

этом этапе обработки параметры нестационарного резания были приняты следующими:  $l_2 = 140$  мм;  $n_2 = 300$  об/мин;  $S_2 = 60$  мм/мин;  $L_A = 0,2$  мм;  $L_B = 10$  мм. Эти значения параметров обеспечивают периодическое прерывание подачи на время одного оборота сверла через каждые 10 мм на всем пути перемещения длиной 140 мм. В результате установлено, что за счет управления подачей и частотой вращения шпинделя на этапе врезания сверла в заготовку компенсируются потери времени на втором этапе цикла, обусловленные периодическим прерыванием подачи. Кроме того, в процессе сверления обеспечивалось надежное дробление стружки и свободный доступ охлаждающей жидкости в зону резания.

**Выводы.** Включение в состав технологического программного обеспечения микропроцессорного устройства ЧПУ программных модулей, реализующих алгоритмы управления подачей и частотой вращения шпинделя в функции пути, расширяет функциональные возможности станка (практически любого типа). Для многооперационных станков это выражается в возможности создания постоянных циклов с новой структурой, используемых для совершенствования процесса обработки отверстий, а также в уменьшении затрат на разработку и отладку УП. При обработке глубоких отверстий прерывание подачи с последующей выдержкой времени может быть использовано также с целью кинематического дробления стружки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гжиров Р. И., Серебrenицкий П. П. Программирование обработки на станках с ЧПУ: Справочник. – Л.: Машиностроение, 1990. – 588 с.
2. Каштальян И. А., Клевзович В. И. Обработка на станках с числовым программным управлением: - Мн.: Выш. шк., 1989. – 271 с.
3. Невельсон М. С. Автоматическое управление точностью обработки на металлорежущих станках. Л.: Машиностроение, 1982. – 184 с.
4. Подураев В. Н. Автоматически регулируемые и комбинированные процессы резания. М.: Машиностроение, 1977. – 304 с.
5. Каштальян И. А. Эффективные кинематически нестабильные процессы формообразования на станках с ЧПУ // Машиностроение. – Мн., 2002. – Вып 18. С. 310 – 318.
6. Патент ВУ 5128 С1 МПК G05B 19/18, 19/416. Устройство числового программного управления / Каштальян И. А., Резниченко В. И., Пархутик А. П. , заявл. 26.11.1998; опубл. 30.06.2003. Бюл. №2. // Открытия и изобретения. – 2003. -№2. – С. 34.

УДК 621.777.42

Мрочек Ж.А., Иващенко С.А., Фролов И.С.

### **ОСНОВНЫЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛАЗМЕННО-ВАКУУМНЫХ ПОКРЫТИЙ**

*Белорусский национальный технический университет*

*Минск, Беларусь*

*Известно более 20 способов формирования физико-механических свойств поверхностей изделий. Плазменно-вакуумный способ позволяет получать покрытия из тугоплавких материалов, карбидов, силицидов, нитридов, а также многослойные покрытия. В статье представлены результаты исследований физико-механических свойств плазменно-вакуумных титановых и нитридтитановых покрытий.*

Известно, что важнейшими свойствами плазменно-вакуумных покрытий являются адгезионная прочность, плотность и пластичность.

Основное требование, предъявляемое к любому защитному покрытию, - его высокая адгезионная прочность, так как в случае низкой адгезионной прочности оно не может выполнять свое функциональное назначение. Для эффективной защиты изделия от коррозии необходимы высокая

плотность покрытия и минимальное количество сквозных пор. Износо- и коррозионностойкие покрытия должны быть достаточно пластичны, выдерживать деформации (5 – 10%) без разрушения и существенного увеличения пористости.

Покрытия из титана и нитрида титана наносились на образцы из стали 08кп с использованием вакуумной низкотемпературной плазмы. Расстояние от образца до катода устанавливалось 400 мм. Давление остаточных газов при конденсации титанового покрытия составляло  $1 \cdot 10^{-5}$  Тор. Для получения покрытий из нитрида титана в вакуумную камеру подавался химически чистый азот под давлением  $6 \cdot 10^{-4}$  Тор, при этом нитридтитановое покрытие осаждалось на образце в результате протекания плазмохимической реакции между адсорбированным на поверхности образца азотом и конденсированными ионами титана.

Поверхности образцов перед формированием покрытий подвергались механической обработке для получения заданной величины микронеровностей, затем обезжиривались и очищались в вакууме бомбардировкой ускоренными до энергии  $10^4$  эВ ионами титана в течение 3 – 5 мин. При этом температура образцов достигала 673К. Покрытия наносились при токе дуги 100А и ускоряющем отрицательном потенциале на образцах 125В. Предварительные испытания с использованием известных методик [1] показали, что покрытия обладают высокой адгезионной прочностью, так как их отслаивание не наблюдалось при самых жестких условиях испытаний. Дальнейшее исследование адгезионной прочности покрытий проводилось методами отрыва торцевой поверхности конического штифта от покрытия [2]. Для получения стабильных результатов путем исключения влияния несоосности захватов разрывной машины, которая приводит к возникновению в системе покрытие – подложка изгибающих моментов и неодновременному отрыву торца штифта от покрытия, образцы устанавливались во время испытаний в специально разработанное приспособление [3].

Пластичность определялась растяжением пластин – образцов с предварительно нанесенным покрытием на разрывной машине путем ступенчатого нагружения с шагом возрастания величины относительного удлинения образца 1%. После достижения требуемой деформации покрытия его поверхность обрабатывалась раствором феррицианида калия и с помощью микроскопа определялось наличие трещин. Минимальное относительное удлинение образца ( $\epsilon_r$ ), при котором в покрытии обнаруживались трещины, принималось в качестве характеристики его пластичности.

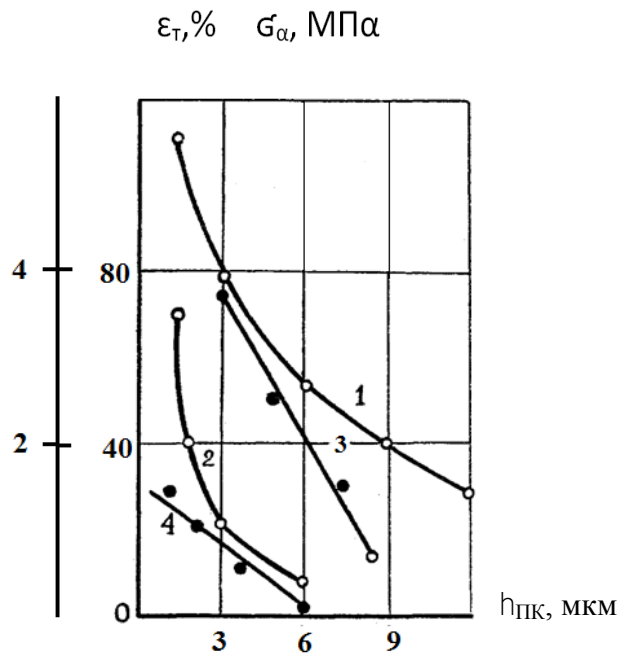
Плотность покрытий определялась наложением на покрытие фильтровальной бумаги, смоченной индикаторным раствором феррицианида калия и подсчетом количества сквозных пор на  $1 \text{ см}^2$ .

Установлено (рис. 1), что адгезионная прочность и пластичность уменьшаются с увеличением толщины покрытий. Как показало последующее исследование торцов штифтов с помощью металлографического микроскопа, у 75–85% в партии из 10 образцов наблюдался чистый отрыв покрытия от подложки, а в 25–15% – по слою покрытия. Так как в подавляющем большинстве экспериментов осуществлялся чистый отрыв, то измеренная величина отрыва покрытия ( $\sigma_a$ ) принималась как искомая адгезионная величина прочности и рассчитывалась как среднее арифметическое.

Можно предположить, что уменьшение адгезионной прочности и пластичности покрытий с увеличением их толщины связано с увеличением уровня внутренних макронапряжений. Так, по результатам исследований [4], между адгезионной прочностью и макронапряжениями в покрытии в большинстве случаев наблюдается обратно пропорциональная зависимость. Снижение пластичности покрытий следует объяснять увеличением дефектов структуры и ослаблением адгезионных связей.

Зависимость адгезионной прочности исследованных покрытий от шероховатости поверхности образцов носит экстремальный характер (рис. 2).

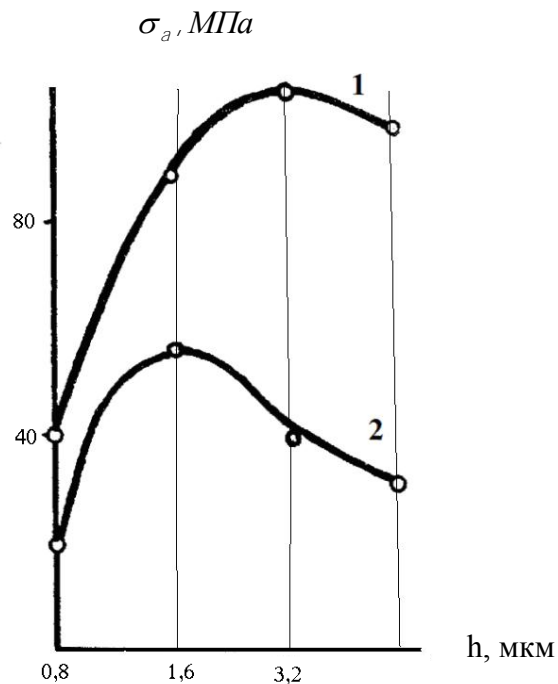
Возрастание адгезионной прочности с увеличением высоты микронеровностей поверхности образца можно объяснить изменением площади фактического контакта поверхности образца с покрытием, и, следовательно, числом единичных связей между ними. Это согласуется микрореологической теорией адгезии [4]. С дальнейшим ростом шероховатости поверхности образцов наблюдается снижение адгезионной прочности и существенное увеличение количества сквозных пор. Можно предположить, что снижение прочности связано с растрескиванием покрытий вследствие концентрации макронапряжений на выступах неровностей. Наряду с неблагоприятным распределением нагрузки в зоне контакта покрытие – поверхность образца из-за концентрации макронапряжений на выступах неровностей [4] на адгезионную прочность покрытий может оказать некоторое влияние число сквозных пор.



1, 3 – покрытия из титана; 2, 4 – покрытия из нитрида титана  
 Рис. 1 – Влияние толщины покрытий на адгезионную прочность (1, 2) и пластичность (3, 4)

Результаты измерений плотности покрытий показали, что при одинаковой толщине покрытие из нитрида титана имеет значительно меньшее количество сквозных пор, чем покрытие из титана. При этом с уменьшением высоты микронеровностей поверхности образцов и с увеличением толщины покрытий количество пор в них уменьшается.

Анализ результатов исследований показывает, что с увеличением толщины покрытий количество сквозных пор уменьшается, однако одновременно наблюдается снижение адгезионной



1 – покрытия из титана (толщина 8 мкм); 2 – из нитрида титана (толщина 3 мкм)  
 Рис. 2 – Влияние шероховатости поверхности образцов на адгезионную прочность

прочности и пластичности. Существенное влияние на основные свойства износостойких и коррозионностойких покрытий оказывает шероховатость поверхности образца, при этом, с точки зрения наивысшей адгезионной прочности, оптимальная высота микронеровностей поверхности обеспечивается в процессе шлифования поверхности.

Анализ результатов исследований показывает, что с увеличением толщины покрытий количество сквозных пор уменьшается, однако одновременно наблюдается снижение адгезионной прочности и пластичности. Существенное влияние на основные свойства износостойких и коррозионностойких покрытий оказывает шероховатость поверхности образца, при этом, с точки зрения наивысшей адгезионной прочности, оптимальная высота микронеровностей поверхности обеспечивается в процессе шлифования поверхности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Покрытия металлические и неметаллические. Методы испытаний. ГОСТ 16875-94.
2. Пискунов И.Ф. Устройство для измерения адгезионной прочности. Заводская лаборатория, 1975, №8, с. 1023–1025.
3. Мрочек Ж.А., Лойко В.А. Быстрее и точнее. Промышленность Белоруссии. 1980, №5, с.74.
4. Зимон А.Д. Адгезия пленок и покрытий. – М.: Химия, 1977.

УДК 621. 791. 92

Сакович А.А., Сакович Н.А.

### ***ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОЙ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕТАЛЛОПОКРЫТИЙ***

*Белорусский национальный технический университет*

*Минск, Беларусь*

*В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований влияния остаточных напряжений второго рода на образцы, упрочненные поверхностной высокотемпературной термомеханической обработкой (ПВ ТМО). Показано, что остаточные напряжения второго рода у образцов, упрочненных ПВ ТМО значительно выше, чем у закаленных, что сказывается на повышении эксплуатационных характеристик, и в частности, на сопротивлении изнашиванию*

Микронапряжения или остаточные напряжения второго рода находятся в непосредственной связи со статической и динамической прочностью материалов. Поэтому определение величины и характера распределения напряжений в металлопокрытиях, упрочненных поверхностной высокотемпературной термомеханической обработкой (ПВ ТМО) с различными режимами деформирования представляет интерес в связи с тем, что уровень остаточных напряжений в металлопокрытиях влияет на технологические и эксплуатационные свойства материала. Сущность ПВ ТМО заключается в пластическом деформировании поверхностных слоев при температуре аустенизации в процессе индукционного нагрева и немедленной закалки [2].

С учетом дислокационно-энергетической теории прочности металлов и сплавов, основным критерием оптимизации технологических параметров ПВ ТМО является тонкая кристаллическая структура.

В качестве объекта исследования была выбрана сталь 40Х, наплавленная проволокой НП-65 под слоем легированного флюса (С-0,51%, Cr-2%, Mn-0,91%, Si-0,46%).

Выбор способа наплавки и наплавочных материалов обусловлен их массовым применением в ремонтном производстве.

Наплавку производили на заготовку цилиндрической формы, применяя стандартное оборудование.

ПВ ТМО проводилась по схеме: нагрев до температуры 1210... 1230°C, поверхностная пластическая деформация путем обкатки роликом и немедленная закалка с последующим низкотемпературным отпуском.