	-1	0	130	100	50	30	40	40,00	100,0
7	+1	0	140	100	100	110	90	100,0	100,0
8	0	-1	135	90	30	40	50	40,00	100,0
9	0	+1	135	110	90	110	110	103,33	133,3
$G_s = 0,182$	$G_T = G_{2; 9; 0,95} = 0,477$				$S_{\text{воспр}}^2 = 81,48; f_{\text{воспр}} = 18$			656,7	733,3

Проведение экспериментов позволило получить необходимые данные, для обработки которых использовались общепринятые методики [15], согласно которым необходимо получить математическую модель влияния основных факторов на параметр оптимизации, которая будет представлена полиномом второй степени для двух факторов:

$$h = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_{12} X_1 X_2 + b_{11} (X_1^2 - \lambda_2)^2 + b_{22} (X_2^2 - \lambda_2)^2, \text{ мкм.}$$

$$\lambda_2 = 2/3$$

Результаты оценки значимости коэффициентов уравнения регрессии и адекватности полученного уравнения представлены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты моделирования процесса

	b_0	b_1	b_2	b_{12}	b_{11}	b_{22}
	73,0	28,3	30,0	10,8	-3,9	-2,2
$S^2(b)$	3,018	4,527	4,527	6,790	13,58	13,58
$S(b)$	1,737	2,128	2,128	2,606	3,685	3,685
$t_{18; 0,95}$	2,101	2,101	2,101	2,101	2,101	2,101
Δb	3,6	4,5	4,5	5,5	7,7	7,7
Значимость	1	1	1	1	0	0
$S^2_{\text{воспр}} = 81,48;$ $f_{\text{воспр}} = 18$	$S^2_{\text{ад}} = 87,590$ $f_{\text{ад}} = 5$		$F_9 = 1,075$ $F_T = F_{5; 18; 0,95} = 2,773$			

Из таблицы 3 видно, что коэффициенты b_{11} b_{22} незначимы, полученное уравнение адекватно, так как $F_9 < F_T$.

Окончательный вид адекватного уравнения регрессии, в котором все коэффициенты значимы, имеет следующий вид:

$$h(\text{мкм}) = 73,3 + 28,3 \cdot X_1 + 30,0 \cdot X_2 + 10,8 \cdot X_1 X_2 \pm 3,6 \pm 4,5 \pm 4,5 \pm 5,5$$

Анализ полученного уравнения регрессии, как и следовало ожидать, показывает, что с увеличением температуры и давления глубина отпечатка возрастает. Максимальное значение глубины отпечатка $h_{\text{max}} = 142$ мкм при $T = 140$ °С и $P = 110$ кПа. Минимальное значение глубины отпечатка $h_{\text{min}} = 25$ мкм при $T = 130$ °С и $P = 90$ кПа.

Заключение

В рамках экспериментального моделирования процесса листовой штамповки пластикового отвала предплужника исследованы закономерности формирования нагретых листов термопласта под действием прижимающих усилий, оказываемых пуансоном нагрузочного устройства. Получена экспериментальная зависимость глубины h вдавливания пуансона в пластину из полиэтилена РЕ 1000 от температуры T нагрева пластины и давления P пуансона на пластину. Эти зависимости могут быть использованы при определении приемлемых значений температурных и силовых факторов процесса листовой штамповки пластикового отвала, при которых достигается требуемая форма отвала и вместе с тем обеспечивается высокое

качество его поверхности. При этом необходимо отметить, что в общем случае характер полученных зависимостей $h(T, P)$ может быть различным для разных видов термопластичных полимеров с учетом особенностей их термомеханических свойств. Также характер зависимостей может изменяться и с изменением размеров испытываемых пластин и величины их полного прогиба. Причем, чем ближе испытываемые пластины по размерам к моделируемым ими отвалам, и чем ближе их полный прогиб по величине к прогибу отвалов при штамповке, тем точнее могут быть определены факторы листовой штамповки, исходя из результатов модельных экспериментов. Сделанные замечания свидетельствуют о необходимости прове-

дения в дальнейшем более полных и строгих экспериментальных исследований с целью оптимизации параметров процесса листовой штамповки с учетом совокупности всех влияющих на него факторов.

Аналогичные экспериментальные исследования могут проводиться для определения приемлемых параметров листовой штамповки самых разных

типов пластиковых изделий.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Plastic may be fantastic // Ruralnewsgroup. – 2018. – URL: <https://www.ruralnewsgroup.co.nz/rural-news/rural-machinery-products/plastic-may-be-fantastic>. – (дата обращения: 19.09.2024).
2. Plastics for soil cultivation // Röchling SE & Co. KG. – 2024. – URL: <https://www.roechling.com/industrial/agriculture-industry/soil-cultivation>. – (дата обращения: 11.11.2024).
3. Навесные оборотные плуги EUROPAL и VARIOPAL // ООО «Польмя Агро». – 2024. – URL: <https://polymya-agro.by/pdf/2-VariOpal.pdf>. – (дата обращения: 11.11.2024).
4. Plastic mouldboards // Plast-Agra Kft. – 2021. – URL: <https://www.plastagra.com/en/#top>. – (дата обращения: 11.11.2024).
5. Плуг навесной «WARRIOR» (Италия) // ООО «АгроТехника». – 2024. – URL: <https://agtz.ru/shop/soil-processing-tools/plows/plugi-oborotnye/mounted-plough-range-warrior/>. – (дата обращения: 11.11.2024).
6. Толочко, Н.К. Изготовление оснастки для листовой штамповки пластиковых отвалов плугов с использованием аддитивной технологии листового ламинирования / Н.К. Толочко, А.П. Левшуков, П.В. Авраменко, В.Б. Кравцов, Д.И. Копчик // Перспективы развития аддитивных технологий в Республике Беларусь: сб. докл. Междунар. науч.-практ. симп.,

Минск, 27 сент. 2023 г. / Нац. акад. наук Беларуси, ГНПО порошковой металлургии; редкол.: А.Ф. Ильющенко (гл. ред.) [и др.]. – Минск: Беларуская навука, 2023. – С. 144-149.

7. Толочко, Н.К. Опыт сотрудничества БГАТУ и МЗШ в области производства сельхозтехники / Н.К. Толочко, П.В. Авраменко, В.Б. Кравцов, А.П. Левшуков // Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: матер. Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 16-17 окт. 2024 г.: в 2 ч.; редкол.: Н.Н. Романюк [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2024. – Ч. 2. – С. 26-27.

8. Шерышев, М.А. Технология переработки полимеров: изделия из полимерных листов и пленок: учебное пособие для вузов / М.А. Шерышев. – М.: Изд-во «Юрайт», 2024. – 644 с.

9. Изготовление пуансонов и матрицы со сложным контуром // ООО «Металика». – 2024. – URL: https://www.avangard16100.ru/goods/29436067-puansony_i_matritsy_so_slozhnym_konturom. (дата обращения: 28.10.2024).

10. Закалочно-гибочный штамп для штампования отвала плуга: конструкторская документация / Минский завод шестерен; Конструкторское бюро отдела главного металлурга. – 2024.

11. Разработка штамповой оснастки для изготовления отвала плуга // ООО «Инжиниринговая компания «Комплекс КАД». – 2024. – URL: <https://www.complexcad.ru> (дата обращения: 28.10.2024).

12. Технологический процесс изготовления отвала плуга ППН.8.30/50-311 (01) / Минский завод шестерен; Отдел главного технолога. – 2024.

13. Патент 24349 РБ, МПК В 21D 22/02. Штамп для листовой штамповки: № а 20220219 : заявлено 09.09.2022 : опубл. 20.04.2024 / Толочко Н.К., Романюк Н.Н., Авраменко П.В., Кравцов В.Б., Копчик Д.И., Левшуков А.П., Апимашко В.В., Саковский В.И.; заявитель : Белорусский государственный аграрный технический университет; ОАО «Минский завод шестерен.

14. PE-1000 (PE-UHMW) // ООО "Компания Полимер". – 2024. – URL: <https://komp-pol.ru/svmpre-pe-1000/> (дата обращения: 28.10.2024).

15. Леонов, А.Н. Основы научных исследований и моделирования: учебно-методический комплекс / А.Н. Леонов, М.М. Дечко, В.Б. Ловкис. – Минск : БГАТУ, 2010. – 276 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 10.12.2024

Независимая навеска и система стабилизации штанги опрыскивателя «Мекосан-2500-18»

Предназначена для снижения амплитуды колебаний штанги и повышения надежности ее несущей конструкции.

Применение разработки позволяет эффективно гасить колебания штанги, возникающие вследствие движения колес опрыскивателя по неровности поверхности поля, что обеспечивает высокую равномерность распределения пестицидов по обрабатываемому объекту, а также повышение надежности несущей конструкции штанги.



Основные технические данные

Марка машины	Мекосан-2500-18
Производительность за 1 час времени, га:	
- сменного	10,9
- эксплуатационного	10,7
Система навески штанги на остов опрыскивателя	Независимая
Способ крепления рамки штанги к остоу опрыскивателя	Параллелограммная навеска
Амплитуда колебаний краев штанги, м	до 0,1
Рабочая скорость движения, км/ч	9-12
Качество выполнения технологического процесса:	
- неравномерность распределения рабочей жидкости по ширине захвата, %, не более	15
- снижение неравномерности распределения рабочей жидкости по ширине захвата, %, не менее	5
Габаритные размеры опрыскивателя в транспортном положении, мм, не более	6045x2425x2215
Габаритные размеры опрыскивателя в рабочем положении (при высоте установки штанги 600 мм), мм, не более	6045x18250x2215
Дорожный просвет, мм	350
Увеличение массы опрыскивателя, кг	на 120