

## ТЕХНОЛОГИЯ ИМПУЛЬСНОГО ЗАКАЛОЧНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ЖИДКОСТЬЮ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Г.Ф. Бегеня, канд. техн. наук, доцент (БГАТУ); Л.А. Маринич, зам. министра с.х. и продовольствия Респ. Беларусь (МСХП Респ. Беларусь); Г.И. Анискович, канд. техн. наук, доцент, П.А. Декевич, научн. сотр., Д.П. Литовчик, научн. сотр., С.Н. Рогожинский, И.Г. Лемеза, С.И. Шунько, аспиранты (БГАТУ)

### Аннотация

Приведены технологические аспекты упрочнения деталей из сталей пониженной прокаливаемости (55ПП, 60ПП) с применением термической обработки. Показано, что технология импульсного закалочного охлаждения жидкостью (ТИЗОЖ) позволяет формировать мелкозернистую структуру, являющуюся основой повышения конструкционной прочности и износостойкости деталей.

*The technological aspects of the hardening of parts made of steels of low hardenability (55PP, 60PP) using thermal treatment is given. It is shown that the technology allows you to create IZOZH fine-grained structure, the basis of the strength and wear resistance.*

### Введение

Термическая обработка (закалка + отпуск) является наиболее распространенным и эффективным технологическим методом повышения конструкционной прочности и износостойкости сменных деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин (ДРОМ) при их изготовлении [1]. 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 объёмно-поверхностной закалки сменных ДРОМ, преимущественно изготавливаемых из сталей пониженной прокаливаемости. По аналогии с традиционными методами термической обработки ТИЗОЖ 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 загото-

вок. Стадия нагрева стальных заготовок до температуры аустенитной области при использовании печей сопротивления протекает в реальных условиях от исходной комнатной температуры со скоростью 1,5 ... 2,5°C/с. В этой связи на технологической схеме упрочнения стальных заготовок с использованием ТИЗОЖ предшествуют две стадии: стадия нагрева до

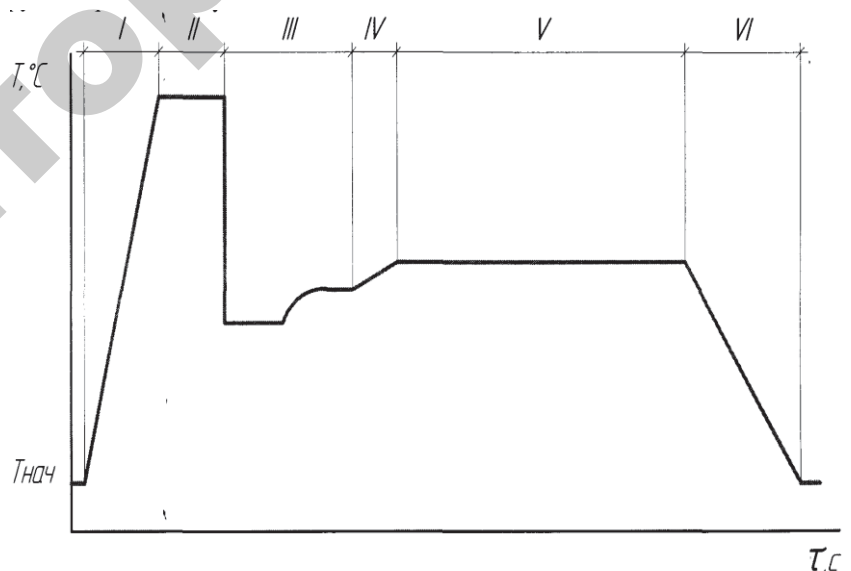


Рисунок 1. Технологическая схема упрочнения стальных заготовок с применением ТИЗОЖ:

I – стадия нагрева до температуры аустенизации; II – стадия выдержки при температуре аустенизации; III – стадия охлаждения до температуры самоотпуска; IV – стадия нагрева до температуры низкого отпуска; V – стадия выдержки при температуре низкого отпуска; VI – стадия охлаждения на воздухе

температуры аустенизации; стадия выдержки при температуре аустенизации. Данная схема представлена на рис. 1.

Известно, что качество термической обработки ДРОМ определяют структурные факторы: вид внутреннего структурного строения; балл зерна структуры закалки [2-4]. В этой связи меняются критерии выбора технологий производства сменных ДРОМ, в том числе и технологий их термической обработки. При разработке технологических процессов термического упрочнения ДРОМ должны обеспечиваться: сочетание высоких эксплуатационных свойств (прочности, твёрдости и ударной вязкости); технологическая простота метода; автоматический контроль исполнения заданных параметров нагрева, аустенизации и охлаждения; высокий уровень производительности, ресурсосбережение; требуемое качество и износостойкость; использование конструкционных легированных сталей; экономическая эффективность; отсутствие факторов техногенного загрязнения окружающей среды.

### Основная часть

#### Методика проведения исследования

При разработке методики экспериментальных работ и создания экспериментальной установки учитывались технические решения, получившие применение в практике термической обработки и изложенные в литературных источниках [3,4]. Для термической обработки изделий из сталей пониженной прокаливаемости [2,3] с применением управляемого интенсивного теплоотвода апробированы методы струйного закалочного охлаждения (рис. 2а), либо охлаждения в потоке жидкости (рис. 2б).

Основной задачей закалочного охлаждения является обеспечение оптимальных параметров подачи охлаждающей среды на закаливаемую поверхность, предотвращение закалочных пятен, деформаций, коробления и трещин. В обоих вариантах закалочного охлаждения жидкостью обеспечиваются:

- постоянное омывание охлаждаемых поверхностей изделия новыми порциями жидкости;
- возможность создания равномерного омывания поверхности изделия;
- регулирование и управление длительностью цикла охлаждения.

Для изучения охлаждающей способности потока жидкости и закалочных сред использовались плоские образцы. Спрейерные устройства (рис. 2а) или закалочные устройства (рис. 2б) для охлаждения потоком жидкости, обозначенные на принципиальной схеме (рис. 3), являются сменными и взаимозаменяемыми исполнительными элементами ТИЗОЖ. Принципиальная схема ТИЗОЖ представлена на рис. 3.

Из рис. 3 следует, что техническое обеспечение ТИЗОЖ включает функционирование взаимосвязан-

ных 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.

Дополнительно система закалочного охлаждения может технически оснащаться средствами для поддержания температуры жидкости в заданном интервале. Любая конструкция системы закалочного охлаждения должна обеспечивать реализацию и воспроизводимость оптимальных технологических параметров термического цикла. Их оценка должна быть связана с показателями качества изделия. На первое место среди этих показателей ставится структурное состояние металла изделия, приобретаемое в процессе термической обработки.

Наряду с этим, учитывалось, что техническое оснащение рабочих мест для осуществления технологии термической обработки должно комплектоваться современным технологическим оборудованием для печного или индукционного нагрева, оснащенного приборами автоматического контроля и регулирования технологическими режимами. В статье приводятся результаты исследования технологии закалочного охлаждения в потоке жидкости изделий из стали 55ПП, 60ПП, нагрев которых осуществлялся в печи сопротивления ПКМЗ.6.2/11,5. Температура нагрева контролировалась микропроцессорным контроллером «ТЕРМОДАТ-14». Точность измерения температуры нагрева образцов составляла  $\pm 2^\circ$ .

#### Результаты исследований и их анализ

На рис. 4 представлена схема исследования упрочненного слоя экспериментального образца диска дискатора в 3-х направлениях.

Упрочнение осуществлялось специалистами БГАТУ по разрабатываемой технологии, включающей закалку с импульсным охлаждением жидкостью.

В связи с необходимостью уточнения структурного строения проводились измерения микротвёрдости в

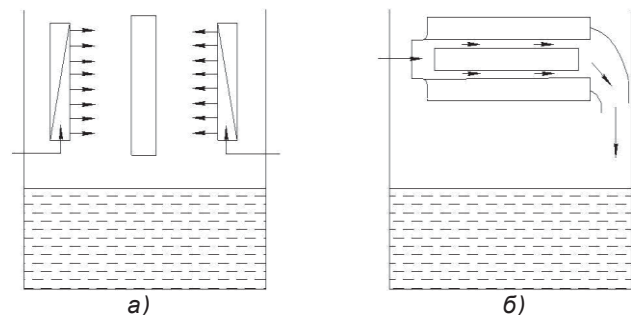


Рисунок 2. Принципиальная схема закалочного охлаждения стальных заготовок струями (а) и потоком (б) жидкости

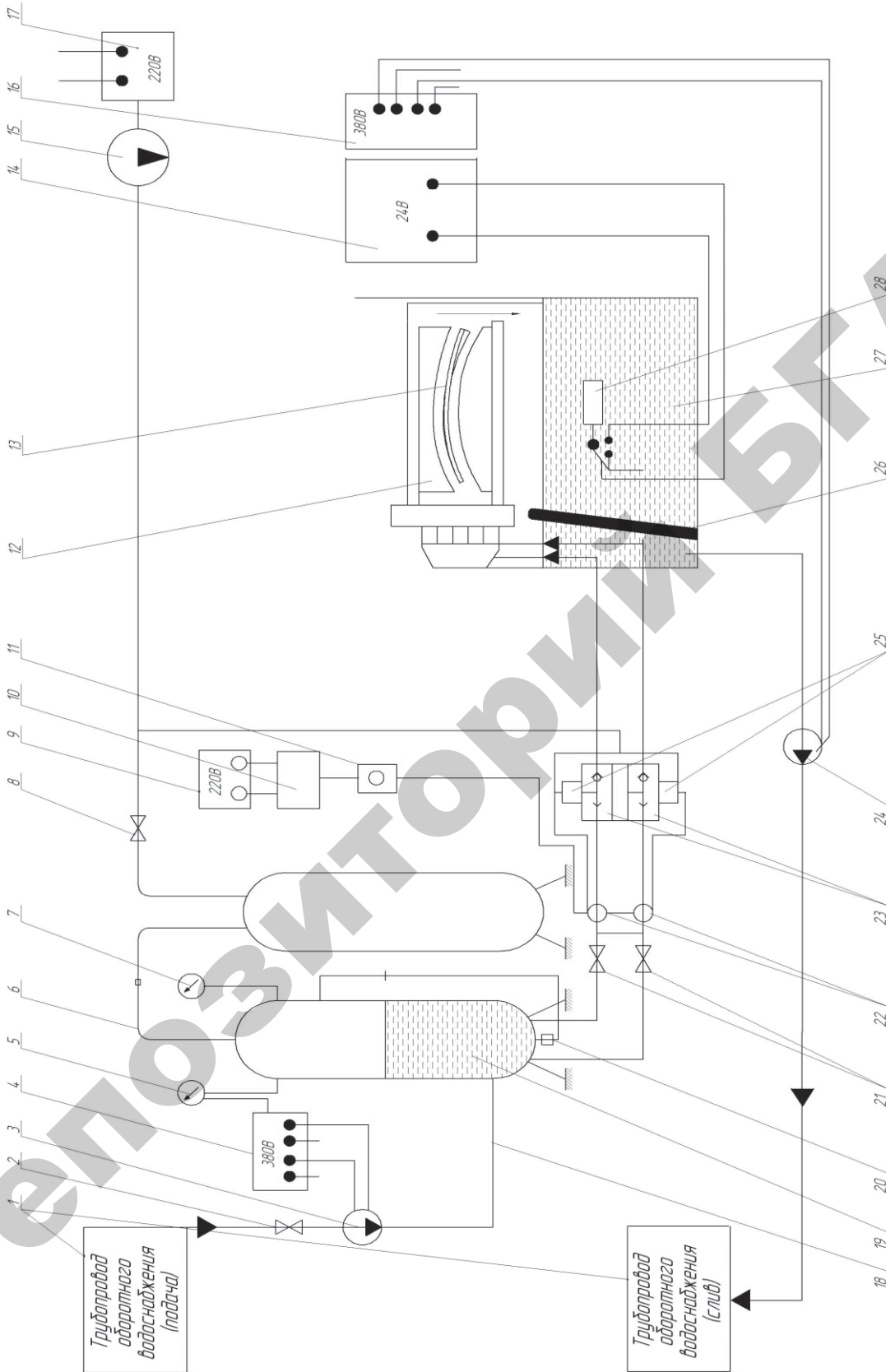
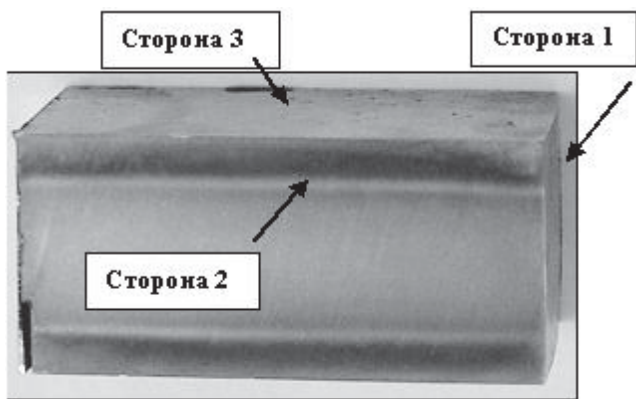
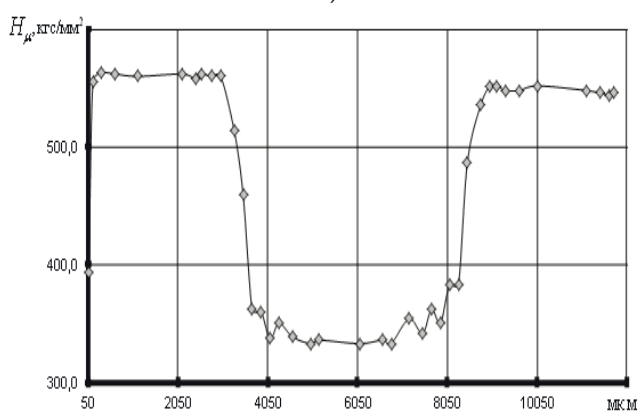


Рисунок 3. Принципиальная схема технологии импульсного закалочного охлаждения жидкостью:  
 1 – емкости для воды 5 куб.м; 2, 21 – кран шаровый фланцевый ДУ-50; 3, 24 – носос бустерный (БА 6-10-50); 4, 16 – щит силовой; 5 – манометр (МП-63); 6, 18 – рукав резиновый напорный (0,63МПа); 7 – реле-давления П-210-111; 8 – кран шаровый фланцевый ДУ-20; 9, 17 – источник питания; 10 – пульт управления клапанами «Бабочка» с электронным реле-времени и блоком питания на 24В; 11 – кнопка управления электрической на 24В; 12 – закалочное устройство (рабочее давление 0,5 МПа); 13-заготовка; 14 – станция управления бустерными насосами; 15 – компрессор СБ 4/Ц-100ЕБ-51А; 19 – пневмогидроаккумулятор ПГА 0,8.000; 20 – датчик уровня воды в ПГА; 21 – кран шаровый фланцевый ДУ-50; 22 – электромагнитный клапан УНРЭ 3/2.5-7312; 23 – пневмопривод; 26 – фильтр; 27 – ванна для воды; 28-датчик уровня воды

поперечном сечении макрошлифов. Было выявлено убывание (диссипация) значений микротвёрдости в направлении к сердцевине образца (рис. 4б).



а)



б)

Рисунок 4. Схема исследования (а) и график (б) изменения микротвёрдости в поперечном сечении (сторона 2) плоского образца

Анализ численных значений микротвёрдости свидетельствует о наличии в поверхностных слоях структуры мартенсита, далее троостомартенсита (бейнита), а в сердцевине – трооститной структуры (рис. 5, 6).

Исследования микроструктуры шлифов из стали 60ПП проводились в Испытательном Центре ГНУ «Институт порошковой металлургии».

Изучение микроструктурного строения проводилось на аттестованном сканирующем электронном микроскопе высокого разрешения “Mira” фирмы

“Tescan” (Чехия). На рис. 5(а, б) представлена микроструктура весьма мелкоугольчатого мартенсита поверхностного слоя образца. По оценке металлографическим методом по ГОСТ 8233 [7] 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 50-100 нм, 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, прочность, ударная вязкость).

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.

В процессе закалки обеспечивается интенсивность охлаждения заготовок различной формы и размеров в широком диапазоне (от сотен °С до 20 000 °С/с). Эта технология является энерго-ресурсосберегающей, экологически чистой. На одном рабочем посту достигается часовая производительность около 60 изделий. Она используется также в совокупности с другими эффективными упрочняющими технологиями: лазерными, плазменными и диффузионным намораживанием.

Внешние поверхности трения ДРОМ, имея дисперсную структуру мартенсита, обладают комплексом высоких механических и триботехнических свойств: твердость около 60 HRC; прочность – не менее 2000 МПа; ударная вязкость – свыше 1 МДж/м²; коэффициент относительной абразивной износостойкости – не менее 3,0-3,5.

Опытные образцы с применением технологии упрочнения деталей рабочих органов сельскохозяйственной техники «отшлифовываются» на базе технологического научно-производственного центра БГАТУ с последующей передачей документации предприятиям– изготовителям этой наукоемкой продукции. По результатам выполнения задания 2.1 ГНТП «Белсельхозмеханизация» (головной исполнитель – БГАТУ) освоена ТИЗОЖ в производственных условиях для упрочнения дисков луцильников (ОАО

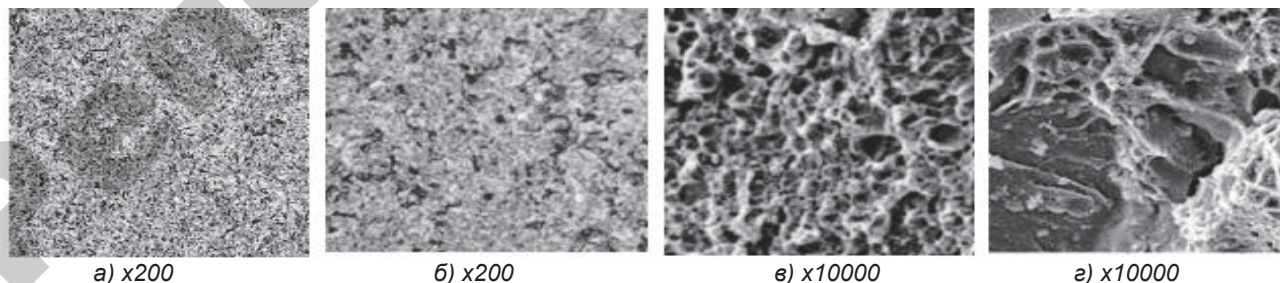


Рисунок 5. Микроструктура внешних поверхностей (а) и сердцевины (б) и морфология ячеистого излома образца, испытанного на ударный изгиб (в – наружного слоя, г – сердцевины)

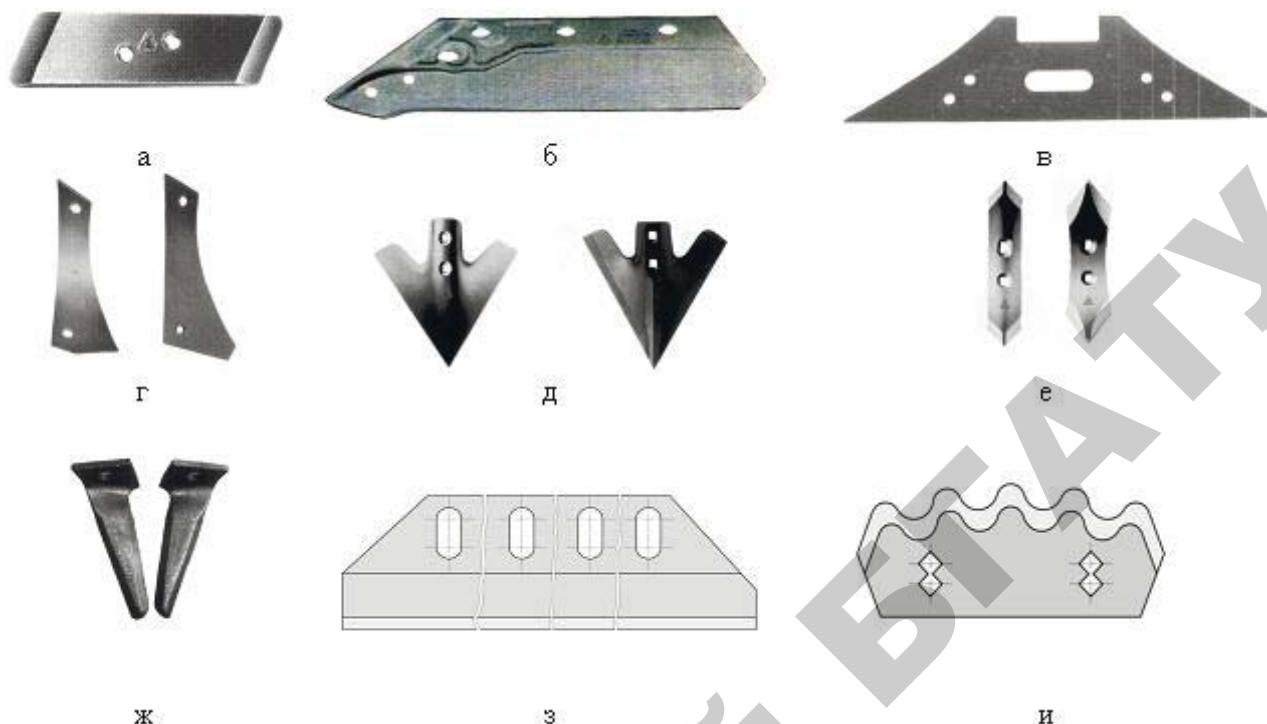


Рисунок 6. Типовые представители сменных ДРОМ почвообрабатывающих и кормоуборочных машин: а – долото; б – лемех; в – полевая доска; г – груди отвалов; д – стрельчатые лапы; е – оборотные лапы; ж – зубья роторных борон; з – нож измельчающего аппарата кормоуборочного комбайна; и – нож измельчителей рулонов

«БЭМЗ»), лемехов (ОАО «КЗШТ», г. Жодино), долот (РУП «МЗШ»), сложнопрофильных деталей (ОАО «Минский Агросервис»). По техническому уровню ДРОМ, изготовленные в соответствии с разработанными технологиями, являются конкурентоспособными изделиями в сравнении с лучшими зарубежными аналогами.

#### Выводы

На основании полученных результатов исследований структурного строения образцов из стали 60ПП, термически обработанной по технологии ИЗОЖ, можно заключить следующее:

1. Технологией ИЗОЖ достигается формирование в плоских изделиях объёмного наноконпозиционного состояния. Оно характеризуется, во-первых, наличием диссипативного структурного строения в поперечном сечении изделия, во-вторых, субмелкокристаллическим зерном мартенсита.

2. Придание такого дисперсного структурного строения ДРОМ является основой повышения их конструкционной прочности и износостойкости.

3. Технология ИЗОЖ обладает высокой производительностью, экономической эффективностью и адаптирована к производственным условиям упрочнения ДРОМ сельскохозяйственной техники.

4. Установлено, что в ходе интенсивного закалочного охлаждения жидкостью заготовок из сталей

ПП в них формируются продукты мартенситного превращения нанометрового размера (20-80 нм).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Машиностроение. Сельскохозяйственные машины и оборудование: энциклопедия. – Т. IV-16/ И.П. Ксеневиц [и др.]; под общ. ред. И.П. Ксеневица. – М.: Машиностроение, 2002. – 720 с.
2. Энциклопедический справочник термиста-технолога: в 3 т. – Т. 1/ С.Б. Масленков [и др.]; 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 [и др.]; под общ. ред. С.Б. Масленкова. – М.: Наука и технологии, 2004. – 704 с.
4. Кобаско, Н.И. Закалка стали в жидких средах под давлением/ Н.И. Кобаско. – К.: Наукова Думка, 1980. – 208 с.
5. Волокушин, В.Д. Металловедение и термическая обработка: уч.-справ. пособ. / В.Д. Волокушин. – Винница: Книга-Вега. – 2005. – 504 с.
6. Хроника. Второй Всероссийский семинар по проблемам закалочного охлаждения// М и ТОМ, 1997. – №10. – С. 37-38.
7. Сталь. Эталоны микроструктуры: ГОСТ 8233-56. – Введ. 07.01.57. – М: Гос. стандарт СССР: Изд-во стандартов, 1960. – 4 с.

## Электрогидравлический обкаточно-тормозной стенд

*Предназначен для холодной и горячей обкатки двигателей внутреннего сгорания (ДВС) и создания тормозной нагрузки при обкатке коробок переменных передач и ведущих мостов.*



### Основные технические данные

Мощность электрического двигателя для холодной обкатки, кВт, до	11
Тип тормозного устройства	гидравлический
Мощность торможения, кВт, до	100
Диапазон регулирования частоты вращения вала электродвигателя, об/мин	500 - 3000
Диапазон частоты вращения гидравлического тормоза (при г/о), об/мин	1200 - 2900
Диапазон измерения частоты вращения, об/мин	до 3000
- магнитоиндукционным тахометром	до 9999
- электронным тахометром	до 9999
Рекуперация механической тормозной энергии	в тепловую
Устройство рекуперации	Кожухотрубчатый теплообменник
Диапазон измерения давления масла, МПа	0 - 40
Диапазон измерения температуры масла, °С	0 - 150
Масса стенда, кг	200
Занимаемая площадь, м <sup>2</sup> , не более	1,5

Применение электрогидравлического обкаточно-тормозного стенда обеспечивает:

- снижение более чем в 10 раз металлоемкости и более чем в 7 раз стоимости в сравнении с электрическими стендами;
- рекуперацию механической энергии в тепловую;
- импортозамещение.