

существенно изменяется. На рисунке 6 представлен график распределения микротвердости, из которого видно, что при обработке поверхности лазером при скорости  $V = 200$  мм/мин наблюдается максимальная микротвердость (11200 МПа) на глубине 0,39-0,44 мм и резкий спад твердости с увеличением глубины проплавления. Возможно, это связано с отпуском соседней закаленной зоны. Из графика видно, что нет резкого изменения градиента твердости по глубине.

Таблица 2 – Размерные параметры зоны оплавления в зависимости от скорости обработки чугуна СЧ20 при N 1 кВт и d=1 мм

Размерные параметры	Скорость движения детали относительно луча лазера, мм/мин		
	200	400	600
L, мм	3,7	3,6	3,6
H <sub>1</sub> , мм	0,7	1,2	0,9

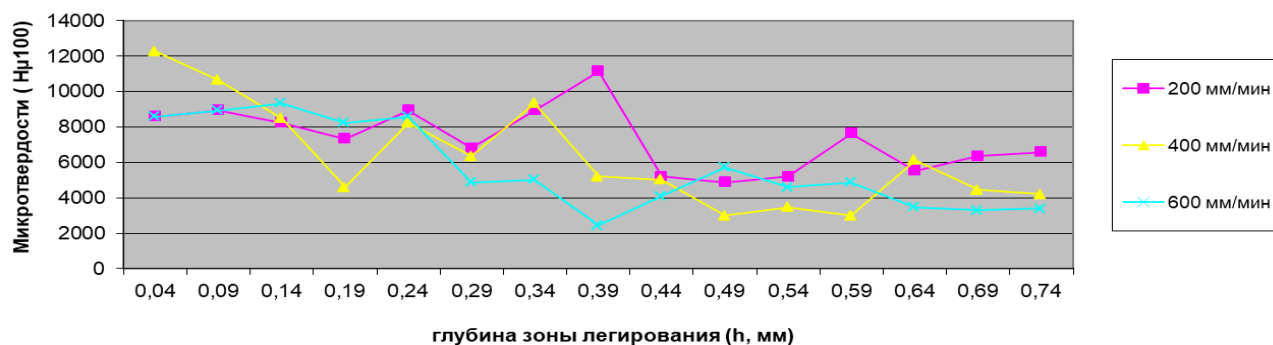


Рисунок 6 – Зависимость микротвердости серого чугуна от глубины зоны легирования при разных скоростях движения луча

Так же из рисунка 6 видно, что максимальная микротвердость возле поверхности чугуна (12100 МПа) наблюдается при скорости движения луча 400 мм/мин.

**Заключение.** Анализ микроструктуры и свойств показал, что совокупность параметров лазерной обработки и выбора легирующего компонента – карбида бора В<sub>4</sub>С позволило повысить микротвердость от 2,3 ГПа для исходной структуры до 12...14 ГПа после лазерного легирования. Так же не наблюдается резкого изменения градиента твердости по глубине. Максимальная микротвердость получена при скорости перемещения луча 400 мм/мин, так же и наибольшая зона оплавления наблюдается при скорости движения луча 400 мм/мин. Общей характерной закономерностью для всех режимов лазерной обработки является уменьшение значений микротвердости с увеличением глубины закаленного слоя. Это связано с переходом от режима полного проплавления к режиму закалки из твердой фазы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. World Steel Association [Electronic resource] // World Steel Association AISBL.- Mode of access: <https://www.worldsteel.org>. - Date of access: 20.09.2018
2. Григорьянц, А. Г. Технологические процессы лазерной обработки: учеб. пособие для вузов / А. Г. Григорьянц, И.Н. Шиганов, А.И. Мисюров ; под ред. А. Г. Григорьянца. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 664 с.
3. Григорьянц, А. Г. Основы лазерной обработки материалов / А. Г. Григорьянц. – М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.
4. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия / Я. С. Уманский [и др.]. – М.: Металлургия, 1982. – 632 с.
5. Спиридонов, Н. В. Плазменные и лазерные методы упрочнения деталей машин / Н. В. Спиридонов, О. С. Кобяков, И. Л. Куприянов; под ред. В. Н. Чачина. – Минск: Выш. шк., 1988. – 155 с.

УДК 621. 793.

### ВЫБОР КОМПОНЕНТОВ ДЛЯ ЛАЗЕРНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ САМОФЛЮСУЮЩИХСЯ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ

**С.М Криуша**, магистрант БНТУ, канд. техн. наук, доцент **О.В. Дьяченко**, канд. техн. наук, доцент **М.А. Кардаполова**, БНТУ, г. Минск

*Резюме – проанализированы факторы, влияющие на грануляцию порошков для плазменного напыления. Осуществлен выбор компонентов для лазерного легирования.*

**Введение.** Применение лазеров для оплавления покрытий позволяет избежать отрицательных явлений, имеющих место при использовании неконцентрированных источников нагрева (объемный, высокотемпературный разогрев деталей, усиление процессов отпуска и рекристаллизации, приводящие к разупрочнению материала основы, значительные температурные деформации). Лазерное модифицирование покрытий на основе никеля

является одним из перспективных способов улучшения свойств износостойких покрытий. Она позволяет точно предопределить количество того или иного компонента в покрытии, причем число компонентов может быть таким, какое необходимо для обеспечения требуемых свойств.

**Основная часть.** Одним из факторов, оказывающих влияние на качество покрытий, является гранулометрический состав напыляемого материала. Для заданного режима напыления большие частицы могут не расплавляться, а слишком тонкие порошки испаряются либо сгорают. Большинство порошков, применяемых при напылении, обладает наибольшей текучестью при зернистости 40...100 мкм. Этот же размер частиц порошка способствует получению оптимальных результатов при прохождении их в нагретом факеле к покрываемой поверхности. Частицы зернистостью свыше 100 мкм должны находиться более длительное время в факеле для полного их прогревания, а очень мелкие частицы (менее 40 мкм) вследствие малой их массы быстро теряют скорость, в результате чего получается недостаточно прочное покрытие. Следовательно, важно сохранять гранулометрический состав в узком технологическом диапазоне размеров, что позволяет оптимизировать условия напыления.

Для получения покрытия с высокой плотностью и максимальным коэффициентом использования материала необходимо чтобы все частицы при напылении были нагреты до одинаковой температуры и находились в расплавленном состоянии или высокопластичном состоянии к моменту соударения с поверхностью детали. Это возможно лишь в том случае, если все частицы будут иметь примерно одинаковый размер и вес и обладать одинаковыми свойствами. В связи с этим перед операцией напыления материала необходим рассев порошка до требуемых узких фракций. Форма частиц в идеальном случае должна быть сферической, чтобы можно было обеспечить равномерную подачу в сопло плазмотрона и равномерный их прогрев [1]. Таким образом, наличие в структуре упроченного слоя эвтектической составляющей можно рассматривать как исходную предпосылку для последующей разработки износостойких эвтектических покрытий – эффективного средства для повышения долговечности деталей машин. Очень важно при этом добиться образования эвтектики на границе с упрочняемой основой, с дальнейшим переходом ее в объем покрытия. Во многих случаях определяющим для возможности использования порошковых материалов в конкретных условиях эксплуатации является критерий совместимости. Это является следствием контактной несовместимости приводящей, как известно, к схватыванию при трении [2]. Нитриды по своим физико-химическим, механическим и другим свойствам могут рассматриваться как перспективные материалы широкого профиля для различных отраслей [3, 4]. Их высокая температура плавления, твердость, повышенная износостойкость, термостойкость при частых и резких сменах температур, устойчивость против действия различных соединений обусловили значительный интерес к ним (таблица 1).

Таблица 1 – Основные эксплуатационные свойства нитридов бора, алюминия, титана и карбида бора.

Тип модифицирующего вещества	Эксплуатационные свойства	Возможные области применения покрытий
Нитрид бора (BN)	1. Высокая стойкость против тепловых ударов. 2. Высокое электрическое сопротивление. 3. Высокие диэлектрические характеристики. 4. Коррозионная стойкость. 5. Механическая прочность. 6. Химическая инертность по отношению железу и сплавам 7. Стойкость к абразивному износу.	1. Перспективы в технике высоких температур.
Нитрид алюминия (AlN)	1. Высокая термостойкость 2. Высокое электрическое сопротивление. 3. Высокая стойкость к действию воды, кислот, химических соединений, растворов металлов и шлаков. 4. Стойкость в восстановительной среде.	1. Возможность применения в высокотемпературных узлах трения. 2. Восстановление деталей оборудования, работающего в условиях агрессивных сред.
Нитрид титана (TiN)	1. Высокая износостойкость. 2. Высокая термостойкость. 3. Стойкость к воздействию многих агрессивных сред. 4. Способность противостоять трению и изнашиванию в условиях значительных колебаний температур и нагрузок	1. Инструментальное производство 2. Восстановление деталей машин, работающих в условиях трения скольжения. 3. Восстановление оборудования, работающего в условиях агрессивных сред и высоких температур.

Известно, что при хорошей смачиваемости, угол смачивания близок к нулю, так, например, TiN не смачивается железом и жидким чугуном [4]. А вот никель, входящий в состав самофлюсующихся сплавов смачивает нитрид титана при 1800 – 2000°C. При этом увеличивается прочность сцепления, снижается пористость (до 5%) [5]. Интерес к подобным материалам обусловлен еще и тем, что BN, AlN, TiN обладают низким сродством к металлам (например, к Fe и сплавам на основе Ni) а также хорошо смачиваются ими. А степень смачивания износостойкой составляющей сплавом-смазкой оказывает существенное влияние на прочность соединения и износостойкость композиционного сплав [6]. Указанные выше нитриды способны противостоять изнашиванию в условиях значительного перепада температур и нагрузок. Так, согласно данным работы [7], покрытия из BN склонны к

абразивному износу. Например, стойкость этих покрытий к действию песка эквивалентна стойкости к действию стекла. Коэффициент трения покрытия из BN при температуре возрастает от 0,23 до 0,4, а при 600°C уменьшается до 0,1, что объясняется плавлением примеси В<sub>2</sub>О<sub>3</sub> и появлением жидкой смазки. При 900°C величина коэффициента трения значительно возрастает благодаря интенсивному окислению. В работе [8] проанализирована возможность применения покрытий из AlN в высокотемпературных узлах трения. Выявлено, что в случае трения AlN коэффициент трения при нагреве непрерывно снижается.

**Заключение.** 1. На основании данных литературных источников дан анализ грануляции напыляемых порошков. 2. Приведено обоснование выбора модифицирующих веществ с учетом данных литературных источников об их термодинамических характеристиках, физико-механических и эксплуатационных свойствах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Исакин, И.И. Методы поверхностной лазерной обработки металлов и сплавов, - Ростов-на-Дону: Южный университет, (ИУБиП), №2 (18), - 2016, - С. 49 – 58.
2. Борисова, А.Л. Совместимость тугоплавких соединений с металлами и графитом: Справочник. – Киев: Наукова думка, 1985. –247 с
3. Неметаллические тугоплавкие соединения / Т.Я. Косолапова, Т.В. Андреева, Т.С. Бартницкая, Г.Г. Гнесин и др. – М.: Металлургия, 1985. – С. 11.
4. Самсонов Г.Н. Нитриды. – Киев: Наукова думка, 1969. – С.145.
5. Hemmati, I., Huiyenga R.M., Ocelik V. and De Hosson J. Th. M. (2013): *Microstructural design of hard facing Ni- Cr-B-Si-C alloys*. - Acta Mater. - vol.61, pp.6061-6070.
6. Hamatani, H., Ichiyama Y. and Kobayashi J. (2002): *Mechanical and thermal properties of HVOF sprayed Ni based alloys with carbide*. - Sci. Technol. Adv. Mater. - vol. 3, No.4, pp.319-326.
7. Влияние структурного состояния на эксплуатационные свойства инструмента из BN и перспективы его применения. / В.П. Зубарь, А.Г. Тимчук, И.Л. Гладких, З.И. Колупаева // Тез. докл. конф. – Тбилиси, 1984. – С. 153.
8. Ткаченко, Ю.Г. Юрченко Д.З., Юлюгин В.К. Особенности деформации и разрушения карбидов, боридов и нитридов при трении в интервале температур 20-1400°C // VIII межд. симпозиум по бору, боридам, карбидам, нитридам и родственными соединениям. – 1984. –С. 53.

УДК 681.138

## ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ВЕНДИНГОВОЙ ТОРГОВЛИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ И ЗА РУБЕЖОМ

канд. техн. наук, доцент **А.И. Ермаков, А. А. Куликова**, БНТУ, г. Минск

*Резюме – рассмотрены тенденции развития вендингового бизнеса, изучен зарубежный опыт и перспективы развития вендинга в Республике Беларусь.*

**Введение.** Одним из перспективных направлений в организации продажи товаров, который основан на использовании современных технологий, является продажа через торговые автоматы. Это альтернативный способ продажи товаров, который позволяет круглосуточно обслуживать покупателей и получать дополнительную экономию за счет снижения расходов трудовых ресурсов.

**Основная часть.** Торговым автоматом называется устройство, которое в автоматическом режиме осуществляет процесс обмена товара на деньги или другие денежные эквиваленты [1]. Ежегодно рост объемов вендинговой торговли составляет около 10%. При этом разнообразие и количество торговых автоматов постоянно растет и давно уже выходит за рамки традиционной продукции. Лидирующие позиции в вендинговой торговле занимают США (около 7 миллионов автоматов) и Япония (около 6 миллионов автоматов) [2]. В процессе изучения зарубежного опыта вендинговой торговли был выявлен ряд основных тенденций, характерных для развития мирового вендинга. Одной из мировых тенденций развития вендинга является подключение автоматов к телеметрическим системам (удаленное управление вендинговыми автоматами). Эта система позволяет дистанционно в режиме онлайн получать информацию о продажах и техническом состоянии торговых автоматов, отслеживать текущую загрузку продукции, защищает оборудование от грабителей и вандалов, повышает эффективность работы терминалов, позволяют корректировать цены и отслеживать наличие сдачи.

Телеметрическая система для вендингового автомата может состоять из ряда элементов: модем, который установлен в автомате; датчики, которые реагируют на удары, незаконное открытие дверей автомата; сигнализация; различные реле; запасной аккумулятор. Система подключается к личному кабинету в Интернете, где можно просматривать всю информацию о работе автомата. Здесь можно найти информация об общем состоянии сети, эффективности работы автоматов, простоях, обслуживании и инкассации. В зависимости от конкретных целей состав комплекта может незначительно изменяться. Таким образом, современные вендинговые автоматы могут управляться посредством связи с мобильного телефона или с компьютера [3].

Кроме того, широкое распространение приобрела безналичная система оплаты продукции с помощью карт, SMS-сообщений, NFS-технологий. Оплата картами предполагает оплату продукции как банковскими картами, таки специальными картами, которые распространяются среди сотрудников фирмы. В сфере общественного вендинга используются карты учащихся, что дает возможность родителям контролировать приобретение