

## ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ УПРОЧНЕНИЯ ТОКАРНОГО ИНСТРУМЕНТА

Введение. Одной из задач развития современного машиностроения является повышение срока службы металлорежущих инструментов (резцы, сверла, метчики, развёртки и др.) При длительной эксплуатации режущих инструментов изнашивание их рабочей поверхности сопровождается снижением скорости резания, увеличением трения и перегревом, что в частности вызывает ухудшение качества изготавливаемых изделий и, часто, приводит к браку.

Проблема повышения работоспособности режущего инструмента — одна из актуальных проблем машиностроения. В настоящее время отсутствуют универсальные инструментальные материалы, которые смогли бы обеспечить высокую работоспособность режущего инструмента при разнообразном характере условий его эксплуатации. Современные инновационные методы упрочнения токарного инструмента направлены на повышение стойкости режущего инструмента, улучшение качества обработки деталей и снижение затрат на производство.

Основная часть. Комплексно улучшить эксплуатационные свойства режущего инструмента можно с помощью различных методов поверхностной химико-термической обработки (ХТО) металлов. Ионное азотирование (ИА) является наиболее технологичным методом ХТО, который обеспечивает улучшение комплекса свойств упрочняемой поверхности: твердость, износостойкость, противозадирные свойства, теплостойкость, коррозионную стойкость и усталостную прочность. При этом азотирование — это малодеформационный процесс, т.е. после упрочнения инструмент имеет весьма малые изменения геометрических параметров, т.к. процесс проводится при температуре 400 – 600 °С и не сопровождается фазовыми превращениями. Азотированная поверхность инструмента, обладающая пониженным коэффициентом трения и улучшенными антифрикционными свойствами, обеспечивает более легкий отвод стружки, а также предотвращает ее налипание на режущие кромки и образование лунок износа, что дает возможность увеличить подачу и скорость резания [1].

Ионно-плазменное азотирование (ИПА) — это разновидность ХТО инструмента, обеспечивающая диффузионное насыщение поверхностного слоя стали азотом. Суть ИПА заключается в том, что изделие обрабатывается в вакуумной камере концентрированным потоком ионов азота. Это обеспечивает формирование на поверхности изделия азотированного слоя, улучшающего поверхностные характеристики изделия (твердость, износостойкость).

Для протекания процесса ИА между анодом (корпусом камеры или защитными экранами) и деталями, размещенными на катоде, поддерживается аномальный тлеющий разряд. Рабочими газами в оборудовании являются азот и аргон (из баллонов) и вырабатываемый электролизером водород.

ИПА позволяет избавиться от таких недостатков газового азотирования, как большая длительность и трудоемкость процесса, повышенная хрупкость слоя, недостаточная контактная выносливость упрочненного материала, нестабильность получаемых результатов.

В сравнении с существующими процессами ХТО (цементацией, нитроцементацией, цианированием и газовым азотированием в печах) метод ИПА имеет следующие преимущества:

- более высокая твердость и чистота поверхности;
- ресурсосбережение за счет резкого сокращения электроэнергии в 4 – 6 раз и рабочих газов в 50 – 100 раз;
- экологическая чистота, безвредность и безотходность процессов;
- более низкая температура обработки (до 600 °С), из-за чего не происходит структурных превращений.

Однако поверхностное упрочнение отверстий и углублений в изделиях является достаточно сложной задачей в том числе с использованием потоков энергии электронов, ионов, плазмы, лазерного излучения. Проблема заключается в сложности организации проникновения таких потоков на «затененные» участки изделия.

Микроструктура азотированного слоя стали выглядит примерно так, как показано на рисунке 1 [2, с.142].

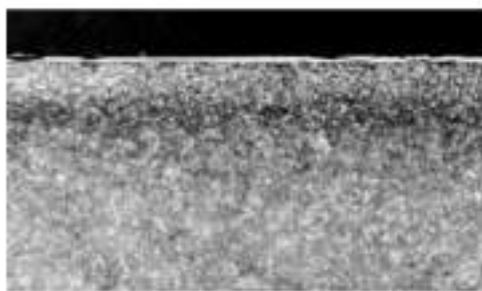


Рисунок 1 — Микроструктура азотированного слоя

Создание нанокompозитов из высокотвердых и тугоплавких фаз, таких как  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiN}$ ,  $\text{TiC}$ , является одним из признанных направлений решения проблемы термомеханического износа металлообрабатывающих токарных инструментов. Рассмотрим результаты разработки наноструктурированных высокотвердых тугоплавких износостойких защитных покрытий на поверхности композитных сменных токарных пластин методом магнетронно-плазменного напыления, позволяющим существенно изменить физико-механические характеристики обрабатываемого материала и режущей кромки токарных пластин. Нанесение покрытий ионно-магнетронным распылением позволяет напылять тонкие наноструктурированные пленки и в настоящее время является наиболее оптимальной недорогой технологией для получения износостойких защитных покрытий на промышленных режущих инструментах и сменных токарных пластинах, как с точки зрения адгезии, так и с точки зрения получаемой структуры напыляемой пленки наноструктурированного покрытия.

Микроструктура поверхности различных частей композитной сменной токарной пластины была исследована с помощью растрового электронного микроскопа и результаты представлена на рисунке 2 [3, с.337].

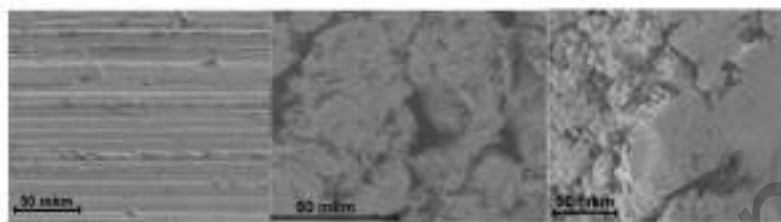


Рисунок 2 — Микрофотографии поверхности слева направо центральной части, абразивного слоя и боковой поверхности композитной сменной токарной пластины

Для нанесения наноструктурированных износостойких высокотвердых защитных покрытий методом магнетронного напыления на поверхность композитной токарной используется следующий технологический цикл: Предварительное травление поверхности композитной токарной пластины низкотемпературной аргоновой плазмой для улучшения адгезии с наносимым далее защитным покрытием. Ионно-плазменное травление ионами аргона изменяет структурные и механические свойства материала подложки, увеличивает шероховатость, что улучшает адгезию между металлической поверхностью токарной пластины и напыляемым металлическим материалом.

Напыление методом магнетронно-плазменного распыления наноструктурированной пленки металла или сплава на поверхности токарной пластины. При таком способе получения предварительного покрытия не наблюдается термического нагрева токарной пластины, благодаря чему не возникает остаточных напряжений на поверхности режущей кромки и по границе раздела изделие–покрытие.

3) термический окислительный озонирующий фазообразующий отжиг для появления наночастиц высокотвердых оксидов кубической сингонии (оксиды алюминия или хрома) и наночастиц оксидов средней твердости (оксидов титана и ванадия), что также приводит к увеличению адгезии защитного покрытия, увеличение его микротвердости, повышению износостойкости и усталостной прочности за счет процесса рекристаллизации нанесенного покрытия.

Наноструктурированные пленки алюминия, хрома и сплава  $\text{Ti6Al4V}$  были отожжены в условиях термического окисления с участием озона при температуре  $350^\circ\text{C}$  для преобразования в оксидные фазы согласно полученным данным FTIR-спектроскопии. Микроструктура полученных оксидных покрытий была изучена с помощью сканирующего электронного микроскопа и показана на рисунке 3 [3, с.338]. Согласно данным электронной микроскопии, наноструктурированное покрытие из термически окисленного хрома с помощью озона обладает наибольшей микрошероховатостью на уровне  $S_a = 3.9$  нм, а на основе  $\text{Ti6Al4V}$   $S_a = 3.3$  нм. В свою очередь, полученное наноструктурированное покрытие  $\text{Al}_2\text{O}_3$  демонстрирует наименьшую микрошероховатость  $S_a = 2.5$  нм.

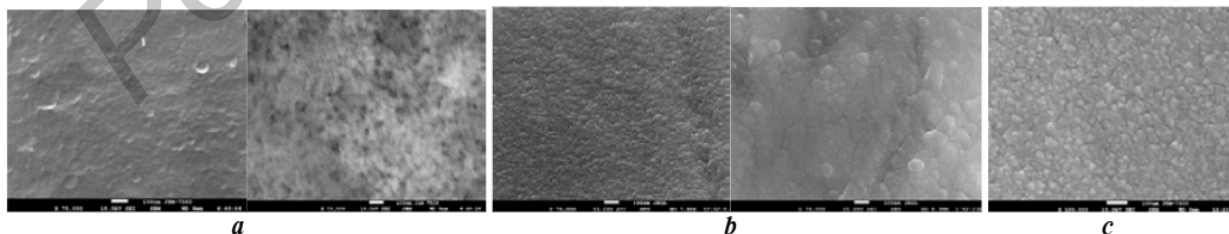


Рисунок 3 — Микроструктура полученных покрытий: а — хром; б —  $\text{Ti6Al4V}$ ; в — термически окисленный алюминий ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) (фото слева — до термического отжига; фото справа — после термического окислительного отжига)

Полученные наноструктурированные покрытия  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  демонстрируют широкое распределение наночастиц по размерам, что характерно для процессов вторичной кристаллизации за счет окисления металлических наночастиц с переплавом и коалесценцией. Были измерены микротвердость по Роквеллу полученных образцов металлических и оксидных покрытий, и значения микротвердости приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Микротвердость по Роквеллу материала быстрорежущей стали токарной пластины и с нанесенными покрытиями

HSS	хром	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		
±	±3	±	±	±

Из таблицы следует, что, за исключением пленки хрома, наноструктурированные покрытия металлов и оксидов заметно повышают твердость рабочих поверхностей поверхности композитной токарной пластины. В случае наноструктурированного пленочного покрытия из Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> самая высокая твердость [3].

**Заключение.** Использование метода ИПА позволяет обеспечить высокую сопротивляемость коррозии и высокое сопротивление износу, позволяет снизить коробления и деформацию детали. Процесс обработки изделия сокращается в 3-5 раз (для титановых сплавов в 5-10 раз). Но остаётся нерешенным вопрос азотирования изделий сложной формы, из-за чего сложно применять в массовом производстве.

Получение защитного покрытия на поверхности токарной пластины методом магнетронно-плазменного распыления, включая предварительное плазменное травление поверхности пластины в вакуумной камере ускоренными ионами аргона с последующим фазообразующим термоокислительным озонирующим отжигом, приводит к получению тугоплавких твердых износостойких покрытий из высокотвердых наночастиц Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, оксидов титана/алюминия/ванадия.

Таким образом, инновационные методы упрочнения токарного инструмента открывают новые горизонты для повышения производительности и качества в обработке материалов, что в конечном итоге способствует улучшению конкурентоспособности предприятий в условиях современного рынка.

#### Список цитируемых источников

1. В Перми разработана эффективная технология упрочнения металлорежущего инструмента : [сайт]. — 2018. — URL: <https://sdelanounas.ru/blogs/115673> (дата обращения: 19.09.2025).
2. Кулагин, М. Ю. Ионно-плазменное азотирование поверхности. Преимущества и недостатки метода / М. Ю. Кулагин ; науч. рук. Н. И. Иваницкий. — Минск : БНТУ, 2022. — URL: <https://rep.bntu.by/bitstream/handle/data/115741/141-143.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (дата обращения: 19.09.2025).
3. Наноструктурированные износостойкие покрытия для композитных сменных токарных пластин / А. А. Сизо, А. Е. Литвинов, В. Ю. Бузько // Известия ТулГУ. Технические науки. Серия: Технология и оборудование механической и физико-технической обработки. — 2024. — № 12. — С. 336–340.

УДК 621.373:538.91

**А. В. Малевич, С. А. Гринкевич**

*Учреждение образования «Барановичский государственный университет», Барановичи, Республика Беларусь*

*Научные руководители И. А. Богданович, В. В. Малеронок*

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Существует большое количество высокоэнергетических методов упрочнения (лазерная обработка, электронно-лучевая обработка, ионно-плазменная обработка, электроискровое легирование и др.); они хорошо себя зарекомендовали и имеют ряд общеизвестных преимуществ. Основными же недостатками этих методов являются: высокая стоимость оборудования; продолжительность времени обработки; необходимость применения рабочих газов, а также загрязнение окружающей среды и высокий риск для здоровья оператора.

Магнитно-импульсная обработка (МИО) обладает рядом преимуществ по сравнению с методами на основе воздействия других видов энергий, в частности. К ним относятся низкая себестоимость обработки; высокая производительность за счет скорости обработки одного изделия; сохранение геометрии обработанных деталей; отсутствие расходных материалов; простота технологической оснастки и экологическая чистота. Поэтому применение МИО в новых производствах постоянно расширяется, ее процессы требуют углубленного изучения, а результаты исследований носят инновационный характер [1–4].

МИО – это способ поверхностной пластической деформации металлов и их сплавов, осуществляемый при прямом преобразовании электрической энергии в механическую непосредственно в самом обрабатываемом изделии. Деформация токопроводящих материалов происходит в результате взаимодействия импульсного магнитного поля, создаваемого внешним источником, с током, индуцируемым этим полем в обрабатываемой детали. Токи, индуцируемые магнитным полем в заготовке, не только создают в ней внутреннее магнитное поле, но и нагревают поверхность заготовки. Таким образом, в основе результатов упрочнения при МИО лежат в основном тепловые процессы, происходящие в изделии в момент обработки. Для неоднородной структуры материала, за счет локального выделения теплоты могут происходить процессы рекристаллизации в области максимального нагрева зерна.

Эффективность магнитно-импульсного упрочнения и глубина упрочненного слоя изделий определяется градиентом плотности энергии магнитного поля, геометрическими особенностями заготовки (наличие пазов, канавок и пр.) и магнитными свойствами материала.