

УДК 621.6

Ковалевский С. В., Сокур С. В.

## УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН В ОТКРЫТОЙ ПЛАЗМЕ

В конструкциях прокатных станов, роликотправильных машинах, рольгангах широко применяются крупногабаритные валы, оси, работающие в условиях трения и испытывающие ударные нагрузки [1]. Эффективность работы изделия в значительной степени зависит от надежности и работоспособности указанных высоконагруженных элементов. Ограничить размеры деталей-представителей не представляется возможным, поэтому необходимо найти оптимальные методы упрочнения отдельных поверхностей.

Детали, испытывающие максимальные напряжения на поверхности (изгиб, контактные напряжения), для повышения сопротивления усталости подвергают поверхностному упрочнению. Существуют следующие методы поверхностного упрочнения: механический, термический, химико-термический, лазерная закалка, ионная имплантация и др. [1, 2].

Поиск оптимального метода является сейчас актуальным вопросом, так как необходимо обеспечить все требуемые эксплуатационные свойства обрабатываемой детали, не снижая ее качества, при этом стремиться к максимальной его эффективности.

Одной из наиболее перспективных обработок является плазменная технология. Использование низкотемпературной плазмы используется для переплава металлов и сплавов, напыления износостойких, жаропрочных и коррозионностойких покрытий, резки и сварки различных материалов, поверхностного упрочнения изделий [1, 2, 3].

Целью данной статьи является обоснование возможностей метода упрочнения поверхностей деталей машин методом ионной имплантации в открытой плазме.

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

1. Предложить технологию упрочнения методом ионной имплантации и технологическую оснастку для ее реализации в открытой плазме.
2. Выявить достоинства и недостатки исследуемой технологии упрочнения.

Ионной имплантацией называется процесс внедрения в мишень ионизованных атомов с энергией, достаточной для проникновения в ее приповерхностные области. Успешное применение ионной имплантации определяется главным образом возможностью предсказания и управления электрическими и механическими свойствами формируемых элементов при заданных условиях имплантирования. Внедрение ионов становится существенным при энергии ионов  $E > 1$  кэВ.

Наиболее широко ионная имплантация применяется для легирования полупроводниковых материалов с целью создания  $p-n$ -переходов, гетеропереходов, низкоомных контактов. Ионная имплантация позволяет вводить примеси при низкой температуре, в том числе примеси с малым коэффициентом диффузии, создавать пересыщенные твердые растворы. Ионная имплантация обеспечивает точную дозировку вводимой примеси, локальность, а также возможность управления процессом с помощью электрических и магнитных полей. Для устранения образующихся при ионной имплантации радиационных дефектов и перевода внедренных атомов в регулярные положения используют высокотемпературный прогрев. Ионную имплантацию в металлы применяют с целью повышения их твердости, износостойчивости, коррозионной стойкости, создания катализаторов, изменения коэффициента трения и т. п. Ионная бомбардировка позволяет вводить примесь не только из пучка, но и из пленки, предварительно нанесенной на поверхность мишени (имплантация атомов отдачи и ионное перемешивание). Бомбардировка ионами может сопровождаться наращиванием имплантируемого материала. Пленки, полученные ионным осаждением, имеют высокую плотность и хорошую адгезию к подложке [3].

Достоинства ионной имплантации [3]:

- возможность вводить (имплантировать) любую примесь, любой элемент периодической таблицы;
- возможность легировать любой материал;
- возможность вводить примесь в любой концентрации независимо от ее растворимости в материале подложки;
- возможность вводить примесь при любой температуре подложки, от гелиевых температур до температуры плавления включительно;
- возможность работать с легирующими веществами технической чистоты и даже с их химическими соединениями (тоже любой чистоты);
- легкость локального легирования (с помощью хотя бы элементарного механического маскирования);
- малая толщина легированного слоя (менее микрона);
- большие градиенты концентрации примеси по глубине слоя, недостижимые при традиционных методах с неизбежным диффузионным размыванием границы;
- легкость контроля и полной автоматизации технологического процесса.

Недостатком процесса ионной имплантации является то, что при постоянной энергии ионов невозможно получить глубоко залегающий переход с одновременным присутствием примеси на поверхности. В связи с этим на практике прибегают к одному из двух вариантов формирования глубоких профилей: ступенчатый процесс и комбинирование имплантационной загонки с диффузионной разгонкой [2]. Также к недостаткам метода можно отнести и сложность стабилизации разряда плазмы, сложность и высокая стоимость установки.

Метод ионной имплантации может быть классифицирован на следующие виды [2]:

- имплантация из плазмы;
- имплантация с помощью источников ионов;
- имплантация комбинированная.

В настоящее время все перечисленные виды осуществляются при наличии вакуумной камеры, которая и осложняет весь процесс проведения упрочнения, особенно для крупногабаритных деталей. Наличие системы вакуумирования воздуха внутри рабочей камеры и системы осуществления самого процесса ионной имплантации увеличивает стоимость установки, что относится к недостаткам данного метода. Поэтому необходимо было найти пути, которые позволили бы осуществлять процесс имплантации на открытом воздухе.

Известный способ упрочнения поверхностей деталей, который позволяет получить на поверхностях деталей износостойчивый слой, при этом обрабатываемая деталь является анодом. Упрочненный слой образовывается путем воздействия микродуговых разрядов, которые возникают на аноде, т. е. деталь находится в щелочном электролите, в который прибавляется моющая жидкость [4].

Наиболее близким аналогом предлагаемого способа упрочнения является способ электроэрозионного упрочнения плазмой под действием искрового разряда материала катода за счет перенесения материалов из анода. В результате такого переноса материала и импульсных нагрузок происходит легирование, перекристаллизация и механическое упрочнение материала катода [5].

Общими существенными признаками известного способа и того, который предлагается, является обработка деталей в среде, которой содержит электрический дуговой разряд и внедряемый элемент.

При использовании известного способа упрочнения поверхностей деталей машин осуществляется при контакте электродов, когда возникает искровой разряд, который переходит в дуговой. При этом возникает плазма с элементами металла анода и катода, в результате чего осуществляется упрочнение материала катода. Процесс осуществляется в отдельной

рабочей камере. Известный способ предусматривает, что его осуществление возможно в отдельной рабочей камере, которая ограничивает возможности его использования для деталей со значительными габаритами.

В основу предлагаемого способа поставлена задача расширения технологической возможности способа за счет обработки поверхностей из сопла плазменной головки, при чем деталь не находится в рабочей камере.

Поставленная задача решается тем, что обработка выполняется в воздушной среде. В шнур плазмы вводится от источника питания внедряемый элемент, ионы которого имплантируются в поверхность детали для ее насыщения. Таким образом, упрочнение поверхности детали способом ионной имплантации через шнур плазмы, при чем последний создан от высоковольтного источника тока, происходит в воздушной среде, где деталь, которая подлежит упрочнению, не размещается в рабочей камере. Этим самым повышается производительность обработки, и расширяются технологические возможности способа [6].

От высоковольтного источника тока создается плазменный поток, который действует на поверхность упрочняемой детали. В созданный шнур плазмы подается внедряемый элемент, изготовленный из материала, подлежащего имплантации в поверхность детали. Имплантация материала на глубину, которая превышает длину проекционного пробега ионов, обосновано протеканием диффузии, а процесс диффузии обусловлен увеличением температуры поверхности, которая обрабатывается. Одновременное облучение ионами и электронами приводит к значительно более эффективному глубокому погружению атомов внедряемого материала, чем последовательное выполнение операций. В результате такого переноса материала и импульсных нагрузок происходит легирование, перекристаллизация и механическое упрочнение материала детали.

На рис. 1 представлена упрощенная схема установки, позволяющая проводить упрочнение поверхности детали методом ионной имплантации в воздухе.

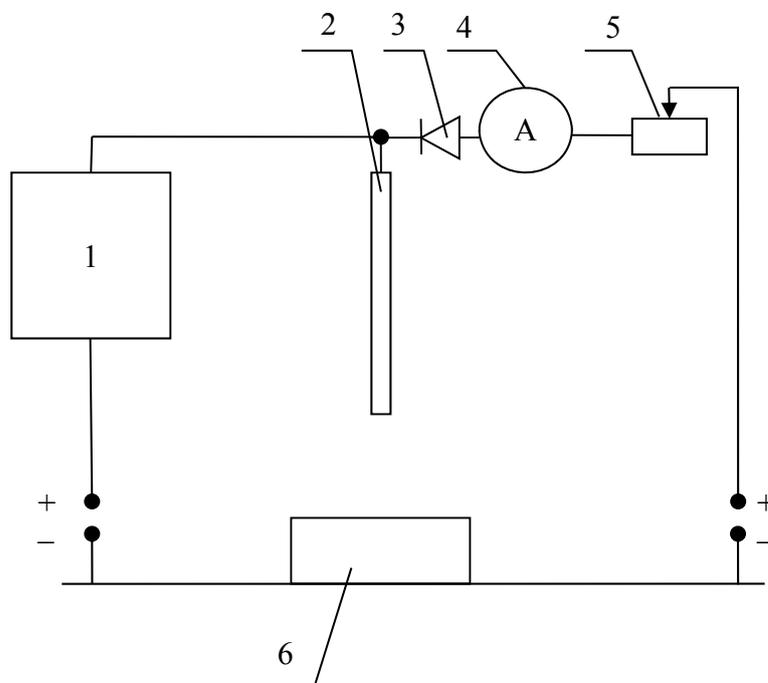


Рис. 1. Схема установки для упрочнения поверхностей детали:

1 – источник высокого напряжения; 2 – электрод; 3 – система высоковольтных диодов; 4 – амперметр; 5 – реостат; 6 – заготовка

Суть ее работы заключается в том, что на источник высокого напряжения 1 подается напряжение сети, в результате получаем нагрузку на выходе 25...30 кВ. Полученное напряжение действует на электрод 2 и образуется плазменный шнур, который направлен на поверхность упрочняемой заготовки 6. Для осуществления процесса имплантации в дальнейшем полученный шнур плазмы используется в качестве проводника ионов на искомую поверхность заготовки 6.

К электроду 2, из которого будут имплантироваться ионы, подключена другая рабочая цепь от источника питания сети. С помощью этой цепи через систему высоковольтных диодов 3 подается ток до 100 А на электрод 2, в результате чего начинается процесс имплантации.

В качестве материала электрода можно использовать любой материал, который необходимо имплантировать в поверхность детали (медь, алюминий, вольфрам, кобальт и т. д.). Кроме того, полученный шнур плазмы постоянен и одинаково направлен, что говорит о возможности направленного упрочнения. Сила тока и напряжение, воздействующие на электрод, зависят от зазора между ним и поверхностью детали.

Таким образом, такая реализация предложенного решения задачи позволяет проводить процесс упрочнения при атмосферном воздухе, что значительно увеличивает границы ее использования в промышленности. Кроме того, ее компактность и малогабаритность позволит проводить процесс упрочнения на любом металлообрабатывающем оборудовании, не снимая и транспортируя детали, что значительно сократит вспомогательное время технологического процесса ее изготовления.

## ВЫВОДЫ

Предложенный способ упрочнения поверхностей деталей машин методом ионной имплантации осуществляется при атмосферном воздухе, что является отличительным признаком от существующих аналогичных способов. Кроме того, сам процесс осуществления прост, так как не требуется наличия дорогих и сложных систем вакуумирования. Отсутствие рабочей камеры в установке позволяет выполнять упрочнение крупногабаритных деталей, имеющих высокие эксплуатационные требования.

Простота и возможность использования предлагаемой установки на существующих металлорежущих станках значительно сократит затраты на покупку специального оборудования, что в свою очередь уменьшит себестоимость готовой продукции.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Степанова Т. Ю. *Технологии поверхностного упрочнения деталей машин: учебное пособие* / Т. Ю. Степанова ; Иван. гос. хим.-техн. ун-т. – Иваново, 2009. – 64 с.
2. Титов В. В. *Ионная имплантация: перспективы и альтернативы* / В. В. Титов. – М. : РНЦ «Курчатовский ин-т», 1997. – 16 с.
3. Варламов П. И. *Конспект лекций по курсу «Технологические процессы в нанотехнологии»* / П. И. Варламов, К. А. Елсуков, В. В. Вакарчук. – М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2008. – 90 с.
4. А. с. 1775507 СССР, МКИ С 25 D 11/02. *Способ микродугового оксидирования алюминиевых сплавов* / С. В. Скифский, П. Е. Паук (СССР). – Заявл. 1990 ; опубл. 1992, Бюл. № 42.
5. *Лазерное и электроэрозионное упрочнение материалов* / В. С. Коваленко, А. Д. Верхотуров, Л. Ф. Головкин, И. А. Подчерняева. – М. : Наука, 1986. – 277 с.
6. Пат. 64959 Украина, ПМК<sup>7</sup>С23С 14/40. *Спосіб зміцнення поверхонь деталей машин* / Ковалевський С. В., Колот Л. П., Сокур С. В. – № 201104719 ; заявл. 18.04.11 ; опубл. 25.11.11, Бюл. № 22.
7. Шулаев В. М. *Модернизация вакуумно-дуговых установок для синтеза покрытий и азотирования методом ионной имплантации и осаждения* / В. М. Шулаев, А. А. Андреев, В. П. Руденко // ФИП. – Т. 4, № 3–4. – 2006. – С. 136–142.
8. *Вакуумно-дуговые устройства и покрытия : монография* / А. А. Андреев, Л. П. Саблев, В. М. Шулаев, С. Н. Григорьев. – Харьков : ННЦ ХФТИ, 2005. – 236 с.