

К.Н. Мисников; заявитель РУП «Научн.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по механиз. сельского хоз-ва». – №20110704; заявл. 19.09.2011; опубл. 30.04.12 // Афіцыйны бюл./ Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці.

2. Комлач, Д.И. Теоретическое обоснование диаметра вальцов ротационного ворохоочистителя / Д.И. Комлач, В.В. Голдыбан // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «Научн.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по механиз. сельского хоз-ва». – Минск, 2014. – Вып. 48. – Т.1. – С. 146-151.

3. Комлач, Д.И. Теоретическое обоснование угла наклона и частоты вращения ротационного ворохоочистителя / Д.И. Комлач, В.В. Голдыбан // Механизация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «Научн.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по механиз. сельского хоз-ва». – Минск, 2014. – Вып. 48. – Т.1. – С. 151-153.

4. Комлач, Д.И. Теоретическое обоснование длины вальцов ротационного ворохоочистителя / Д.И. Комлач, В.В. Голдыбан, И.М. Морозова // Меха-

низация и электрификация сельского хозяйства: межвед. тематич. сб. / РУП «Научн.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по механиз. сельского хоз-ва». – Минск, 2014. – Вып. 48. – Т.1. – С. 153-166.

5. Особов, В.И. Машины и оборудование для уплотнения сено-соломистых материалов / В.И. Особов, Г.К. Васильев, А.В. Голяновский. – М.: Машиностроение, 1974. – С. 231.

6. Долгов, И.А. Математические методы в земледельческой механике / И.А. Долгов, Г.К. Васильев. – Москва, 1967. – 203 с.

7. Хайлис, Г.А. Механика растительных материалов / Г.А. Хайлис. – Киев, 1994. – 332 с.

8. Пискунов, Н. С. Дифференциальное и интегральное исчисления для втузов: учеб. пос. для втузов. – 13-е изд. / Н.С. Пискунов. – Т.1. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1985. – 432 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 06.05.2015

УДК 621.785.616.2

УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ РАБОЧИХ ОРГАНОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН В УСЛОВИЯХ ИМПУЛЬСНОГО ЗАКАЛОЧНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Г.Ф. Бетенья,

ведущ. науч. сотр. НИИМЭСХ БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

А.В. Кривцов,

директор частного предприятия «ФРОС-М», канд. техн. наук

Приведены режимы и параметры технологии ускоренного охлаждения стальных заготовок при импульсной закалке. Исследованы структура и прочностные характеристики упрочненных заготовок.

The modes and their parameters of the accelerated cooling for steel models at pulse tempering are given. The structure and strength characteristics of the strengthened models are investigated.

Введение

На современном этапе развития материаловедения, прочность, надежность, долговечность и износостойкость применяемых конструкционных материалов, в частности сталей, должны достигаться целенаправленным формированием в них субмикро- и нанокристаллического структурного состояния [1-3; 5-7]. Из теории сплавов и производственного опыта известно, что для формирования наиболее благоприятной структуры и обеспечения прочности и надежности получаемых стальных изделий должны применяться следующие основные варианты: рациональное легирование, измельчение зерна, металлургическое качество стали.

Технология упрочнения конструкционных углеродистых сталей путем импульсного ускоренного закалочного охлаждения быстро движущимся пото-

ком жидкости является высокопроизводительной, экологически чистой, отвечает требованиям энерго- и ресурсосбережения.

Стальная заготовка под импульсным тепловым воздействием в ходе реализации модифицирования со стороны охлаждающей среды испытывает «тепловой шок». В результате высокой скорости охлаждения аустенит переохлаждается до температуры, близкой к температуре охлаждающей жидкости. Переохлажденный аустенит является термодинамически неустойчивой фазой, и в поле внешних воздействий непрерывно фрагментируется.

Одним из практических направлений использования преимуществ технологии является упрочнение сменных деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин. Проблема повышения их физико-

механических и эксплуатационных свойств является важнейшей народнохозяйственной задачей. Типовые представители сменных деталей рабочих органов почвообрабатывающих машин представлены на рисунке 1.

Цель данной работы – исследование микроструктуры и прочностных характеристик заготовок из конструкционных углеродистых сталей, полученных путем импульсного ускоренного закалочного охлаждения.

Основная часть

В практике термической обработки для достижения высоких скоростей закалки используются системы струйного охлаждения или регулируемого потока. Основной задачей систем закалочного охлаждения является обеспечение оптимальных параметров подачи охлаждающей среды на закаливаемую поверхность, предотвращение закалочных пятен, деформаций, коробления и трещин.

Техническое обеспечение технологии ускоренного охлаждения стальных заготовок включает функционирование взаимосвязанных технических средств, с помощью которых реализуются следующие процессы [4]:

- импульсная подача охлаждающей жидкости к закалочному устройству;
- управление продолжительностью технологического цикла охлаждения;
- поддержание температуры охлаждающей жидкости в заданном интервале (термостатирование);
- управление в автоматическом режиме оборотным снабжением охлаждающей жидкостью.

Исследование проводилось на образцах из сталей марок 35, 60ПП, 30ХГСА, химический состав которых приведен в таблице 1 (ГОСТ 1050-74, ГОСТ 4543-71).

Таблица 1. Химический состав сталей 35, 60ПП, 30ХГСА

Марка стали	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S
35	0,32-0,4	0,5-0,8	0,17-0,37	до 0,25	до 0,25	до 0,035	до 0,04
60ПП	0,57-0,65	до 0,2	0,1-0,3	до 0,15	до 0,2	до 0,035	до 0,04
30ХГСА	0,28-0,34	0,8-1,1	0,9-1,2	0,8-1,7	до 0,3	до 0,025	до 0,025

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

Экспериментальные работы по охлаждению заготовок проводились с использованием установки ТМ-60 (рис. 2).

Заготовки нагревались до температуры закалки с точностью ± 5 °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.

Результаты исследования твердости упрочненных деталей из стали 60ПП после закалки и низкого отпуска представлены на рисунке 3.

Микроструктура упрочненного слоя и сердцевин изучалась на световом микроскопе «MeF-3» «Reichert» (Австрия). Микроструктура упрочненных слоев дополнительно исследовалась на сканирующем электронном микроскопе высокого разрешения «Mira» «Tescan» (Чехия) и с использованием детектора обратно рассеянных электронов Nordlys II EBSD (Oxford Instruments).

Характеристика и балл мартенсита определялись по ГОСТ 8233, размеры фрагментов мартенсита с использованием метода секущих (метод подсчета пересечений границ зерен по ГОСТ 5639).

Фазовый состав, количество остаточного аустенита определялось на дифрактометре общего назначения ДРОН-3,0 в СиК монохроматизированном излучении, вторичная монохроматизация осуществлялась пиролитическим графитом с вращением образца в собственной плоскости. Количество остаточного аустенита и мартенсита рассчитывалось с помощью программ автоматизированного рентгеновского исследования «WinDif», по отношению интенсивностей линий всех фаз, присутствующих в образце.



Рисунок 1. Сменные детали рабочих органов почвообрабатывающих машин: а – диск сферической бороны; б – диск сошника; в – долото плуга оборотное; г – долото плуга одностороннее

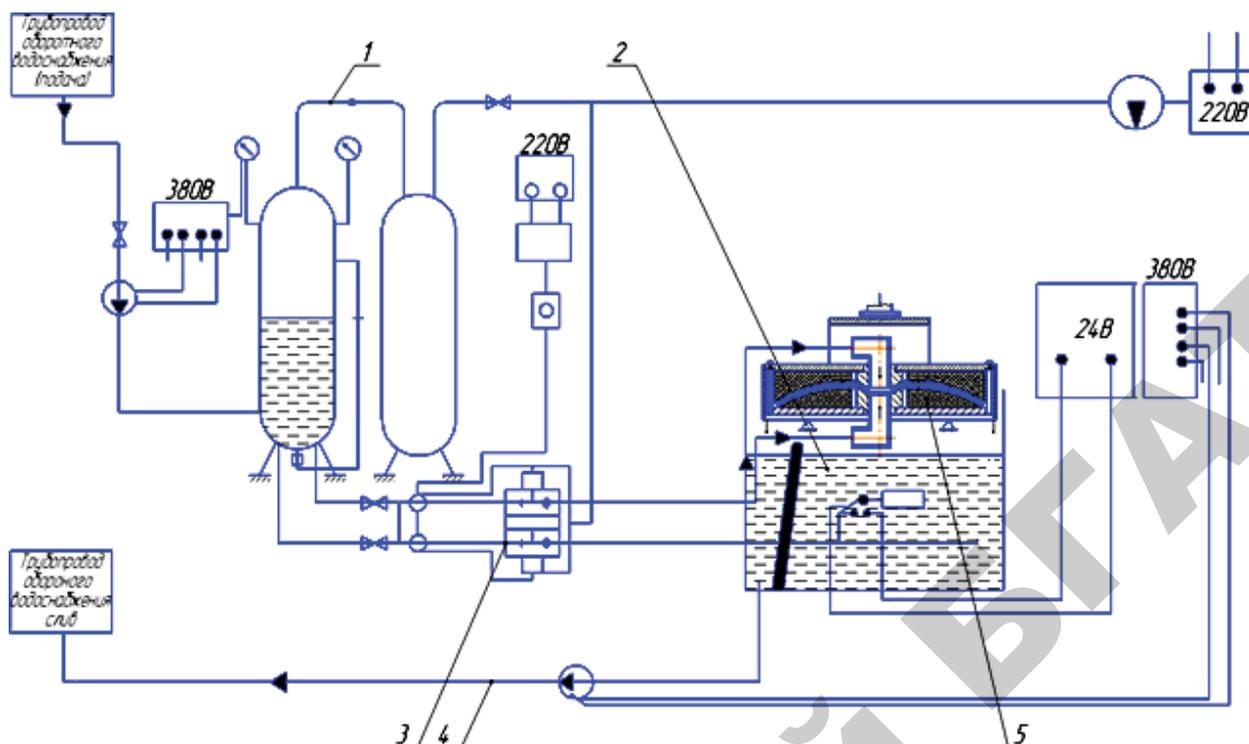


Рисунок 2. Принципиальная схема технологии модифицирования сталей пониженной прокаливаемости путем импульсного закалочного охлаждения: 1 – блок управления расходом ОЖ; 2 – блок управления отводом ОЖ; 3 – система управления клапаном «Бабочка»; 4 – система обратного водоснабжения; 5 – закалочное устройство

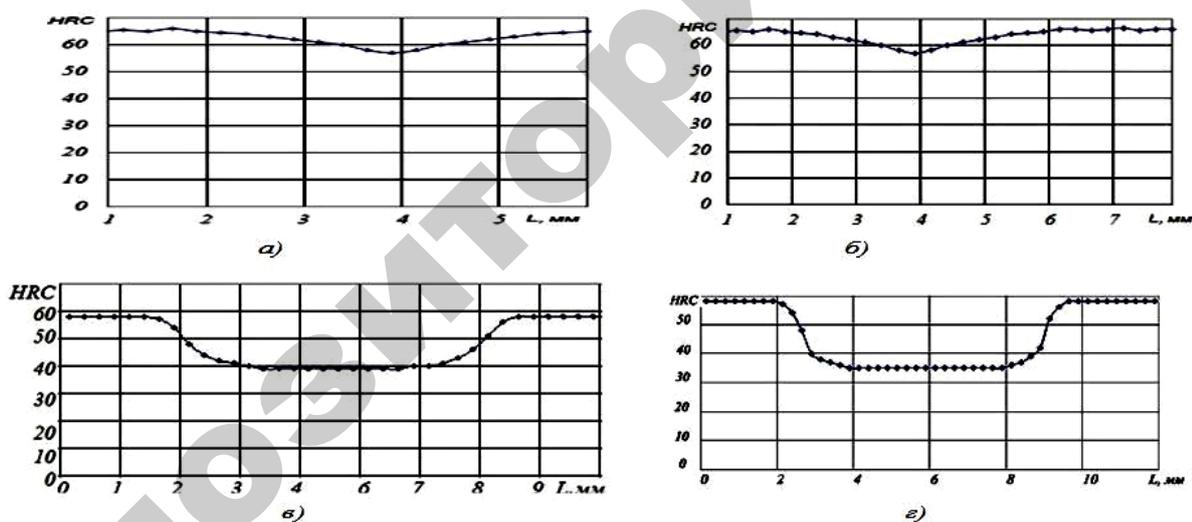


Рисунок 3. Результаты измерения твердости по толщине образцов из стали 60ГП.
Толщина образца: а – 6 мм; б – 8 мм; в – 10 мм; г – 12 мм

Твердость по Роквеллу определялась на твердомере ТК14-250 по ГОСТ 9013. Испытания на трехточечный изгиб проводили на универсальной испытательной машине «Инстрон 1195» в соответствии с ГОСТ 473.8.

Структурное состояние упрочненных образцов изучалось на макро – и микроуровне. Для этих целей из опытных образцов изготавливались шлифы с последу-

ющим травлением, а также использовались фасетки изломов образцов, испытанных на ударную вязкость.

Макроструктурным анализом выявлена неоднородность (негомогенность) структурного строения в поперечном сечении образцов. Видимы при визуальном просмотре макрошлифов (темплетов поперечного сечения) и фасеток изломов образцов зоны в поперечном сечении, отличающиеся своим отражением.

Зоны со стороны внешних поверхностей макрошлифов отсвечиваются более отчетливо с блестящим оттенком, зона его средней части – с матовым оттенком.

В связи с необходимостью изучения структурного строения проводилось измерение микротвердости в поперечном сечении макрошлифов. Было выявлено убывание (диссипация) значений (микротвердости) в направлении к сердцевине образца. Анализ численных значений микротвердости свидетельствует о наличии в поверхностных слоях структуры мартенсита, далее троосто-мартенситном (бейнитном), а в сердцевине – трооститной структуры.

Результаты исследований микроструктуры шлифов на световом микроскопе «MeF-3» фирмы «Reichert» (Австрия) при увеличении $\times 500$ и $\times 80000$ представлены на рисунке 4.

Исследования образцов, модифицированных с высокими скоростями охлаждения ($10000\text{ }^\circ\text{C}/\text{с}$ и более), свидетельствуют о наличии фрагментации мартенсита наноразмерного масштаба, что можно классифицировать как наноструктурные материалы. На рисунке 5 (а, б) показаны микроструктуры упрочненного слоя образца стали 60ПП при увеличении $\times 5000$, $\times 20000$. Максимальная длина игл мартенсита составляет 5-6 нм, толщина игл – порядка 0,2-0,3 нм. Структура образца характерна для мартенсита пакетного (реечного) типа со средним поперечным размером реек 450-55 нм. Твердость по Роквеллу упроч-

ненного слоя – 56-57 HRC.

Фрагментация мартенсита выявлена только при увеличениях $\times 50000$ и $\times 80000$ методом электронной микроскопии (рис. 4 в, г). 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 аморфнокристаллическом состоянии.

Изучение микроструктуры образцов из стали 60ПП показало, что размер фрагментов мартенситных пластин – в диапазоне 0,0144 – 0,0708 нм; 35 % имеют размер менее или равный 0,02 нм; 65 % составляют 0,02 – 0,06 нм (табл. 2).

Результаты исследования твердости, ударной вязкости и коэффициента относительной износостойкости образцов представлены в таблице 3.

Отличительными характеристиками изделий, изготовленных с применением технологии импульсного ускоренного закалочного охлаждения, являются: сочетание высоких показателей твердости (около 60 HRC); прочности (свыше 2000 МПа); ударной вязкости (не менее 1,0 МДж/м²); пластичности, наличие наноразмерного (30-80 нм) структурного строения; абразивной износостойкости (коэффициент 1,8...4,3).

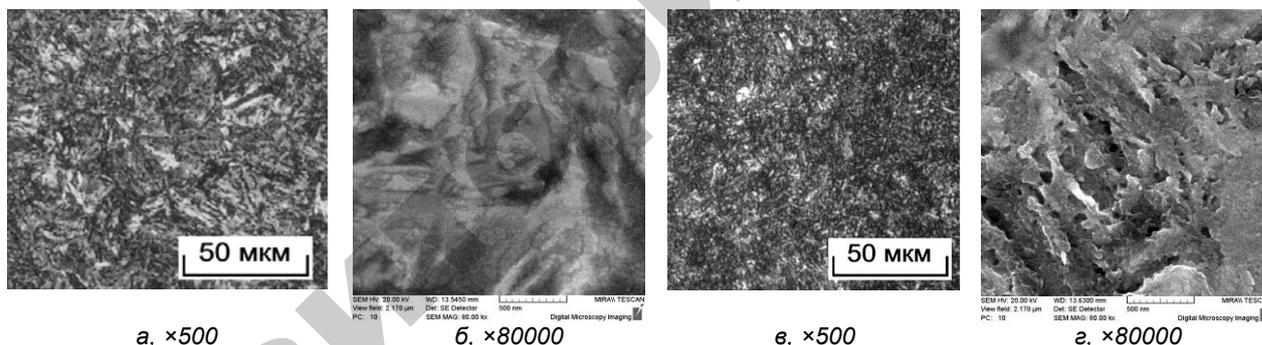


Рисунок 4. Микроструктура упрочненного слоя образцов из сталей 35 (а, б), 60ПП (в, г) после ускоренного охлаждения и низкого отпуска

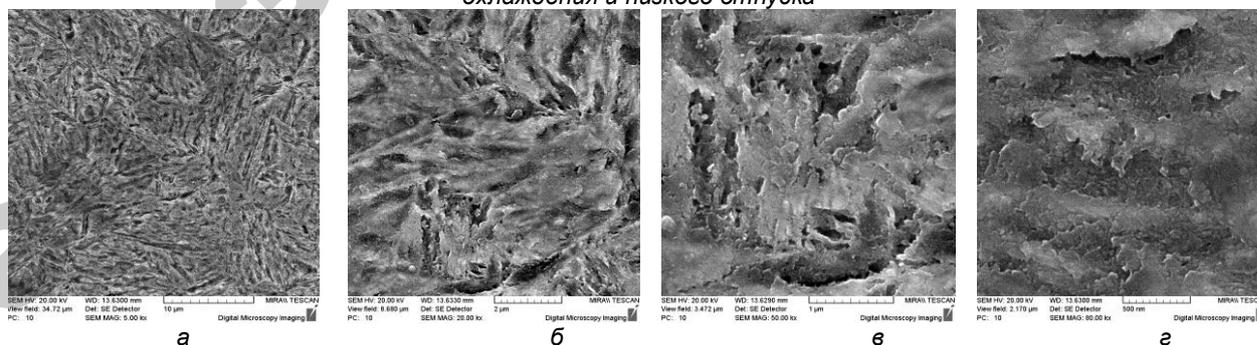


Рисунок 5. Микроструктура упрочненного слоя образца стали 60ПП, толщиной 8 мм после модифицирования импульсным закалочным охлаждением водой и низкого отпуска: а – $\times 5000$; б – $\times 20000$; в – $\times 50000$; г – $\times 80000$

Таблица 2. Разбиение на классы по длине фрагментов мартенситных пластин образца из стали 60ПП

Класс	Кол-во, штук	Интервал, нм	Доля по кол-ву, %	Доля по массе, %
1	35	0 – 0,02	0	11,49
2	48	0,02 – 0,04	35	37,10
3	16	0,04 – 0,06	48	48,08
4	1	0,06 – 0,08	16	6,32
5	0	0,08 – 0,1	1	0
6	0	0,1 – 0,12	0	0
7	0	0,12 – 0,14	0	0
8	0	0,14 – 0,16	0	0
9	0	0,16 – 0,18	0	0
10	0	0,18 – 0,2	0	0

Таблица 3. Результаты исследования твердости, ударной вязкости и коэффициента относительной износостойкости

Материал образца	Твердость, HRC	Ударная вязкость, МДж/м ²	Относительная износостойкость
Сталь 35	50	0,8...0,9 (КСУ)	1,8
Сталь 30ХГСА	50...52	0,9 (КСУ)	2,9
Сталь 60ПП (закалка+низкий отпуск)	54...58	2,7 (КС)	4,3

Выводы

1. Технология ускоренного охлаждения при импульсной закалке стальных заготовок из сталей 35, 60ПП, 30ХГСА обеспечивает получение в заготовках наноструктурированное строение с размером структурного характерного элемента в пределах 30...100 нм.

2. Измельчение структуры обеспечивается в результате высокой скорости охлаждения (около 10000 °С/с), значительно превышающей критические скорости исследуемых марок стали.

3. Технология ускоренного охлаждения при импульсной закалке заготовок из сталей 35, 60ПП, 30ХГСА приводит к повышению прочностных характеристик (на 30-40 %).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Повышение работоспособности деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин / И.Н. Шило [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2010. – 320 с.
2. Ивашко, В.С. Ресурсосберегающая технология и материалы для получения почворезущих деталей сельскохозяйственной техники / В.С. Ивашко, Г.Ф. Бетенья, Г.И. Анискович, Н.А. Зайко, А.В. Кривцов, Д.П. Литовчик // Вестник Полоцкого государственного университета, 2005. – №6. – С. 22-26.
3. Бетенья, Г.Ф. Модификация структуры и механических свойств стали пониженной прокаливаемости при импульсном закалочном охлаждении жидкостью / Г.Ф. Бетенья, Г.И. Анискович // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – 2013. – Vol. 15. No 7. – S. 79-85.
4. Технологический модуль для закалки деталей: пат. 2139 Респ. Беларусь / Г.Ф. Бетенья, Н.А. Зайко, А.В. Кривцов, Д.П. Литовчик.
5. Бетенья, Г.Ф. Работоспособность почворезущих деталей сельскохозяйственной техники / Г.Ф. Бетенья, А.В. Кривцов // Агропанорама, 2003. – № 3. – С. 19-24.
6. Ивашко, В.С. Ресурсосберегающая технология изготовления почворезущих деталей / В.С. Ивашко, Г.Ф. Бетенья, Г.И. Анискович, Н.А. Зайко, А.В. Кривцов // Машиностроение: сб. науч. тр. – Мн.: БНТУ, 2003. – С. 90-92.
7. Бутенко, В.И. Научно-технические технологии создания высокоресурсных деталей машин: монография / В.И. Бутенко, Д.С. Дуров, Р.Г. Шаповалов. – Таганрог: ЮФУ, 2014. – 404 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 06.05.2015

Радиоволновой влагомер зерна

Предназначен для непрерывного измерения влажности зерна в процессе сушки на зерносушильных комплексах.

Влагомер обеспечивает непрерывный контроль влажности зерна в потоке и обеспечивает автоматическую коррекцию результатов измерения при изменении температуры материала, имеет аналоговый выход 4-20 мА, а также интерфейс RS-485.



Основные технические данные

Диапазон измерения влажности зерна	от 9 до 25%
Основная абсолютная погрешность	не более 0,5%
Температура контролируемого материала	от +5 до +65°С
Цена деления младшего разряда блока индикации	0,1%
Напряжение питания	220 В 50Гц,
Потребляемая мощность	30ВА