

В. Д. Парфёнов, Е. К. Толмачева

V. D. Parfyonov, E. K. Tolmacheva

*Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень**Ключевые слова: покрытие; износ; инструмент; износостойкость; резание; поверхность**Key words: coating; wear; tool; wear resistance; cutting; surface*

Нанесение вакуумных ионно-плазменных покрытий на поверхность режущего инструмента позволяет повысить его сопротивление износу в процессе механической обработки, расширить границы технологических возможностей и уменьшить расход инструментальных материалов, а также улучшить качество обработанной поверхности деталей.

При точении сплава ХН70ВМТЮ-Ш нитридный слой, содержащий 5 % NbN, обуславливает повышенную износостойкость пластин Т15К6: скорости резания $v_1 = 0,50$, $v_2 = 0,96$, $v_3 = 3,27$ увеличиваются в 1,6–2,7 раза по сравнению с пластинами без покрытия. Это связано с меньшей твердостью никелевого сплава (34,5 HRC) по сравнению со сталью Х12М (62,0) HRC.

Наиболее эффективными эксплуатационными характеристиками в процессе резания обладают инструментальные материалы, на которых нитридные слои сформировались в равновесных условиях.

При точении стали Х12М и сплава ХН70ВМТЮ-Ш нитридоциркониевые покрытия придают твердосплавным режущим пластинам ВК8 большую износостойкость, чем нитридотитановые.

Одним из способов повышения износостойкости режущего инструмента в процессе механической обработки материалов является создание защитных слоев на его поверхности. Для этого применяют, например, азотирование, борирование, ионно-плазменное нанесение карбидных или нитридных покрытий, полагая, что одного лишь увеличения твердости поверхностных слоев инструмента достаточно для повышения его износостойкости. На первый взгляд, действительно, чем больше соотношение твердостей инструментального и обрабатываемого материалов, тем в меньшей степени инструмент подвержен износу. Однако износостойкость определяется комплексом физико-химических свойств контактирующих материалов и триботехническими условиями, поэтому следует искать более объемлющее объяснение эффекта упрочняющей обработки.

При точении стали 30ХГСА покрытие из нитрида циркония, увеличив микротвердость поверхности в 1,8 раза, не повлияло на износ пластин ЛПДК20: величина h покрытых и исходных пластин составила 0,15 мм при скорости резания 2,6 м/с и 0,20 мм при $V = 4,5$ м/с.

При точении стали 45 ионно-плазменные слои ZrN несколько увеличили износостойкость исходных пластин при всех режимах резания. Повышение на 25,7 % твердости пластин ЛПДК20 за счет термоэлектрического упрочнения проявило себя неоднозначно: при малой скорости резания износ несколько увеличился, а при более высокой был не больше, чем у исходных.

Таким образом, просто повышение твердости поверхностного слоя режущего инструмента не приводит автоматически к снижению износа пластин при механической обработке. Авторы [1] также отмечают более высокую износостойкость нитридоциркониевого покрытия по сравнению с нитридотитановым на пластинах ВК8 при точении стали Х12М и сплава ХН70ВМТЮ-Ш, хотя микротвердость TiN выше микротвердости ZrN (2,6).

При точении более твердых материалов, например стали Х12М, покрытие из нитрида циркония значительно уменьшило износ пластин ЛПДК20, в 1,6 раза повысило скорость резания при сохранении одинаковой с исходными пластинами величины износа, причем в широком интервале скоростей резания износ инструмента с покрытием

оставался практически постоянным и лишь при $V = 5,8$ м/с скачкообразно увеличился. Такой характер износа в целом коррелирует с изменением величины силы резания.

В исследованном интервале скоростей точения сила резания пластинами с нитридоциркониевым покрытием оставалась почти постоянной вплоть до 4,7 м/с, а затем возросла. В случае пластин без покрытия P сначала плавно увеличивалась с повышением скорости резания, а затем скачкообразно возросла в 2,5 раза при $V = 5,8$ м/с. Покрытие уменьшило величину силы резания, по-видимому, за счет снижения силы трения и адгезии инструмента к обрабатываемому материалу. Соответственно уменьшился и износ резцов. Правда пока трудно объяснить соотношение величин h_z и сил резания исходными и покрытыми пластинами при $V = 2,3$ м/с.

Необходимо отметить, что сопротивление износу и адгезия в значительной степени зависят от температуры в зоне контакта трущихся материалов, поэтому теплопроводность инструмента играет существенную роль в создании условий резания. Чем больше теплопровод, тем меньше температура режущей кромки, тем в менее жестких условиях эксплуатируется инструмент. У нитрида циркония теплопроводность выше, чем у нитрида титана и твердого сплава, поэтому он в меньшей степени подвержен износу. Именно по этой причине нитридоциркониевые покрытия эффективны при механической обработке более твердых сталей X12M, а также при высоких скоростях резания.

Полученные в настоящей работе результаты показывают, что при нанесении каких-либо покрытий на режущий инструмент недостаточно принять во внимание лишь достигаемую поверхностную твердость, сцепление с основой, необходимо учитывать и влияние появляющихся слоев на силу трения, адгезию к обрабатываемому материалу, теплопроводность, шероховатость полученной резанием поверхности, то есть как можно более широкую совокупность свойств.

Процесс обработки материалов резанием сопровождается интенсивным трением, вызывающим износоразрушение поверхностей инструмента. Под износоразрушением будем понимать нарушающий работоспособность поверхности процесс дисперсного отделения, деформационного перемещения и изменения энергетического состояния частиц поверхности твердого тела при трении, механической обработке или физико-химическом воздействии.

Для объяснения такого сложного явления предложено большое количество механизмов процесса, каждый из которых наиболее отчетливо проявляется в определенных условиях. На процесс, кроме физико-механических свойств материалов, существенно влияют состояние поверхностей и условия трения [2]. Например, износоразрушение режущего инструмента как твердого тела в хрупком, квазихрупком и вязком состояниях характеризуется стадиями эволюции дефектофазовых переходов нано-, микро- и миллиметрового структурных уровней. При этом с увеличением скорости резания, то есть с возрастанием температуры в зоне контакта, поочередно превалирует один из следующих механизмов износоразрушения твердосплавного инструмента: адгезионно-усталостный при $v \leq 3$ м/с и диффузионный при $v \geq 3$ м/с [3].

Обобщающий подход к проблеме износоразрушения контактирующих материалов отражен в теориях, рассматривающих единый процесс с нескольких точек зрения, например: в триединой системной модели технологической взаимосвязи матери, энергии и информации, в адгезио-деформо-энергетической теории структурного трения и циклического износоразрушения режущего инструмента, в механо-физико-химической модели фрикционного контакта. Такой подход побуждает при выборе трущихся, в частности инструментальных, материалов учитывать комплекс их свойств, не ограничиваясь одной-двумя характеристиками, пусть даже кажущимися наиглавнейшими в условиях эксплуатации.

Для экспериментальной проверки применимости предложенного комплекса свойств при описании стойкости инструментального материала к износоразрушению в процессе резания использовали квадратные безвольфрамовые твердосплавные (БВТС) пластины 03114-15-0412 (ГОСТ 19052-80) марки ЛЦК20* (ТУ 48-4206-268-86). На основные пластины нанесли нитридоциркониевые микропокрытия в вакуумно-дуговой, ионно-плазменной установке ИЭТ 8-И2. Пластины располагали передней поверхностью перпендикулярно потоку частиц вещества. Такая обработка с применением дорогостоящего циркониевого катода КЦН-59 (ТУ 95.1715-88) экономически обоснована благодаря более низкой цене пластин из ЛЦК20 по сравнению с вольфрамсодержащими и оправдана улучшением и стабилизацией свойств микрослоя поверхности, не-

большим расходом редких и дорогих материалов. Другую часть пластин подвергли термоэлектрическому упрочнению (ТЭУ) в расплаве соли при 820–870 °С, когда за счет электрического тока величиной до 800 мА создавали условия восходящей диффузии легирующих элементов из центральных в поверхностные участки образца, что приводило к увеличению микротвердости поверхностного слоя пластины толщиной до 150 мкм в 1,2–1,5 раза. Часть пластин без дополнительной обработки использовали для сравнения. Режущие пластины механически крепили на проходном токарном резце с $\varphi = 45^\circ$, $\alpha = 10^\circ$ и $\gamma = 10^\circ$ по ГОСТ 21151 – 75.

Износоразрушение пластин осуществляли точением цилиндрических заготовок диаметром 100 мм из сталей X12M (твердость $62\ HRC \approx 627$), 45 (207 HB) и 30ХГСА (197 HB). Путь трения составлял 1000 м, $v = 1 \dots 6$ м/с, $s = 0,07$ мм/об, $t = 0,5$ мм. Износ пластин определяли по главной задней поверхности с помощью специального микроскопа МИР-2, оценивая величину фаски износа по пикам на вершине пластины (B_n), на границе контакта (Γ_k) режущей кромки с заготовкой, по максимальному значению (h_{max}), а также средневзвешенное арифметическое ($\bar{x}$) этих контрольных пиков. Такое сочетание величин более подробно характеризует геометрию разрушения поверхности режущего инструмента. Более детально пластины исследовали на растровом электронном микроскопе РЭММА-202 при увеличениях от 10 до 10 000.

Нанесение нитридоциркониевого покрытия (с большой величиной износостойкости) на пластины из твердого сплава ЛЦК20 должно уменьшить износ поверхностей пластин. Повышение же микротвердости поверхности пластин с 10,9 до 13,7 ГПа в результате ТЭУ вряд ли уменьшит износ, поскольку R_w при этом не увеличилось. Исследователи считают, что при абразивном износоразрушении стойкость контактирующих материалов определяется не только их твердостью, но и прочностью.

Результаты износоразрушения пластин при точении подтвердили этот вывод. Действительно, нитридоциркониевое покрытие во всех исследованных случаях уменьшило интенсивность износоразрушения и величину износа. Однако защитный эффект покрытия при обработке стали 30ХГСА проявился лишь при высоких скоростях резания, а до $v = 4,5$ м/с износ стандартных и покрытых пластин практически одинаков. Это, в первую очередь, связано со сравнительно низкой твердостью обрабатываемого материала, когда комплекс свойств твердого сплава ЛЦК20 обеспечивает достаточное его сопротивление разрушению поверхности при «мягких» режимах резания. С повышением температуры в зоне контакта на первый план вышли энергетические и химические свойства резца, а они заметно выше у пластин с покрытием, чем у твердого сплава ЛЦК20, износ у пластин с покрытием изменился не столь существенно, по-видимому, из-за сравнительно небольшой (около 8 мкм) толщины покрытия.

Следовательно, защитное действие нитридоциркониевых покрытий дополнительно обусловлено уменьшением размеров разрушающих абразивных частиц.

На начальном этапе прорыва покрытия на передней поверхности инструмента может образоваться столбчатый нарост, возможно втирание материала нароста в зазор между обрабатываемой заготовкой и задней поверхностью пластины. Скошенный торец покрытия в процессе резания будет перемещаться вдоль задней поверхности, продолжая защищать твердый сплав от интенсификации износоразрушения в результате опирания на него обрабатываемой заготовки, поскольку покрытие обладает более высоким триботехническим комплексным свойством. Размазанная пленка металлической связки твердого сплава не заполняет микропоры, взаимодействуя с пленкой связки, закрывает микропоры твердого сплава и является своеобразной смазкой при трении.

В работе также показано абразивно-адгезионное сочетание механизмов износоразрушения вакуумных ионно-плазменных твердых покрытий поверхностей трения, работающих в широком диапазоне условий контакта.

Таким образом, снижение износа твердосплавных режущих пластин с нанесением вакуумно-плазменных нитридоциркониевых микропокрытий объясняется изменением комплекса свойств контактных поверхностей инструмента и уменьшением размеров абразивных частиц, разрушающих поверхности инструмента, причем защитные свойства сохраняются и после нарушения сплошности покрытия.

Список литературы

1. Никитин В. С. Технологии будущего. – М.: Техносфера, 2010. – 264 с.
2. Инструментальщик: Энциклопедический справочник-каталог: в трех томах / Под общ. ред. Я. А. Музыканта. – М.: Наука и технологии, 2009. – Т. 1. – 464 с.

3. Верещака А. С., Кушнер В. С. Резание материалов. – М.: Высшая школа, 2009. – 535 с.
4. Верейна Л. И., Краснова М. М., Фрадкина Е. И. Металлообработка. – М.: ИНФРА-М, 2013.- 320 с.
5. Григорьев С. Н. Методы повышения стойкости режущего инструмента: – М.: Машиностроение, 2009. – 368 с.
6. Информационная поддержка жизненного цикла изделий машиностроения / А. Н. Ковшов и др. – М.: ИЦ «Академия», 2007. – 304 с.
7. Кузьмин В. В. Математическое моделирование технологических процессов сборки и механической обработки изделий машиностроения: – М.: Высшая школа, 2008. – 368 с.
8. Кусков В. Н., Парфёнов В. Д. Влияние нитридоциркониевого покрытия и термоэлектрического упрочнения безвольфрамовых твердосплавных пластин на их износ и качество обработки при точении. – М.: Физика и химия обработки материалов, 1994. – С. 79-82.
9. Кусков В. Н., Парфёнов В. Д., Ковенский И. М. Формирование и износостойкость нитридных ионно-плазменных покрытий на твердосплавных режущих пластинах: – М.: Физика и химия обработки материалов, 1992. – С. 76-81.
10. Балабанов В. И. Нанотехнологии. – М.: Эксмо, 2009. – 256 с.
11. Управление системами и процессами / Под ред. В. П. Мельникова. – М.: ИЦ Академия, 2010. – 336 с.
12. Никифоров А. Д. Современные проблемы науки в области технологии машиностроения. – М.: Высшая школа, 2006. – 392 с.
13. Парфёнов В. Д. Совершенствование процесса резания покрытием инструмента: Монография. – Тюмень: ТюмГНГУ, 2014. – 112 с.
14. Парфёнов В. Д., Кусков В. Н. Износоразрушение безвольфрамовых твердосплавных пластин с нитридоциркониевым покрытием в процессе резания. – Минск: Трения и износ, 1994. – Т. 15. – № 1. – С. 131-137.
15. Пул Ч.-мл., Оуэнс Ф. Мир материалов и технологий: Нанотехнологии / Пер. с англ. – М.: ЗАО РИЦ Техносфера, 2010. – 336 с.
16. Рязанцев В. Д. Большая политехническая энциклопедия. – М: Мир и Образование, 2011. – 704 с.
17. Хартманн У. Нанотехнологии / Пер. с нем. – М.: Лаборатория знаний, 2008. – 173 с.
18. Машиностроение. Энциклопедия в сорока томах / Председатель редакционного совета К. В. Фролов. – М.: Машиностроение, 2006.

Сведения об авторах

Парфёнов Владимир Дмитриевич, к. т. н., доцент кафедры «Технология Машиностроения», Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, тел. 89044965238

Толмачева Екатерина Константиновна, студент кафедры «Технология Машиностроения», Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, тел. 89129998302, e-mail: tolmach-1995@mail.ru

Information about the authors

Parfyonov V. D., Candidate of Science in Engineering, associate professor of the chair «Manufacturing engineering», Tyumen State Oil and Gas University, phone: 89044965238

Tolmacheva E. K., student of the chair «Manufacturing engineering», Tyumen State Oil and Gas University, phone: 89129998302, e-mail: tolmach-1995@mail.ru