



# СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ НАПЛАВКИ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ И УБОРОЧНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН (ОБЗОР)

В. С. СЕНЧИШИН, инж., Ч. В. ПУЛЬКА, д-р техн. наук (Терноп. нац. техн. ун-т им. И. Пулюя)

Показано, что для плоских деталей сельскохозяйственных машин с толщиной стенки (ОМ) 2...6 мм и толщиной наплавленного металла (НМ) 0,8...2,0 мм наиболее перспективно применение индукционной наплавки. В этом случае обеспечивается минимальное перемешивание ОМ и НМ, минимальные затраты на оборудование, возможность механизации и автоматизации.

*Ключевые слова:* методы наплавки, электроконтактное упрочнение, рабочие органы сельхозмашин, тонкие детали, индукционная наплавка, автоматизация

В сельском хозяйстве широко используются тонкие плоские детали в виде рабочих органов почвообрабатывающих и уборочных машин, а именно: лемеха плугов, лапы культиваторов, диски лущильников, ножи-ботворезы и другие, которые работают в условиях абразивного износа и значительных статических и динамических нагрузок. Эти детали должны иметь высокую прочность и износостойкость [1–4], однако в процессе работы происходит непрерывное взаимодействие металла с почвой и растениями, что, в свою очередь, ведет к затуплению лезвия. Для обеспечения режущих свойств в процессе эксплуатации рабочие органы должны подвергаться самозатачиванию. Наилучшим образом этим условиям соответствуют биметаллические (двухслойные) рабочие детали, прочность которых обеспечивается основным материалом, из которого изготовлен рабочий орган, а износостойкость и самозатачивание — плакирующим слоем, нанесенным на основной металл. Самозатачивание зависит от соотношения толщи-

ны и износостойкости основного и плакирующего слоев [5]:

$$\omega = \frac{\varepsilon_2 h_2}{\varepsilon_1 h_1},$$

где  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  — устойчивость соответственно основного и плакирующего слоев;  $h_1, h_2$  — толщина соответственно основного и плакирующих слоев.

Наилучшее самозатачивание обеспечивается при  $\omega = 1,5$ .

Для упрочнения рабочих органов применяют различные способы наплавки: электроконтактную, плазменную, электродуговую, плакирование взрывом, индукционную и другие методы упрочнения [4, 6–11].

Известен способ наплавки рабочих органов сельскохозяйственных машин с использованием электроконтактного упрочнения [4, 6, 12, 13]. При этом способе присадочным материалом могут быть порошки, проволоки и ленты. Суть технологии заключается в нанесении на поверхность детали слоя порошкообразного износостойкого твердого материала (шихты), ленты и проволоки

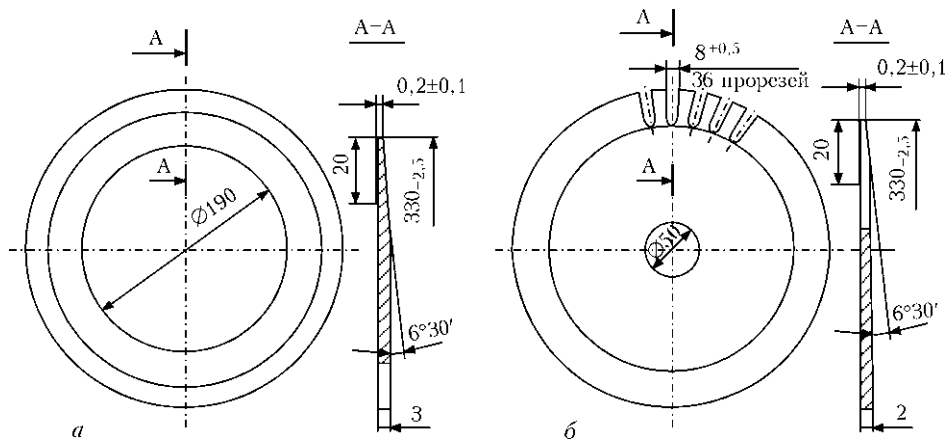


Рис. 1. Схема конструкции дисковых ножей [12]: а — неприводной; б — приводной



Рис. 2. Общий вид установки для приварки ленты к диску луцильника на базе модернизированной машины МШПР-300/1200 [1]

с последующим их нагревом до температуры, при которой происходит их спекание и образование прочной диффузионной связи с деталью. Данная технология применяется при упрочнении дисковых ножей почвообрабатывающих машин, которые должны иметь износостойкую режущую кромку и самозатачиваться в процессе эксплуатации.

На рис. 1 приведены дисковые ножи, наплавленные порошкообразным твердым сплавом электроконтактным способом, а на рис. 2 — установка для приварки ленты к диску луцильника [1, 12].

В работе [13] предложен технологический процесс электроконтактной наплавки лемеха порошковой проволокой сегментного поперечного сечения. В этом случае процесс наплавки порошковой проволокой протекает в две стадии: холодное уплотнение порошкового сердечника и, как следствие, деформация присадочных материалов в зоне контакта с деталью; сам процесс наплавки, при котором обеспечивается нагрев порошковой проволоки на вершине сегмента, в зоне интенсивного тепловыделения, распространение деформации на периферийные зоны, плавление и приварка оболочки к основанию с одновременным спеканием порошкового сердечника. На рис. 3 представлен наплавленный лемех по указанной выше технологии.

Преимуществами данного способа является отсутствие проплавления основного металла, минимальные деформации наплавленных деталей, возможность наплавки слоев малой толщины, большая скорость нагрева, которая может достигать нескольких тысяч градусов в секунду. Недостатками является низкая производительность процесса, отсутствие в серийном производстве оборудования и нестабильное качество наплавленного металла, а также сложность изготовления порошковой проволоки сегментного сечения.

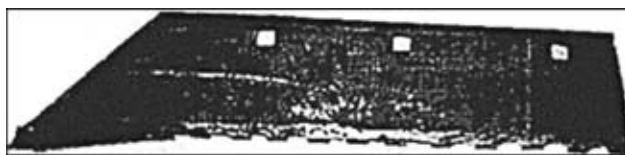


Рис. 3. Общий вид наплавленного лемеха [13]

Для получения биметаллических рабочих органов, а именно дисков луцильников, предлагается применять способ электроконтактного плакирования устойчивой к износу лентой [14]. Для обеспечения заданной прочности и упругости дисковые ножи перед плакированием подвергаются объемной закалке и отпуску. Окалина, которая образовалась в процессе прокатки и термообработки, удаляется травлением в 20%-м растворе серной кислоты с добавлением 1%-го ингибитора ОП-1, подогретого до температуры 70 °С. После травления, промывки и сушки диск считается пригодным к плакированию лентой. Основными недостатками этого способа являются большая трудоемкость подготовительных работ, сложности изготовления ленты из высокостойких к износу сплавов, невысокая прочность сварных слоев.

Для упрочнения рабочих поверхностей различных плоских деталей, в том числе рабочих органов почвообрабатывающих машин, используют методы плакирования взрывом и прокаткой [15]. К преимуществам плакирования взрывом относят высокую скорость процесса, возможность получения соединения металлов, которые другими способами получить невозможно или сложно; относительную простоту технологии (отсутствие необходимости применения сложного оборудования) [15]. В Чехии технологию наплавки взрывом использовали при производстве биметаллических ножей и других плоских деталей. По сравнению с традиционным металлургическим способом литейного плакирования применение наплавки взрывом технически и экономически обосновано.

В ИЭС им. Е. О. Патона разработан и опробован способ получения устойчивого к износу биметалла при прокатке пакетов с порошком ПГ-С1 [16], который базируется на принципе автовакуумной сварки давлением. В работе [17] этот способ был применен для получения инструментального биметалла с плакирующим слоем порошка ПР 10Р6М5. Основным недостатком способа является составление пакета больших размеров, связанное с необходимостью уплотнения порошка для создания минимального объема воздуха в полости пакета, что устраняется с помощью предварительного прессования порошка. В работе [18] показано, что при получении биметаллического профиля для рабочих органов почвообрабатывающих машин порошок плакирующего слоя ПГ-С1 предварительно компактировали методом горячего газостатического прессования, однако про-

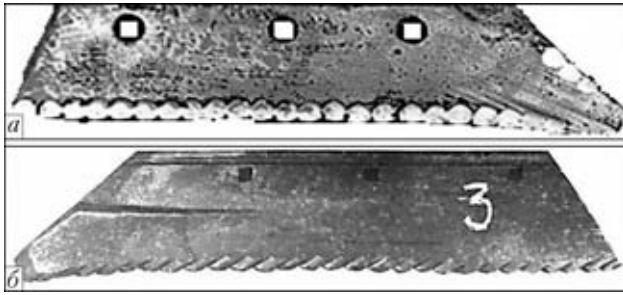


Рис. 4. Общий вид напавленного лемеха до (а) и после эксплуатации (б) [22]

мышленному использованию этой технологии препятствует сложность и высокая трудоемкость.

В работах [7, 8, 19–21] описана технология плазменной наплавки, которую применяют при изготовлении многолезвийных металлорежущих инструментов (концевых фрез и т. п.), а также режущих кромок дисковых и плоских ножей различного назначения. В качестве материалов для наплавки используют порошки быстрорежущих сталей, а также сплавов, содержащих ванадий. Этот процесс наплавки позволяет сравнительно легко регулировать энергетические, тепловые и газодинамические параметры струи плазмы в широких диапазонах, что в результате позволяет получить напавленный слой с заданными физико-химическими и механическими свойствами.

Разработана технология плазменно-порошковой наплавки ножей бумагорезательных машин. Устойчивость серийных ножей без наплавки определяется временем их изнашивания, зависящего от прочности, твердости, механических свойств и некоторыми другими характеристиками стали [7, 8, 20]. Заготовка под наплавку имеет разделку, которая позволяет практически исключить деформацию после наплавки и краевой эффект, возникающий при наплавке на кромку. Бумагорезательные ножи наплавляли плазменно-порошковым методом для нескольких типов сталей и сплавов. После наплавки заготовки подвергают двухразовому отпуску при температуре 540...560 °С, резке, правке и конечной механической обработке.

Преимуществами плазменно-порошковой наплавки является незначительное проплавление основного металла, высокое качество напавленного слоя, возможность наплавки тонких слоев

(1...5 мм) с использованием широкой гаммы присадочных материалов. К недостаткам следует отнести относительно низкую производительность и необходимость сложного и дорогостоящего оборудования, а также высокие требования к гранулометрическому составу и форме гранул порошков, что приводит к ее значительному удорожанию, а это ограничивает применение данного способа.

Для повышения эксплуатационных характеристик рабочих органов почвообрабатывающих машин (ножей-ботворезов, лап культиваторов, лемехов плугов и других деталей) Институтом электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины предложено точечное упрочнение с помощью дуговой наплавки порошковой проволокой ПП-АН170 [22]. Высота упрочняющей точки составляет 1...3 мм, а глубина проплавления основного металла 2...4 мм. Наплавка осуществляется на обратной полярности. Глубина проплавления при точечном упрочнении регулируется изменением силы тока, напряжения и времени горения дуги. На рис. 4 показан общий вид напавленного порошковой проволокой лемеха плуга до и после эксплуатации. Недостатком данного способа являются большие трудовые и материальные затраты на изготовление деталей.

В работах [10, 23–25] предложена технология упрочнения рабочих поверхностей культиваторных лап способом локального упрочнения. Суть данного метода заключается в том, что на внешнюю поверхность лапы наносят валики с помощью дуговой наплавки с шагом 40 мм под углом наклона 25° к лезвию лапы. Общий вид упрочненной лапы показан на рис. 5. Недостатком данного способа являются большие трудовые затраты и неравномерность нанесения валиков, зависящая от квалификации сварщика.

Известна также технология повышения износостойкости рабочих органов почвообрабатывающих машин науглероживанием поверхностного слоя угольным электродом [26]. Суть способа заключается в том, что при контакте угольного электрода с деталью в результате искрового разряда углерод электрода переходит в основной металл, образуя на его поверхности слой цементита, твердость которого значительно выше основного металла. Этот



Рис. 5. Общий вид лапы после локального упрочнения [10]

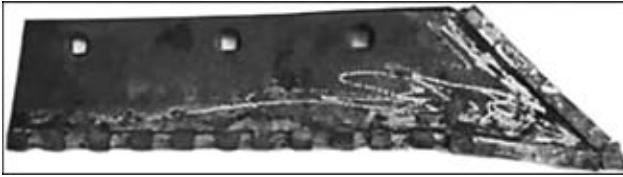


Рис. 6. Общий вид упрочненного лемеха металлокерамическими пластинами [11]

способ не нашел широкого применения в связи со сложностью технологического процесса.

В работах [11, 27] предложена технология восстановления и упрочнения лемехов плугов с помощью припайки металлокерамических пластин. Суть данного способа заключается в том, что с лицевой стороны лезвия лемеха припаивают твердосплавные пластины сплошного и прерывистого характера расположения. Для осуществления процесса фрезеруют паз глубиной 1,5...2,0 мм, затем в него закладывают припой Л63, на который позже накладывают металлокерамические пластины Т15К6 или ВК8. Нагрев припоя осуществляют газопламенным способом, после припайки лемех помещают в термоизоляционную емкость, нагретую до температуры 620 °С, вместе с которой он остывает до комнатной температуры (рис. 6).

Основным преимуществом упрочнения рабочих органов металлокерамическими пластинами является снижение тягового сопротивления, позволяющее повысить рабочую скорость машины и тем самым производительность вспашки.

Недостатком данного способа являются большие материальные и трудовые затраты, связанные с технологией изготовления деталей.

Разработаны и другие способы упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин. К ним относятся наплавка с помощью электронного ускорителя [28], лазерная наплавка [29–31] и др. Однако из-за сложности технологии и отсутствия оборудования, его несовершенства и высокой стоимости эти процессы пока не нашли промышленного применения.

Для упрочнения тонких плоских деталей, в том числе рабочих органов деталей сельскохозяйственных машин, широко используют индукционный способ наплавки. В работах [32–34] предложена технология одновременной индукционной наплавки тонких фасонных дисков по всей рабочей поверхности. Для наплавки используют специальную шихту, состоящую из смеси износостойкого порошкообразного твердого сплава и флюса. Шихту наносят на поверхность детали в виде слоя необходимой толщины (рис. 7). После этого деталь вводят в индуктор (рис. 8), источником питания которого является высокочастотный генератор. При прохождении токов высокой частоты через индуктор в поверхностных слоях детали, подлежащей наплавке, наводятся вихревые токи, которые разогревают деталь, а от ее

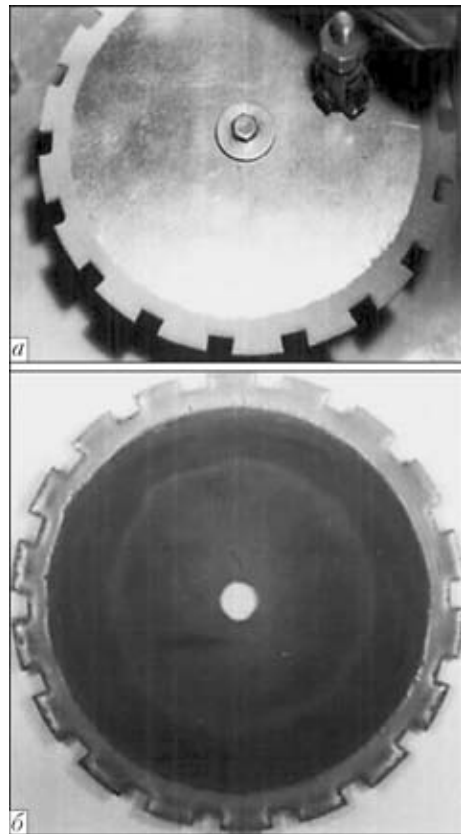


Рис. 7. Устройство для засыпки шихты (а) и наплавленный диск (б) [34]

поверхности плавится шихта [32]. К достоинствам способа относятся: возможность наплавки тонких слоев, высокая производительность, возможность механизации и автоматизации процесса. Недостатками являются высокая энергоемкость, перегрев основного металла, присадочные материалы должны быть более легкоплавкими, чем основной металл. Несмотря на отмеченное выше, на предприятиях, выпускающих сельскохозяйственную технику, плуги, лушительники, лапы культиваторов и др., этот способ является наиболее распространенным [32].

Для улучшения условий труда и повышения производительности процесса индукционной наплавки тонких плоских деталей, в том числе долот и лап культиваторов авторами разработаны полуавтоматические установки и автоматические линии [33]. Для наплавки культиваторных ножей, имеющих криволинейную режущую поверхность, применяют установки карусельного типа, на которых можно наплавлять долотообразные лемехи. Основными недостатками этих линий и установок является невысокая производительность непосредственно самого процесса наплавки, а также низкий уровень механизации на позициях загрузки заготовок, засыпки шихты и разгрузки.

С целью повышения производительности процесса индукционной наплавки тонких фасонных дисков — ножей-ботворезов свеклоуборочных машин непрерывно-последовательным и одновре-

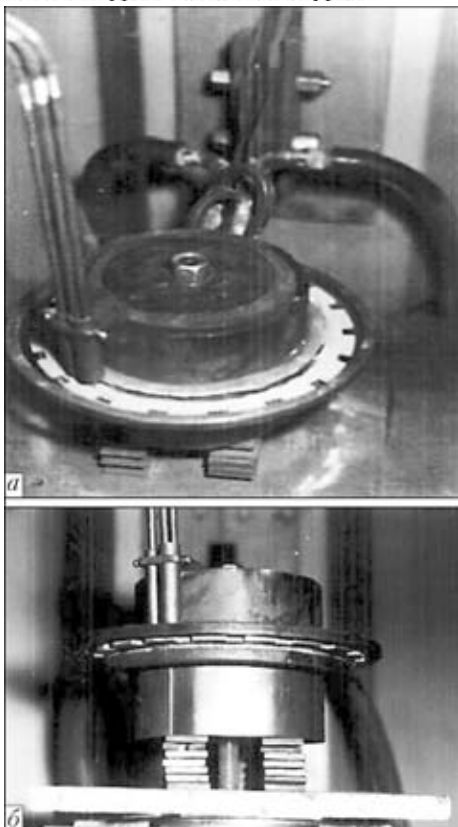


Рис. 8. Устройство для наплавки диска в двухвитковом кольцевом индукторе [ 34]: а — вид сверху; б — сбоку

менными способами наплавки разработаны и внедрены в производство поточные линии [32], которые позволяют механизировать и автоматизировать процесс, включая загрузку и разгрузку заготовок, перемещение их в роторном устройстве, установление их на позициях засыпки шихты, наплавки и снятие их после наплавки.

Процесс совершенствования индукционной наплавки тонких плоских деталей осуществляют в следующих направлениях: повышение износостойкости наплавленного слоя металла, оптимизация режимов нагрева с целью экономии электроэнергии, а также конструктивных параметров индукторов и нагревательных систем для наплавки дисков произвольных диаметров и размеров зоны наплавки исходя из потребностей технологии, без учета экранирования электромагнитных полей и с учетом только электромагнитного экранирования, а также комбинированного экранирования одновременно электромагнитных и тепловых полей; математическое моделирование процесса наплавки для определения остаточных напряжений, деформаций и перемещений деталей; механизация и автоматизация процессов наплавки с учетом экологичности процесса и защиты человека от воздействия электромагнитных и тепловых полей [32].

Для повышения износостойкости наплавленного металла деталей почвообрабатывающих машин в работах [35–39] предложено использовать вибрацию деталей после наплавки. Суть данного

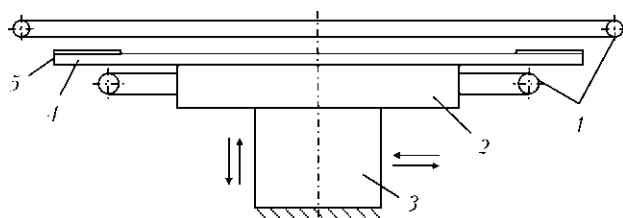


Рис. 9. Схема индукционной наплавки тонких плоских деталей с приложением вибрации в процессе наплавки: 1 — индуктор; 2 — стол; 3 — вибратор (стрелками показано направление приложения колебаний); 4 — деталь; 5 — порошкообразный твердый сплав

метода заключается в том, что на наплавленный слой последовательно наносят большое количество микроударов с соответствующей частотой и амплитудой 0,5 мм в течение 20 с, вызванных действием колебаний обрабатывающего инструмента. Основными преимуществами при использовании данной технологии является создание равномерной и более мелкозернистой структуры наплавленного слоя, за счет чего повышается твердость наплавленного металла на 25 %. К недостаткам данного способа следует отнести большие трудовые и материальные затраты, связанные с использованием дополнительных технологических операций после наплавки.

В работах [40–42] описана технология виброобработки сварных соединений нефтегазового оборудования. Эта технология позволяет снизить уровень остаточных напряжений и деформаций, возникающих после сварки. Однако она не нашла широкого распространения из-за сложности технологического процесса и оборудования.

Для дальнейшего усовершенствования технологии индукционной наплавки применяют наплавку с использованием горизонтальной и вертикальной вибрации для повышения износостойкости и уменьшения деформации тонких плоских деталей, которая заключается в том, что вибрацию с определенной частотой и амплитудой (рис. 9) вводят тогда, когда порошкообразный износостойкий твердый сплав начинает плавиться и сохраняют ее до полного его расплавления и кристаллизации [43]. Износостойкость и уменьшение деформаций достигается за счет образования мелкозернистой структуры и более благоприятного распределения карбидов в наплавленном металле по сравнению с наплавкой без вибрации. Авторами разработаны способы и устройства для наплавки тонких плоских деталей с приложением горизонтальной и вертикальной вибраций. Проведенные исследования структуры, износостойкости и твердости наплавленного металла показали ее преимущества по сравнению с существующими методами индукционной наплавки и необходимость разработки математической модели процесса, которая позволила бы оценить влияние механических колебаний на физическую сущность измельчения

структуры наплавленного металла и его эксплуатационные свойства.

Результаты совершенствования процесса индукционной наплавки рабочих органов сельскохозяйственных машин, проведенные авторами с введением горизонтальной и вертикальной вибрации, опубликованы в работах [43–46].

Таким образом, анализ современных методов наплавки показал, что для тонких плоских деталей почвообрабатывающих сельскохозяйственных машин, в том числе и дисков, толщиной основного металла и наплавленного слоя соответственно 2...6 и 0,8...2,0 мм, наиболее распространенным и перспективным является индукционная наплавка без перемешивания основного металла с наплавленным. Этот метод является наиболее технологичным в связи с использованием несложного оборудования, простотой самого процесса наплавки, не требует высокой квалификации рабочих-наплавщиков, возможностью механизации и автоматизации процесса (что важно в условиях серийного производства). Он постоянно совершенствуется в направлении повышения производительности, износостойкости, стабильности толщины слоя наплавленного металла, экономии электроэнергии, а также снижения деформации деталей.

1. *Ткачев В. Н.* Износ и повышение долговечности деталей сельскохозяйственных машин. — М.: Машиностроение, 1971. — 264 с.
2. *Большой А. А., Лесков С. П.* Индукционная наплавка деталей в сельскохозяйственном машиностроении // Наплавка. Опыт и эффективность применения. — Киев: ИЭС им. Е. О. Патона, 1985. — С. 72–75.
3. *Вишневский А. А., Костылев Ю. А., Остров Д. Д.* Технология изготовления наплавленных дисковых ножей // Наплавка деталей металлургического и горного оборудования: Реф. сб. — М.: НИИИнформтяжмаш, 1978. — С. 15–18.
4. *Пулька Ч. В.* Наплавка рабочих узлов почвообрабатывающей и уборочной сельскохозяйственной техники (Обзор) // Автомат. сварка. — 2003. — № 8. — С. 36–41.
5. *Рабинович А. Ш.* Самозатачивающиеся плужные лемехи и другие почворезущие детали машин. — М.: ГОСНИТИ, 1962. — 165 с.
6. *Николаенко М. Р., Рыморов Е. В.* Новые технологические процессы электродуговой и электроконтактной наплавки быстроизнашивающихся деталей строительных и дорожных машин. — М.: ЦНИИТЭстроймаш, 1976. — 157 с.
7. *Гладкий П. В., Переплетчиков Е. Ф., Рябцев И. А.* Плазменная наплавка. — Киев: Екотехнологія, 2007. — 292 с.
8. *Bouaifi B., Gebert A., Heinze H.* Plasma-pulver-fuftragschweibung zum verschleibschutz abrasive beanspruchter boeteil mit kantenbelastung // Schweißen und Schneiden. — 1993. — № 9. — С. 506–509.
9. *Денисенко М. І., Войтюк В. Д.* Підвищення експлуатаційної надійності деталей робочих органів ґрунтообробних машин // Наук. вісн. Нац. ун-ту біоресурсів і природокористування України. Сер. Техніка та енергетика АПК. — 2011. — Вип. 166, Ч. 1. — С. 274–284.
10. *Кобець А. С., Пугач А. М.* Методи і способи підвищення зносостійкості робочих органів культиваторів // Вісн. Дніпропетр. держ. аграр. ун-ту. — 2010. — № 1. — С. 61–63.
11. *Кузнецов Ю. А., Гончаренко В. В.* Восстановление и упрочнение лемехов плугов металлокерамическими пластинами // Вест. Рос. гос. аграр. заочн. ун-та. — 2007. — № 2. — С. 122–123.
12. *Электрoкoнтaктнaя нaпaвкa дискoвых нoжeй / В. П. Туркин, В. Г. Путилин, М. Р. Николаенко и др.* // Автомат. сварка. — 1978. — № 2. — С. 74–76.
13. *Волков Д. А.* Удoскoнaлeння тeхнoлoгії eкoнoмнoлeгoвaнoгo нaпaвлeння знoсoстійкoгo сплaву з викoристaнням пoрoшкoвoгo дрoту: Aвтoрeф. дис. ... кaнд. тeхн. нaук. — Крaмaтoрськ, 2012. — 21 с.
14. *Кoнтaктнoe плaкирoвaниe рaбoчих oргaнoв пoчвoбрaбaтывaющих мaшин / Г. Е. Мамулия, Г. Ф. Муров, В. П. Тюленев, Г. Д. Диборова* // Свароч. пр-во. — 1984. — № 2. — С. 37–39.
15. *Плaкирoвaниe стaли взрывoм / А. С. Гельман, Б. Д. Цемахович, А. Д. Чудовский и др.* — М.: Мaшинoстрoeниe, 1978. — 191 с.
16. *Рябцев И. А.* Биметаллический прокат с плакирующим слоем из гранулированного порошка ПГ-С1 // Современные методы наплавки и наплавочные материалы: Тез. докл. III Республ. науч.-техн. конф. — Харьков, 1981. — С. 9–10.
17. *Кальнер В. Д., Горюшина М. Н., Сичужникова А. А.* Процессы взаимодействия на границе раздела биметаллической заготовки, полученной методом прокатки неспеченного порошка // Металловедение и терм. обработка металлов. — 1984. — № 3. — С. 28–29.
18. *Перспективы применения компактных материалов в биметаллических деталях рабочих органов сельхозмашин / Б. Н. Федоров, В. А. Осадчий, М. Ю. Тиц и др.* // Тракторы и сельхозмашины. — 1975. — № 9. — С. 39–41.
19. *Рябцев И. А.* Наплавка деталей машин и механизмов. — Киев: Екотехнологія, 2004. — 160 с.
20. *Переплетчиков Е. Ф., Рябцев И. А., Гордань Г. Н.* Высокованадиевые сплавы для плазменно-порошковой наплавки инструментов // Автомат. сварка. — 2003. — № 3. — С. 21–25.
21. *Переплетчиков Е. Ф.* Плазменная наплавка // Ремонт, восстановление, модернизация. — 2005. — № 12. — С.35–40.
22. *Денисенко М., Опальчук А.* Зношування та підвищення довговічності робочих органів сільськогосподарських машин // Вісн. Терноп. нац. техн. ун-ту. — 2011. — Ч. 2. — С. 201–210.
23. *Кобець А. С., Кобець О. М., Пугач А. М.* Польові дослідження спрацювання культиваторних лап з локальним зміцненням // Вісн. Харк. нац. техн. ун-ту ім. П. Василенка. Механізація сільськогосподарського виробництва. — 2011. — № 107. — С. 208–213.
24. *Михальченко А. М., Тюрєва А. А., Михальченко М. А.* Повышение износостойкости плужных лемехов нанесением упрочняющих валиков в области наибольшего износа // Ремонт, восстановление, модернизация. — 2007. — № 9. — С. 17–19.
25. *Василенко М. О.* Перспективи застосування локального зміцнення при виготовленні та відновленні робочих органів // Техніка АПК. — 2008. — № 1. — С. 29–31.
26. *Повышение долговечности плужных лемехов при восстановлении наплавкой угольным электродом / В. Е. Киргизов, Г. М. Шишкин, К. П. Балданов и др.* // Вестн. ИрГСХА. — 2010. — Вып. 38. — С. 65–70.
27. *Восстановление и упрочнение режущей кромки лемеха пайкой металлокерамических пластин / В. В. Гончаренко, А. В. Фербяков, Ю. А. Кузнецов и др.* // Механизация и электрификация сельск. хоз-ва. — 2006. — № 11. — С. 21–22.
28. *Наплавка рабочих органов сельхозмашин с помощью электронного ускорителя / Л. П. Фоминский, М. В. Левчук, А. Ф. Байсман и др.* // Свароч. пр-во. — 1987. — № 11. — С. 4–6.
29. *Упрочнение быстроизнашивающихся деталей почвообрабатывающей техники / В. С. Ивашко, В. К. Ярошевич, П. Г. Лузан, Г. Н. Мдзинарашвили* // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. — 2009. — Вип. № 39 (Міжвідом. наук.-техн. зб. Кіровоград. нац. техн. ун-ту).
30. *Коваленко В. С., Меркулов Г. В., Стрижак А. И.* Упрочнение деталей лучом лазера. — Киев: Техніка, 1981. — 131 с.



31. Солових Е. К., Аулін В. В., Бобрицький В. М. Аналіз характеру зношування лез ґрунторіжучих деталей та підвищення їх ресурсу лазерними технологіями // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. — 2005. — Вип. 35. — С. 153–159.
32. Пулька Ч. В. Технологічна та енергетична ефективність індукційного наплавлення тонких сталевих дисків: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. — К., 2006. — 37 с.
33. Основні напрямки індукційного наплавлення робочих органів сільськогосподарських машин / О. М. Шаблій, Ч. В. Пулька, О. І. Король // Вісн. Терноп. держ. техн. ун-ту — 2008. — 13, № 4. — С. 100–109.
34. Розроблення енергоощадних нагрівальних систем для індукційного наплавлення деталей сільськогосподарських машин / О. М. Шаблій, Ч. В. Пулька, В. С. Сенчишин, В. Я. Гаврилюк // Те саме. — 2011. — № 4. — С. 107–120.
35. Біловод О. І., Дудніков А. А. К вопросу износоустойчивости рабочих органов свеклоуборочных комбайнов // Вісн. Харк. держ.техн. ун-ту ім. П. Василенка. Механізація сільського господарства. — 2007. — Вип. 59, Т. 1. — С. 288–293.
36. Дудніков І. А., Кивишк А. П., Дудніков А. А. К вопросу влияния вибрационной обработки на деформирование материала обрабатываемых деталей // Зб. наук. праць. — 2009. — Вип. 39. — С. 167–169.
37. Дуднік В. В. Оценка структуры упрочненного слоя лезвия лемехов // Восточно-Европ. журн. передовых технологий. — 2011. — № 4/7. — С. 4–6.
38. Дудніков А. А., Горбенко О. В., Біловод О. І. Упрочняющая обработка вибрационным деформированием // Зб. наук. праць Луган. нац. аграрн. ун-ту. — 2006. — №68/91. — С. 86–88.
39. Бабичев А. П., Бабичев І. А. Основы вибрационной технологии. — Ростов-на-Дону, 2008. — 694 с.
40. Сутырин Г. В. Исследование механизма воздействия низкочастотной вибрации на кристаллизацию сварочной ванны // Автомат. сварка. — 1975. — № 5. — С. 7–10.
41. К влиянию вибрационной обработки на механические свойства разнородных сварных соединений / О. Ф. Хафизова, В. И. Болобов, А. М. Файрушин, А. Ю. Кузькин // Нефтегазовое дело. — 2011. — № 1. — [http://www.ogbus.ru/authors/Khafizova/Khafizova\\_1.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/Khafizova/Khafizova_1.pdf).
42. Салмин А. Н., Файрушин А. М., Ибрагимов И. Г. Исследование влияния вибрационных колебаний в процессе сварки на технологическую прочность и механические свойства сварных соединений из стали 11Х11Н2В2МФ // Там же. — 2010. — [http://www.ogbus.ru/authors/Salmin/Salmin\\_1.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/Salmin/Salmin_1.pdf). — 8 с.
43. Влияние вибраций детали в процессе наплавки на структуру и свойства металла / Ч. В. Пулька, О. Н. Шаблій, В. С. Сенчишин та ін. // Автомат. сварка. — 2012. — № 1. — С. 27–29.
44. Пат. 59994 UA, МПК В23К 13/00. Пристрій для наплавлення тонких фасонних дисків / Ч. В. Пулька, В. С. Сенчишин; Заявник і власник Терноп. нац. техн. ун-т ім. І. Пулюя. — № 201013152; Заявл. 05.11.2010; Опубл. 10.06.2011; Бюл. № 11.
45. Пат. 64371 UA, МПК В23К 13/00. Спосіб наплавлення сталевих деталей / Ч. В. Пулька, В. С. Сенчишин; Заявник і власник Терноп. нац. техн. ун-т ім. І. Пулюя. — № 201103195; Заявл. 18.03.2011; Опубл. 10.11.2011; Бюл. № 21.
46. Пат. 54204 UA, МПК В23К 13/00. Спосіб наплавлення тонких плоских сталевих деталей / О. М. Шаблій, Ч. В. Пулька, В. С. Сенчишин та ін.; Заявник і власник Терноп. нац. техн. ун-т ім. І. Пулюя. — № 201006501; Заявл. 28.05.2010; Опубл. 25.10.2010; Бюл. № 20.

The review shows that application of induction melting is most promising for flat parts of agricultural machinery with base metal (BM) thickness of 2.0 – 6.0 mm and deposited metal (DM) thickness of 0.8 - 2.0 mm (minimum mixing of BM and DM, minimum equipment cost, possibility of mechanization and automation).

Поступила в редакцию 01.06.2012

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СНЯТИЯ ОБРАБОТКОЙ ВЗРЫВОМ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ ТОЛСТОЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА И РАЗРАБОТКА НА ЭТОЙ ОСНОВЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПОВЫШЕНИЯ СЛУЖЕБНЫХ СВОЙСТВ КРУПНОГАБАРИТНЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

Научно-исследовательская работа по указанной теме была завершена в 2011 г. в Институте электросварки им. Е. О. Патона (руководитель темы — д-р техн. наук Л. Д. Добрушин)

Проведен анализ эффективности применения обработки взрывом для повышения стойкости базовых конструкций к коррозионному растрескиванию под напряжением, существующих на сегодня способов измерения деформаций. Разработаны новые режимы и технологические приемы обработки взрывом конструкций с толщиной стенки до 40 мм, критериальный подход к оценке эффективности повышения стойкости металлоконструкций к коррозионному растрескиванию под напряжением при их обработке взрывом, создана аппаратура для регистрации деформаций, протекающих в металле во время взрывного нагружения, разработаны рекомендации по приварке монтажных элементов к стенкам декомпозиров.