

$$Y_0 = h_1 + (h + r) \cos(\beta - \alpha), \quad (9)$$

где h_1 - высота установки кулачков перепада;

r - радиус клубня.

Запишем уравнение движения клубня по оси Y_1 .

$$Y_1 = Y_0 - V_0 \sin(\alpha + \psi - \beta) \cdot t - \frac{g(\cos \beta) \cdot t^2}{2}. \quad (10)$$

Так как в момент удара $t = t_Y$ имеет место $Y = r$, то из выражения (10) с учетом соотношения (9) и замены выражения $(\alpha + \psi - \beta) = \gamma$ следует

$$r = h_1 + (h + r) \cos(\beta - \alpha) + V_0 \sin \gamma \cdot t_Y - \frac{g(\cos \beta) \cdot t_Y^2}{2}.$$

Откуда

$$t_Y = \frac{-V_0 \sin \gamma}{g(\cos \beta)} + \frac{\sqrt{V_0^2 \sin^2 \gamma + 2g(\cos \beta)[h_1 + (h + r) \cos(\beta - \alpha) - r]}}{g(\cos \beta)} \quad (11)$$

Подставив в правую часть выражения (11) значения входящих в него параметров: $V_0 = 0,83 \text{ м/с}$; $\beta = 21^\circ$;

$r = 30 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $h_1 = 200 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, находим значение момента времени соударения. Затем, подставив $t_Y = 0,23 \text{ с}$ в формулы (7) и (8), получим значения величин $V_{X1} = 0,011 \text{ м/с}$ и $V_{Y1} = -1,89 \text{ м/с}$ в момент соударения. По известным значениям V_{X1} , V_{Y1} , V_T по фор-

муле (6) определяем скорость соударения $V_S = 2,05 \text{ м/с}$.

Критическая скорость соударения клубней о металлическую поверхность не должна превышать $2,2 \text{ м/с}$ [2]. Полученное значение скорости соударения клубней о рабочую поверхность отделителя после перепада ниже критического. Но так как высота падения клубней, проходящих сквозь ячейки отделителя, значительно больше, возникает опасность их повреждения. Поэтому встрече клубней с ячейками должен предшествовать их контакт с приёмным резиновым фартуком, при соударении с которым происходит гашение скорости клубней. Место установки фартука определим путём интегрирования выражения (7) с целью определения дальности полёта клубня. Из выражения

$$X_1 = X_0 + V_0 \cos(\alpha + \psi - \beta) \cdot t - g \sin \beta \frac{t^2}{2}$$

получаем $X_1 = 0,098 \text{ м}$. Следовательно, фартук необходимо устанавливать не дальше полученного значения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петров Г. Д. Картофелеуборочные машины. 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1984. - 320 с.: ил.
2. Отделение крупногабаритных примесей и растительных остатков в картофелеуборочных машинах. Липский Н. Ю., Портянко Г. Н. «Механизация возделывания и уборки картофеля в БССР». Сборник научных трудов. - Горки, 1991. - С. 66 - 72.

УДК 621.785

РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ И МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОЧВОРЕЖУЩИХ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

В.С. Ивашко, д.т.н., профессор; Г.Ф. Бегеня, к.т.н., профессор; Г.И. Анискович, к.т.н., доцент; А.Р. Подборский, инженер; Н.А. Зайко, ст. преподаватель; А.В. Кривцов, ассистент; Д.П. Литовчик, аспирант (УО БГАТУ)

Выпускаемые серийно почворежущие детали (лемехи, долота) корпусов плугов и рабочих органов культиваторов (оборотные лапы) относятся к быстроизнашивающимся сменным элементам. Они являются изделиями

относятся к быстроизнашивающимся сменным элементам. Они являются изделиями

ми массового потребления. Их ресурс, как правило, многократно меньше наработки одного (в среднем 100 га) полевого весенне-осеннего сезона. Серийные почворежущие детали отечественного производства изготавливают из среднеуглеродистых низколегированных сталей марок: 5, 35, 40X, 45, 153, 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. Показатель прочности (σ_b) не превышает 900...1200 МПа [1, 2, 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, 5, 6, 7, 8].

Для достижения высокого технического уровня почворежущих элементов (ПРЭ) 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, Ravedur, Dreilagenmaterial, Rabid) [5]. Однако они составляют предмет «ноу-хау» и пока недостаточно публикаций в научно-технической литературе, по сравнению с традиционными технологиями.

Почворежущие элементы производства норвежской фирмы «KVERNELAND» совместно с немецкой фирмой «RABEWERK», по заключению специалистов [6], имеют твердость наружной поверхности близкую к твердости 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 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. Достигаются аналогичные свойства, присущие технологии «Триплекс», использованием монометаллических заготовок. Наряду с этим практически не используются технологии химико-термической обработки, что предполагает их экологическую безопасность.

Имеющийся банк данных научного и практического характера о причинах утраты работоспособности и ресурса лемехов и долот тракторных плугов позволяет

аргументированно сказать, что возможности повышения ресурса и коренного улучшения функциональных свойств лемехов и долот из монометалла с традиционными (меры 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, 2, 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.

Сдерживало 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 металлоспокрытие – абразивную износостойкость. Это достигается правильным выбором материалов заготовки и наплавленного слоя.

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

Применяемые в настоящее время в качестве материала основы почворежущих деталей стали марок: 5; 35; 40X; 153; 65Г; 55С2; 60С2 и др. 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 почворезущих деталей. В первую очередь таким материалом является сталь 25ХГТЮР [1]. Она производится в России. Разработана эта сталь ЦНИИЧЕРМЕТ им. И.П. Бардина совместно с ОАО «ВИСХОМ». Эта сталь подвергается объемной закалке ($T_{\text{зак}} = 880 \dots 900 \text{ }^\circ\text{C}$) и низкому отпуску ($T_{\text{отп}} = 230 \dots 250 \text{ }^\circ\text{C}$). После термообработки твердость составляет $50 \dots 53 \text{ HRC}_3$, временное сопротивление находится в пределах $\sigma_{\text{в}} = 1650 \dots 1720 \text{ МПа}$ и относительное удлинение достигает $\delta = 8 \dots 8,5\%$. В настоящее время среди металлургических комбинатов отсутствуют поставщики необходимого сортамента для изготовления почворезущих деталей из данного материала.

Зарубежными фирмами, по данным Челябинского НИИ металлургии, применялись при сквозном упрочнении почворезущих деталей путем закалки и отпуска стали с содержанием $0,3 \dots 0,5\%$ углерода, дополнительно легированные бором в количестве $0,004 \dots 0,006\%$. Такими аналогами сталей в СНГ являлись следующие марки: 45Г2Р ($50 \dots 53 \text{ HRC}_3$); У9 ($44 \dots 54 \text{ HRC}_3$); 40ГР ($50 \dots 53 \text{ HRC}_3$); 30Г2Р ($42 \dots 53 \text{ HRC}_3$) и другие. Основным недостатком этих материалов и технологий термической обработки являлись пониженная твердость рабочих поверхностей и недостаточная износостойкость деталей.

Челябинским НИИ металлургии была разработана новая технология объемно-поверхностной закалки почворезущих деталей с применением стали У7А ГОСТ 1435-74 (химсостав: С – $0,66 \dots 0,73\%$, Si – $0,17 \dots 0,33\%$; Mn – $0,17 \dots 0,28\%$; Cr, Ni, Cu – не более $0,20\%$). Согласно разработанной технологии, применялся сквозной индукционный нагрев деталей до закалочных температур ($T_{\text{зак}} = 840 \dots 860 \text{ }^\circ\text{C}$), что позволило избежать обезуглероживания и окисления поверхности. Для охлаждения рекомендовалось использовать интенсивный поток воды, подаваемой от насосной станции под давлением $0,3 \dots 0,5 \text{ МПа}$. Движение воды осуществлялось по замкнутому циклу, что обеспечивало ее минимальный расход. Низкий отпуск рекомендовалось проводить при температуре $160 \dots 180 \text{ }^\circ\text{C}$. Технология являлась энергосберегающей и экологически чистой. Детали, изготовленные по данной технологии из стали У7А ГОСТ 1435-74, обладали следующими свойствами: твердость поверхности составляла $63 \dots 65 \text{ HRC}_3$, твердость сердцевины – $39 \dots 40 \text{ HRC}_3$, глубина закаленного слоя равнялась $3 \dots 4 \text{ мм}$.

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 почворезущих 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 ПП 1-го поколения, выплавляются на сталелитейных предприятиях РФ (Челябинский МК,

Череповецкий МЗ, Чусовский МК) и Украины (Донецкий МЗ).

Стали ПП 1-го поколения имеют следующие модификации: сталь 58 (55ПП) ГОСТ 1050-74 и ГОСТ 1050-88; сталь 54, сталь 60 – ГУ завода-производителя. Отличительными особенностями серийных сталей ПП 1-го поколения являются [4]:

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

- после объемно-поверхностной закалки (ОПЗ), 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 $D_{\text{пр}} = 8 \dots 10 \text{ мм}$, $10 \dots 12 \text{ мм}$, $12 \dots 14 \text{ мм}$. 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 $0,1 \dots 0,2$ 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 почворезущим 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, 2, 3].

Наплавленные слои являются литыми сплавами. Им сопутствуют 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 на

правленностью главных осей дендритов. При наплавке плавлением поверхность тепловода 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 являются квазиизотропными.

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.

Одним из важных перспективных направлений является наплавка самораспространяющимся высокотемпературным синтезом (СВС-наплавка) деталей почвообрабатывающих машин [2]. Метод СВС-наплавки 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. СВС-наплавку проводят в специальных реакторах. Иницирование реакции проводится при помощи воспламенительного устройства.

В процессе СВС-наплавки 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 тракторо-сельхозмашиностроения 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 порош-

кообразной 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. Способ ДТН производится на плоские поверхности. Он разработан и апробирован специалистами ПО «Одессапочвомаш» 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.

На рисунках 1-4 представлены снимки, характеризующие структурное состояние и твердость поперечного сечения крепежной части долот из стали 60ПП (диффузионное намораживание+закалка+отпуск).

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 технологических операций: плавки присадочного сплава (высокохроми-

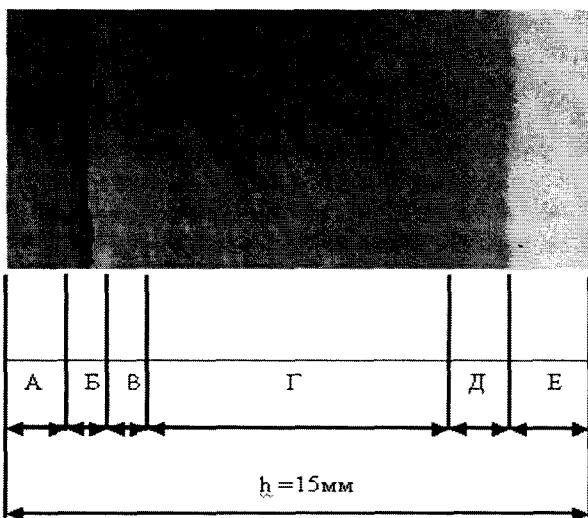


Рис. 1. Макрошлиф в поперечном сечении плоского образца толщиной $h = 15$ мм: А – наплавленный слой толщиной до 2,5...3,5 мм, твердостью не менее 55 HRC₃; Б – зона сплавления; В – переходная зона от наплавленного слоя к сердцевине; Г – сердцевина; Д – переходная зона от сердцевины к закаленному слою; Е – закаленный слой твердостью до 60...65 HRC₃.

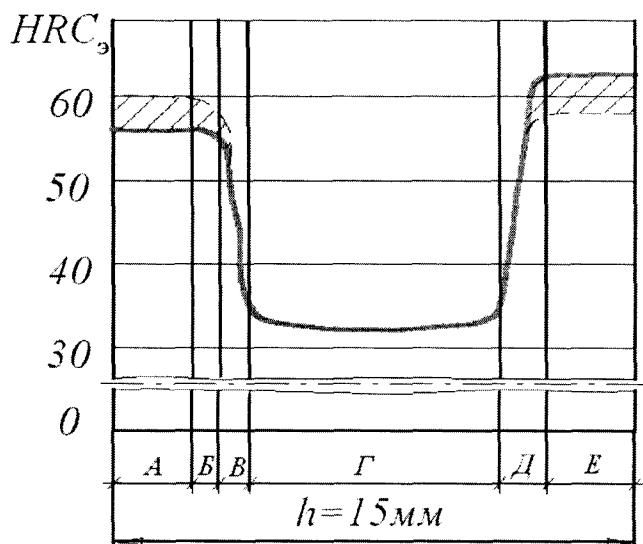


Рис. 2. Распределение твердости в поперечном сечении плоского образца толщиной 15 мм

стого чугуна); подготовки флюса; нагрева и активации наплавляемой поверхности; наплавочной (диффузионного намораживания); охлаждения изделия (термической обработки); контроля качества работ.

При изготовлении почворезущих профилей биметаллической конструкции используется стальная заготовка (сталь 60ПП). 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) устанавливаются экспериментально с учетом их предельного состояния и обеспечения самозатачивающей режущей кромки.

Технический уровень технологии диффузионного намораживания превосходит по основным факторам (производительность, качество, экономичность и экологическая безопасность) другие наплавочные технологии (плазменную, индукционную, дуговую точечную, электродуговую). С применением диффузионного намораживания можно наращивать плоские, сферические, клинообразные и др. поверхности.

При получении лемехов и долот с биметаллическим почворезущим профилем применяется способ диффузионного намораживания погружением заготовки в расплав износостойкого сплава и специальная термическая обработка. В изделиях соблюдаются высокие эксплуатационные свойства. Они характеризуются следующими показателями: величина наплавленного слоя – 2,5...3,5 мм; твердость наплавленного слоя не менее 55 HRC₃; прочность связи в биметалле составляет не менее 200 МПа; твердость основного металла находится в пределах до 60...65 HRC₃; прочность материала основы достигает 2100...2300 МПа; ударная вязкость равняется от 0,6 МДж/м² до 1,25 МДж/м². Наряду с этим в процессе эксплуатации деталей формируются гладкая лицевая поверхность, угол резания и угол заострения лезвийной части не превышают 30°, сохраняется стабилизированный профиль изделия. Специальная термическая обработка осуществляется с использованием печного или индукционного объемного нагрева и спрейерного охлаждения водой. Ресурс долот с биметаллическим почворезущим профилем возрастает в 2,7 раза по сравнению с серийными изделиями.

Приведенные сведения позволяют заключить, что предлагаемая технология 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 почворезущим 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».

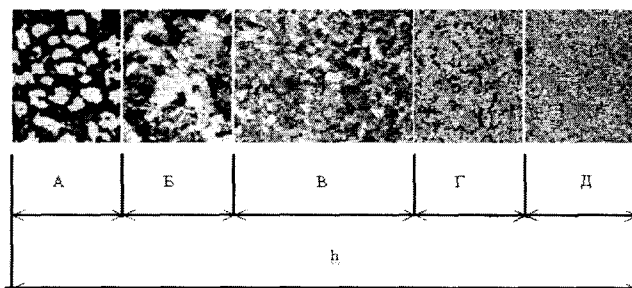


Рис. 3. Микроструктура характерных зон (А, Б, В, Г, Д) в плоскостях, параллельных внешней поверхности

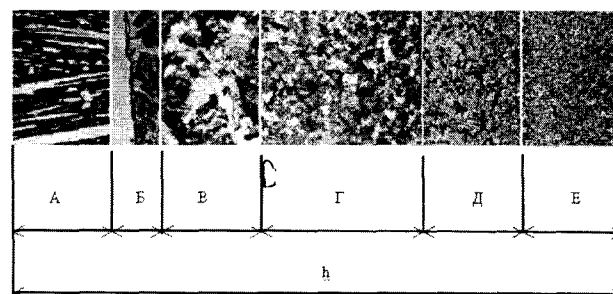


Рис. 4. Микроструктура характерных зон (А, Б, В, Г, Д) в плоскости, перпендикулярной внешней поверхности

ЛИТЕРАТУРА

1. Машиностроение. Энциклопедия. Ред. совет: Фролов К.В. и др. – М.: Машиностроение. Сельскохозяйственные машины и оборудование. Т. IV – 16/ И.П. Кseneвич, В.П. Варнаков, Н.Н. Колчин и др.; Под ред. И.П. Кseneвича. 2002. – 720 с.

2. Ткачев В.Н. Работоспособность деталей машин в условиях абразивного изнашивания. – М.: Машиностроение, 1995. – 336с.

3. Бетень Г.Ф. Восстановление и упрочнение почворезущих элементов диффузионным намораживанием износостойкими сплавами. – Мн.: УО БГАТУ, 2003. – 188 с.

4. Технология, оборудование, автоматизация, неразрушающий контроль процессов нагрева и упрочнения деталей на машиностроительных предприятиях: Сб. науч.

трудов./ Под ред. П.С. Гурченко. – Мн.: УП Технопринт, 2002. – 163с.

5. Conit, Rabid and Rabedur Rabewerk – Entwicklungen mit Höchster Materialqualität / Anbau - Drehpflüge / 1994. № 7, с. 26...27.

6. Landmaschinenwelt «97/98». Technische Anbeningen, Vorbehalten, 1997. – 181ñ.

7. Бернштейн Д.Б., Лискин И.В. Лемехи плугов. Анализ конструкций, условий изнашивания и применяемых материалов. Обзорн. информ. – М.: ЦНИИТЭИ тракторосельхозмаш, 1992. – 36 с. (сер. 2. Сельскохозяйственные машины и орудия; вып. 3).

8. Материалы, технология и оборудование для упрочнения и восстановления деталей машин; Тематический сборник Под общ. ред. П.А. Витязя, С.А. Остапчика. – Мн.: УП Технопринт, Новополоцк, ПГУ, 2003. – 390 с.

УДК 62.529

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ЦИФРОВЫХ РЕГУЛЯТОРОВ

**Ю.А. Сидоренко, к.т.н., старший научный сотрудник
(УО БГАТУ)**

К настоящему времени в мировой практике завершен переход от аналоговых электрических регулирующих блоков к цифровым, реализованным на базе микропроцессоров.

Особенностью цифровых управляющих устройств является дискретизация сигналов по уровню и времени. При этом непрерывный сигнал заменя-

ется дискретным, в результате чего происходит потеря части информации, что может существенно повлиять на работу регуляторов. С другой стороны, при большой частоте квантования и большом количестве уровней дискретизации высокочастотные составляющие сигнала сглаживаются объектом управления и при определенных условиях дискретизация