

значительной мелкой пористостью. С увеличением толщины покрытия до 3 мкм пористость резко снижается, а при дальнейшем наращивании толщины уменьшается незначительно. Оставшееся небольшое количество сквозных пор объясняется, очевидно, дефектами обработки поверхности основы. Практически беспористыми покрытия становятся при толщине более 10...12 мкм.

Результаты исследований позволили оптимизировать параметры осаждения вакуумно-плазменных покрытий на немагнитных металлических материалах.

1. Карпенко Г.Д., Лойко В.А. Исследование структуры покрытий на основе нитрида титана // Известия АН БССР. Сер. физ. техн. наук. — 1986. — № 1. — С. 31-34.
2. Палатник Л.С., Черемской П.Г., Фукс М.Я. Поры в пленках. - М.: Энергоиздат, 1982. – 216 с.
3. Закономерности формирования покрытий в вакууме / В.А. Барвинок, В.И. Богданович, Б.С. Митин и др. // ФХОМ. — 1986. — № 5. — С. 92-97.

**УДК 621.753.5**

## **ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЭКОНОМНОЛЕГИРОВАННЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МЕЛКОРАЗМЕРНОГО ШТАМПОВОГО ИНСТРУМЕНТА**

**Степанкин И.Н., Поздняков Е.П.**

Гомельский государственный технический университет имени П.О.Сухого  
Гомель, Республика Беларусь

**Введение.** Стойкость оснастки для холодной высадки и выдавливания определяется структурой и свойствами поверхностного слоя инструмента. Эта взаимосвязь проявляется при изготовлении сложнопрофильных гравюр штампов холодным выдавливанием. Отжиг заготовок штамповых сталей не всегда обеспечивает возможность удовлетворительного структурообразования металла вследствие карбидной ликвации высоколегированных штамповых сталей. Совместная деформация включений и металлической матрицы зачастую приводит к появлению микротрещин, которые достигают своих критических размеров, как на стадии окончательной термической обработки, так и при эксплуатации инструмента. Замена высоколегированной стали, на альтернативный сплав с диффузионным упрочнением поверхностного слоя, которая может быть проведена по критериям контактного изнашивания, позволяет существенно улучшить технологическую составляющую производства инструмента, обеспечить применение более доступного и дешевого инструментального материала, а также в некоторых случаях увеличить стойкость штампа.

**Объекты и методики исследований.** Объектом исследования являлись отделочные пуансоны, применяемые в холодновысадочных автоматах для изготовления крестообразных шлицев в головках шурупов. Для пуансонов прототипов применяется сталь X12M с твердостью после термообработки 63...64 HRC. В качестве альтернативного материала использовали экономнолегированную сталь 35ХГСА. Для достижения необходимой твердости рабочую поверхность подвергали цементации в среде древесного угля модифицированного  $\text{BaCO}_3$ . Длительность цементации составляла 12 часов при температуре 920°C. Материал поковок, из которых изготавливаются шурупы с крестообразным шлицем – сталь 20.

Для сравнения свойств применяемых материалов их подвергали испытаниям на сжатие (ГОСТ 25.503-97) и на контактное изнашивание. Осадку проводили с целью оценки технологической пластичности материалов в холодном состоянии. При испытании на контактное изнашивание строили кривые износа в зависимости от количества циклов нагружения поверхности экспериментальных образцов. Оценку напряженно-деформированного состояния поверхностей отделочных пуансонов проводили с помощью численного анализа реализуемого методом конечных элементов. Исследование микроструктуры проводили с применением оптического микроскопа Метам РВ-22. Определение твердости проводили на приборе ПМТ-3 с нагрузкой на индентор Виккерса 2Н и прессе Роквелла.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Численный анализ напряженного состояния показал, что максимальные напряжения, локализующиеся на выступающих частях рабочей поверхности инструмента, составляют 1200...1700 МПа. Причиной разрушения оснастки, изготовленной из стали X12M становится отделение фрагмента рабочей части в результате распространения трещин. Причиной их зарождения являются касательные напряжения, которые достигают своего максимального значения под контактной поверхностью. Вероятность их зарождения и распространения, увеличивается за счет присутствия в поверхностном слое крупных карбидов. Снижение локальной перегрузки поверхностного слоя металла обеспечено путем замены материала инструмента на экономнолегированную сталь 35ХГСА. В результате модификации деталей науглероживанием с последующей закалкой и отпуском, синтезирован поверхностный слой, толщиной более 1,5 мм. Его микротвердость достигает 8ГПа. На глубину порядка 0,3...0,4 мм сформирована двухфазная структура, состоящая из мелких карбидных частиц, равномерно распределенных в мартенситной матрице. Для устранения остаточного аустенита в упрочненном слое закалка деталей проводилась с криогенной обработкой в жидком азоте.

Результаты испытаний на контактное изнашивание стали X12M, показали, что при действии пульсирующего напряжения величиной 1280 МПа, после наработки более 30 тысяч циклов износ контактной поверхности экспериментальных образцов не превышает 0,07 мм. Испытание образцов из стали 35ХГСА с упрочненным слоем при действии пульсирующего напряжения

1300 МПа, показали, что в пределах наработки порядка 10 тысяч циклов износоустойчивость материала соизмерима со сталью Х12М.

Анализ технологической пластичности показал, что в предел текучести обоих материалов в отожженном состоянии составил порядка 240 МПа.

Производственная апробация в условиях ОАО «Гомельский завод литья и нормалей» показала, что для изготовления детали пуансон отделочный из стали Х12М заданная геометрия рабочей части инструмента формируется холодным выдавливанием за два перехода. Между операциями выдавливания необходимо проведение полного отжига в защитной атмосфере для восстановления пластичности сплава. При изготовлении инструмента из стали 35ХГСА достаточно одного перехода для полного формообразования рабочей части инструмента. Оценка наработки на отказ показала что, несмотря на высокую стойкость стали Х12М к контактному изнашиванию, определенную на экспериментальных лабораторных образцах, стойкость инструмента имеет достаточно низкий показатель (порядка 3 тысяч поковок). Отказ инструмента происходит по причине возникновения приповерхностных трещин в окрестности крупных карбидных включений в поверхностном слое инструмента и разрушения его рабочей части. Замена материала на сталь 35ХГСА с упрочненным слоем позволила увеличить стойкость пуансонов отделочных №№ 171.1461.0003/53, 171.1469.7008/052, 171.1460.4016/064 более чем в 3 раза.

**УДК 621.9.06**

## **ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ВИБРАЦИОННОЙ ФРЕЗЕРНО-ГРАВИРОВАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ С ФОРМИРОВАНИЕМ СПЕЦИАЛЬНОГО МИКРОРЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТИ**

**Струтинский В.Б., Перфилов И.В.**

Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт»,  
Киев, Украина

Для реализации процесса высокочастотной вибрационной фрезерно-гравировальной обработки разработано, изготовлено и апробировано в производственных условиях специальное технологическое оборудование. Оборудование включает прецизионный трехкоординатный фрезерный станок. Станок имеет высокооборотный шпиндельный узел с частотой вращения 10000-60000 об/мин. При обработке использованы консольные (пальцевые) фрезы малого диаметра (0,2 - 1,0 мм). Обрабатываемая деталь устанавливается на двухкоординатном вибрационном столе, оснащенный специальными пьезоприводами. Частота и амплитуда перемещения стола регулируется специальной мехатронной системой управления, а закон перемещения стола корректируется по результатам измерений его положения путем введения