

УДК 621.785

**РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ И МАТЕРИАЛЫ ПОЛУЧЕНИЯ  
ПОЧВОРЕЖУЩИХ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ**

**д-р техн. наук, проф. В.С. ИВАШКО, канд. техн. наук, проф. Г.Ф. БЕТЕНЯ,  
канд. техн. наук, доц. Г.И. АНИСКОВИЧ, Н.А. ЗАЙКО, А.В. КРИВЦОВ, Д.П. ЛИТОВЧИК  
(Белорусский государственный аграрный технический университет, Минск)**

*Представлены сведения о ресурсосберегающей и экологически чистой технологии получения долот и лемехов плугов повышенной работоспособности из сталей пониженной прокаливаемости с диффузионным намерзанием и последующей термической обработкой.*

Выпускаемые серийно почворежущие детали (лемехи, долота) корпусов плугов и рабочих органов культиваторов (оборотные лапы) относятся к быстроизнашивающимся сменным элементам. Они являются изделиями массового потребления. Их ресурс (в среднем 100 га), как правило, намного меньше наработки машины в течение одного полевого весенне-осеннего сезона. Серийные почворежущие детали отечественного производства изготавливают из среднеуглеродистых низколегированных сталей марок: 5, 35, 40X, 45, Л53, 65Г, 40Г2, 55С2, 60С2 и др. [1]. Изделия, как правило, закаляют и подвергают среднему отпуску (нагрев в интервале 673...773 К). Твердость закаленной поверхности находится в пределах 39,5...48 HRC<sub>3</sub>. Показатель прочности ( $\sigma_{\text{в}}$ ) не превышает 900... 1200 МПа [1 - 3].

Оценивая технический уровень и ресурс почворежущих элементов (ПРЭ) плугов и культиваторов, изготовленных из перечисленных сталей, можно заключить, что освоенные в производстве изделия не удовлетворяют предъявляемым требованиям по качеству, а технологии их получения не являются экологически чистыми. Лемехи и долота плугов серийного производства имеют фактическую наработку до предельного состояния в 1,5...3 раза меньше заданной по нормативу [3].

Зарубежные аналоги почворежущих деталей получают из более прочных сталей, включая легированные (с добавлением бора, титана, молибдена). Временное сопротивление таких изделий достигает 1600...2000 МПа, твердость поверхности трения - 580...620 HV [4 - 8].

Для достижения высокого технического уровня почворежущих элементов ведущие западноевропейские фирмы «Kverneland» (Норвегия), «Rabewerk» и «Lemken» (Германия), «Huard» (Франция), «Overum» (Швеция), «Paraplaw» (Англия), «Raba» (Венгрия) и др. [3, 6, 7], наряду с высокопрочными материалами широко используют современные технологии (Conit, Raedur, Dreilagenmaterial, Rabid) [5]. Однако они составляют предмет «ноу-хау» и недостаточно опубликованы в научно-технической литературе, в отличие от традиционных.

Почворежущие элементы производства норвежской фирмы «Kverneland» совместно с немецкой фирмой «Rabewerk», по заключению специалистов [6], имеют твердость наружной поверхности, близкую к поверхности алмаза, в то время как сердцевина сохраняет необходимую пластичность с высокими показателями прочности и ударной вязкости. Твердая и гладкая рабочая поверхность ПРЭ приобретает в процессе эксплуатации зеркальный вид, препятствует налипанию почвы. Перечисленные служебные свойства изделий гарантируют потребителю высокую эффективность и экономичность их использования. При этом следует отметить, что при производстве ПРЭ фирма не применяет дорогостоящую технологию трехслойного проката. Она достигает аналогичных свойств, присущих технологии «Триплекс», используя монометаллическую заготовку. Наряду с этим практически не используются технологии химико-термической обработки, что предпологает их экологическую безопасность.

Имеющийся банк данных научного и практического характера о причинах утраты работоспособности и ресурса лемехов и долот тракторных плугов позволяет аргументированно отметить, что возможности повышения ресурса и коренного улучшения функциональных свойств лемехов и долот из монометалла с традиционными (мерами экстенсивного характера) технологическими методами упрочнения по существу исчерпаны [3]. В решении данной проблемы необходим поиск и переход к использованию современных достижений научно-технического прогресса. Одним из путей ее решения является применение ПРЭ с биметаллическим почворежущим профилем [1 - 3].

В лабораторных и эксплуатационных условиях испытаны многочисленные варианты биметаллических почворежущих профилей [2]. Для их получения апробированы двухслойный прокат (сталь 50 + сталь Х6Ф1), контактное плакирование износостойкой лентой из стали Р9 и Х6ФВ, ручная газовая и дуговая, механизированная плазменная, дуговая точечная и индукционная наплавки, СВС-процесс.

Сдерживает применение в производственных условиях того или иного способа получения биметаллического почворежущего профиля отсутствие высокопроизводительной и экологически чистой технологии. Поэтому в условиях массового производства удалось лишь организовать выпуск лемехов с применением индукционной наплавки как наиболее производительной по сравнению с другими приведенными способами. Индукционной наплавке подвергается нижняя поверхность почворежущего профиля лемеха [2].

Технология индукционной наплавки достаточно широко применяется на предприятиях Украины и России [2]. В зарубежной практике (США, Канада) для супесчаных почв в ремонтных мастерских почворежущие профили деталей наплавляют твердыми сплавами высокой износостойкости с лицевой стороны. Для наплавки применяют сплавы повышенной износостойкости. В зарубежной практике индукционная наплавка почворежущих элементов не получила применения [1].

Изнашивание двухслойного почворежущего профиля, наплавленного с тыльной или с лицевой стороны, при правильном выборе толщины и соотношения твердости основного и износостойкого материалов, характеризуется устойчивым воспроизведением острой работоспособной режущей кромки [2, 3, 7]. Кроме этого, основной металл должен обеспечивать необходимую прочность, а твердое металлопокрытие - абразивную износостойкость. Это достигается правильным выбором материалов заготовки и наплавленного слоя.

При обосновании выбора материала заготовки (лемехов и долот) учитывались следующие характеристики: стоимость; обеспечение достижения высокой прочности и износостойкости; возможность получения профильного проката, включая Жлобинский металлургический комбинат, и другие.

Применяемые в настоящее время в качестве материала основы почворежущих деталей стали марок 5; 35; 40X; Л53; 65Г; 55С2; 60С2 не удовлетворяют требованиям изделий нового поколения главным образом из-за низкого уровня прочности.

Известен ряд марок низколегированных сталей, которые по основным физико-механическим свойствам и эксплуатационным характеристикам приемлемы для получения заготовок почворежущих деталей. В первую очередь таким материалом является сталь 25ХГТЮР [1]. Она производится в России; разработана ЦНИИЧЕРМЕТ им. И.П. Бардина совместно с ОАО «ВИСХОМ». Эта сталь подвергается объемной закалке ( $T_{\text{зак}} = 880...900 \text{ } ^\circ\text{C}$ ) и низкому отпуску ( $T_{\text{отп}} = 230...250 \text{ } ^\circ\text{C}$ ). После термообработки твердость составляет 50...53 HRC<sub>3</sub>, временное сопротивление растяжению находится в пределах 1650... 1720 МПа и относительное удлинение достигает 8...8,5 %. В настоящее время среди металлургических комбинатов отсутствуют поставщики необходимого сортамента для изготовления почворежущих деталей из данного материала.

Зарубежными фирмами (по данным Челябинского НИИМеталлургии) применялись при сквозном упрочнении почворежущих деталей путем закалки и отпуска стали с содержанием 0,3...0,5 % углерода, дополнительно легированные бором в количестве 0,004...0,006 %. Такими аналогами сталей в СНГ являлись следующие марки: сталь 45Г2Р (50...53 HRC<sub>3</sub>); сталь У9 (44...54 HRC<sub>3</sub>); сталь 40ГР (50...53 HRC<sub>3</sub>); сталь 30Г2Р (42...53 HRC<sub>3</sub>) и др. Основные недостатки этих материалов и технологий термической обработки - пониженная твердость рабочих поверхностей и недостаточная износостойкость деталей.

Челябинским НИИМеталлургии была разработана новая технология объемно-поверхностной закалки почворежущих деталей с применением стали У7А ГОСТ 1435-74 (химсостав: С - 0,66...0,73; Si - 0,17...0,33; Mn - 0,17...0,28; Cr, Ni, Сн - не более 0,20 %). Согласно разработанной технологии применялся сквозной индукционный нагрев деталей до закалочных температур ( $T_{\text{зак}} = 840...860 \text{ } ^\circ\text{C}$ ), что позволяло избегать обезуглероживания и окисления поверхности. Для охлаждения рекомендовалось использовать интенсивный поток воды, подаваемой от насосной станции под давлением 0,3...0,5 МПа. Движение воды осуществлялось по замкнутому циклу, что обеспечивало ее минимальный расход. Низкий отпуск рекомендовалось проводить при температуре 160... 180 °С. Технология - энергосберегающая и экологически чистая. Детали, изготовленные по данной технологии из стали У7А, обладали следующими свойствами: твердость поверхности составляла 63...65HRC<sub>3</sub>, твердость сердцевины - 39...40 HRC<sub>3</sub>, глубина закаленного слоя - 3...4 мм.

Аналогичная новая технология реализуется в зарубежной практике под названием «Conit». Фирмы «Kverneland» (Норвегия), «Rabewerk» (Германия) широко рекламируют и используют новую продукцию, изготовленную по данной технологии [5,6].

Новые перспективные материалы для изготовления заготовок почворежущих деталей с применением сталей пониженной прокаливаемости (ПП) и объемно-поверхностной закалки (ОПЗ) рекомендует их разработчик ЗАО «Техмаш» (г. Москва, Россия) [4]. Стали пониженной прокаливаемости - стали ПП1 1-го поколения, выплавляются на сталелитейных предприятиях Российской Федерации (Челябинский металлургический комбинат, Череповецкий металлургический завод, Чусовский металлургический комбинат) и Украины (Донецкий металлургический завод).

Стали ПП 1-го поколения имеют следующие модификации: сталь 58 (55ПП) ГОСТ 1050-74 и ГОСТ 1050-88; сталь 54, сталь 60.

Отличительными особенностями серийных сталей ПП 1-го поколения являются [4]:

- химический состав: углерод - 0,50...0,65 %; марганец - 0,1...0,3 %; кремний - 0,1...0,3 %; хром, никель медь - не более 0,25 % каждого;

- после объемно-поверхностной закалки, осуществляемой при индукционном нагреве стали ПП имеют мелкое зерно аустенита № 10... 12 ГОСТ 5639-88 и достаточно высокий комплекс механических свойств.

Разработанная ЗАО «Техмаш» и ОАО «ЧМЗ» сталь ПП 2-го поколения отличается более узким и стабильным интервалом значений прокаливаемости  $D_{пр} = 8...10$  мм,  $10...12$  мм,  $12...14$  мм. При индукционном нагреве достигается получение размера зерна № 11... 12, а при печном нагреве - № 10... 11. Стали ПП 2-го поколения обладают меньшей зависимостью (чувствительностью) прокаливаемости и величины зерна от температуры нагрева под закалку [4, 8]. Это достигается за счет ряда металлургических особенностей технологии производства.

Стали ПП 2-го поколения способны обеспечить стабильность глубины закалки, оптимум которой составляет 0,1 ...0,2 от диаметра (толщины) для различных тяжело нагруженных деталей машин.

При комплексном учете материаловедческих, конструкторских, технологических, триботехнических, эксплуатационных и экономических факторов, характеризующих технический уровень лемехов и долот, их следует получать с биметаллическим почворежущим профилем (стальная основа - износостойкий сплав). При такой конструкции режущей части износостойкое покрытие и несущая стальная основа изнашиваются с одинаковой интенсивностью, образуя на пересечении нижней (затылочной) фаски с лицевой поверхностью режущую кромку (лезвие) толщиной до 2 мм. В качестве основы изделия служит сталь 60ПП (допускается сталь 40ПП).

Наиболее дешевыми и недефицитными наплавочными материалами для упрочнения деталей, работающих в абразивной среде, являются высокохромистые чугуны. Эти сплавы могут применяться в виде порошковых или прутковых изделий. Они могут наноситься на упрочняемую поверхность различными способами плавления [1 - 3].

Наплавки плавлением являются литыми сплавами. Им сопутствует крупнозернистость, дендритное строение, шлаковые включения, газовые пузыри, химическая и структурная неоднородность, наличие трещин и раковин.

При наплавке плавлением происходит перемешивание наплавляемого и основного металлов. Результатом такого перемешивания является нарушение (ухудшение) полученного состава сплава по отношению к исходному состоянию. Сплав, наплавленный электродуговым способом, имеет столбчатое строение с различной направленностью главных осей дендритов. При наплавке плавлением поверхность теплоотвода имеет сложную форму, поэтому скорость и направление роста кристаллов также различны. Это в процессе затвердевания сварочной ванны ведет к образованию сложного переплетающегося каркаса кристаллов. Такие металлопокрытия квазиизотропны.

Более производительными и совершенными являются технологии плазменной, индукционной, дуговой точечной наплавки [2, 3]. Способ плазменной наплавки обеспечивает минимальное проплавление основного и наплавляемого металлов и минимальный переход легирующих элементов присадочного сплава в основной металл, что обеспечивает высокую надежность и работоспособность изделия в целом. Путем плазменной наплавки можно получить плотные слои металла толщиной от 1 до 5 мм. При наплавке плазмой можно использовать присадочный материал в виде прутков, проволоки, лент и порошков.

При плазменной наплавке доля перемешивания основного и наплавленного металлов достигает 5...30 %, что значительно меньше, чем при обычной дуговой наплавке [2]. Между наплавленным и основным металлами образуется переходная (граничная) зона толщиной 20...30 мкм. При наплавке высокохромистых чугунов наблюдается диффузия углерода в основной металл на глубину до 1 мм.

Одно из важных перспективных направлений - наплавка самораспространяющимся высокотемпературным синтезом (СВС-наплавка) деталей почвообрабатывающих машин [2]. Метод СВС основан на использовании интенсивного тепловыделения при химическом взаимодействии некоторых элементов периодической системы с бором, углеродом, азотом, кремнием и другими металлоидами, связанного с большой теплотой образования продукта. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез проводят в специальных реакторах. Иницирование реакции проводится при помощи воспламенительного устройства.

В процессе наплавки методом СВС создается композиционное покрытие на основе железа, включающее крупные и мелкие карбиды хрома и титана. При применении СВС-наплавки вместо порошков из металлов и карбидов, применяемых при наплавках плавлением (дуговой, плазменной, индукционной и др.), используются оксиды (за исключением алюминия) и, следовательно, возможно частичное использование рудного сырья взамен материалов, прошедших металлургический передел.

Состав шихты и режимы проведения СВС-наплавки апробированы в лабораторных условиях НИИ Тракторосельхозмашем и показана принципиальная возможность получения износостойких наплавки [2].

Широко распространена в сельхозмашиностроении России и Украины промышленная технология индукционной наплавки износостойких сплавов посредством порошковой шихты [2]. Метод основан на использовании токов высокой частоты для нагрева основного металла с целью расплавления присадочного сплава в виде порошкообразной шихты, не требующей защитной атмосферы. Последняя состоит из гранулированного твердого сплава, флюсов и специальных добавок.

Для индукционной наплавки деталей рабочих органов почвообрабатывающей техники разработаны специальные псевдосплавы (ПС-15-30, ПС-14-60 и ПС 14-80), имеющие пониженную температуру плавления и позволяющие наплавлять слои толщиной 0,4...5,0 мм.

Наплавленные детали во многих случаях целесообразно подвергать термической обработке. Основное назначение термической обработки состоит в устранении последствий перегрева основного металла. Для этого в технологическом процессе изготовления деталей после наплавки предусматривают операцию нормализации. Она может производиться как при объемном нагреве в пламенных или электрических печах, так и на высокочастотных установках. Согласно рекомендациям [2] предпочтение отводится нормализации с высокочастотным нагревом.

Имеются сведения экспериментального освоения технологии дуговой точечной наплавки (ДТН) твердосплавных конусов на плоские поверхности лемехов и культиваторных лап. Сущность способа ДТН заключается в нанесении на поверхность изделия локальных, сопряженных между собой на величину 0,2 диаметра твердосплавных конусов проплавления; дуговая точечная наплавка производится на плоские поверхности. Этот способ разработан и апробирован специалистами ПО «Одессапчовмаш» и ИЭС им. Б.Е. Патона АН Украины. Для наплавки используются экспериментальные установки, предназначенные для мелкосерийного производства. Годовая производительность таких установок составляет 50 тысяч лемехов. Технология ДТН является энергосберегающей. Расход электрической энергии в 5 раз меньше по сравнению с индукционной наплавкой.

Наиболее полно комплексу предъявляемых требований организационно-технологического и экологического характера для получения биметаллического профиля почворезущих деталей отвечает метод диффузионного намораживания [3] в совокупности со специальной термической обработкой изделий из сталей пониженной прокаливаемости.

Структурное состояние и твердость поперечного сечения крепежной части долот из стали 60ПП (диффузионное намораживание + закалка + отпуск) представлено на рис. 1-4.

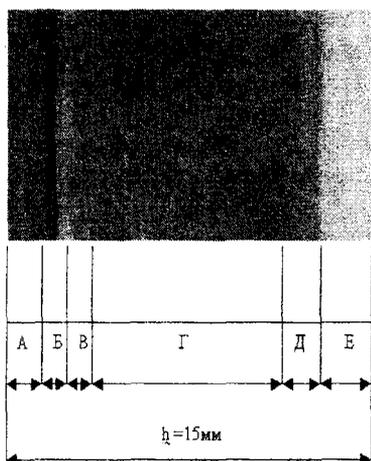


Рис. 1. Макрошлиф в поперечном сечении плоского образца толщиной  $h = 15$  мм:

A – наплавленный слой толщиной до 2,5...3,5 мм твердостью не менее 55 HRCэ; B – зона сплавления; B – переходная зона от наплавленного слоя к сердцевине; Г – сердцевине; Д – переходная зона от сердцевины к закаленному слою; E – закаленный слой твердостью до 60...65 HRCэ

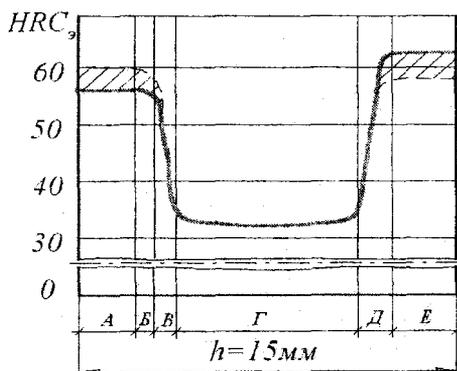


Рис. 2. Распределение твердости в поперечном сечении плоского образца толщиной 15 мм

Формирование специфической направленной «столбчатой структуры» в наплавленном слое является оптимальным технологическим фактором, способствующим износоустойчивости в условиях ударно-абразивного изнашивания.

Разработанные в Белорусском государственном аграрном техническом университете технологические процессы диффузионного намораживания для получения биметаллических профилей с использованием износостойких сплавов состоят из следующих операций: плавки присадочного сплава (высокохромистого чугуна); подготовки флюса; нагрева и активации наплавляемой поверхности; наплавочного (диффузионного) намораживания; охлаждения изделия (термической обработки); контроля качества работ.

При изготовлении почворезущих профилей биметаллической конструкции используется стальная заготовка (сталь 60 ПП) Износостойкий сплав наращивается избирательно.

Для деталей, предназначенных к использованию на песчаных и супесчаных почвах, засоренных гравелистыми частицами, слой износостойкого сплава наращивается с лицевой стороны профиля детали. Толщина слоя и его расположение на почворезущем профиле в направлении к середине детали (длина слоя) устанавливается экспериментально с учетом их предельного состояния и обеспечения самозатачивания режущей кромки.

Технический уровень технологии диффузионного намораживания превосходит по основным факторам (производительности, качеству, экономичности и экологической безопасности) другие наплавочные технологии (плазменную, индукционную, дуговую точечную, электродуговую). С применением диффузионного намораживания можно наращивать плоские, сферические, клинообразные и другие поверхности.

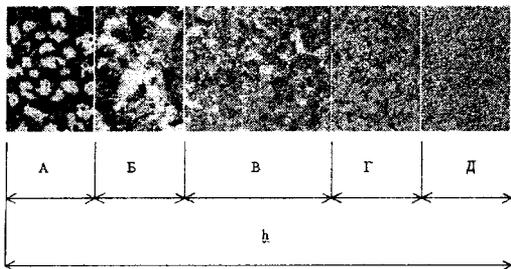


Рис. 3. Микроструктуры характерных зон (А, Б, В, Г, Д) в плоскостях параллельных внешней поверхности

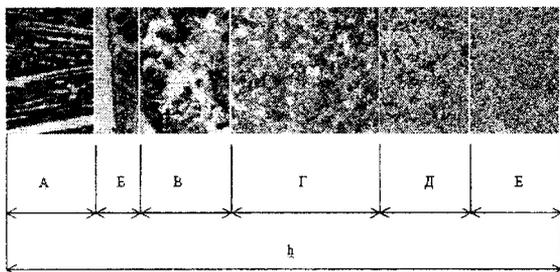


Рис. 4. Микроструктуры характерных зон (А, Б, В, Г, Д) в плоскостях перпендикулярной внешней поверхности

Приведенные сведения позволяют заключить, что технический уровень технологии получения лемехов и долот нового поколения превосходит по основным показателям (производительности, качеству, экономичности и экологической безопасности) индукционную, дуговую, точечную, плазменную и наплавку в среде защитных газов и флюсов. Прогнозируемая часовая производительность составит до 350 наплавочных операций, расходы электроэнергии оцениваются около 0,75 кВт·ч, а суммарные расходы на наплавочные работы и специальную термическую обработку не превысят 30 % цены нового изделия. При сохранении сложившегося соотношения цен на стали 60ПП и 65Г или Л53 цена деталей с биметаллическим почворежущим профилем будет находиться на уровне этого показателя для одноименных серийных изделий. В перспективном плане по мере освоения производства требуемого профильного проката из стали 60ПП возможно потребление продукции РУП «Белорусский металлургический завод».

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Машиностроение // Энциклопедия / Ред. совет: К.В. Фролов и др. - М.: Машиностроение. Сельскохозяйственные машины и оборудование. Т. IV - 16 / И.П. Ксенович, В.П. Варнаков, Н.Н. Колчин и др.; Под. ред. И.П. Ксеновича. - М.: Машиностроение, 2002. - 720 с.
2. Ткачев В.Н. Работоспособность деталей машин в условиях абразивного изнашивания. - М.: Машиностроение, 1995. - 336 с.
3. Бетень Г.Ф. Восстановление и упрочнение почворежущих элементов диффузионным намораживанием износостойкими сплавами. - Мн.: БГАТУ, 2003. - 188 с.
4. Технология, оборудование, автоматизация, неразрушающий контроль процессов нагрева и упрочнения деталей на машиностроительных предприятиях: Сб. науч. тр. / Под ред. П.С. Гурченко. - Мн.: Технопринт, 2002. - 163 с.
5. Conit R. and Rabadur R. - Entwicklungen mit Hochster Materialqualität // Anbau - Drehpflüge. - 1994. - № 7.-С. 26-27.
6. Landmaschinenwelt «97/98». Technische Anbeningen, Vorbehalten, 1997. - 181 с.
7. Бернштейн Д.Б., Лискин И.В. Лемеха плугов. Анализ конструкций, условий изнашивания и применяемых материалов. Обзор информ. Сер. 2. Сельскохозяйственные машины и орудия, Вып 3. - М.: ЦНИИТЭИТракторосельхозмаш, 1992. - 36 с.
8. Материалы, технология и оборудование для упрочнения и восстановления деталей машин: Тематический сб. / Под общ. ред. П.А. Витязя, С.А. Астапчика. - Мн.: Технопринт; Новополоцк: ПГУ, 2003.- 390 с.