

ных моделей. Если пренебрегать деформацией в направлении, перпендикулярном плоскости контакта, то схема численного интегрирования задачи будет аналогична описанной.

#### Литература

1. Волков А.Е., Евард М.Е. Расчет неупругой деформации биметаллического элемента из сплава с памятью формы и стали/ 50 Международный научный симпозиум «Актуальные проблемы прочности». 27 сентября – 1 октября 2010 года. Витебск, Беларусь: сборник материалов. Ч.1. /УО «ВГТУ» – Витебск, 2010 – 218 с. С. 69-72.
2. Вьюненко Ю.Н. Эффект памяти формы, инициируемый механизмом остаточных напряжений// Глава 14. с. 384-399 в книге «Перспективные технологии и методы контроля»// С.П. Беляев и др. – Витебск: изд-во УО «ВГТУ», 2009. – 521 с.
3. Ильющин А.А. Пластичность. Часть первая. Упругопластические деформации. – М., Л.: ОГИЗ Гос. изд-во технико-теоретической лит-ры, 1948. – 376 с.
4. Пряхин С.С., Рубаник В.В. мл. Математические соотношения в модели термомеханического поведения сплавов с памятью формы. / Глава 13. стр. 360-383. в книге «Перспективные технологии и методы контроля»// С.П. Беляев и др. – Витебск: изд-во УО «ВГТУ», 2009. – 521 с.

### ОСОБЕННОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ШТАМПОВОЙ ОСНАСТКИ ПУТЁМ НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ УПРОЧНЕНИЕМ ОСНОВЫ

Хвисевич В.М.<sup>1</sup>, Онысько С.Р.<sup>1</sup>, Чекан Н.М.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> БрГТУ, г. Брест, Беларусь, [vmhvisевич@bstu.by](mailto:vmhvisевич@bstu.by)

<sup>2</sup> ФТИ НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь, [pec@bas-net.by](mailto:pec@bas-net.by)

#### Введение

В последние годы основой развития машиностроительной отрасли является создание и получение конструкционных материалов, отвечающих большому количеству требований современной индустрии и новой техники. Одним из основных факторов эффективности производства является повышение работоспособности инструмента за счет увеличения его стойкости и надежности [1].

При обработке металлов давлением применяют соответствующие инструменты – штампы, пуансоны и т. д., деформирующие металл. Штамповые инструменты работают под воздействием сложного комплекса факторов – высокие температуры, большие контактные напряжения, активные физико-механические процессы, а это, в основном, и определяет интенсивный износ контактных (рабочих) поверхностей инструмента [2].

В последнее время большое внимание уделяется покрытиям на основе циркония (Zr), это связано с тем, данные покрытия обеспечивают лучшую износ- и коррозионностойкость по сравнению с базовыми титаносодержащими покрытиями. Также в мировой практике производства режущего инструмента разрабатываются составы износостойких покрытий на основе композиционно-многослойного принципа,

согласно которого покрытие содержит несколько слоев, имеющих свое функциональное назначение.

В этой связи целесообразно изучить свойства покрытий на основе карбонитридов тугоплавких металлов (в частности циркония Zr) в процессах штамповки.

### Объекты, методика и результаты исследований

Объектом исследования являются цилиндрические пуансоны, изготовленные из стали X12M, которые используются для пробивки отверстий диаметром 4,16 мм и 6,2 мм при толщине пробиваемого материала – 4 мм (рисунок 1).



Рис. 1. Цилиндрические пуансоны и обрабатываемая деталь

В процессе эксплуатации пуансоны имели низкую стойкость, обусловленную их частой поломкой, быстрым износом рабочей поверхности, что приводило к остановке оборудования, проведению дополнительных операций по их перезаточке и изготовлению.

Используемая для их изготовления сталь X12M является высокохромистой и относится к ледебуритному классу [3]. На практике после изготовления пуансоны упрочнялись с помощью объемной термической закалки. Интервал закалочных температур должен составлять 1140 – 850 °С, при последующем замедленном охлаждении. После закалки проводился отжиг (нагрев на 850–870 °С, охлаждение со скоростью 40 °С/ч до 710 °С, выдержка 3 – 4 ч, охлаждение со скоростью 50 °С/ч до 550 °С, далее на воздухе).

Исследованы микроструктура и механические свойства стали после объемной закалки (рисунок 2). Твердость образцов составляет HRC 55-58 HRC.

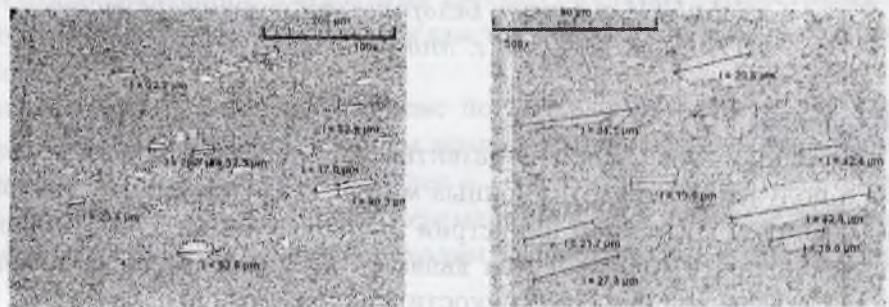


Рис. 2. Микроструктура стали X12M ( $\times 100$ ), ( $\times 500$ )

Анализируя микроструктуру материала можно наблюдать повышенную карбидную неоднородность, предельно допустимая норма которой для минимального размера пуансона  $\varnothing 4,16$  мм не должна превышать 4 баллов. Балл 4 (при увеличении  $\times 100$ ) соответствует резко выраженной полосчатости, грубым строчкам карбидов, (при увеличении  $\times 500$ ) размер зерен цементита должен составлять менее 1–10 мкм.

Анализ этих данных показал, что объемная закалка не обеспечивает требуемых характеристик согласно ГОСТам. Срок службы пуансонов 2000 – 2500 пробивок.

Для увеличения эксплуатационных свойств использовали вакуумно-плазменный метод нанесения покрытий на основе карбонитрида циркония.

Использование данного покрытия позволяет получить высокую износо- и коррозионную стойкость, низкую шероховатость и коэффициент трения, высокую адгезию к подложкам по сравнению с традиционно используемыми.

Параметры процесса выбирались из ранее наносимых покрытий на режущий инструмент, работающий по схожему принципу со штамповой оснасткой [4].

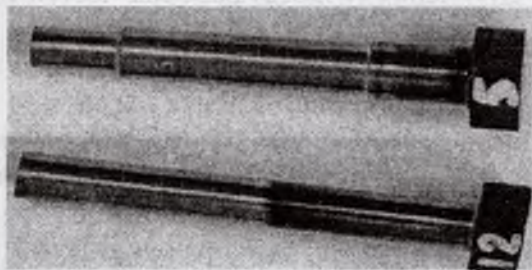


Рис.3. Пуансоны с нанесенным покрытием

Тонкопленочные покрытия на основе карбонитрида циркония наносились методом конденсации ускоренных потоков плазмы металла в присутствии азота и ацетилена на вакуумной установке УВНИПА.

Процесс нанесения покрытия заключался поэтапно:

- предварительно в течении 30 мин. производилась очистка поверхности инструмента пучком ионов аргона;
- 3–5 мин. пуансоны подвергались бомбардировке плазмообразующим материалом (цирконием);
- для образования на поверхности нитрида циркония (ZrN) в течении 30 мин. производилась подача азота;
- в течении 30 мин. подавался ацетилен, и на поверхности образовывался карбонитрид циркония (ZrCN).

Исследования методами рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии показали, что цирконий в покрытии является полностью химически связанным элементом, то есть произошло хорошее перемешивание фаз карбида и нитрида циркония.

При помощи атомной силовой микроскопии была изучена морфология поверхности пленки, в отличие от титанового покрытия, поверхность ZrCN пленки более однородна без видимых включений и зерен [5].

Упрочненные образцы прошли предварительные испытания в условиях производства. Результаты показали, что срок службы штамповой оснастки с покрытием на основе карбонитрида циркония увеличен более чем в 2 раза.

Однако полностью исключить хрупкое разрушение пуансонов в технологическом процессе не удалось.

В ходе исследований выявлено два критерия определяющих разрушение пуансонов: затупление их рабочей поверхности, несовершенство оборудования при ударных нагрузках.

Для устранения этого явления предложено два способа:

- предварительное плазменное поверхностное упрочнение при оптимальных режимах объемной закалки (снижение HRC до оптимальных значений);
- оптимизация геометрической формы пуансонов путём реализации задачи механики деформированного твёрдого тела.

Определение оптимальных режимов объёмной закалки позволит в достаточной степени сохранить вязкость и упругие свойства материала и тем самым снизить вероятность хрупкого разрушения пуансонов.

Выбор наиболее рациональной формы инструмента позволит уменьшить действующие контактные напряжения на режущую кромку при внедрении пуансона в тело пробиваемой детали.

**Выводы:**

1. объёмная закалка штамповой оснастки не обеспечивает её достаточные эксплуатационные свойства.
2. хрупкое разрушение пуансонов может быть не только следствием ударного нагружения, воздействия опасных концентраторов напряжений, но и результатом возрастания удельных нагрузок от смятия или затупления (износа) рабочих частей пуансонов;
3. нанесение покрытий на основе карбонитрида циркония на опытные образцы из стали X12M позволяет увеличить их эксплуатационные свойства почти в 2 раза;
4. для устранения хрупкого разрушения пуансонов необходимо разработать основы технологии предварительного объёмного и поверхностного упрочнения пуансонов в комплексе перед нанесением покрытий, а так же оптимизировать форму пуансонов.
5. для повышения эксплуатационных свойств пуансонов, стабильной их работы, требуется проведение дополнительных исследований по определению оптимальных режимов плазменной установки, технологического процесса нанесения покрытий.
- 6.

**Литература**

1. Мелихов С.Г. Методы нанесения упрочняющих покрытий: Метод. Указания к курсовому и дипломному проекту / Моск. гос. ин-т Электроники и математики. – Москва, 2004. – 28 с.
2. Гуляев А.П. Металловедение. Учебник для вузов. 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1986. – 544 с.
3. Лахтин Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Металлургия, 1977. – 409 с.
4. Чекан Н.М. и др. Упрочняющие градиентные покрытия на основе карбонитрида циркония для штамповой оснастки. // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: материалы IV Международной конференции. 19–21 октября 2009г., Минск, кн. 3, с. 185–190.
5. Чекан Н.М., Онысько С.Р., Акула И.П., Акулич В.В. Нанокпозиционное покрытие для увеличения срока службы штампового инструмента // Инженерия поверхности слоя деталей машин: сб. материалов II Международной научно-технической конференции (г. Минск, май 2010). – Минск, БНТУ, 2010. – С. 42–44.