

Рисунок 1 – Структура автоматизированной системы для автоматизации технологической подготовки производства предприятия по выпуску и ремонту сельскохозяйственной техники

### Заключение

Предложенные основные функции и структура автоматизированной системы будут использованы при разработке алгоритмов и программного обеспечения. Внедрение автоматизированной системы на предприятиях сельскохозяйственного машиностроения позволит улучшить качество технологических процессов изготовления деталей из листовых сталей, уменьшить сроки их разработки в 3...10 раз в зависимости от сложности деталей.

УДК 631.3.02:621.78.084

### ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ИМПУЛЬСНОЙ ЗАКАЛКИ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

Г.Ф. Бетенья<sup>1</sup>, к.т.н., доцент, Г.И. Анискович<sup>1</sup>, к.т.н., доцент,  
А.В. Щерба<sup>2</sup>, А.В. Чернуха<sup>3</sup>

<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, <sup>2</sup>ОАО «Минский агросервис», п. Юбилейный,

<sup>3</sup>ОАО «Витебский МРЗ», г. Витебск, Республика Беларусь

Приведены технологические аспекты упрочнения деталей из сталей пониженной прокаливаемости (55ПП, 60ПП), с применением термической обработки, сведения о микроструктурном строении упрочненных деталей рабочих органов из углеродистых сталей пониженной прокаливаемости.

*Показано, что технология ИЗОЖ позволяет формировать мелкозернистую структуру, являющейся основой повышения конструкционной прочности и износостойкости деталей.*

### **Введение**

Сменные детали рабочих органов почвообрабатывающих, посевных и кормоуборочных машин (ДРОМ) определяют их технический уровень [1, 2]. Проблема повышения надёжности сельскохозяйственной техники, в целом, а также сменных ДРОМ в отдельности, является одной из важнейших народнохозяйственных задач. Для предприятий республики, являющихся на территории СНГ основными поставщиками продукции сельхозмашиностроения нового поколения, имидж формируется, главным образом, показателями технического уровня производимой сельскохозяйственной техники.

Традиционно применяемые материалы и технологии упрочнения сменных ДРОМ достигли своего предела в получении требуемого уровня конструкционной прочности и износостойкости и подлежат эффективной замене. Основная причина состоит в том, что с увеличением прочности (твёрдости) и износостойкости пластичность сталей уменьшается.

Сменные ДРОМ относятся к числу самых сложных изделий сельскохозяйственного машиностроения. Они работают при статических, циклических и ударных нагрузках, а также с различными рабочими средами (почвой, растительной массой, влагой и т.д.) Этим экстремальным условиям эксплуатации должны соответствовать основные критерии работоспособности (прочность, твёрдость, ударная вязкость, пластичность, износостойкость) сменных ДРОМ.

### **Основная часть**

На современном этапе развития материаловедения, требуемые прочность, надёжность, долговечность и износостойкость применяемых конструктивных материалов, в частности сталей, должны достигаться целенаправленным формированием в них субмикро- и нанокристаллического структурного состояния [3-8]. Из теории сплавов [3] и производственного опыта для формирования наиболее благоприятной структуры и обеспечения прочности и надёжности получаемых стальных изделий должны применяться следующие основные варианты: рациональное легирование; измельчение зерна; металлургическое качество стали. Прогнозный анализ показывает, что в обозримом будущем для изготовления сменных ДРОМ стальной прокат останется преимущественным материалом. Потенциал стали как материала для сельхозмашиностроения совершенно не исчерпан, о чём свидетельствует происходящая явная смена приоритетов в металло-

ведении. Усиленно разрабатываются новые способы термической обработки стальных изделий из низко – и среднеуглеродистых сталей, чему раньше уделяли мало внимания. На первый план ставится задача по использованию нелегированных сталей. Расширяется круг научных работ по термической обработке изделий из сталей регламентированной (РП) и пониженной прокаливаемости (ПП), отличающихся относительной дешевизной и не дефицитностью. В настоящее время проверены в производственных условиях и заготовленные из сталей ПП сменные ДРОМ нового поколения с использованием отечественной технологии импульсного закалочного охлаждения жидкостью (ТИЗОЖ). Применение ТИЗОЖ при изготовлении деталей позволяет реализовать резервы на упрочнение, улучшить технологические и эксплуатационные свойства путем целенаправленного изменения структуры.

Оценка оптимальных технологических параметров термического цикла осуществлялась по показателям качества изделия. На первое место среди этих показателей ставится структурное состояние металла изделия, приобретаемое в процессе термической обработки.

Исследование микроструктуры упрочненных деталей проводилось на образцах, которые вырезались из деталей рабочих органов (лемехов, дисков и др.) почвообрабатывающих машин после различных режимов термической обработки.

Первоначально экспериментальные работы по упрочнению сменных ДРОМ из углеродистой стали 60ПП выполнялись на базе технологического научно-производственного центра БГАТУ. Исследования проводились с использованием технологического модуля ТМ-60. Принципиальная схема модуля для импульсной закалки представлена на рис. 1.

Для практической реализации технологии импульсного закалочного охлаждения в составе технологического модуля имеется закалочное устройство (ЗУ), которое предназначено для фиксации закаливаемых деталей в процессе закалки потоком охлаждающей жидкости. В качестве закалочной среды целесообразно использовать поток воды.

Ввиду высоких критических скоростей охлаждения сталей, применяемых для изготовления деталей, из-за их низкой прокаливаемости, закалочные устройства должны обеспечивать интенсивное, равномерное и экономичное охлаждение.

Закалочное устройство разрабатывается для каждого типоразмера деталей индивидуально, при этом должны учитываться следующие принципы:

- фиксация положения деталей в закалочных устройствах не должна препятствовать изменению размеров деталей в процессе охлаждения;
- постоянство скорости движения воды в устройстве;

- зазоры между стенками закалочного устройства и поверхностями закаливаемого изделия должны обеспечивать необходимую скорость потока воды и соответственно интенсивность охлаждения;
- для равномерного охлаждения закаливаемых поверхностей перед входом в закалочное устройство должно поддерживаться избыточное давление.

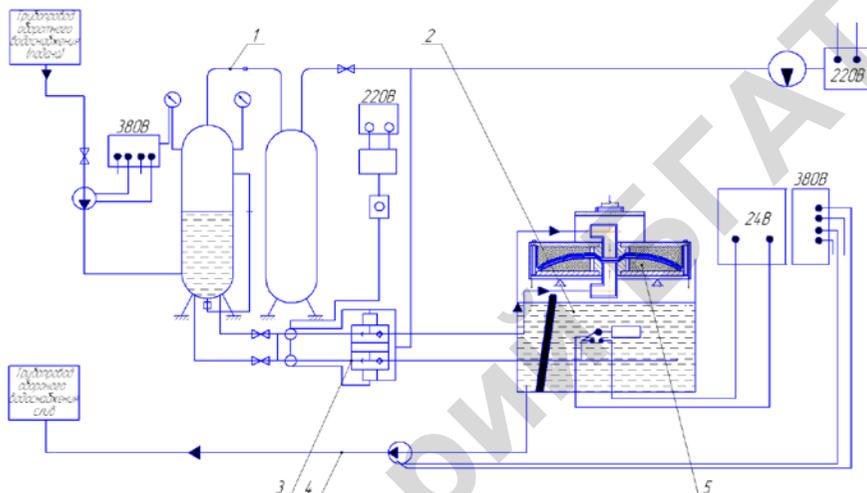


Рисунок 1 – Принципиальная схема технологии импульсного закалочного охлаждения жидкостью:

- 1 – блок управления расходом охлаждающей жидкости; 2 – блок управления отводом охлаждающей жидкости; 3 – система управления клапаном «Бабочка»; 4 – система обратного водоснабжения; 5 – закалочное устройство

Принципиальная схема закалочного устройства для закалки дискообразных деталей представлена на рис. 2

Применение ЗУ позволяет охлаждать детали при их термической обработке со скоростью от 400о С/с до 5000о С/с с учетом требуемой критической скорости охлаждения, регламентируемой для данной марки стали. Режим и время термообработки изменяется в зависимости от формы детали, марки материала заготовки и требований предъявляемых к детали в эксплуатации.

Сталь 60ПП в исходном состоянии (в состоянии поставки после отжига) имеет феррито-перлитную структуру. Термическое упрочнение изготавливаемых образцов сменных ДРОМ осуществлялось путём закалки с последующим низким отпуском. Применяемые температурно-временные режимы традиционной закалки (погружением) приводят к высокой хрупкости стальных изделий, снижая их ресурс [2]. Использование интенсивно-

го импульсного водяного охлаждения при термообработке стали 60ПП позволяет избежать этого недостатка получением нанокристаллической структуры в результате фрагментации продуктов фазового превращения.

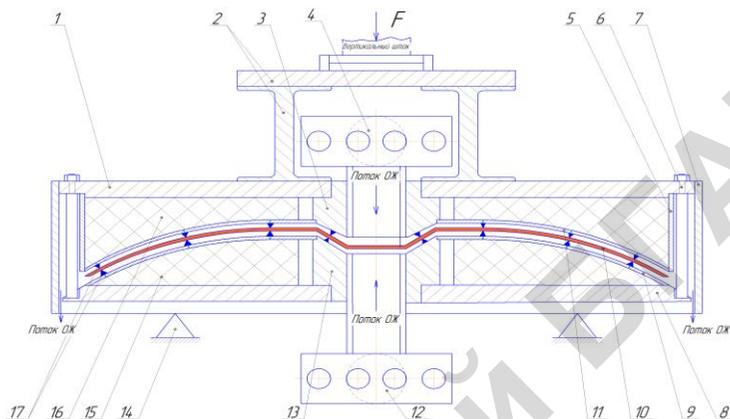


Рисунок 2 – Принципиальная схема закалочного устройства дисков:

1-плита верхняя; 2-фланец; 3-вставка верхняя; 4-коллектор верхний; 5-кожух внутренний; 6-упор; 7-кожух наружный; 8-плита нижняя; 9-матрица; 10-заготовка диска; 11-пуансон; 12-коллектор нижний; 13-вставка нижняя; 14-опора; 15-плита монтажная нижняя; 16-плита монтажная верхняя; 17-фиксатор.

Заготовки нагревались до температуры закалки с точностью  $\pm 5$  °С, время аустенизации составляло 10 минут. Охлаждение осуществлялось потоком воды при различных значениях давления и расхода. Температура воды находилась в пределах 5 – 35 °С, время охлаждения - в интервале 0,5 – 5 с в зависимости от толщины изделия. Интенсивность охлаждения исследовалась в интервале от 1000 °С/с до 20000 °С/с.

Выполненные исследования ТИЗОЖ для определенных параметров режимов (область высоких скоростей охлаждения 10000 °С/с и более) свидетельствуют о наличии фрагментации мартенсита наноразмерного масштаба, что по рекомендациям [9, 10] можно классифицировать как наноструктурные материалы. Анализ микроструктуры упрочненного слоя образца стали 60ПП при увеличениях  $\times 5000$ ,  $\times 20000$  показал, что максимальная длина игл мартенсита составляет 5 – 6 мкм, толщина игл - порядка 0,2 – 0,3 мкм. Структура образца характерна для мартенсита пакетного (речного) типа со средним поперечным размером реек 450 – 550 нм. Твердость по Роквеллу упрочненного слоя – 56 – 57 HRC.

Только при увеличениях  $\times 50000$  и  $\times 80000$  методом электронной микроскопии выявлена фрагментация мартенсита. В результате исследований определено, что мартенситные иглы частично фрагментированы, размер фрагментов находится в диапазоне 20 – 150 нм, их средний размер составляет 40 – 50 нм.

На отдельных фрагментах проявляются очертания субмикрозерен. Края мартенситных пластин и фрагментов частично размыты, что говорит об их аморфно-кристаллическом состоянии.

Статистические данные по средней длине фрагментов мартенситных пластин стали 60ПП после упрочнения рабочей поверхности деталей толщиной 6 – 12мм показали, что размер 80% фрагментов находится в диапазоне 0,02 – 0,08мкм (рис. 3) После низкого отпуска при 180 °С размер фрагментов изменяется незначительно, 60% составляют фрагменты зерен мартенсита размерами 0,02 – 0,06 мкм.

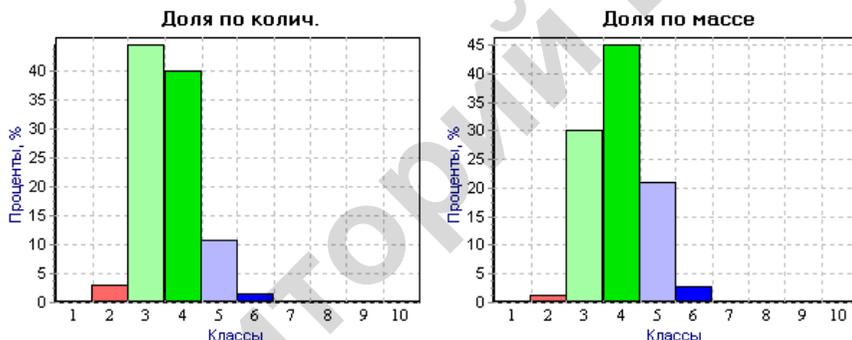


Рисунок 3 – Гистограммы распределения фрагментов мартенсита по длине в рабочей части детали из стали 60ПП после низкого отпуска в долях по количеству и по массе

Результаты испытаний на трехточечный изгиб образцов стали 60ПП после термической обработки приведены в таблице 1. Изучение механических свойств стали 60ПП после закалки (без и с отпуском) показали, что наноструктурные изменения приводят к увеличению предела прочности на изгиб в 1,35 – 1,45 раза.

Для получения более полной информации изучалось строение упрочненных слоев методом дифракции обратно рассеянных электронов. Исследования осуществляли на образце толщиной 12 мм после закалки и низкого отпуска в зоне упрочнения и вне её на сканирующем электронном микроскопе «Mira». Была проведена оценка разориентации фрагментов зерен

мартенсита при различных режимах методом обратного рассеивания вторичных электронов. В результате исследований упрочненного слоя и вязкой сердцевины выявлена повышенная концентрация малоугловых границ в крупных зернах. Наибольшее количество фрагментов характеризуются разориентировкой границ меньше  $2^\circ$ .

Таблица 1 – Результаты испытаний упрочненной стали 60ПП на трехточечный изгиб

Номер образца	Геометрические размеры сечения образцов		Разрушающая нагрузка, кН	Предел прочности на изгиб, МПа
	толщина, мм	ширина, мм		
04/850/ без отпуска	11,93	7,59	50	3022,5
05/800/ без отпуска	11,92	7,92	50	2796,4
1т/800/+ низкий отпуск	9,75	8,05	50	3803,3
2т/850/+ низкий отпуск	9,46	8,62	50	4433,6

На рис. 4 представлены карта и гистограммы ориентации кристаллита с обозначенными границами зерен на участке упрочнения. Видно, что в упрочненном слое зерна разбиты на фрагменты (субзерна) с углами разориентации больше двух градусов. Преобладают зерна размером порядка 0,02 – 0,08 мкм. Размер субзерен меньше 0,1 мкм.

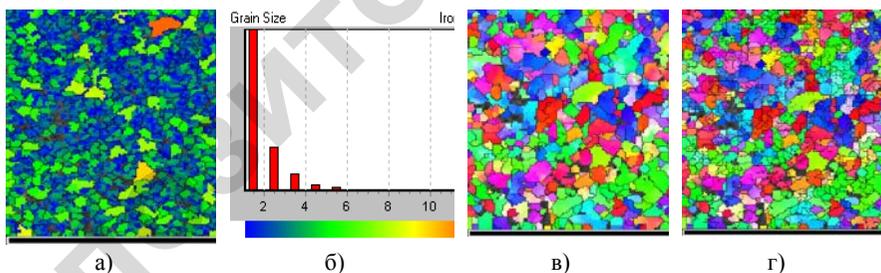


Рисунок 4 – Стрoение упрочненного слоя образца стали 60ПП:

а - карта распределения зерен по размерам; б – гистограмма распределения зерен по размерам; в - границы зерен с углами разориентации больше десяти градусов; г - границы зерен и фрагментов – субзерен с углами разориентации больше двух градусов

В сердцевине разбиение зерен на фрагменты практически отсутствует, преобладают зерна размерами порядка 1 – 2 мкм.

По технологии ИЗОЖ с использованием сталей пониженной прокаливаемости (55ПП, 60ПП) в настоящее время изготавливается целый ряд различных по конструкции сменных ДРОМ почвообрабатывающих и кормоборочных машин. Разработанные технологии изготовления сменных ДРОМ нового поколения освоены на ОАО «КЗТШ» (г. Жодино), РУП «МЗШ», ОАО «БЭМЗ», ОАО «Дрогичинский ТРЗ», ОАО «ВМРЗ» (г. Витебск), ОАО «Минский Агросервис», КУПП «Берёзаагросервис», ТНПЦ БГАТУ и др. За последние 2,5 года предприятиями республики произведено сменных ДРОМ на сумму 15,4 млрд.руб. Стоимость деталей отечественного производства на 20...30% ниже стоимости импортных аналогов.

Отличительными свойствами сменных ДРОМ нового поколения являются сочетание высоких показателей твёрдости (около 60 НРС), прочности (свыше 2000 МПа), ударной вязкости (не менее 1,0 МДж/м<sup>2</sup>), пластичности, наличием наноразмерного (30 – 80 нм) структурного строения, абразивной износостойкости (коэффициент не менее 3,0 – 3,5). Технологии производства сменных ДРОМ нового поколения будут гарантированно в ближайшие 10 – 15 лет являться конкурентоспособными и обладать коммерческой перспективой. По техническому уровню сменные ДРОМ, изготовленные в соответствии с разработанной технологией, являются конкурентоспособными изделиями в сравнении с лучшими зарубежными аналогами.

### **Заключение**

1. Применение ТИЗОЖ при изготовлении деталей позволяет реализовать резервы на упрочнение, улучшить технологические и эксплуатационные свойства путем целенаправленного изменения структуры. Фрагментация микроструктуры углеродистых конструкционных сталей является не только предметом исследований, но становится реальной технологической операцией термической обработки стальных сменных деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин.

2. Формирование фрагментированной нанокристаллической структуры мартенсита, позволяет достигать оптимального соотношения прочностных и вязкостных характеристик, с максимальным обеспечением требуемых технико-экономических показателей. При этом характеристики механических свойств (например, предел прочности на изгиб) возрастают на 35 – 45%, что существенно превосходит аналогичные показатели при традиционных режимах закалки и отпуска.

### **Литература**

1. Машиностроение. Энциклопедия. Ред. совет: Фролов К.В. и др. М.: Машиностроение. Сельскохозяйственные машины и оборудование. Т. IV-16/ И.П. Ксенович, Г.П. Варламов, Н.Н. Колчин и др.; под ред. И.П. Ксеновича. 2002. – 720с.

2. Повышение работоспособности деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин /И.Н.Шило [и др.].- Минск: БГАТУ, 2010. – 320 с.
3. Арзамасов, Б.Н. Материаловедение: учебник для вузов /Арзамасов, Б.Н и др. – Изд. 8-е – Москва: Изд-во МГТУ, 2008. – 648 с.
4. Лякишев Н.П., Алымов М.И. Наноматериалы конструкционного назначения //Российские нанотехнологии. – 2006. – Т.1. № 1-2. – С. 71–81.
5. Рыбин В.В., Малышевский В.А., Хлусова Е.И. Технологии создания конструкционных наноструктурированных сталей //МИТОМ. – 2009. – №6 (643). – С. 3–7.
6. Горынин И.В. и др. Экономнолегированные стали с наномодифицированной структурой для эксплуатации в экстремальных условиях. //Вопросы материаловедения. – 2008. – №2(54). – С.7–19.
7. Bulk nanocrystalline steel // Ironmaking and steelmaking. – 2005. – V.32.– p.405–410.
8. Быков Ю.А. Структура и свойства конструкционных наноматериалов // Приложение №7 к журналу «Справочник. Инженерный журнал». – 2010. – №7. – С.1–24.
9. Панин В.Е., Егорушкин В.Е. Физическая мезомеханика и неравновесная термодинамика как методологическая основа наноматериаловедения // Физическая мезомеханика. – 2009. – Т. 12. № 4. – С.7–26.
10. Панин В.Е., Егорушкин В.Е. Наноструктурные состояния в твердых телах // Физика металлов и материаловедение. – 2010. – Т. 110. №5. – С.486–496.

### **Abstract**

*Given the technological aspects of hardening of parts of low-hardenability steels (55PP, 60PP) using heat treatment, information about the structure of the microstructural details of the working bodies of hardened carbon steel low-hardenability. Shown that the technology allows you to create IZOZH grain structure, which is the foundation increase structural strength and durability of parts.*

УДК 621.762

## **ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ НАПЛАВОЧНЫЙ СПЛАВ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩИХ МАШИН ИНДУКЦИОННОЙ НАПЛАВКОЙ**

**В.М. Константинов<sup>1</sup>, д.т.н., профессор,**

**Н.А. Лабушев<sup>2</sup>, генеральный директор, В.Г. Щербаков<sup>1</sup>, ассистент<sup>1</sup> УО «Белорусский национальный технический университет»,<sup>2</sup> РО «Беллагросервис», г. Минск, Республика Беларусь**

Получение абразивоизносостойких покрытий на рабочих органах почвообрабатывающих машин (РОПМ) было и остается актуальной задачей. Использование материалов для получения защитных покрытий из диффузионно-легированных (ДЛ) сплавов нашло некоторое применение в нашей стране. Установлено значительное повышение рабочего ресурса деталей