

сервиса по опыту развитых стран с рыночной экономикой. Совершенствование организационных форм и экономических взаимоотношений организаций технического сервиса с потребителями услуг, должно быть направлено на взаимную заинтересованность, обеспечение материальной и правовой ответственности за выполнение услуг в гарантийный и послегарантийный периоды эксплуатации машин и оборудования. Это позволит сократить удельные затраты на техническое обслуживание и ремонт на 35-40%, увеличить технический ресурс агрегатов и узлов машин на 15 - 20%, довести уровень технической готовности парка машин до 96-98%.

### Литература

1. Государственная программа устойчивого развития села на 2011 – 2015 годы. Указ Президента Республики Беларусь № 342 от 1 августа 2011 г.
2. Сайганов, А.С. Повышение эффективности функционирования системы производственно-технического обслуживания сельского хозяйства: Монография / А.С. Сайганов; под ред. В.Г. Гусакова. – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2012. – 311 с.
3. Технический сервис машин и оборудования в животноводстве: учебное пособие / В.П. Миклуш, Н.В. Казаровец, Н.А. Лабушев [и др.]; под. ред. В.П. Миклуша. – Минск: БГАТУ, 2013. – 448 с.

### Abstract

The paper is devoted to the main directions of modernization in the sphere of maintenance and technical service in the Agro-industrial complex of Belarus. It is pointed out that such modernized structure of technical service in the AIC must ensure the system co-operation between farm producers and district organizations in order to guarantee the high level farm machinery capacity.

УДК 721.785

## ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УПРОЧНЕНИЯ СМЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ РАБОЧИХ ОРГАНОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Г.Ф. Бетенья<sup>1</sup>, к.т.н., доцент, Г.И. Анискович<sup>1</sup>, к.т.н., доцент,  
В.С. Голубев<sup>2</sup>, к.ф.-м.н., А.Н. Давидович<sup>2</sup>, к.т.н.,

<sup>1</sup>УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»,

<sup>2</sup>ГНУ ФТИ НАН Б, г. Минск, Республика Беларусь

*В статье приведены результаты исследований по разработке и применению отечественных упрочняющих технологий при изготовлении деталей ра-*

*бочих органов сельскохозяйственных машин по техническому уровню не уступающих лучшим мировым аналогам. К числу технологических решений относятся: технология импульсного закалочного охлаждения жидкостью с печного нагрева; технология формообразования лезвийной части термопластической обработкой на станах продольной и поперечной прокатки; плазменные и лазерные упрочняющие технологии, которые являются высокопроизводительными, экологически чистыми и отвечают требованиям по энерго- и ресурсосбережению.*

### **Введение**

Условия работы деталей рабочих органов машин (ДРОМ) являются определяющими при выборе материала и технологии их изготовления. Абразивная среда (песок, глина, гравелистые частицы и камни), в которой эксплуатируются сменные ДРОМ, создает экстремальные условия для их работы. Для обеспечения длительной эксплуатации сменных ДРОМ, работающих в тяжелых условиях абразивного изнашивания, характерных для почв республики, необходимо при их производстве применять качественные конструкционные стали и соответствующие технологии их упрочнения.

Прогнозный анализ показывает, что в обозримом будущем для изготовления ДРОМ стальной прокат останется преимущественным материалом. Потенциал стали как материала для сельхозмашиностроения совершенно не исчерпан. Практическую ценность, применительно к изготовлению ДРОМ, представляет использование сталей пониженной и регламентированной прокаливаемости (55ПП, 60ПП, 55РП и др.)

Для изготовления ДРОМ применяются разработанные отечественные технологии, позволяющие производить конкурентоспособные изделия. К числу технологических решений относятся: технология импульсного закалочного охлаждения жидкостью с печного или индукционного нагрева; технология формообразования лезвийной части термопластической обработкой на станах продольной и поперечной прокатки; технология отпуска при индукционном нагреве; плазменные (закалка, модифицирование, наплавка) и лазерные (закалка, модифицирование, наплавка) технологии; технология диффузионного намораживания износостойкими сплавами. Перечисленные технологии являются высокопроизводительными, экологически чистыми и отвечают требованиям по энерго- и ресурсосбережению. Они являются базовыми при изготовлении ДРОМ.

### **Основная часть**

Преимущественное использование листового металлопроката при изготовлении сменных деталей рабочих органов машин, с учетом их конструктивных особенностей, предполагает получение заготовок путем раскроя металлического листа с целью их дальнейшей обработки и получения конечного продукта. С учетом достоинств и недостатков различных способов

раскроя наибольший интерес представляют лазерный и плазменный способы, которые позволяют изготавливать изделия любой сложности, в любом количестве и при минимальном количестве отходов.

Конструктивной особенностью рабочих органов почвообрабатывающей и кормоуборочной сельскохозяйственной техники является наличие заостренных лезвийных частей. Формообразование заготовок с рабочей частью переменного сечения является одной из сложных технических задач. Традиционной технологией изготовления лезвий на заготовках является операция фрезерования в специальных приспособлениях, обеспечивающих получение нужного угла заострения лезвия и его толщину.

ГНУ «ФТИ НАН РБ» разработан и запатентован способ поперечно-клиновой прокатки (ПКП) лезвийных частей деталей, который является наиболее экономичным в отношении производительности и коэффициента использования металла. Процесс формообразования лезвий прокаткой осуществляют на стане, конструкции ФТИ НАН Беларуси со специальной технологической оснасткой, которая представляет собой валки, установленные на ползуне стана, и систему упоров на его нижней плите.

На базе этого способа создан комплексный технологический процесс, включающий в себя плазменную вырезку листовой заготовки, индукционный нагрев, продольно-поперечную прокатку лезвия изделия и, при необходимости, объемное пластическое формообразование его окончательной формы и размеров. После завершения операций формообразования производят закалку до температуры окончания деформации. В этом случае технологический процесс обеспечивает оптимальное соотношение прочностных и вязких характеристик изделия, необходимых в условиях ударно-абразивной эксплуатации. Такой комплекс свойств определяется образованием субмелкодисперсной мартенситной структуры в процессе ускоренного охлаждения деформированного аустенита, полученного на стадии горячего пластического формообразования изделия. То есть упрочнение материала достигается осуществлением механизмов термического и деформационного упрочнения, а в конечном итоге – процессом ячеистой фрагментации металла при термопластической обработке.

Схема осуществления ПКП показана на рис. 1а. Заготовка укладывается поперек заходной части неподвижного клинового инструмента. Подвижный клиновой инструмент перемещается параллельно неподвижному, внедряется в заготовку, вызывая ее вращение. Оба клиновых инструмента имеют боковые грани *M*, которые заставляют перемещаться избытки металла по направлению к торцам, тем самым удлиняя заготовку. Оставшаяся часть металла профилируется калибрующимися поверхностями *K* инструмента, приобретая их негативный профиль. Так, непрерывно перекачивая заготовку вдоль неподвижного клинового инстру-

мента, последовательно от центральной части к торцам, оформляют требуемый профиль детали.

Толщина обжимаемого валком слоя металла  $\delta$  (рис. 16) ограничивается условием поперечного захвата заготовки валком. при очень больших величинах  $\delta$  возможно буксование вала о заготовку.

На заключительной стадии прокатки специальными ножами, установленными по обе стороны инструмента, отрезают избытки металла от окончательно спрофилированной детали. Прокатанную деталь удаляют, а подвижный инструмент возвращается в исходное положение.

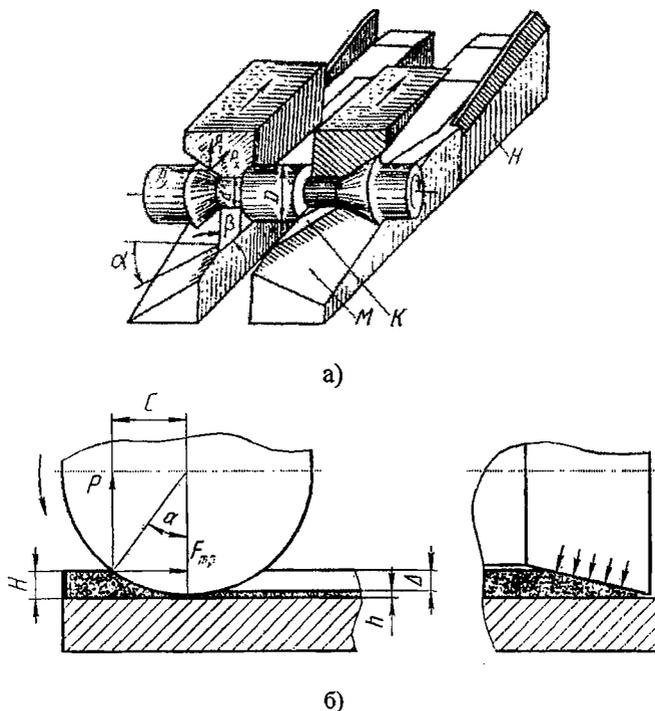


Рисунок 1 – Схемы поперечно-клиновой прокатки (а) и действия сил, возникающих на площадке контакта конического вала с заготовкой (б)

Геометрия клинового инструмента характеризуется углом заострения  $P$  и углом наклона боковой грани  $\alpha$ . Интенсивность формоизменения при прокатке определяется степенью обжатия:  $\delta = D/d$ , где  $D$  – исходный диаметр заготовки;  $d$  – прокатываемый диаметр.

Применение метода ПКП позволяет увеличить коэффициент использования металла до 0,98, производительность труда – в 8–10 раз по сравнению с обработкой резанием, максимально приблизить поковку к требуемым точности размеров и чистоте поверхности детали. За один проход инструмента диаметральные размеры могут быть уменьшены в 4–8 раз. При этом обеспечивается изготовление деталей или полуфабрикатов диаметром от 2 мм до 120 мм длиной от 40 мм до 1000 мм, достигаемая точность  $\pm 0,1$  мм, максимально достигаемая чистота поверхности – 0,6 Ra.

Наиболее распространенным и эффективным технологическим методом повышения конструкционной прочности и износостойкости сменных деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин при их изготовлении является термическая обработка (закалка + отпуск). При этом, в отличие от термомеханической обработки (ТМО), не требуется применение дорогостоящего специального технологического оборудования.

В последние годы при производстве ДРОМ получила применение технология импульсного закалочного охлаждения жидкостью (ТИЗОЖ). Она применяется для объемно-поверхностной закалки сменных деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин, преимущественно изготавливаемых из сталей пониженной прокаливаемости. Опытные образцы с применением технологии упрочнения деталей рабочих органов сельскохозяйственной техники разрабатываются на базе технологического научно-производственного центра БГАТУ с последующей передачей документации предприятиям-изготовителям этой наукоемкой продукции. По аналогии с традиционными методами термической обработки технология ИЗОЖ включает три основных этапа: нагрев; изотермическую выдержку; охлаждение заготовок в заданных параметрах этих режимов.

Технологическая схема упрочнения деталей с применением ТИЗОЖ разрабатывалась для условий печного нагрева заготовок. Охлаждение заготовок в заданных параметрах технологических режимов обеспечивается функционированием взаимосвязанных технических средств с помощью которых реализуются:

- импульсная подача охлаждающей жидкости к закалочному устройству;
- управление продолжительностью технологического цикла охлаждения;
- управление в автоматическом режиме работой бустерных насосов.

Конструкция системы закалочного охлаждения обеспечивает реализацию и воспроизводимость оптимальных технологических параметров термического цикла, позволяющих получить высокие показатели качества изделия. На первое место среди этих показателей ставится структурное состояние металла изделия, приобретаемое в процессе термической обработки.

По разрабатываемой специалистами БГАТУ технологии, включающей закалку с импульсным охлаждением жидкостью, осуществлялось упрочне-

ние экспериментальных образцов сменных деталей корпусов плуга, дисков дискатора, ножей измельчающего аппарата кормоуборочного комбайна. В связи с необходимостью уточнения структурного строения проводились измерения микротвёрдости в поперечном сечении макрошлифов.

Было выявлено убывание (диссипация) значений микротвёрдости в направлении к сердцевине образца (рис. 2). Анализ численных значений микротвёрдости свидетельствует о наличии в поверхностных слоях структуры мартенсита, далее троостомартенсита, а в сердцевине – трооститной структуры (рис. 3).

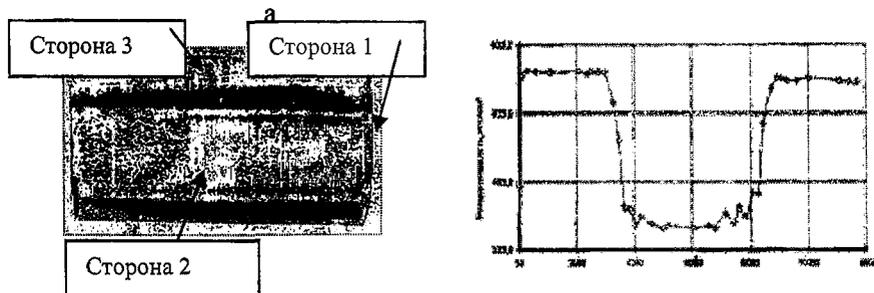


Рисунок 2 - Схема исследования (а) и график (б) изменения микротвёрдости в поперечном сечении (сторона 2) плоского образца

Изучение микроструктурного строения показало, что в поверхностном слое образца (рис. 3 а, б) образовалась микроструктура весьма мелкоигльчатого мартенсита. По оценке металлографическим методом по ГОСТ 8233 наибольшая длина игл составляет до 1 мкм, что свидетельствует о их мелкозернистости (дисперсности и баллу между 1 и 2). При увеличении соответственно  $\times 50000$  и  $\times 100000$  выявлена фрагментация (дробление) мартенситных пластин. Их размер в поперечном сечении составляет 50-100нм, а размер фасеток отдельных пластин мартенсита находится в пределах 20-80 нм. Такое наноструктурное строение мартенсита в поверхностных слоях плоского образца, присущее данному методу и режимам термической обработки по технологии ИЗОЖ предопределяет комплекс высоких механических свойств (твёрдость около 60 HRC; прочность не менее 2000 МПа; ударная вязкость свыше 1 МДж/м<sup>2</sup>; коэффициент относительной абразивной износостойкости не менее 3,0 – 3,5).

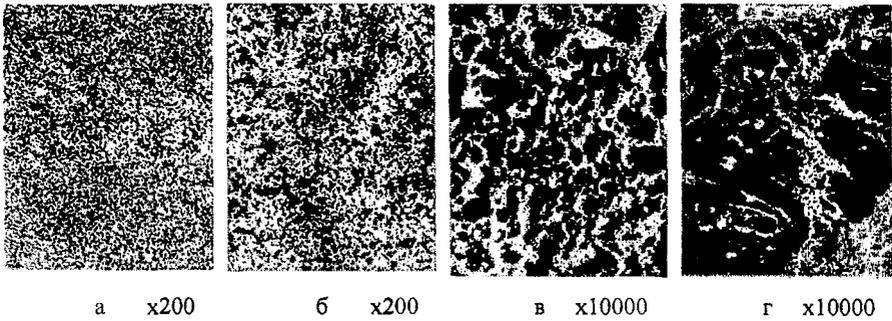


Рисунок 3 – Микроструктура внешних поверхностей (а) и сердцевины (б) и морфология ячеистого излома образца, испытанного на ударный изгиб ( в-наружного слоя, г - сердцевины)

Представленные снимки микроструктуры переходного слоя – троостита в сердцевине плоского образца также свидетельствуют о его дисперсности. В поперечном сечении размеры фрагментов троостита составляют 20 – 60 нм, а длина трооститных пластин находится в пределах 120 – 500 нм.

Таким образом, технологией ИЗОЖ достигается формирование в плоских изделиях объёмного нанокomпозиционного состояния. Оно характеризуется, во-первых, наличием диссипативного структурного строения в поперечном сечении изделия, во-вторых, субмелкокристаллическим зерном мартенсита. В ходе интенсивного закалочного охлаждения жидкостью заготовок из сталей ПП в них формируются продукты мартенситного превращения нанометрового размера (20-80 нм). Придание такого дисперсного структурного строения ДРОМ является основой повышения их конструкционной прочности и износостойкости.

Применение стали 60 ПП для изготовления режущих элементов сельхозмашин потребовало выполнения исследований по их упрочнению CO<sub>2</sub>-лазером непрерывного действия и плазменной дугой. Модифицирование поверхности осуществлялось путем предварительного нанесения шликерным способом порошка износостойкого состава, содержащего карбиды хрома, вольфрама, бориды и другие соединения.

Установлено, что степень упрочнения при лазерной обработке выше, т.к. при ней происходит более интенсивный вклад энергии в изделие при нагреве и последующее охлаждение с более высокими скоростями позволяет в большей степени наследовать имеющиеся дефекты кристаллического строения, искаженность кристаллической решетки. При этом уменьшается время пребывания твердого раствора в интервале аустенизации, что ограничивает рост зерен аустенита и при последующем  $\gamma \rightarrow \alpha$  мартенситном превращении приводит к большей степени упрочнения. Величина макси-

мальной твердости, полученной в результате лазерной обработки, составляет 12100 МПа, плазменной - 8850 МПа. Протяженность зоны отпуска при лазерном нагреве значительно меньше, чем при плазменной обработке.

При лазерном модифицировании на поверхности образуется износостойкий слой, содержащий легированный твердый раствор основы порошка с остаточными нерастворившимися частицами карбидных, боридных и других соединений. Легированный твердый раствор износостойкой наплавки имеет твердость 2700-16000 МПа. Твердость нерастворившихся остаточных упрочняющих частиц достигает 25000-28000 МПа. Глубина наплавленного слоя ~0,2 мм, глубина упрочненного слоя подложки ~0,2 мм. На границе слой-подложка имеется узкая полоска переходной зоны со значительным снижением твердости (~4500 МПа) шириной ~0,02 мм. Это происходит, вероятно, вследствие того, что углерод приграничного слоя подложки диффундирует в наплавленный слой и откладывается на имеющихся остаточных карбидных частицах, служащих готовыми центрами кристаллизации, либо образует их в приграничной зоне, где происходит частичное оплавление подложки и смешение расплавов слоя и подложки. Суммарная глубина упрочнения при лазерном модифицировании составляет 0,4-0,5 мм. Наличие аустенитной прослойки на границе раздела слой - подложка должен оказывать положительное влияние на свойства переходного слоя, улучшая адгезию, уменьшая растягивающие и скальвающие напряжения.

В отличие от лазерной обработки при плазменном модифицировании на поверхности образцов не наблюдалось образования слоя с упрочняющими частицами. По-видимому, температуры и времени воздействия при плазменном нагреве было достаточно для расплавления нанесенного шликерным методом порошка износостойкого сплава, растворения упрочняющих частиц, конвективного перемешивания с оплавленным слоем подложки. В результате на поверхности имеется упрочненный мартенситный слой, образованный при кристаллизации областей легированного расплава и областей перекристаллизованного твердого раствора легированных первичных кристаллов аустенита. Вследствие чего образованный упрочненный слой состоит из смеси областей, в которых мартенсит различается по составу, морфологии и дисперсности. Суммарная глубина упрочнения при плазменной обработке с модифицированием поверхности составляла ~1 мм при максимальной твердости ~13000 МПа и могла достигать ~2 мм при обработке плазмой в режимах с глубоким проплавлением поверхности. Что касается переходных зон при плазменном модифицировании, то их протяженность значительно больше с характерным постепенным изменением смежных структурных составляющих и свойств по глубине.

Результаты исследований по упрочнению стали пониженной прокаливаемости 60 ПП лазерной и плазменной обработкой позволяют рекомендовать их для использования в технологиях изготовления ряда деталей сель-

хозмашин, например, режущих элементов, требующих повышенных характеристик эксплуатационной стойкости, когда долговечность лимитируется высокими значениями твердости, износостойкости в сочетании с повышенными значениями прочности и ударной вязкости.

### Заключение

На основании полученных результатов исследований упрочняющих технологий, применяемых для изготовления деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин можно заключить следующее:

1. Применение метода поперечно-клиновой прокатки для формообразования заготовок с рабочей частью переменного сечения вместо обработки резанием позволяет увеличить коэффициент использования металла до 0,98, производительность труда – в 8–10 раз максимально приблизить поковку к требуемым точности размеров и чистоте поверхности детали.

2. Технологией ИЗОЖ достигается формирование в плоских изделиях объёмного нанокomпозиционного состояния. Оно характеризуется, во-первых, наличием диссипативного структурного строения в поперечном сечении изделия, во-вторых, субмелкокристаллическим зерном мартенсита. В ходе интенсивного закалочного охлаждения жидкостью заготовок из сталей пониженной прокаливаемости в них формируются продукты мартенситного превращения нанометрового размера (20–80 нм). Придание такого дисперсного структурного строения ДРОМ является основой повышения их конструкционной прочности и износостойкости.

3. При изготовлении деталей сельхозмашин требующих повышенных характеристик эксплуатационной стойкости, когда их долговечность лимитируется высокими значениями твердости, износостойкости в сочетании с повышенными значениями прочности и ударной вязкости можно рекомендовать применение сталей пониженной прокаливаемости упрочненных лазерной или плазменной обработкой.

### 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. Энциклопедический справочник термиста-технолога: в 3 Т.: Т.1/ С.Б. Масленков, В.М. Ляпунов, В.М. Зинченко, Б.К. Ушаков. Под общ. ред. С.Б. Масленкова. М.: Наука и технологии, 2003. – 392с.

3. Энциклопедический справочник термиста-технолога: в 3 Т.: Т.3/ С.Б. Масленков, В.М. Ляпунов, В.М. Зинченко, Б.К. Ушаков. Под общ. ред. С.Б. Масленкова. М.: Наука и технологии, 2004. – 704с.

4. Кобаско Н.И. Закалка стали в жидких средах под давлением –К.: Наукова Думка, 1980.-208с.

5. Волокушин В.Д. Металловедение и термическая обработка. Уч.-справ. пособие. Винница: Книга-Вега. 2005.-504с.

6. Хроника. Второй Всероссийский семинар по проблемам закалочного охлаждения// М и ТОМ. 1997. №10. С.37-38.

7. ГОСТ 8233-56. Сталь. Эталоны микроструктуры. [Текст]. – введ. 1957 – 07-01. – М: Государственный стандарт СССР: Изд-во стандартов, 1960. – 4 с.

8. Быков Ю.А. Структура и свойства конструкционных наноматериалов // Приложение №7 к журналу «Справочник. Инженерный журнал», 2010, №7, С.1-24.

9. Повышение работоспособности деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин /И.Н. Шило [и др.]-. Минск: БГАТУ, 2010.-320с.

### **Abstract**

The article presents the results of studies on the development and application of reinforcing domestic technologies in the manufacture of parts working bodies of agricultural machinery in the technical level not inferior to the best world standards. Among the technological solutions of the include: technology pulsed quench cooling liquid with a heating furnace ; technology of shaping education blade part thermo-plastic processing mills on the longitudinal and transverse rolling; plasma and laser hardening technology that you are - sokoproizvoditelnyimi, environmentally friendly and meet the requirements for energy and resource saving.

**УДК 631.173**

## **КОНЦЕПЦИЯ РАЗВИТИЯ СЕРВИСНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСЛУГ ПО ПОДДЕРЖАНИЮ НАДЕЖНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ**

**С.А. Соловьев, д.т.н., профессор, В.С. Герасимов, зав. лабораторией,  
ГНУ ГОСНИТИ Россельхозакадемии, г. Москва, Российская Федерация**

В целом, существующий в настоящее время технический сервис в АПК Российской Федерации характеризуется низкой эффективностью, не обеспечивающий сельхозтоваропроизводителям требуемый уровень надёжности и безотказности работы машин.

Основными причинами являются: