

УДК 669

М.А. Рабыко, А.А. Каплунов, А.Ю. Зененков*(МОУ ВО «Белорусско-Российский университет», г. Могилев, Беларусь)*

Научный руководитель – В. М. Шеменков

СПОСОБ УПРОЧНЕНИЯ ДЕФОРМИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ШТАМПОВ ТЛЕЮЩИМ РАЗРЯДОМ С ПРИКАТОДНЫМ МАГНИТНЫМ ПОЛЕМ

Представлен способ повышения эксплуатационных характеристик поверхностных слоев деформирующих элементов штампов обработкой, основанной на тлеющем разряде с дополнительным применением магнитного поля.

Современное развитие машиностроительного производства предъявляет повышенные требования к штамповой оснастке, что вызвано широким применением операций штамповки в жестких термомеханических условиях и распространением горячей штамповки труднодеформируемых материалов.

Упрочнением металлов и сплавов занимается большое количество как отечественных, так и зарубежных ученых. Повышение эксплуатационных характеристик штамповых сталей модифицирующей обработкой основано на воздействии потоков частиц, ускоренных под действием электрических разрядов (рисунок 1) [1].



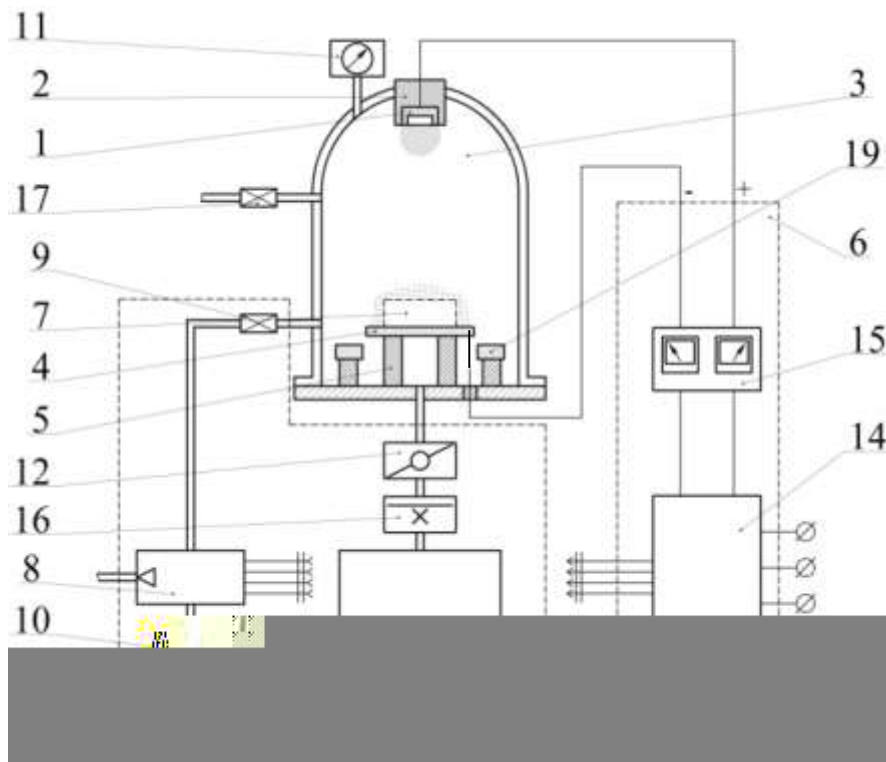
Рисунок 1 – Основные методы модифицирования поверхностного слоя

В отличие от методов, приведенных рисунке 1, метод упрочнения деформирующих элементов штампов тлеющим разрядом с прикатодным магнитным полем характеризуется тем, что изделия размещают на катоде,

расположенном в силовых линиях постоянного магнитного поля, и обрабатывают поверхности изделий плазмой тлеющего разряда, возбужденного в вакууме с разрежением 1,33–53,2 Па при напряжении 0,1–10 кВ, плотности тока между анодом и катодом 0,005–0,010 мА/см², расстоянии между анодом и катодом 0,1–1,0 течение 10–30 мин, используют катод площадью в 5–150 раз больше площади анода [2].

Метод позволяет обеспечивать рост производительности труда, экономию дорогостоящих и дефицитных инструментальных материалов, энергии и трудовых ресурсов.

Упрочнения штамповых сталей осуществляют согласно схеме установки, представленной на рисунке 2.



- 1 – анод; 2 – диэлектрический стакан; 3 – вакуумная камера;
 4 – катод-стол; 5 – диэлектрическое основание; 6 – блок питания;
 7 – изделие; 8 – форвакуумный насос; 9, 10, 17 – клапаны;
 11 – вакуумметр; 12 – заслонка; 13 – диффузионный насос;
 14 – преобразователь высокого напряжения; 15 – блок измерения;
 16 – ловушка; 18 – откачной пост; 19 – магнит

Рисунок 2 – Схема установки для осуществления упрочнения [3]

В процессе изделие 7, подлежащее упрочнению, помещают на

В магнитном поле электроны циркулируют до тех пор, пока не произойдет несколько ионизирующих столкновений с атомами остаточных атмосферных газов, в результате которых они теряют полученную от электрического поля энергию и тем самым значительно повышают эффективность процесса ионизации и концентрацию положительных ионов у поверхности катода, что приводит к увеличению интенсивности ионной бомбардировки изделия и значительному росту скорости упрочнения, при этом сокращается время обработки. После окончания обработки в камеру 3 напускают воздух путем открытия клапана 17 [2, 3, 5].

Поскольку плазма вакуумного дугового разряда почти полностью ионизована, даже слабые магнитные поля (на уровне 0,2 мТл) оказывают существенное влияние на характеристики разряда [6].

В качестве источника, формирования прикатодного магнитного поля, в предложенной установке может выступать кольцевая катушка индуктивности с многослойной обмоткой, проводом в защитной оплетке, пропитанный электроизолирующим лаком, которая позволяет создать прикатодное магнитное поле с необходимой магнитной индукцией. При использовании кольцевой катушки индуктивности необходимо учитывать следующие условия:

1. Катушка не должна касаться стенок вакуумной камеры.
2. Катушка должна иметь возможность формирования разной величины индукции магнитного поля.
3. Катушка должна работать без принудительного охлаждения, в противном случае значительно увеличиваются расходы на процесс упрочнения, габаритные размеры катушки индуктивности из-за создания эффективных каналов охлаждения.
4. Необходимо обеспечить баланс между затратами на производство, эксплуатацию и обслуживание катушки и экономической эффективностью процесса упрочнения.

Источник формирования магнитного поля подключается через диодный мост к источнику питания (рисунок 4) [5, 7, 8].

Среди большого числа волновых и колебательных мод плазмы рассмотрим подробнее высокочастотные колебания тока в тлеющем разряде и связанные с ними процессы упрочнения материала катода [9].

Выявленные зависимости ВЧ-колебаний тока от параметров тлеющего разряда позволяют сделать вывод, что в процессе обработки осуществляются разрыв тока разряда и его переход в режим ВЧ-колебаний

вследствие нарушения критерия стационарности Бома. ВЧ-колебания тока разряда приводят к тому, что поверхность обрабатываемого изделия подвергается импульсной обработке ускоренными ионами.

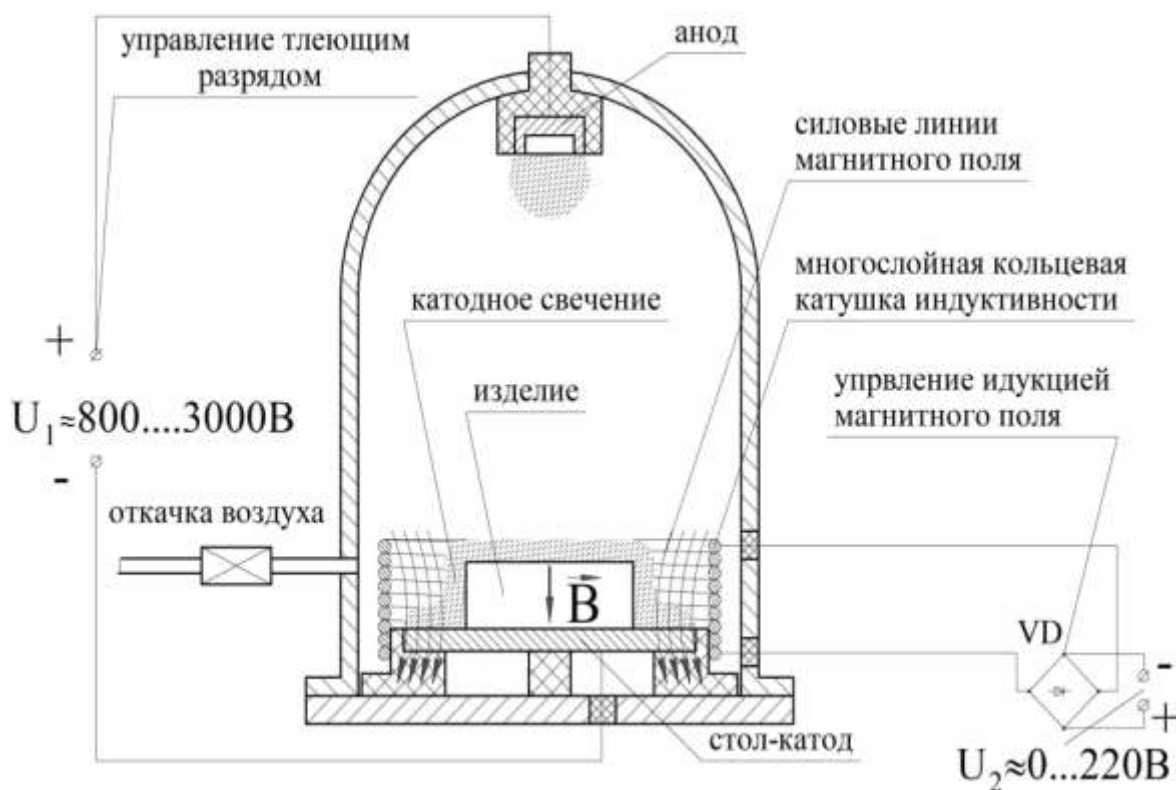
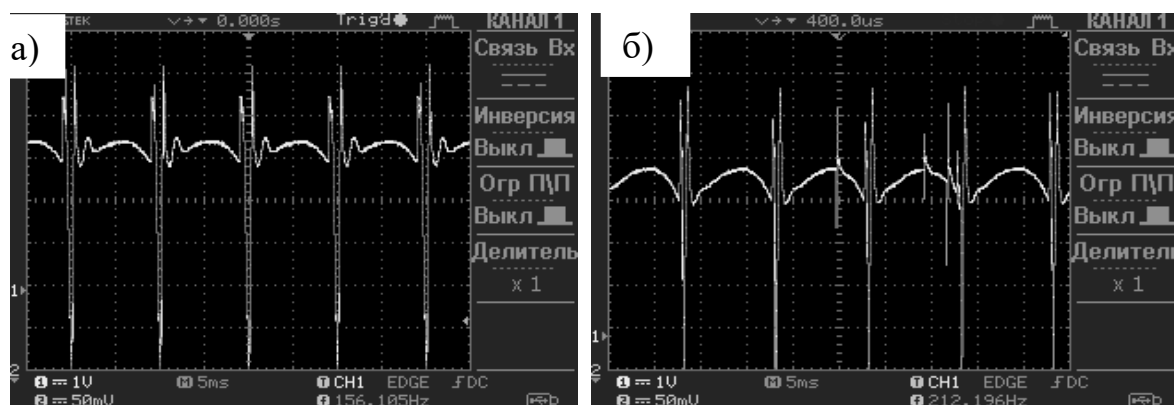


Рисунок 4 – Схема установки для реализации процесса

На основании полученных данных выдвинуто предположение о том, что магнитное поле влияет на частоту горения тлеющего разряда. Выдвинутое и подтвержденное в [299; 300; 304] предположение свидетельствует о том, что можно сформировать глубину скин-слоя больше, чем при классическом методе упрочнения.

С помощью осциллографирования тлеющего разряда установлено, что сигнал соответствует форме тока на выходе из выпрямителя. Для двухполупериодной схемы эта форма синусоидальная, но на начальном участке каждой синусоиды наблюдаются высокочастотные ($\approx 90\text{--}120\text{ кГц}$) колебания (рисунок 5). Зависимость амплитуды этих колебаний от напряжения носит колоколообразный характер с максимумом, положение которого определяется величиной разрядного тока.



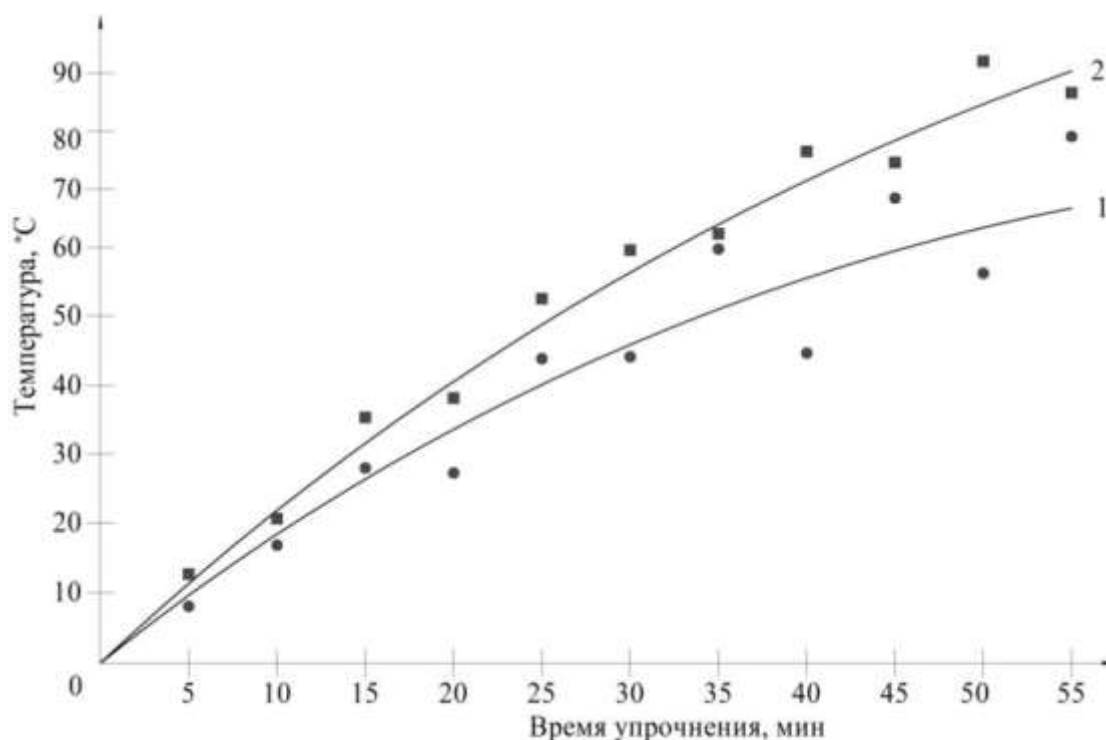
а – без катушки индуктивности; б – индукция магнитного поля
40–60 мТл (подаваемое напряжение 95–105 В);

Рисунок 5 – Осциллограммы частоты горения тлеющего разряда

Предполагается, что ионный поток на катод при развитии колебаний приобретает импульсный характер. При этом растет максимальная кинетическая энергия ионов, от которой зависит глубина упрочнения поверхности. Известно, что при любой ионно-плазменной обработке протекает разогрев изделия.

Тлеющий разряд как источник ионизации газовой среды в зависимости от его энергетических характеристик может осуществлять, разогрев заготовки до 1000 °С. Как правило, чрезмерный разогрев поверхности изделия при обработке тлеющим разрядом является нежелательным вследствие протекания неконтролируемых структурных изменений в материале. Поэтому с точки зрения практики необходимо выявить, до какой температуры может происходить разогрев помещенного на стол-катод изделия в процессе обработки тлеющим разрядом как с использованием прикатодного магнитного поля, так и без него.

В результате получены контрольные точки, соответствующие средним значениям температуры заготовки для определенного промежутка времени. В рамках исследования проводилось дублирование эксперимента в каждом временном интервале, погрешность измерения составляла не более 5 %. На основании анализа данных результатов построена графическая зависимость, соответствующая полиному второй степени (рисунок 6).



1 – упрочнение тлеющим разрядом (●); 2 – упрочнение тлеющим разрядом с прикатодным магнитным полем (■)

Рисунок 6 – График зависимости температуры образцов от времени упрочнения

Таким образом, упрочнение тлеющим разрядом с прикатодным магнитным полем осуществляется без специально приготовленной и вводимой в камеру рабочей среды (азот, азотсодержащие или инертные газы). Изделия упрочняются при более низких температурах, не вызывающих термических превращений, более высоком электрическом потенциале, за более короткое время за счет изменения свойств поверхностного слоя вследствие торможения в нем налетающих заряженных частиц, в результате чего повышается стойкость и износостойкость материалов, сохраняются конструктивные и геометрические параметры изделий.

Список использованных источников:

1 Шеменков, В. М. Структурно-фазовое модифицирование однокарбидных твердых сплавов обработкой в тлеющем разряде: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.01 / В. М. Шеменков. – Могилев, 2009. – 127 л.

2 Способ упрочнения изделий из металла или сплава, или сверхтвёрдого материала: пат. ВУ 19126 / В. М. Шеменков, М. А. Белая (Рабыко). – Оpubл. 30.12.2013.

3 Установка вакуумная для упрочнения изделий комплексным воздействием тлеющего разряда и постоянного магнитного поля: пат. ВУ 9478 / В. М. Шеменков, М. А. Белая (Рабыко), В. В. Малутин, А. Л. Шеменкова, А. С. Батраков. – Оpubл. 30.08.2013.

4 Елисеева, А. Н. Влияние комплексной обработки, основанной на химико-термической обработке и тлеющем разряде, на структуру и свойства поверхностных слоев сталей / А. Н. Елисеева, М. А. Рабыко // Международная научно-техническая конференция молодых ученых: материалы конф., Белгород, 25–27 мая 2020 г. – Белгород: БГТУ им. В. Г. Шухова, 2020. – С. 2394–2400.

5 Инженерия поверхностного слоя инструментальной оснастки тлеющим разрядом [монография] / В. М. Шеменков, М. А. Рабыко, А. Н. Юманова; под общ. ред. канд. техн. наук, доц. В. М. Шеменкова. – Могилев : Беларус.-Рос. ун-т, 2023. – 250 с. : ил.

6 Духопельников, Д. В. Влияние магнитного поля на вольт-амперную характеристику вакуумного дугового разряда / Д. В. Духопельников, Д. В. Кириллов // Наука и Образование. МГТУ им. Н. Э. Баумана. – 2015. – № 11. – С. 124–135.

7 Влияние обработки тлеющим разрядом на структуру, фазовый состав и износостойкость инструментальных штамповых сталей / В. М. Шеменков [и др.] // Вестн. Беларус.-Рос. ун-та. – 2018. – № 4 (61). – С. 28–38.

8 Рабыко, М. А. Структурно-фазовое модифицирование штамповых сталей обработкой тлеющим разрядом в магнитном поле / М. А. Рабыко, В. М. Шеменков, А. Н. Елисеева // Вестн. Беларус.-Рос. ун-та. – 2022. – № 2 (75). – С. 23–31.

9 Особенности создания упрочненных слоев ударной волной ионов / А. Н. Елисеева [и др.] // 53 студенч. науч.-техн. конф. Беларус.-Рос. ун-та: материалы конф., Могилев, 4–5 мая 2017 г. – Могилев: Беларус.-Рос. ун-т, 2017. – С. 81.

A method is presented to improve the performance characteristics of the surface layers of the deforming elements of stamps by processing based on a glow discharge with the additional use of a magnetic field.

Сведения об авторах:

Рабыко Марина Александровна, МОУ ВО «Белорусско-Российский университет», машиностроительный факультет, старший преподаватель кафедры «Технология машиностроения»;

Каплунов Александр Алексеевич, МОУ ВО «Белорусско-Российский университет», машиностроительный факультет, специальность «Технология машиностроения», 1 курс.

Зененков Алексей Юрьевич, МОУ ВО «Белорусско-Российский университет», машиностроительный факультет, специальность «Инновационные технологии в машиностроении», магистрант.

Сведения о научном руководителе:

Шеменков Владимир Михайлович, МОУ ВО «Белорусско-Российский университет», заведующий кафедрой «Технология машиностроения», кандидат технических наук, доцент.