

Б.Е. Луканин

**ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА РЕЖИМОВ
ЛАЗЕРНОЙ ТЕРМООБРАБОТКИ ПЛУЖНОГО ЛЕМЕХА
ИЗ СТАЛИ 65Г**

Введение. Техника, эксплуатируемая в лесопарковом и сельском хозяйстве России, испытывает значительные нагрузки на рабочие органы при её эксплуатации. Функционирование рабочих органов почвообрабатывающих машин осуществляется в условиях постоянного абразивного и ударно-абразивного изнашивания, а также подвергается воздействию агрессивных сред. Поэтому 70–80% неисправностей приходится на износ (потерю массы) рабочего органа, а остальные 20–30% приходится на их деформацию (искажение первоначальной формы) [Сидоров, 2007]. Это чревато внеплановыми остановками техники на время выполнения технологических операций для замены повреждённых деталей, что неизбежно приводит к существенным экономическим потерям. В современных условиях резко выросла цена простоев, вызванных выходом из строя рабочих органов. По данным профессора Курчаткина В.В., час простоя трактора класса 501 кН в напряженный период полевых работ на конец 2000 г. приносил хозяйствам убыток в размере 45 руб. [Курчаткин, 2000]. По среднестатистическим данным предприятий агропромышленного комплекса для замены одного рабочего органа требуется от 15 мин до нескольких часов. Это означает, что реальные общие потери от простоев техники могут превышать стоимость повреждённых деталей в несколько раз.

Поэтому долговечность и надёжность рабочих органов являются основными характеристиками, определяющими технический уровень почвообрабатывающих машин. Для лесного плуга рабочий орган – это корпус. Наиболее тяжело нагруженной частью корпуса является лемех. Лемех воспринимает от 50 до 60 % тягового сопротивления корпуса за счёт чего быстро изнашивается. Скорость абразивного износа оценивается в 5–400 мкм/ч. По данным исследований при износе лезвия плужного лемеха до 5–7 мм (по толщине) неравномерность глубины хода достигает 62–68%, тяговое сопротивление увеличивается до 153–156%, расход горючего возрастает до 125–138%, а производительность пахотных агрегатов снижается до 52–59% [Черноиванов и др., 2003]. Также стоит отметить, что тяжёлые условия эксплуата-

ции рабочих органов лесохозяйственных машин (знакопеременные нагрузки, удары, абразивный износ, коррозия) приводят к быстрому затуплению режущих кромок, изменениям формы и размеров деталей, что в итоге приводит к сокращению срока службы, увеличению времени и трудоемкости обслуживания почвообрабатывающих механизмов и снижению экономической эффективности обработки почвы. По этой причине поверхность деталей рабочих органов подвергают упрочнению разными способами. Следовательно, кроме выбора материала изготовления лемеха, важную роль играет выбор способа обработки и упрочнения готового изделия.

На сегодняшний день существуют три основных метода увеличения износостойкости плужных лемехов: применение износостойких материалов при изготовлении, нанесение износостойких покрытий, термическая обработка или армирование поверхности лемеха. Наименее изученным, но, по нашему мнению, весьма перспективным способом поверхностного термоупрочнения рабочих органов почворежущих машин, является лазерное термоупрочнение (лазерная закалка), с использованием оборудования на базе итербиевых волоконных лазеров высокой мощности.

Цель исследования заключается в том, чтобы провести анализ влияния режимов работы лазерной головки для проведения поверхностной термообработки плужных лемехов из стали 65Г на показатели физико-механических характеристик и эксплуатационных свойств.

Материалы и методика исследования. Лемех работает в абразивной среде и испытывает значительные динамические нагрузки. При контакте корпуса плуга с препятствиями в почве в виде камней, почвенных уплотнений и твердых участков, нагрузка на лемех возрастает многократно по сравнению с ее значением при нормальной эксплуатации [Соловьев, Лялякин, 2014; Сидоров, 1998]. Поэтому, чем меньше износ лемеха, тем большее количество почвы можно обработать с его помощью. То есть, одной из ключевых характеристик лемеха является его стойкость к абразивному износу или износостойкость. Это означает, что материал для лемеха должен быть, как минимум, износостойким. Из исследований М.Н. Ерохина и В.С. Новикова известно, что наибольшей относительной износостойкостью из легированных сталей, которые используют для производства рабочих органов почворежущих машин, обладают стали 40ХС и 40Х, а стали 45, Л53 и 65Г уступают им как по износостойкости, так и по прочности. Однако стоимость легированных сталей 40Х и 40ХС значительно выше стоимости низколегированных сталей 45, Л53, 65Г. Поэтому для производства лемехов, чаще всего, выбирают стали марок 45, Л53 и 65Г [Ерохин, Новиков, 2008].

Основное влияние на износостойкость легированных сталей в условиях абразивного изнашивания оказывает содержание в них углерода, хрома, а также их твердость. Для определения указанных параметров используют корреляционное уравнение зависимости относительной износостойкости сталей: $\varepsilon = 0,24x_1 + 0,07x_2 + 0,11x_3 - 3,54$, где ε – относительная износостойкость стали; x_1 – содержание углерода, %; x_2 – содержание хрома, %; x_3 – твердость, HRC [Новиков, Самойленко, 2008]. Таким образом, при повышении твёрдости материала возрастает и его стойкость к абразивному износу или износостойкость.

Поскольку сталь марки 65Г довольно часто используется в производстве лемехов, она была выбрана нами для проведения данных исследований. Сталь 65Г – это рессорно-пружинная сталь со средним содержанием углерода (0,65%) и добавлением марганца (около 1%). Эта сталь характеризуется высокой твердостью, износостойкостью, способностью длительное время удерживать остроту режущей кромки. Химический состав стали 65Г, соответствует ГОСТ 14959-2016.

Из плоского листового проката стали этой марки толщиной 4 мм, при помощи установки лазерной резки UNIMACH LaserCut Ultra, были вырезаны образцы длиной 300 мм и шириной 65 мм в количестве 12 шт. Твёрдость неупрочнённых образцов составила HRC 11-14. Следует отметить, что все значения твёрдости образцов были получены экспериментальным путём, при помощи универсального твердомера Struers DuraVision-30. Для проведения лазерной термообработки образцов из стали 65Г была создана экспериментальная технологическая установка, в состав которой входил непрерывный иттербиевый волоконный лазер со средней выходной мощностью 10 кВт производства ООО НТО «ИРЭ-Полус», работающий на длине волны 1070 ± 10 нм, и оптическая головка IPG D30W (рис. 1). Оптическая головка перемещалась по заданной траектории с помощью роботизированного манипулятора KUKA KR-60 HA. Образцы закрепляли неподвижно на монтажном столе. Лазерный источник и оптическая головка охлаждались с использованием чиллера системы вода – воздух, типа IPG LC-170.

Выбор основных компонентов экспериментальной технологической установки был сделан исходя из геометрической формы и необходимой плотности мощности в лазерном пятне. Необходимо отметить, что лазерная головка IPG D30W серии Wobble с модулем колебаний луча даёт возможность задавать разные траектории движения луча, что позволяет получить на поверхности образца пятна разной геометрической формы с равномерным распределением мощности в зоне термического воздействия. Принципиальная оптическая схема лазерной головки для расчёта необходимых параметров системы представлена на рис. 2.



Рис. 1. Оптическая головка IPG D30W

Fig. 1. IPG D30W Welding Head with Wobble

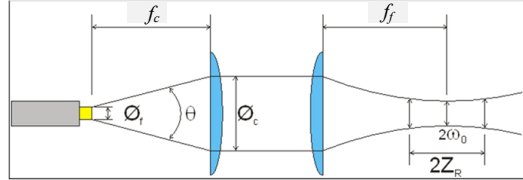


Рис. 2. Оптическая схема лазерной головки для расчёта, где f_c – фокусное расстояние коллиматора, мм, а f_f – фокусное расстояние фокусирующей линзы, мм

Fig. 2. Optical scheme of the laser head for calculation, where f_c is the focal length of the collimator, mm, and f_f is the focal length of the focusing lens, mm

Расчёт параметров лазерного излучения провели по следующим формулам:

$$BBP = \frac{\varnothing_f}{2} \frac{\theta}{2} = \frac{M^2 \lambda}{\pi}, \quad M^2 = \frac{BPP}{BPP_0}, \quad BPP_0 = \frac{\lambda}{\pi}, \quad \varnothing_c = f_c \theta, \quad 2\omega_0 = \frac{f_f}{f_c} \varnothing_f,$$

где BPP (beam parameter product) – параметр качества пучка, мм/рад; $\varnothing_f$ – диаметр транспортного волокна, мкм; $\varnothing_a$ – диаметр активного волновода, мкм; λ – длина волны, мкм; $\varnothing_c$ – размер пятна на коллиматоре, мкм; M^2 – отношение угла расходимости лазерного пучка (θ , рад) к углу расходимости «эталонного» гауссова пучка ($\varnothing_g$, рад); $2\omega_0$ – размер пятна в фокусе, мкм; z_R – рэлеевская длина, мм. Величину $2z_R$ называют глубиной фокуса лазерного пучка [Ширанков и др., 2013; Климков, Хорошев, 2014].

В результате проведённых расчётов были получены значения параметров настройки оптической головки IPG D30W, необходимые для выполнения поставленных задач. Результаты расчётов параметров настройки оптической головки представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчётов параметров настройки оптической головки

The results of calculations of the optical head settings

Параметр	Значение
Длина волны λ , мкм	1,07
Фокусное расстояние коллиматора f_c , мм	100
Угол расходимости θ , рад	0,16
Диаметр транспортного волокна ϕ_f , мкм	50
Параметр качества пучка BPP_0 , мм мрад	0,34
Параметр качества пучка BPP , мм мрад	2
Параметр качества пучка M^2 , мм мрад	5,87
Размер пятна на коллиматоре ϕ_c , мм	16
Размер пятна в фокусе $2\omega_0$, мкм	200
Рэлеевская длина z_R , мм	5
Глубина фокуса $2z_R$, мм	10

В ходе эксперимента при обработке поверхности образцов были применены 3 разных оптических режима движения лазерного луча:

- линейный режим – траектория движения луча похожа на зубья пилы (рис. 3);
- круговой режим – траектория движения луча похожа на витую пружину (рис. 4);
- режим «круглое пятно» – движение по прямой без колебаний в 2 прохода (рис. 5).

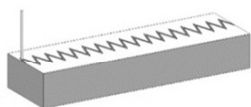


Рис. 3. Линейный режим

Fig. 3. Linear mode

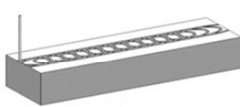


Рис. 4. Круговой режим

Fig. 4. Circular mode

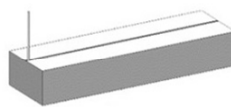


Рис. 5. Режим «круглое пятно»

Fig. 5. Round spot mode

Таким образом, 12 образцов условно поделили на 3 группы, в зависимости от режима движения лазерного луча, и получили по 4 образца в каждой группе. Кроме того, в каждой группе образцы разделили на

2 подгруппы по способу охлаждения после термообработки: на воздухе или в воде. Мощность лазерного излучения подбирали экспериментально, делая предварительные проходы с визуальным осмотром образцов. Критерием подходящей мощности являлось отсутствие следов расплавления металла на обрабатываемой поверхности образца. Шаг изменения выходной мощности лазера составлял 0,25 кВт, в сторону уменьшения. Для наглядности исходная информация по образцам и режимам их обработки представлена в табл. 2.

Таблица 2

Исходная информация по образцам и режимам их обработки

Initial information on samples and their processing modes

№ образца	Режим упрочнения	Способ охлаждения	Мощность излучения, кВт	Скорость перемещения луча, мм/с	Амплитуда колебания луча, мм	Фокус, мм	Частота колебания, Гц
1	Линейный режим	Воздух	2,25	10	10	125	100
2		Воздух	2,25	10	10	125	100
3		Вода	2,25	10	10	125	100
4		Вода	2,25	10	10	125	100
5	Круговой режим	Воздух	2,25	10	10	125	100
6		Воздух	2,25	10	10	125	100
7		Вода	2,25	10	10	125	100
8		Вода	2,25	10	10	125	100
9	Круглое пятно	Воздух	1,00	10	—	250	—
10		Воздух	1,25	10	—	250	—
11		Вода	1,25	10	—	250	—
12		Вода	1,25	10	—	250	—

После термоупрочнения образцов из стали 65Г с использованием итербиевого волоконного лазера ЛС-10 и оптической головки IPG D30W с модулем колебаний луча, обработанные лазерным излучением образцы были подготовлены для дальнейшего изучения формы и глубины зоны термоупрочнения, микроструктуры упрочнённого слоя и механических свойств материала (рис. 6). Образцы разрезали на более мелкие части (заготовки шлифов) для проведения металлографических исследований. Исследования показателей качества выполняли в испытательной лаборатории

ООО НТО «ИРЭ-Полюс» с использованием современного испытательного и измерительного оборудования:

- универсальный твердомер Struers DuraVision-30;
- микротвердомер Struers DuraScan-70;
- электромеханическая напольная машина W+B LFM-250;
- автоматический экстензометр MFL 300-B;
- копер маятниковый W+B PH-300 напольный.

Форму зоны термического воздействия лазерного излучения, микроструктуру стали, глубину закалки и состояние поверхности оценивали с помощью оптического микроскопа Olympus GX-51 с увеличением 5–1000 крат, оснащенного цифровой камерой с разрешением 12,8 млн пикселей. Были произведены механические испытания на статическое растяжение, измерения твёрдости и микротвёрдости по глубине и ширине упрочнённого слоя, а также исследования стойкости образцов к ударной нагрузке.

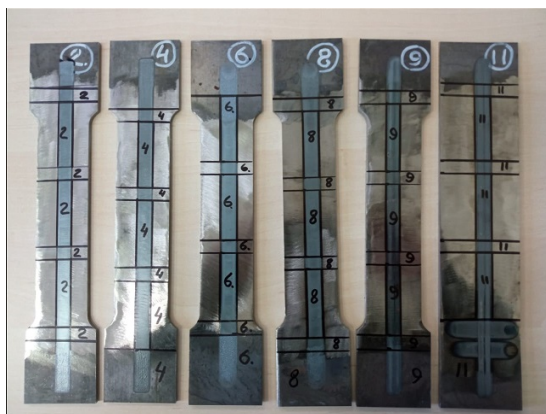


Рис. 6. Упрочнённые образцы из стали 65Г

Fig. 6. Hardened steel samples 65G

Обсуждение и результаты исследования. В результате металлографических исследований установлено следующее. В зависимости от траектории движения лазерного луча, глубина и форма упрочнённого слоя получились разными. Как видно из рис. 7, зона упрочнённого слоя, при линейном режиме упрочнения (образцы 1–4) имеет ваннообразную форму с продолжительным и ровным дном. Глубина упрочнённого слоя составила от 612 до 630 мкм, при ширине 11142 мкм. Твёрдость упрочнённого слоя составила HRC 54.



Рис. 7. Форма зоны упрочнённого слоя при линейном режиме

Fig. 7. The shape of the hardened layer zone in linear mode

После измерения микротвёрдости зоны термического упрочнения, получили распределение значений HV по ширине и глубине упрочнённого слоя обработанных образцов. Измерения микротвердости на шлифах проводились микротвердомером модели DURASCAN – 70 с автоматическим анализом отпечатка индентора по методу Виккерса в соответствии с ГОСТ 9450-76 с нагрузкой 300 г и шагом измерения 100 мкм по глубине и 300 мкм по ширине. График зависимости микротвёрдости по ширине и глубине упрочнённого слоя при линейном режиме представлен на рис. 8.

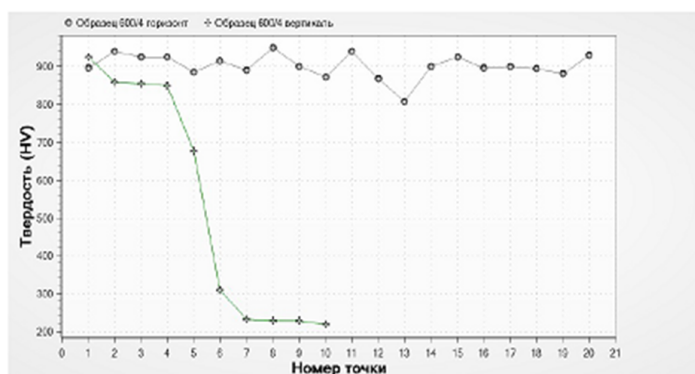


Рис. 8. Зависимость микротвёрдости по ширине и глубине при линейном режиме

Fig. 8. Dependence of microhardness in width and depth in linear mode

При круговом режиме термообработки образцы 5–8 получили зону термоупрочнения полукруглой формы сильно вытянутой по ширине рис. 9. Глубина упрочнённого слоя составила от 289 до 479 мкм, ширина 12055 мкм, при твёрдости упрочнённого слоя HRC 29-45. График зависимости микротвёрдости по ширине и глубине при круговом режиме представлен на рис. 10.

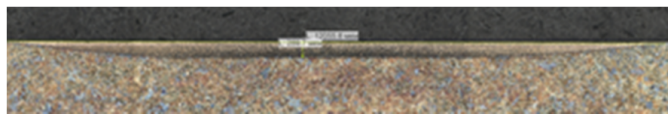


Рис. 9. Форма зоны упрочненного слоя при круговом режиме
Fig. 9. The shape of the hardened layer zone in a circular mode

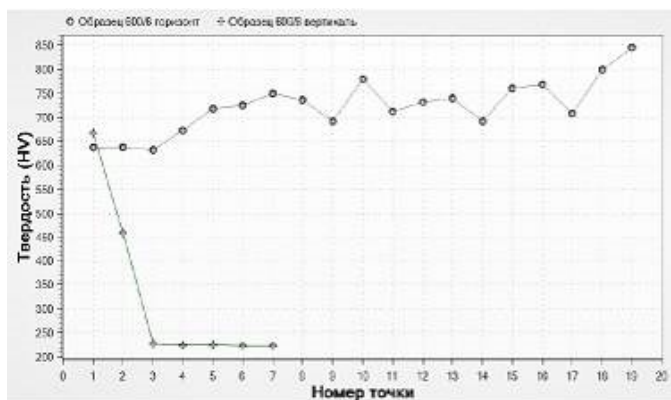


Рис. 10. Зависимость микротвёрдости по ширине и глубине
при круговом режиме

Fig. 10. The dependence of microhardness in width and depth
in the circular mode

В результате поверхностной термообработки режимом круглого пятна в 2 прохода (образцы 9–12), была получена форма зоны термоупрочнения, состоящая из двух, соприкасающихся полукругов рис. 11. Такая форма зоны термоупрочнения стала возможна по причине того, что лазерный луч, имея форму круглого пятна, двигался с постоянной скоростью, без каких-либо колебаний. Лазерный луч прошёл заданное расстояние сначала в одну сторону, а потом в обратную, по той же траектории, со смещением в сторону на ширину диаметра пятна. Глубина упрочнённого слоя первого сегмента составила 1036 мкм, а второго сегмента 756 мкм. Общая ширина упрочнённого слоя получилась 10588 мкм. Твёрдость первого сегмента – HRC 54, второго – HRC 54, в месте соприкосновения зон – HRC 21. График зависимости микротвёрдости по ширине и глубине при режиме круглого пятна представлен на рис. 12.

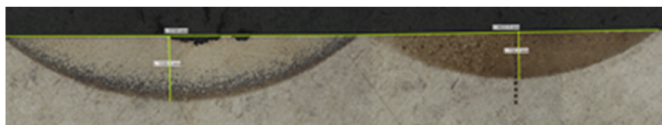


Рис. 11. Форма зоны упрочненного слоя в режиме круглого пятна

Fig. 11. The shape of the hardened layer zone in the round spot mode

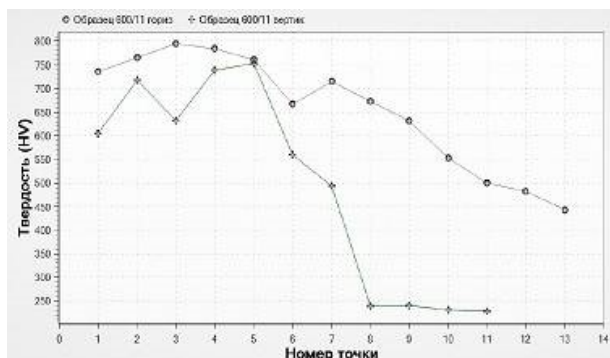


Рис. 12. Зависимость микротвёрдости по ширине и глубине при режиме круглого пятна

Fig. 12. The dependence of microhardness in width and depth in the round spot mode

Результаты измерения механических свойств, упрочнённых образцов приведены в табл. 3. Показатели твёрдости рассматривали как качественную оценку твёрдости упрочнённого слоя, поскольку измерения были произведены на неподготовленных образцах, сразу после лазерного термоупрочнения, с целью оценить эффект от обработки материала при том или ином режиме. После оценки результатов проведённых исследований, по данным, представленным на рис. 7–12 и в табл. 3, можно сделать заключение, что весомым преимуществом лазерной термообработки по сравнению с традиционными методами термической обработки материалов – это отсутствие дополнительных операций отпуска. Отпуск устраняет внутренние напряжения, но при этом снижает твёрдость обработанного слоя. Можно сравнить: твёрдость стали 65Г после термической обработки и отпуска 44–49 HRC, а после упрочнения лазерным пятном 54 HRC. Следует отметить, что получение высоких физико-механических свойств связано с высокими скоростями нагрева и охлаждения, которые составляют 104–106 °/с [Бирюков, 2009].

Таблица 3

Результаты измерения механических свойств, упрочнённых образцов**The results of measuring the mechanical properties of hardened samples**

№ образца	Режим	Способ закали	HRC	HV	KCU, Дж/см ²	Предел прочности при растяжении σ_b , МПа
Н	Исходный материал	Исходный материал	13	190	26,28	707,7
			14	190	22,12	
			11	180	20,19	
2	Линейный режим	Воздух	54	600	6,41	496,33
			54	600	8,33	
			54	600	8,65	
4	Линейный режим	Вода	54	600	8,33	464,5
			54	600	8,97	
			54	600	7,05	
6	Круговой режим	Воздух	37	340	24,68	564,73
			29	270	9,62	
			37	330	8,65	
8	Круговой режим	Вода	37	330	8,01	542,38
			31	290	7,69	
			45	450	16,99	
9	Круглое пятно	Воздух	1 пр/М/2 пр	1 пр/М/2 пр	–	–
			54/20/26	600/220/250	13,14	582,59
			54/18/32	600/210/300	13,46	
			54/15/28	600/190/270	10,58	
11	Круглое пятно	Вода	50/25/54	530/250/600	10,58	569,23
			54/21/54	600/220/600	7,69	
			54/22/54	600/230/600	10,32	

В результате лазерное упрочнение на выбранных режимах обеспечивает достижение заданных физико-механических свойств образцов из стали 65Г и, соответственно, эксплуатационных характеристик. Это свиде-

тествует о том, что лазерное термоупрочнение (закалка) с использованием оборудования на базе иттербиевых волоконных лазеров высокой мощности является эффективным способом поверхностного термоупрочнения рабочих органов почвообрабатывающих и почвообрабатывающих машин.

Выводы.

1. При всех трёх режимах лазерного термоупрочнения твёрдость поверхностного слоя образцов, по сравнению с исходной, выросла, соответственно: в 3,2 раза (при линейном режиме), в 1,9 раз (при круговом режиме с охлаждением в воде), в 1,7 раз (при круговом режиме с охлаждением на воздухе). При этом, среда охлаждения образцов (вода или воздух) при линейном упрочнении на твёрдость влияния не оказывает.

2. При поверхностном лазерном термоупрочнении не имеет значения, в какой закалочной среде происходит охлаждение.

3. Наиболее эффективным режимом лазерного термоупрочнения, с точки зрения обеспечения заданных свойств, является линейный метод. При этом режиме глубина и твёрдость упрочнённого слоя достигли наибольших значений.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

Бирюков В.П. Восстановление и упрочнение поверхностей лазерным излучением // Фотоника. 2009. № 3. 14 с.

Ерохин М.Н., Новиков В.С. Повышение прочности и износостойкости лемеха плуга // Вестник ФГО ВПО МГАУ. 2008. № 3. С. 100–107.

Климков Ю.М., Хорошев М.В. Лазерная техника: учеб. пособие. М.: МИИ-ГАиК, 2014. С. 30–44.

Курчаткин В.В. Надежность и ремонт машин. М.: Колос, 2000.

Новиков В.С., Самойленко А.Н. Математическая модель зависимости износостойкости материалов от химического состава и твердости // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. 2008. № 3. 126 с.

Сидоров С.А. Повышение долговечности и работоспособности рабочих органов почвообрабатывающих машин и орудий, применяемые в сельском и лесном хозяйстве : дисс. ... д-ра техн. наук С.А.Сидоров. Место защиты: Всерос. науч.-исслед. ин-т с.-х. машиностроения им. В.П. Горячкина. М., 2007. 391 с.

Сидоров С.А. Технический уровень и ресурс рабочих органов сельхозмашин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1998. № 3. 29 с.

Соловьев С.А., Лялякин В.П. Состояние и перспективы упрочнения и восстановления деталей почвообрабатывающих машин // Труды ГОСНИТИ. 2014. Т. 115. С. 96–104.

Черноиванов В.И., Близких В.В., Северный А.Э. Техническое обслуживание и ремонт машин в сельском хозяйстве. М.–Челябинск: ГОСНИТИ, ЧГАУ, 2003. 992 с.

Ширанков А.Ф., Носов П.А., Пахомов И.И., Григорьянц А.Г., Якунин В.П., Третьяков Р.С. Разработка лазерно-оптических систем технологических установок на основе теории лазерной оптики // Труды МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2013. № 610. С. 230–249.

Reference

Biriukov V.P. Vosstanovlenie i uprochnenie poverkhnostei lazernym izlucheniem. *Fotonika*, 2009, no. 3. 14 p. (In Russ.)

Chernoivanov V.I., Blizkikh V.V., Severnyi A.E. Tekhnicheskoe obsluzhivanie i remont mashin v sel'skom khoziaistve. M.–Cheliabinsk: GOSNITI, CHGAU, 2003. 992 p. (In Russ.)

Erokhin M.N., Novikov V.S. Povyshenie prochnosti i iznosostoikosti lemekha pluga. *Vestnik FGO VPO MGAU*, 2008, no. 3, pp. 100–107. (In Russ.)

Klimkov U.M., Horoshev M.V. Lazernaia tekhnika: ucheb. posobie. M.: MII GAIK, 2014, pp. 30–44. (In Russ.)

Kurchatkin V.V. Nadezhnost' i remont mashin. M.: Kolos, 2000. (In Russ.)

Novikov V.S., Samoilenko A.N. Matematicheskaiia model' zavisimosti iznosostoikosti materialov ot khimicheskogo sostava i tverdsti. *Vestnik FGOU VPO MGAU*, 2008, no. 3. 126 p. (In Russ.)

Shirankov A.F., Nosov P.A., Pakhomov I.I., Grigor'iants A.G., Iakunin V.P., Tre't'iakov R.S. Razrabotka lazerno-opticheskikh sistem tekhnologicheskikh ustanovok na osnove teorii lazernoï optiki. *Trudy MGTU im. N.E. Baumana*, 2013, no. 610, pp. 230–249. (In Russ.)

Sidorov S.A. Tekhnicheskii uroven' i resurs rabochikh organov sel'khoz mashin. *Traktory i sel'skokhoziaistvennyye mashiny*, 1998, no. 3. 29 p. (In Russ.)

Sidorov, S.A. Povyshenie dolgovechnosti i rabotosposobnosti rabochikh organov pochvoobrabatyvaiushchikh mashin i orudii, primeniaemye v sel'skom i lesnom khoziaistve : diss. ... d-ra tekhn. nauk. Mesto zashchity: Vseros. nauch.-issled. in-t p.-kh. mashinostroeniia im. V.P. Goriachkina. M., 2007. 391 p. (In Russ.)

Solov'ev S.A., Lialiakin V.P. Sostoianie i perspektivy uprochneniia i vosstanovleniia detalei pochvoobrabatyvaiushchikh mashin. *Trudy GOSNITI*, 2014, vol. 115, pp. 96–104. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 25.12.2023

Луканин Б.Е. Особенности выбора режимов лазерной термообработки плужного лемеха из стали 65Г // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2024. Вып. 250. С. 288–302. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.250.288-302

Лазерная термообработка является эффективным способом улучшения механических свойств и повышения износостойкости металлических деталей. В настоящей статье были рассмотрены особенности выбора режимов лазерной термообработки плужного лемеха из стали 65Г. Данный вид стали относится к углеродистым легированным сталям с высоким содержанием углерода, марганца и кремния. Она характеризуется высокой твердостью и прочностью, что делает ее прекрасным материалом для изготовления плужных лемехов, которые подвергаются значительным механическим нагрузкам и трению с почвой. Лазерная термообработка позволяет контролировать температурные зоны локально, что дает возможность изменять структуру и свойства материала для достижения оптимальных характеристик. При обработке плужных лемехов лазером применяются такие режимы, как нагрев, закалка и отпуск. Оптимальный выбор режимов лазерной термообработки плужного лемеха из стали 65Г позволит достичь требуемых механических свойств и повысить износостойкость детали. Комплексное рассмотрение свойств материала, геометрии и технических возможностей лазерной обработки позволит определить оптимальные параметры и достичь желаемых результатов.

Ключевые слова: лемех, лазерное термоупрочнение, твёрдость, сталь, излучение.

Lukanin B.E. Features of the choice of laser heat treatment modes for a plow share made of 65G steel. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2024, iss. 250, pp. 288–302 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2024.250.288-302

Laser heat treatment is an effective way to improve the mechanical properties and increase the wear resistance of metal parts. This article examined the features of choosing laser heat treatment modes for a plow share made of 65G steel. This type of steel belongs to carbon alloy steels with a high content of carbon, manganese and silicon. It is characterized by high hardness and strength, which makes it an excellent material for the manufacture of plow shares, which are subject to significant mechanical loads and friction with the soil. Laser heat treatment allows you to control temperature zones locally, which makes it possible to change the structure and properties of the material to achieve optimal characteristics. When processing plow shares with a laser, modes such as heating, hardening and tempering are used. The optimal choice of laser heat treatment modes for a plow share made of 65G steel will allow you to achieve the required mechanical properties and increase the wear resistance of the part. A comprehensive consideration of the material properties, geometry and technical capabilities of laser processing will allow us to determine the optimal parameters and achieve the desired results.

Key words: ploughshare, laser heat strengthening, hardness, steel, radiation.

ЛУКАНИН Борис Евгеньевич – аспирант Мытищинского филиала МГТУ имени Н.Э. Баумана, начальник сектора сертификации и аттестации отдела САС ООО НТО «ИРЭ-Полюс» г. Фрязино. ORCID ID: 0009-0008-8277-0688.

141190, Площадь имени академика Б.А. Введенского, д. 3, стр. 5, г. Фрязино, г.о. Фрязино, Московская обл., Россия. E-mail: Boris.Lukanin@yandex.ru

LUKANIN Boris E. – PhD student of the Mytishchi branch of the Bauman Moscow State Technical University, Head of the Certification and Attestation Sector of the SAS Department of NTO IRE-Polyus LLC Fryazino. ORCID iD: 0009-0008-8277-0688.

141190. Academician B.A. Vvedensky sq. 3. Build. 5. Fryazino. Moscow region. Russia. E-mail: Boris.Lukanin@yandex.ru