

УДК 537.533; 533.9.03; 621.384

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ ТЕРМООБРАБОТКА БЫСТРОИЗНАШИВАЮЩИХСЯ ДЕТАЛЕЙ

*канд. физ.-мат. наук, доц. В.Г. ЗАЛЕССКИЙ, канд. техн. наук Ю.П. ГОЛУБЕВ
(Полоцкий государственный университет),
Ю.В. МАЗАНИК
(РУП «Минский тракторный завод»)*

Рассмотрены вопросы использования электронно-лучевых технологий для повышения износостойкости деталей машин на примере термообработки при помощи электронной пушки с плазменным эмиттером. Проведен анализ и выявлены возможности локального электронно-лучевого воздействия на быстроизнашиваемые поверхности деталей.

Введение. Упрочнение материала термообработкой предполагает некоторое термическое воздействие с целью создания слоев, обладающих определенным комплексом физико-механических свойств. Однако в большинстве случаев упрочнению необходимо подвергать только часть поверхности изделия, причем иногда незначительную по отношению ко всей остальной площади поверхности. Более того, в ряде изделий требуется сочетание упрочненной части поверхности и поверхности, где упрочнение должно быть исключено (то же самое и по толщине). В таких случаях, когда применение традиционных технологий упрочнения невозможно, целесообразно использование концентрированных источников энергии (лазерный луч, электронные и ионные пучки) [1,2].

Однако наряду с такими преимуществами корпускулярно-лучевых технологий, как энерго- и ресурсосбережение, возникает трудность в обеспечении однородности свойств упрочняемой поверхности по всей площади. Технологически эту задачу, как правило, решают сканированием остросфокусированного потока по поверхности или с помощью расфокусированных потоков с требуемой площадью сечения [2]. При этом, во-первых, задача осложняется характерным для расфокусированных потоков гауссовым распределением плотности мощности в пучке. Во-вторых, для обеспечения развертки пучка электронов или лазерного луча при сканировании по поверхности требуется дополнительное оборудование. При этом однородность свойств по поверхности не обеспечивает ни один из названных способов.

Перспективным для решения данной задачи представляется использование плазменных источников электронов, обеспечивающих получение электронных пучков с площадью сечения, соответствующей площади поверхности, требующей термообработки [3,4].

В работе приводится описание плазменного источника электронов, обеспечивающего высокую однородность распределения плотности мощности по сечению пучка, а также результаты локальной термообработки деталей тракторостроения.

Конструкция плазменного источника электронов представлена на рис. 1.

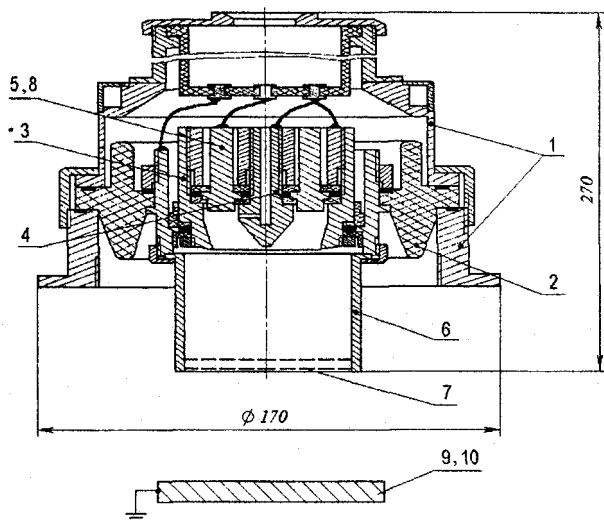


Рис. 1. Конструкция плазменного источника электронов:
1 – корпус; 2 – изолятор; 3, 4 – катоды; 5 – анод;
6 – экспандер; 7 – эмиттерный электрод; 8 – магниты;
9 – ускоряющий электрод; 10 – обрабатываемая поверхность

В данном источнике реализованы физические и электротехнические принципы, обеспечивающие повышение однородности распределения плотности мощности по сечению и стабильности технологических параметров [5, 6]. Во-первых, однородность распределения плотности мощности по сечению достигается за счет более интенсивной генерации частиц в плазме в периферийных областях (распределение плотности тока показано на рис. 2). Во-вторых, реализован двухсеточный способ стабилизации плазменной границы, обеспечивающий высокую стабильность эмиссионных характеристик источника в широком диапазоне рабочих условий. В-третьих, данная конструкция предусматривает возможность работы источника в стационарном и импульсном режимах. В-четвертых, с помощью данной конструкции возможно получение электронных пучков с сечением, отличным от кругового.

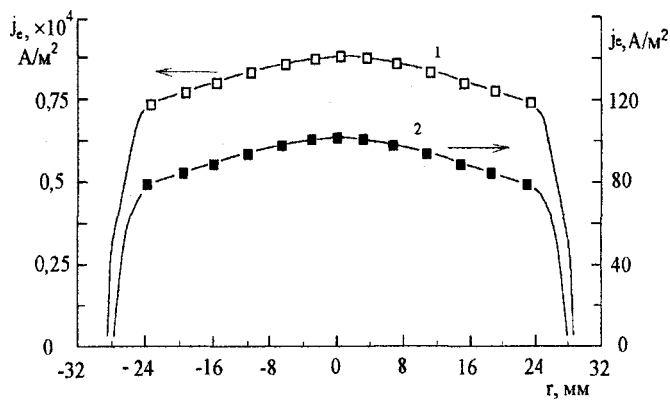


Рис. 2. Распределение плотности тока по сечению пучка:
1 - импульсный режим; 2 - стационарный режим

Возможные параметры источника при различных модификациях его конструкции представлены в табл. 1,2.

Таблица 1

Технологические параметры электронных пучков большого сечения
и генерирующих их плазменных источников электронов

Параметры	Плазменный источник электронов с пучком большого сечения
Диаметр пучка D_{max} , мм	до 50
Площадь сечения S_n , см ²	20
Плотность эмиссионного тока (при диаметре пучка D_{max}) j_e , А/м ²	до 10^4
Ускоряющее напряжение U_y , кВ	20
Плотность мощности (при диаметре пучка D_{max}) q , Вт/м ²	до $2 \cdot 10^8$
Диапазон рабочих давлений p , мм рт. ст.	$6 \cdot 10^{-4} - 10^{-2}$

Таблица 2

Параметры технологических электронных пучков

Профиль сечения	Параметры	Размеры, мм	Плотность мощности q , Вт/м ²
Круговой	Диаметр	1...50	$10^6 \dots 2 \cdot 10^5$
Кольцевой	Диаметр: внешний внутренний	50 15...30	$10^6 \dots 10^7$
Линейчатый	Длинахширина	20x1...2	$(0,5 \dots 1) \cdot 10^8$

Возможности использования плазменных источников

Поверхностная закалка. Электронно-лучевому упрочнению подвергались цилиндрические образцы деталей тракторов, изображенные на рис. 3 (сталь 45, сталь 40X, исходная твердость 200...220 НВ, параметры воздействия; ширина воздействия - 8...12 мм, плотность мощности - $(1...5) \cdot 10^7$ Вт/м², ускоряющее напряжение 16...20 кВ, ток пучка 40...90 мА). Вращение образцов осуществлялось вокруг горизонтальной оси с угловой скоростью 0,63 с⁻¹ (линейная скорость 3,8 мм/с). Варьирование этих параметров позволяло проводить закалку поверхностного слоя из твердого и жидкого состояний.

Проведенные дюрOMETрические и металлографические исследования показали, что на обработанных деталях сформированы приповерхностные слои со следующими характеристиками:

- при закалке из твердого состояния - толщиной 250...300 мкм и с микротвердостью 350...500 НВ;
- при закалке из жидкого состояния - толщиной 700...750 мкм и с микротвердостью 350...450 НВ.

Поверхностная твердость по ширине упрочненной зоны составила 40...45 HRCэ. Распределение микротвердости по глубине упрочненного слоя представлено на рис. 4.

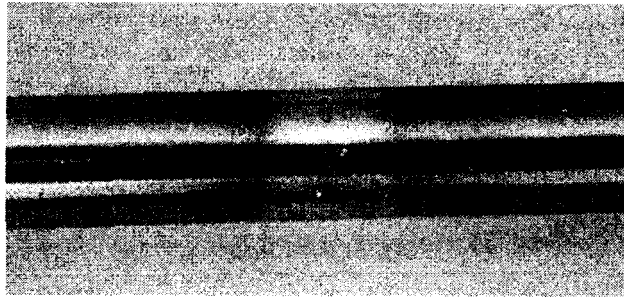


Рис. 3. Вид упрочненного участка образца детали

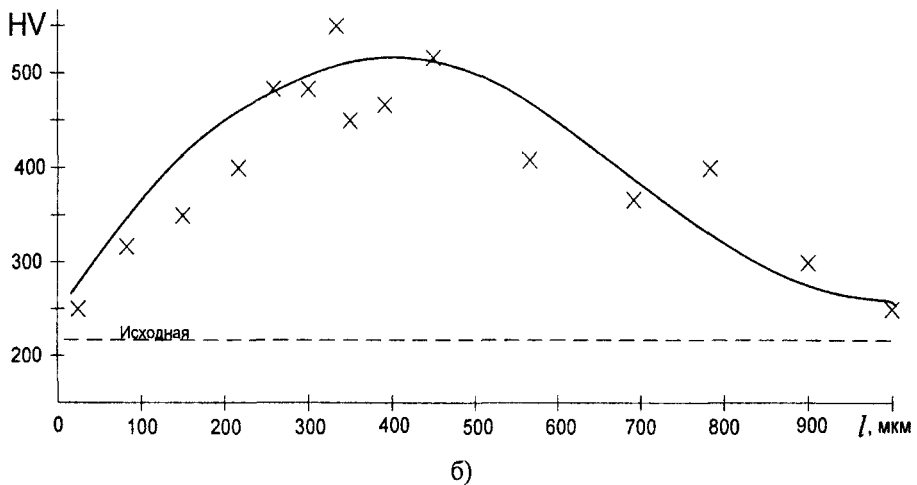
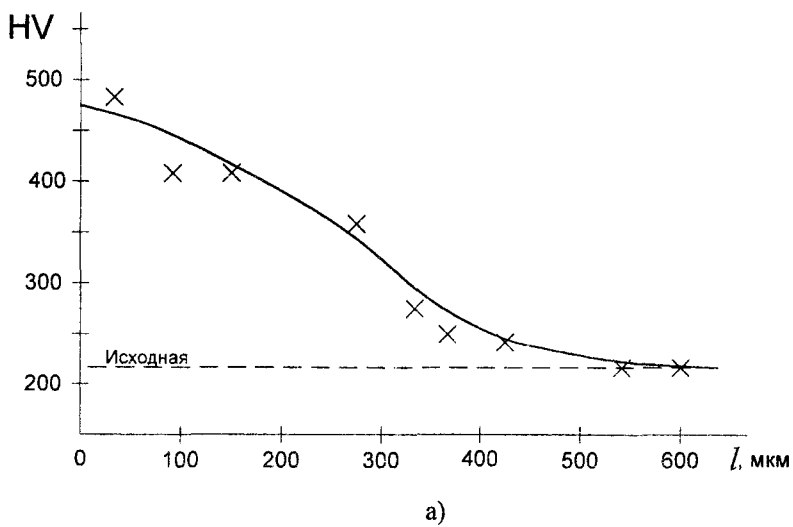


Рис. 4. Микротвердость поверхностного слоя стали, подвергнутого электронно-лучевому воздействию:
а - закалка из твердого состояния; б - закалка из жидкого состояния

Отличительной особенностью закалки из жидкого состояния (с оплавлением) является наличие максимума твердости, приходящегося на глубину 0,3...0,5 мм (рис. 4, б). Это позволяет проводить окончательную размерную механическую обработку поверхностей с сохранением свойств упрочненного слоя.

Заключение

Представленный в работе плазменный источник электронов может служить универсальным инструментом, который позволяет реализовать технологии термического воздействия с целью упрочнения поверхностей деталей, подверженных интенсивному местному изнашиванию.

Кроме этого экономически оправданным может быть применение специализированных плазменных источников электронов, например, для термической обработки внутренних и внешних цилиндрических поверхностей. Для этих целей могут быть использованы плазменные источники электронов с радиально сходящимися (расходящимися) электронными пучками, в том числе и на основе предложенной конструкции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шипко А.А., Поболь И.Л., Урбан И.Г. Упрочнение сталей и сплавов с использованием электронно-лучевого нагрева. - Мн.: Навука і тэхніка, 1995. - 280 с.
2. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов: Справочник / Н.Н. Рыкалин, А.А. Углов, И.В. Зуев, А.Н. Кокора - М.: Машиностроение, 1985. - 496 с.
3. Источники заряженных частиц с плазменным эмиттером / Отв. ред. П.М. Щанин. - Екатеринбург: Наука, 1993. - 149 с.
4. Электронно-лучевое термическое воздействие на материалы / В.А. Груздев, В.Г. Залесский, Д.А. Антонович, Ю.П. Голубев // Тяжелое машиностроение. - 2004. - № 9 - С. 25 - 32.
5. Плазменный источник электронов с пучком большого сечения / В.А. Груздев, В.Г. Залесский, Д.А. Антонович, Ю.П. Голубев // Инженерно-физический журнал. - 2002. - Т. 75, № 3. - С. 166 - 170.
6. Груздев В.А., Залесский В.Г., Голубев Ю.П. Переключение электронного тока в газовом разряде // Вестник Полоцкого гос. ун-та. Сер. С. Фундаментальные науки. - 2002. - Т. 1, № 3. - С. 86 - 94.