

Интернет-журнал «Наукovedение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 7, №6 (2015) <http://naukovedenie.ru/index.php?p=vol7-6>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/83TVN615.pdf>

DOI: 10.15862/83TVN615 (<http://dx.doi.org/10.15862/83TVN615>)

УДК 621.793

Васильев Евгений Викторович

ФГБОУ ВПО «Тольяттинский государственный университет»

Россия, Тольятти¹

Младший научный сотрудник

E-mail: avellko@yandex.ru

Защитные покрытия для раскатных роликов

¹ Россия, г. Тольятти, ул. Жилина, д. 1А, кв. 16

Аннотация. Повышение износостойкости и восстановление исходных характеристик инструмента является актуальным в условиях любого машиностроительного производства. Несмотря на значительный прогресс в данном направлении, по-прежнему остается ряд нерешенных проблем. Так, например, сталь 5ХГМ, из которой изготавливаются раскатные ролики, имеет недостаточную теплостойкость для синтеза многих ионно-плазменных покрытий, а ее относительно низкая твердость снижает эффективность покрытия и может вести к его преждевременному разрушению. В связи с этим необходима разработка новых подходов, позволяющих решить данные проблемы.

В данной работе разработана и апробирована технология восстановления и упрочнения раскатных роликов из штамповой стали при помощи нанесения защитных газопламенных и ионно-плазменных покрытий. В результате промышленной апробации было установлено, что данная технология позволяет не только восстановить исходную геометрию инструмента, но и повысить его износостойкость до 36 раз, что значительно превосходит эффект от дискретных технологий.

Кроме того, в работе изучено влияние некоторых технологических параметров нанесения ионно-плазменных покрытий на их структуру и свойства. Так, изменение силы тока дуги до значений более 90 А и менее 80 А приводит к резкому возрастанию площади капельной фазы и увеличению размера частиц капельной фазы. Также установлено, что предлагаемое многослойное покрытие TiAlN с промежуточными релаксационными слоями TiN имеет мелкоячеистую структуру, удовлетворительную адгезию, высокую микротвердость и ударную вязкость.

Ключевые слова: восстановление; упрочнение; газопламенное напыление; ионно-плазменное напыление; штамповая сталь; износостойкость; раскатные ролики; покрытие.

Ссылка для цитирования этой статьи:

Васильев Е.В. Защитные покрытия для раскатных роликов // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 7, №6 (2015) <http://naukovedenie.ru/PDF/83TVN615.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/83TVN615

Статья опубликована 25.11.2015.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из распространенных инструментов для холодной раскатки трубных заготовок являются раскатные ролики, изготавливающиеся из штамповой стали 5ХГМ с твердостью 44-48 HRC после закалки в масле при температуре 820-850°C и отпуска при температуре 410-440°C [1].

Для повышения эксплуатационных характеристик металлообрабатывающего инструмента в настоящее время разработаны и широко применяются различные защитные покрытия. Многослойные износостойкие ионно-плазменные покрытия [2-4] обладают повышенной трещиностойкостью, улучшенной адгезией, высокой ударной прочностью, меньшим уровнем внутренних напряжений и напряжений на границе «покрытие — подложка» вследствие выравнивания коэффициентов термического расширения.

Известны также различные комбинации покрытий с применением тонких внешних твердосмазочных покрытий (например, TiAlN/MoS₂ [5]), обеспечивающих эффективный вынос стружки и идеальную приработку инструмента. Активно ведутся разработки аморфных углеродных покрытий в различных модификациях. Низким коэффициентом трения и высокой износостойкостью обладают высокотвердые алмазоподобные покрытия [6], которые, однако, не лишены и недостатков.

Однако, сталь 5ХГМ имеет недостаточную теплостойкость для синтеза многих ионно-плазменных покрытий, а ее относительно низкая твердость снижает эффективность покрытия и может вести к его преждевременному разрушению. Одним из решений данной проблемы является нанесение промежуточных термостойких слоев с повышенной твердостью, и в этом качестве могут успешно использоваться газопламенные покрытия [7-9].

Использование газопламенного напыления оправдывается еще и тем, что данный метод позволяет не только упрочнять, но и восстанавливать изношенную поверхность [10]. А в комбинации со сверхтвердыми ионно-плазменными покрытиями можно добиться еще большего повышения эксплуатационных свойств.

Целью работы является разработка комплексной технологии газопламенного и ионно-плазменного восстановления и упрочнения раскатных роликов из штамповой стали, а также анализ структуры и свойств получаемых покрытий в зависимости от технологических параметров обработки.

МАТЕРИАЛЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИЯ

В качестве образцов для нанесения покрытий использовались раскатные ролики и образцы-свидетели из штамповой стали 5ХГМ, содержание основных легирующих элементов в которой приведено в табл. 1.

Таблица 1

Состав стали 5ХГМ

Содержание основных легирующих элементов, массовых %								
C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	Cu
0,5 – 0,6	0,25 – 0,6	1,2 – 1,6	до 0,35	до 0,03	до 0,03	0,6 – 0,9	0,15 – 0,3	до 0,3

Газопламенное напыление производилось с помощью горелки порошкового напыления собственной конструкции и установки ТОП-ЖЕТ – 2.

После износа поверхности восстановление раскатных роликов производилось по следующему технологическому процессу:

1. Механическая обработка шлифованием с целью устранения дефектов, придания правильной геометрической формы и получения единого базирования.
2. Струйно-абразивная обработка карборундом до получения шероховатости поверхности Rz20.
3. Газопламенное напыление порошка ПН70Х17С4Р4.
4. Локальное оплавление покрытия.
5. Механическая обработка (шлифование, полировка) абразивным инструментом до восстановления требуемой геометрии.

После газопламенного напыления ролики упрочняли ионно-плазменным методом. Нанесение ионно-плазменных покрытий производилось на вакуумно-дуговой установке ННВ-6.6-И1, осаждение производили на подложки размером 50x10x2 мм. Образцы подвергали механическому шлифованию и полированию, обезжиривали и промывали в ультразвуковой ванне, после чего помещали в вакуумную камеру. Дальнейшая подготовка поверхности включала очистку ионами хрома при напряжении смещения 700 В, токе дуги 50-70 А и температуре подложки 450-500°C. Температура контролировалась пирометром и поддерживалась на заданном уровне. Образцы с покрытиями исследовали методами оптической микроскопии. Микротвердость покрытий определяли на микротвердомере ПМТ-3.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Твердость газопламенного покрытия составляет 59-64 HRC, толщина 1,5-2 мм. После чистового шлифования отклонение от номинальных геометрических размеров не превышает 0,02 мм, что находится в пределах допуска точности инструмента. Получаемое газопламенное покрытие не склонно к разупрочнению при температурах воздействия 500-600°C, что позволяет синтезировать на нем ионно-плазменные покрытия при более высокой температуре без снижения твердости основы.

Влияние технологических параметров нанесения на структуру и свойства ионно-плазменного покрытия TiN+TiAlN

Дефектность поверхностных слоев с защитными покрытиями может являться следствием как дефектности самих покрытий, так и наличием дефектов на исходной поверхности материала - таких, как повышенная шероховатость, которая может привести к отслаиванию покрытия.

Влияние дефектов исходной поверхности может быть снижено путем тщательного механического, химического или электролитического полирования. Однако, шероховатость должна быть достаточной для обеспечения хорошей адгезии покрытия. Для получения адгезионно прочного ионно-плазменного покрытия толщиной 5 мкм рекомендуемая шероховатость поверхности Ra должна лежать в интервале от 0,125 мкм до 1,0 мкм.

Количество капельной фазы в покрытии в значительной степени зависит от силы тока дуги и применения масс-зарядной сепарации. Увеличение силы тока дуги до 90-140 А приводит к резкому возрастанию объемной доли капельной фазы и увеличению размера частиц капельной фазы (рис. 1).

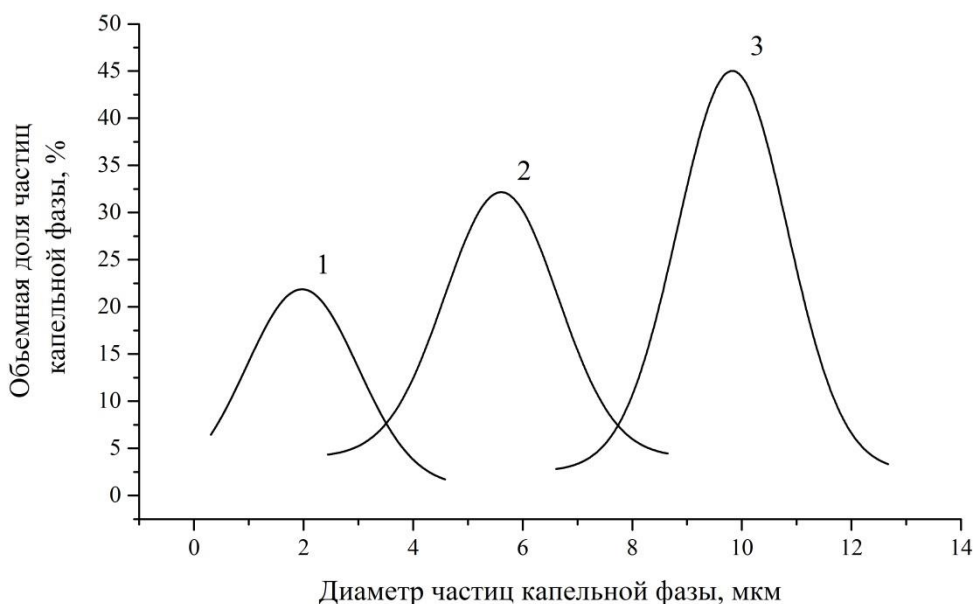


Рис. 1. Распределение капельной фазы по размерам капель в зависимости от силы тока дуги: 1 – 90 А; 2 – 120 А; 3 – 140 А

Уменьшение силы тока дуги до значения меньше 80 А приводит к снижению устойчивости горения дуги, что в свою очередь ведет к существенному загрязнению поверхности покрытия. Таким образом, сила тока ограничена снизу устойчивостью работы испарителя, а сверху предельно допустимой концентрацией капельной компоненты в покрытии. Наилучшие результаты достигаются при токе дуги 90 А, получаемое покрытие имеет низкое содержание капельной фазы и высокую скорость конденсации.

Исследование покрытия TiAlN, нанесенного на подслои TiN показало, что напряжение смещения на подложке в исследуемом диапазоне (50-200 В) незначительно влияет на скорость конденсации (рис. 2).

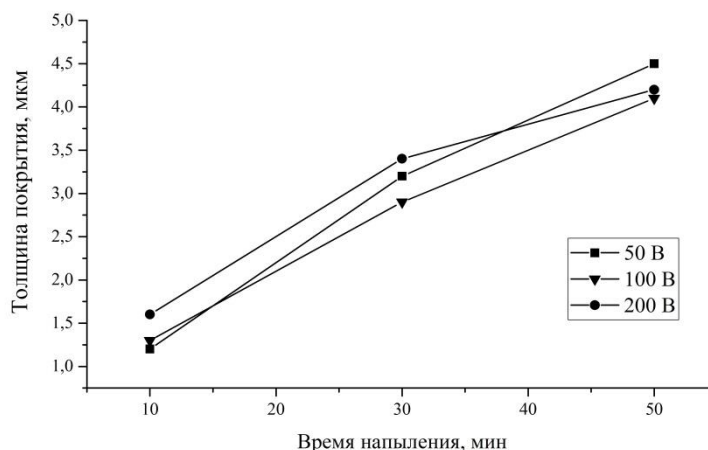


Рис. 2. Зависимость скорости конденсации покрытия TiAlN от напряжения на подложке

На покрытии, нанесенном без масс-зарядной сепарации потока наблюдается значительное количество капельной фазы (рис. 3а). Напротив, структура покрытия, нанесенного с сепаратором, бескапельная (рис. 3б). При оценке адгезии методом индентирования наблюдается отслоение покрытия TiAlN от подслоя TiN вокруг отпечатка твердости. Микротвердость покрытия составляет 3392 HV^{0.005}.

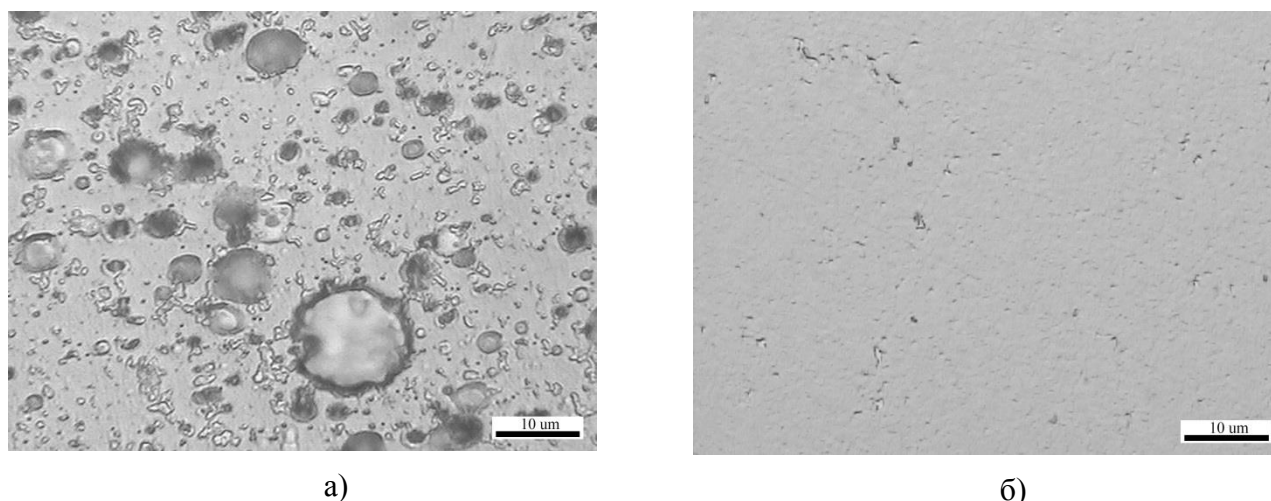


Рис. 3. Структура поверхности покрытия TiAlN: а – без сепарации капельной фазы, б – с сепарацией капельной фазы

Таким образом, несмотря на высокую микротвёрдость покрытия, его адгезионные свойства весьма низкие из-за высоких остаточных напряжений. Для устранения данного недостатка предлагается также наносить чередующиеся слои из TiN+TiAlN, что достигается путем последовательной работы катодов на протяжении коротких промежутков времени, причем TiN наносится с пониженной концентрацией азота.

В проведенных опытах наносили первый слой TiN толщиной 500 нм, затем 25 промежуточных слоев TiN+TiAlN и верхний слой – TiAlN толщиной около 400 нм. Результаты лабораторных испытаний показали, что многослойное покрытие имеет удовлетворительную адгезию (HF-2), микротвердостью $\sim 3058 \text{ HV}^{0.005}$ и хорошую ударную вязкость. Суммарная толщина покрытия составляет 5 мкм.

Данная схема нанесения покрытия предпочтительна, так как также позволяет поддерживать температуру конденсации на всём цикле обработки. Температура инструмента при этом поддерживается за счёт суммарной тепловой мощности плазменных потоков и напряжения смещения на подложке.

Результаты промышленной апробации

Промышленные испытания роликов, прошедших различную обработку, показали увеличение износостойкости:

- в 3 раза при упрочнении новых раскатных роликов ионно-плазменным методом (с 2 до 6,2 тыс. обработанных деталей);
- в 2,5 раза при восстановлении газоплазменным методом (с 2 до 4,9 тыс. обработанных деталей);
- в 36 раз при газоплазменном восстановлении и ионно-плазменном упрочнении (с 2 до 72,1 тыс. обработанных деталей).

Кроме того, применение разработанной технологии позволило неоднократно восстанавливать и упрочнять изношенный инструмент, а ее низкая стоимость обеспечивает значительное снижение расходов на приобретение нового инструмента.

ВЫВОДЫ

- Разработанная технология позволяет успешно многократно восстанавливать и упрочнять раскатные ролики из штамповой стали 5ХГМ с возможностью синтеза ионно-плазменных покрытий без разупрочнения основы.
- Для исключения влияния шероховатости подложки на характеристики ионно-плазменного покрытия толщиной 5 мкм чистота обработки поверхности должна характеризоваться параметром Ra от 0,125 мкм до 1,0 мкм.
- Изменение силы тока дуги до значений более 90 и менее 80 А приводит к резкому возрастанию площади капельной фазы и увеличению размера частиц капельной фазы. Наилучшие результаты достигаются при токе дуги 90 А.
- Напряжение смещения на подложке в диапазоне 50-200 В незначительно влияет на скорость конденсации покрытия.
- Покрытие TiAlN, нанесенное по подслою TiN, имеет неудовлетворительную адгезию из-за высоких остаточных напряжений.
- Многослойное покрытие TiAlN с промежуточными релаксационными слоями TiN имеет мелкоячеистую структуру, удовлетворительную адгезию, высокую микротвердость и ударную вязкость.
- Комплексная технология газопламенного восстановления с локальным оплавлением и дополнительное ионно-плазменное упрочнение дает значительно больший эффект повышения износостойкости по сравнению с дискретными технологиями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Конструкционные материалы: Справочник / Под ред. Б.Н. Арзамасова. - М.: Машиностроение, 1990. - 688 с.
2. Fox-Rabinovich G.S. et al. Effect of mechanical properties measured at room and elevated temperatures on the wear resistance of cutting tools with TiAlN and AlCrN coatings // *Surface and coatings technology*. – 2006. – Т. 200. – №20. – С. 5738-5742.
3. Rousseau A.F. et al. Microstructural and tribological characterisation of a nitriding / TiAlN PVD coating duplex treatment applied to M2 High Speed Steel tools // *Surface and Coatings Technology*. – 2015. – Т. 272. – С. 403-408.
4. Васильев Е.В., Попов А.Н., Кадочкин Д.С. Износостойкие покрытия для металлообрабатывающего инструмента // *Сборник по результатам XXVIII научной конференции международного научно-исследовательского журнала*. – Екатеринбург, 2015. С. 47-48.
5. Pawlowski L. *The science and engineering of thermal spray coatings*. – John Wiley & Sons, 2008.
6. Banerji A., Bhowmick S., Alpas A. T. High temperature tribological behavior of W containing diamond-like carbon (DLC) coating against titanium alloys // *Surface and Coatings Technology*. – 2014. – Т. 241. – С. 93-104.
7. Yongliang L.I., Sunkyu K.I. M. Microstructural and tribological behavior of TiAlN/MoS₂-Ti coatings // *Rare Metals*. – 2006. – Т. 25. – №4. – С. 326-330.
8. Davis J.R. et al. (ed.). *Handbook of thermal spray technology*. – ASM international, 2004.
9. Huang P.K. et al. Multi-Principal-Element Alloys with Improved Oxidation and Wear Resistance for Thermal Spray Coating // *Advanced Engineering Materials*. – 2004. – Т. 6. – №1-2. – С. 74-78.
10. Газотермическое напыление композиционных порошков / А.Я. Кулик [и др.] - Л.: Машиностроение, 1985. - 199 с.

Рецензент: Статья рецензирована членами редколлегии журнала.

Vasil'ev Evgeniy Viktorovich
Togliatti State University
Russia, Togliatti
E-mail: avellko@yandex.ru

Protective coating for flattening-out rollers

Abstract. Wear resistance increasing and original characteristics recovery are actual tasks in any machine-building plants. Despite significant progress in this areas there still are a number of unresolved problems. Thus, for example, die steel which is common material for flattening-out rollers is not sufficiently heat-resistant for deposition of many Arc-PVD coating, and its low hardness reduces the coating effectiveness and may lead to its early failure. In connection with this development of new approaches solving these problems is needed.

In this paper technology of recovery and hardening of flattening-out rollers using gas-flame spraying and cathodic arc deposition is developed and tested. After industrial testing it was found that this technology allows not only restore initial tool geometry, but also increase its wear resistance up to 36 times, which is much more than the effect of single technologies.

Moreover, influence of some technological parameters of cathodic arc deposition on the structure and properties of coatings is determined. Thus, change in the arc current to values greater than 90 A and less than 80 A leads to a rapid increasing of the drop phase area and particle size. Also it was found that the proposed multilayer coating TiAlN with intermediate TiN layers has fine cell structure, satisfactory adhesion, high microhardness and toughness.

Keywords: recovery; hardening; gas-flame spraying; cathodic arc deposition; die steel; wear resistance; flattening-out rollers; coating.

REFERENCES

1. Konstruktsionnye materialy: Spravochnik / Pod red. B.N. Arzamasova. - M.: Mashinostroenie, 1990. - 688 s.
2. Fox-Rabinovich G.S. et al. Effect of mechanical properties measured at room and elevated temperatures on the wear resistance of cutting tools with TiAlN and AlCrN coatings // Surface and coatings technology. – 2006. – Т. 200. – №20. – S. 5738-5742.
3. Rousseau A.F. et al. Microstructural and tribological characterisation of a nitriding/TiAlN PVD coating duplex treatment applied to M2 High Speed Steel tools //Surface and Coatings Technology. – 2015. – Т. 272. – S. 403-408.
4. Vasil'ev E.V., Popov A.N., Kadochkin D.S. Iznosostoykie pokrytiya dlya metalloobrabatyvayushchego instrumenta // Sbornik po rezul'tatam XXVIII nauchnoy konferentsii mezhdunarodnogo nauchno-issledovatel'skogo zhurnala. – Ekaterinburg, 2015. S. 47-48.
5. Pawlowski L. The science and engineering of thermal spray coatings. – John Wiley & Sons, 2008.
6. Banerji A., Bhowmick S., Alpas A. T. High temperature tribological behavior of W containing diamond-like carbon (DLC) coating against titanium alloys // Surface and Coatings Technology. – 2014. – Т. 241. – S. 93-104.
7. Yongliang L.I., Sunkyu K.I. M. Microstructural and tribological behavior of TiAlN/MoS₂-Ti coatings // Rare Metals. – 2006. – Т. 25. – №4. – S. 326-330.
8. Davis J.R. et al. (ed.). Handbook of thermal spray technology. – ASM international, 2004.
9. Huang P.K. et al. Multi-Principal-Element Alloys with Improved Oxidation and Wear Resistance for Thermal Spray Coating // Advanced Engineering Materials. – 2004. – Т. 6. – №1-2. – S. 74-78.
10. Gazotermicheskoe napylenie kompozitsionnykh poroshkov / A.Ya. Kulik [i dr.] - L.: Mashinostroenie, 1985. - 199 s.