

захисних покриттів. У той же час способи захисту і відновлення деталей металургійного устаткування і несучих металлоконструкції бункера, броні МНЛЗ і арматури від комплексного впливу корозійного зносу розглянуті недостатньо.

**Ключові слова:** обладнання, знос, способи відновлення.

Ishenko A.A. , Kakareka D.L.

#### ANALYSIS OF EXISTING WAY TO PROTECT AGAINST CORROSION DAMAGE STEEL CONTINUOUS CASTING MACHINE

*One of the problems of continuous casting machine is corrosive damage of metal framework. Due to this one metal framework of continuous casting machine is needed to apply various protective coatings. Meanwhile ways of protecting and restoring the details of metallurgical equipment and bearing metal framework of the hopper, continuous casting machine armor and armature against complex impact of corrosive wear are considered insufficient. Comparative analysis of the characteristics of the materials and methods of protecting metal frameworks of metallurgical equipment. Determination of methods of corrosion wear and their classification, as well as existing methods of protecting metal frameworks .*

**Keywords:** equipment, wear, methods of recovery.

Рецензент: д.т.н., проф. Суглобов В.В.

Статья поступила 1.09.2016 р.

УДК 621.791.927.55

Самотугин С.С., Гагарин В.А., Мазур В.А.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ УПРОЧНЕННЫХ СЛОЕВ ГРАДИЕНТНОГО СТРОЕНИЯ НА СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЯХ

*Исследовалось влияние геометрии упрочненных плазменным источником нагрева зон на износостойкость стальных изделий. Установлены оптимальные параметры угла наклона и шага упрочненных зон.*

**Ключевые слова:** плазменная закалка, износостойкость, абразивный износ, градиентные покрытия.

Одной из наиболее актуальных задач современного производства является повышение срока службы деталей. Основной причиной их выхода из строя является преждевременный износ контактирующих поверхностей. Известно, что на работоспособность контактирующих поверхностей влияют такие свойства как твердость, шероховатость, способность металла сохранять геометрические размеры в пределах допуска, т.е. износостойкость. Особенно важно решение этой проблемы для тяжелонагруженных деталей металлургии и машиностроения.

Одним из наиболее перспективных методов повышения износостойкости деталей машин является поверхностное упрочнение с использованием высококонцентрированных

источников нагрева, из которых наиболее доступными, экономичными и универсальными являются плазменные источники.

Вместе с тем, внедрение технологий поверхностного упрочнения для многих типов тяжело нагруженных деталей (например, направляющие станков, крановые колеса, штампы и т.п.) сдерживается опасностью охрупчивания поверхностного закаленного слоя. В этой связи, в последнее время интенсивно развиваются новейшие технологии поверхностного упрочнения материалов, позволяющие достигать значительного повышения износостойкости без снижения трещиностойкости (а в ряде случаев – и с увеличением). Этого можно добиться за счет использования принципа композиционности рабочего слоя: либо за счет нанесения слоистых покрытий (наплавкой, напылением, осаждением, поверхностным легированием) [1, 2], либо за счет нанесения структурно-неоднородного (градиентного или дискретного) поверхностного слоя [3-6]. В обоих случаях создается чередование твердых и пластичных участков или слоев. Первое направление перспективно в тех случаях, когда поверхностное упрочнение выполняется после их восстановления наплавкой или напылением. Второе направление является более универсальным, т.к. может быть применено как для восстанавливаемых деталей, так и для неизношенных [7].

**Цель настоящей работы** – исследование влияния геометрии градиентных упрочненных покрытий полученных с применением плазменного источника нагрева на износостойкость сталей 90ХФ и 45.

**Методика исследований.** Упрочнение проводилось при нагреве плазмотроном косвенного действия ППУ-1, разработанным в Приазовском государственном техническом университете. В качестве источника тока использовали источник тока для плазменной сварки-резки УПС-804. В качестве плазмообразующего газа использовали аргон.

Для получения максимальной твердости закалки и при этом не допущения оплавления поверхности режимы обработки составили: скорость перемещения плазмотрона 50 см/мин, ток дуги 350А, расход газа – 11л/мин. При таких режимах ширина упрочненной зоны полученной за один проход составляет 10мм, глубина – до 4мм.

Выбор технологии плазменной обработки при нанесении упрочненного слоя дискретного строения зависит от формы упрочняемой детали. Дискретное строение рабочей поверхности детали при упрочнении деталей как плоской, так и цилиндрической формы, может быть получено с нанесением закаленных участков с шагом превышающим ширину зоны упрочнения (рис.1), которые образуют чередование твердых и мягких участков, перекрестной насечки, когда локальные мягкие участки имеют ограниченную конфигурацию квадрата (при перпендикулярном перекрестном движении плазмотрона) или ромба (при неперпендикулярном перекрестном движении). Для получения упрочненного слоя дискретного строения на деталях круглой и плоской формы упрочненные зоны могут наноситься под разными углами к направлению изнашивания, перекрестными зонами, а также в виде единичных зон разной формы.



**Рис. 1** – Способы нанесения упрочненных слоев градиентного строения с использованием плазменного источника нагрева (V – направление изнашивания)

При нанесении упрочненных зон под углом к направлению изнашивания, изменяется фактический путь контакта сопряженных поверхностей и частиц износа по упрочненным ( $b'$ ) и неупрочненным ( $f'$ ) участкам (рис.2). Так при перпендикулярном к направлению изнашивания расположении зон это значение равно ширине зоны, а с увеличением угла будет увеличиваться. При параллельном направлении изнашивания и упрочненных зон значения  $b'$  и  $f'$  равны длине дорожек либо непрерывны (бесконечны) в случае цилиндрических деталей. Следовательно, при увеличении угла  $\omega$  более  $0^\circ$  значения  $b'$  и  $f'$  будут увеличиваться, а увеличение участка контакта с упрочненной зоной в сочетании с зонами неупрочненными должно дать положительный эффект. При расположении упрочненных зон параллельно направлению изнашивания ( $\omega=0^\circ$ ) будет снижаться эффективность дискретной обработки.

Оптимальные значения расположения упрочненных зон относительно направления изнашивания находятся экспериментально для различных сплавов и условий работы деталей.

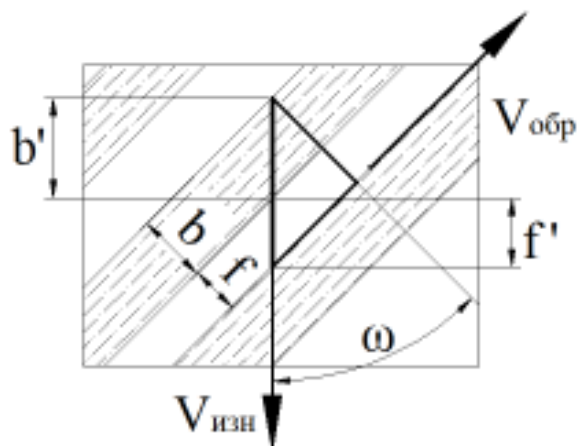


Рис. 2 – Геометрия упрочненных слоев градиентного строения

Для определения оптимальной геометрии упрочненных зон проводились испытания на изнашивание образцов с различным расположением упрочненных зон.

Испытания проводили на образцах размерами 40x50x15 мм из сталей 90ХФ и 45. На первом этапе на образцах наносились упрочненные зоны с разным шагом. Затем упрочненные зоны наносились под разными углами по отношению к направлению изнашивания.

Первая группа образцов подвергалась плазменному упрочнению в исходном состоянии. На образцы наносились упрочненные зоны, расположенные относительно направления изнашивания под углами  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ . В каждой группе образцов с разным направлением обработки эти зоны накладывались на различном расстоянии (0, 3, 5, 7, 9 мм).

Вторая группа образцов подвергалась плазменному упрочнению после объемной закалки (охлаждение в воде) по стандартным для данной марки стали режимам. Эксперимент проводился на тех же режимах и с той же геометрией, что и для неупрочненных предварительно.

Испытания на износостойкость проводились на специальном стенде для испытаний по методу изнашивания с абразивной прослойкой (рис. 3). При данном методе к вращающемуся барабану 2 под заданной нагрузкой  $P_2$ , определяемой весом груза  $P_1$ , прижимается своей плоской стороной образец 1. Между барабаном и образцом из бункера засыпается абразив (кварцевый или морской песок, корунд). Абразивные частицы протираются по поверхности

образца, обеспечивая его изнашивание, и, следовательно, потерю в весе. Коэффициент износостойкости определялся по формуле:

$$k_i = \frac{\Delta m_i}{\Delta m_э}, \quad (1)$$

где  $\Delta m_i$  – потеря массы образца,

$\Delta m_э$  – потеря массы эталона (в качестве эталона принимается неупрочненный образец в исходном состоянии).

Образцы взвешивались до и после испытаний на электронных весах с точностью до 0,01г

**Результаты исследований.** При нанесении упрочненных зон параллельно направлению изнашивания ( $\omega=0^\circ$ ) максимальная износостойкость наблюдается при ширине неупрочненных участков 5-6мм (рис. 4). Линия, отражающая зависимость износостойкости от зазора между упрочненными зонами близка к параболе, но при этом несколько изломана. При различной износостойкости сталей 90ХФ и 45 кривые подобны, что подтверждает закономерность полученных в ходе испытаний данных. Неравномерность линий, возможно, вызвана особенностями метода испытаний: в зоне контакта образца и контр-тела движение абразива сложно точно спрогнозировать.

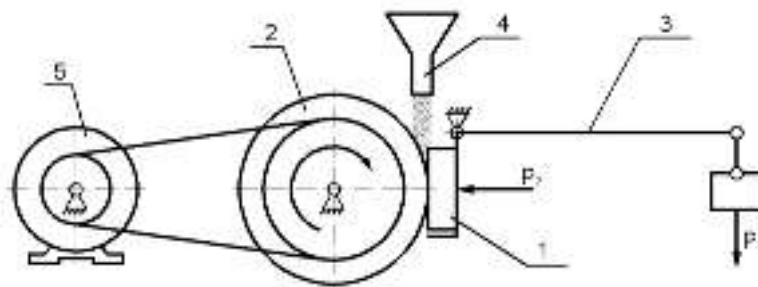


Рис. 3 – Схема испытаний на абразивную износостойкость по методу

Подобная же конфигурация кривых на графике отражающем зависимость износостойкости от величины зазоров между упрочненными зонами при углах наклона упрочненных зон к направлению изнашивания  $\omega=45^\circ$  и  $\omega=90^\circ$  (рис. 5, 6).

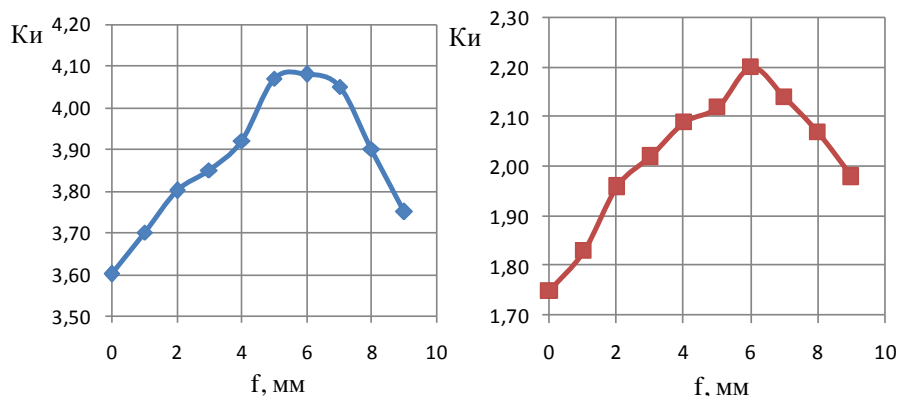
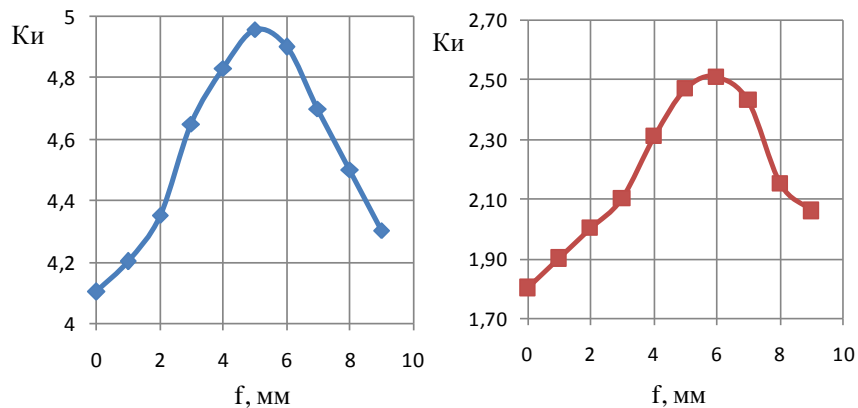


Рис. 4 – График зависимости износостойкости стали 90ХФ и стали 45 от величины зазора между упрочненными плазменной обработкой дорожками, при угле нанесения дорожек относительно направления изнашивания  $0^\circ$

**Машинобудування і зварювальне виробництво**

Режим доступу: <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/2>

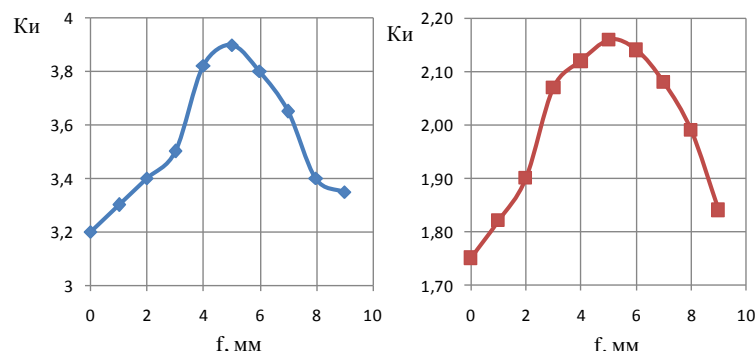


**Рис. 5** – График зависимости износостойкости стали 90ХФ и стали 45 от величины зазора между упрочненными плазменной обработкой дорожками, при угле нанесения дорожек относительно направления изнашивания  $45^\circ$

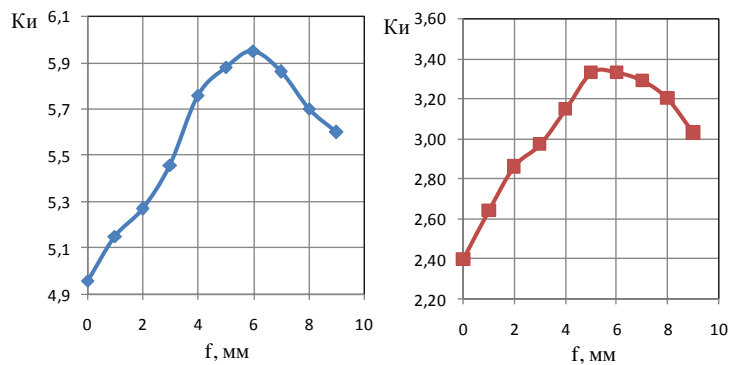
Сравнение данных износостойкости при равной ширине зазора между упрочненными зонами показывает, что максимальная износостойкость может быть достигнута при угле наклона зон к направлению

Образцы, которые подвергались плазменной обработке после объемной, показали значительное увеличение износостойкости. Подобно образцам, которые не были предварительно упрочнены, сохраняется тенденция к повышению износостойкости при наличии определенных зазоров между зонами поверхностного упрочнения (рис. 7). Структура материала после объемной закалки представляет собой мартенсит с небольшой частью остаточного аустенита. После плазменного поверхностного упрочнения с нанесением упрочненных зон с зазором часть поверхностного слоя получает повторную закалку. изнашивания под углом  $\omega=45^\circ$ .

В переходной зоне образуется структура отпуска с меньшей твердостью и большей пластичностью. Такие участки будут служить в качестве мягкой демпфирующей прослойки между основным металлом и зонами поверхностной закалки. Износостойкость детали повышается как по сравнению с объемной, так и с поверхностной закалкой. Такие поверхности получают как повышенную стойкость к изнашиванию, так и более высокую контактную прочность, а также стойкость к образованию и распространению трещин.



**Рис. 6** – График зависимости износостойкости стали 90ХФ и стали 45 от величины зазора между упрочненными плазменной обработкой дорожками, при угле нанесения дорожек относительно направления изнашивания  $90^\circ$



**Рис. 7** – График зависимости износостойкости стали 90ХФ и стали 45 от величины зазора между упрочненными плазменной обработкой дорожками (предварительная обработка – объемная закалка), при угле нанесения дорожек относительно направления изнашивания 45°

### Обсуждение результатов

Используя полученные данные оптимальных параметров плазменной поверхностной обработки (зазор между упрочненными зонами и угол нанесения упрочненной зоны), была произведена обработка образцов с нанесением упрочненных зон при перпендикулярном перекрестном движении плазматрона. Обработка производилась с шагом 6мм при ширине упрочненной зоны 10мм и под углом 45° к направлению изнашивания. Испытания на износостойкость показали, что коэффициент износостойкости составил около 4.9, что значительно превышает значения полученные при других способах обработки.

Стоит заметить, что обработка с нанесением упрочненных зон при перпендикулярном перекрестном движении плазматрона требует больших затрат времени и энергоресурсов. Следует подбирать режимы и геометрию нанесения зон при таком методе индивидуально и применять при повышенных требованиях к детали.

Увеличение износостойкости образцов с зазором между упрочненными дорожками может объясняться позитивным эффектом чередования твердых и мягких участков. После этапа приработки, когда мягкие участки быстро истираются, они уже не подвержены силовому контакту с абразивом и контр-телом. Часть абразива может свободно проходить в этих участках, соответственно, избегая контакта с опорными участками, обладающими максимальной твердостью. В случае работы детали в условиях смазки, данные мягкие участки могут служить в качестве масляных карманов и, соответственно, по ним будет уходить большая часть абразива.

Еще одним положительным фактором, обеспечивающим увеличение износостойкости упрочненных по данному методу образцов, является уменьшение термического влияния на уже имеющуюся дорожку при наложении следующей. Так при упрочнении без зазора имеет место возникновение участков отпуска на границе между зонами, и даже снижение твердости на всей обработанной зоне.

### ВЫВОДЫ

Таким образом, выполненные исследования позволяют сформировать технологические основы нанесения упрочненных слоев градиентного строения с высокой абразивной износостойкостью. Определен оптимальный угол между направлением изнашивания и



упрочненними зонами, а також шаг между зонами. Данная технология может быть оптимизирована в зависимости от упрочняемого материала и условий его эксплуатации.

Упрочненные по данной технологии детали, в процессе приработки образуют микрорельеф благоприятствующий повышенной износостойкости за счет формирования в процессе приработки масляных карманов.

*Список использованных источников*

1. Лещинский Л.К. Слоистые наплавленные и упрочненные композиции / Л.К. Лещинский, С.С. Самотугин. – Мариуполь: Новый мир. – 2005. -392с.
2. Лучка М.В. Износостойкие диффузионно-легированные покрытия / М.В. Лучка, М.В. Киндрачук, П.И. Мельник. – К.: Техника. – 1993. – 143с.
3. Ляшенко Б.А. Упрочняющие покрытия дискретной структуры/ Б.А. Ляшенко, А.Я. Мовшович, А.И. Долматов // Технологические системы. -2001.- №4.- С. 17-25.
4. Антонюк В.С. Выбор параметров покрытий с дискретной структурой при упрочнении поверхности режущего инструмента / В.С. Антонюк, Б.А. Ляшенко, Е.Б. Сорока // Упрочняющие технологии и покрытия. -2005. - №3. – С 49-50.
5. Милевский С.В. Контактная дискретная термообработка / С.В. Милевский // Инженерия поверхности и реновация изделий. – Материалы 6-й междунар. научно- техн. конф. – Ялта, Киев. – 2006. – С.164 – 166.
6. Подгайский М.С. Термическое армирование проката / М.С. Подгайский // Металловедение и термическая обработка металлов.- 1992. - №10. –С.20-23.
7. Технологические основы нанесения упрочняющих покрытий дискретного строения на изделия из чугуна/ С.С. Самотугин, Б.А. Ляшенко., Ю.С. Самотугина, В.А. Гагарин // Научные проблемы современной металлургии: сборник научных трудов, посвященных 100-летию со дня рожд. проф. К.Н. Соколова. – Мариуполь, 2007.– С. 161-172.

**Самотугін С.С., Гагарін В.А., Мазур В.А.**

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ЗМІЦНЕНИХ ШАРІВ ГРАДІЄНТНОЇ БУДОВИ НА СТАЛЕВИХ ВИРОБАХ**

*Досліджувався вплив геометрії зміцнених плазмовим джерелом нагрівання зон на зносостійкість сталевих виробів. Встановлено оптимальні параметри кута нахилу і кроку зміцнених зон.*

**Ключові слова:** *плазмовий гарт, зносостійкість, абразивний знос, градієнтні покриття*

**Samotugin S.S., Naharin V.A., Mazur V.A.**

**STUDY WEAR RESISTANCE OF HARDENED LAYERS OF GRADIENT STRUCTURE ON STEEL PRODUCTS**

*The effect of the geometry of hardening plasma source heating zones on the wear resistance of steel products are investigated . The optimal parameters of the angle of pitch and hardened zones are identified.*

**Keywords:** *plasma hardening, wear resistance, abrasive wear, gradient coating.*

Рецензент: д.т.н., проф. Суглобов В.В.

Статья поступила 26.04.16

**Машинобудування і зварювальне виробництво**

Режим доступу: <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/2>