

## Повышение точности металлообработки деталей нефтегазового машиностроения за счет выбора рационального износостойкого покрытия режущего инструмента

*Ю.А. Темпель, О.А. Темпель, Д.А. Сартакова*

*Тюменский индустриальный университет, Тюмень*

**Аннотация:** Отрасль нефтегазового машиностроения претерпевает изменения, которые связаны с внедрением инновационных технологий, методов и средств для улучшения производственных процессов и систем. Все изменения позволяют достичь повышения среднего ресурса, долговечности и прибыли предприятия в целом. Обработка деталей нефтегазового комплекса и сокращение всех видов износа режущей части инструмента в настоящее время остается самой актуальной темой. На непрерывную работу режущего инструмента оказывают влияние множество факторов. Зависимость между скоростью резания и стойкостью позволяют выбирать оптимальную скорость. В работе определены основные направления исследования по выбору износостойких покрытий для резцов для повышения точности металлообработки. Исследования проводились с применением современных компьютерных программ, что позволило сделать определенные выводы, вывести зависимости и определить круг задач для дальнейшего исследования. Применение основных результатов позволит повысить эффективность обработки и качество поверхностей деталей нефтегазового сектора.

**Ключевые слова:** стойкость, режим резания, резец, оптимизация, эксперимент, методика, точность, обработка, покрытия, деформация.

Процесс токарной обработки является достаточно сложным, а повышенные температуры в зоне резания и некорректность выбора режимов приводят к резкому изнашиванию инструмента. Появление наклепа при обработке мягких и вязких материалов приводит к сколу режущей кромки при незначительном повышении нагрузки [1]. Применение износостойких покрытий режущей части является современным решением для повышения периода стойкости резца или стабильной его работы в заданный промежуток времени.

Износостойкое покрытие должно способствовать уменьшению контактных нагрузок, благоприятному перераспределению тепловых потоков и повышению сопротивляемости материала к микро- и макро-разрушению [2,3]. В своем развитии покрытия прошли этапы от простых однокомпонентных покрытий до многослойных покрытий, авторы работы [4]

---

делают вывод о целесообразном применении именно многослойных покрытий. Так как размерный износ режущего инструмента при этом меньше, что повышает точность обработки [5,6].

Тема является достаточно актуальной, но не до конца раскрытой, хотя большинство работ авторов направлены на повышение ресурса, долговечности, сокращение всех видов отказов и оптимизацию режимов резания при обработке деталей нефтегазового сектора.

Для достижения корректных результатов при проведении компьютерных исследований в работе был определен план эксперимента.

Исследования проводились с применением программы ANSYS, MS Excel, методов систематизации и обобщения. А также модели механики разрушения и прочности СМП и алгоритма расчета конструктивных параметров сменных режущих пластин, представленных в работах авторов [7,8].

Обработка резанием различных видов материалов и конструктивных особенностей деталей нефтегазового комплекса осуществляется с большими трудностями. Высокая температура, образуемая в зоне контакта с обрабатываемым материалом, вызывает разупрочнение стандартных твердых сплавов и, как следствие, снижение стойкости инструмента и скорости резания [9-11].

В связи с выше сказанным, целью работы является проведение исследований по выбору рационального износостойкого покрытия для определения оптимальных режимов и повышения ресурса пластины.

В качестве объекта исследования была взята деталь типа «корпус муфты». В результате теоретического обзора было выделено три износостойких покрытия для проведения эксперимента.

Условия проведения эксперимента в компьютерной среде представлены в таблице 1.

---

Таблица №1

## Условия проведения эксперимента в компьютерной среде

Характеристика	Описание
Программа	ANSYS
Входные параметры (факторы)	Подача, скорость резания, число оборотов шпинделя, глубина резания.
Выходные параметры (отклик)	Максимальные и минимальные напряжения, деформация пластины.
Покрyтия	Ионно-плазменное покрытие на основе нитрида титана (вакуумное напыление – PVD); алмазоподобное покрытие DLC Pateks (a-C:H/a-SiOCN); алмазоподобное покрытие DLC (ta-C).
Дополнительная информация	Обрабатываемый материал выбран – Сталь 40X. Произведен расчет режимов и сил резания по имеющимся формулам и зависимостям.

Был определен план эксперимента, который включает в себя три эксперимента с каждым из представленных покрытий по шестнадцать опытов с изменением варьируемых параметров, представлены в таблице 2.

Была построена матрица полного факторного эксперимента  $2^4$  и определены его характеристики. Выходными параметрами в процессе исследования являются напряжения и деформации.

При проведении эксперимента  $2^4$  математическая модель имеет вид:

$$y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + b_4 X_4.$$

Таблица №2

## Условия варьируемых параметров

Параметр	Подача	Скорость	Число оборотов шпинделя	Глубина резания
Основной уровень	0,2	80	400	0,5
Интервал варьирования	0,01	5	10	0,01
Верхний уровень (+1)	0,21	85	410	0,51
Нижний уровень (-1)	0,19	75	390	0,49

Полученные напряжения и деформации при первом, втором и третьем эксперименте с нагружением режущей пластины с износостойким покрытием, представлены на рисунках 1-3.

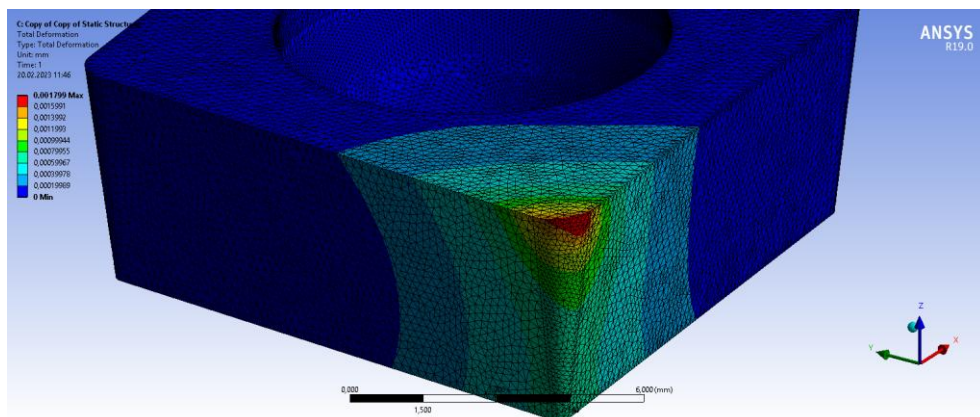


Рис. 1. – Результаты прочностного статического анализа в Ansys режущей пластины с ионно-плазменным покрытием на основе нитрида титана TiN

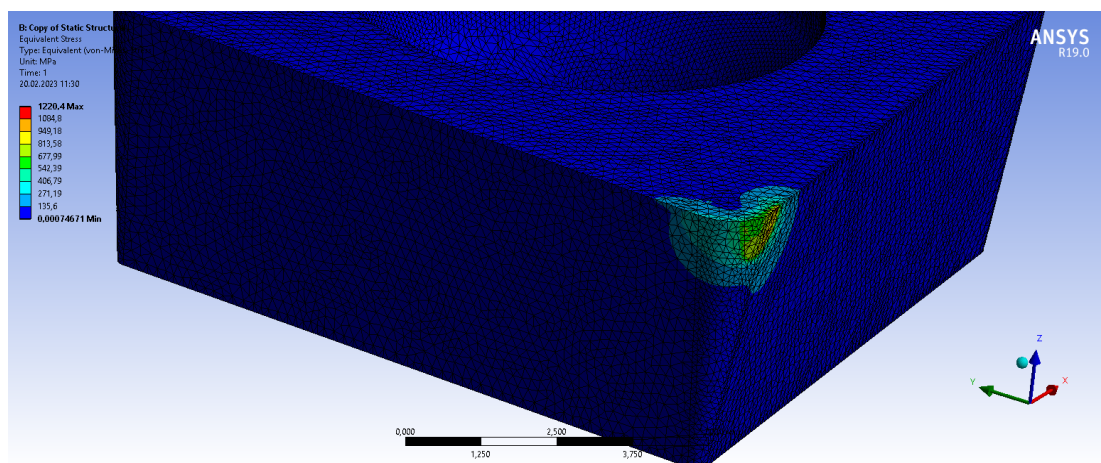


Рис. 2. – Результаты прочностного статического анализа в Ansys режущей пластины с алмазоподобным покрытием DLC Pateks

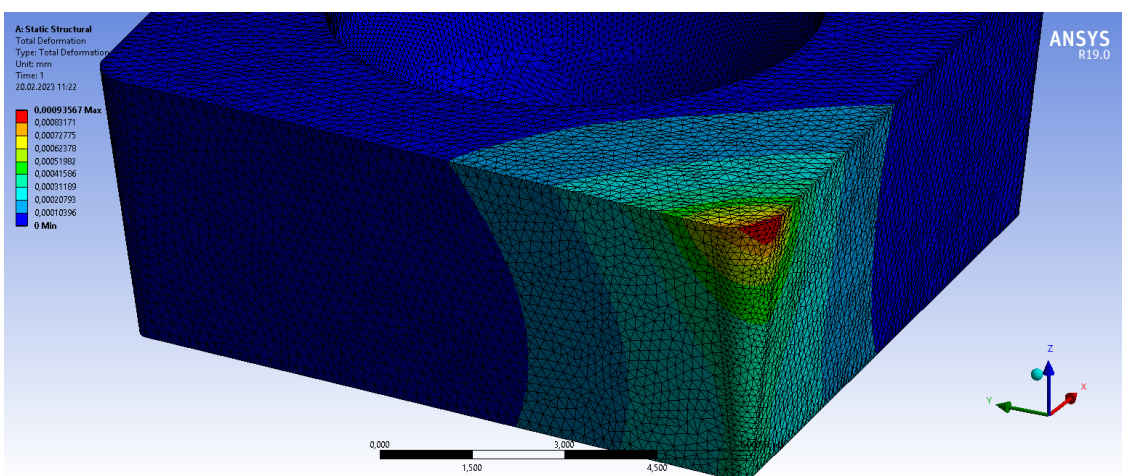


Рис. 3. – Результаты прочностного статического анализа в Ansys режущей пластины с алмазоподобным покрытием DLC(ta-C)

В результате компьютерного эксперимента с применением виртуальной среды обработки с покрытием на основе нитрида титана было определено, что максимальное напряжение составило 1345 Мпа, минимальное 0,0005 Мпа, максимальная и минимальная деформации пластины, соответственно 2 и 1,74 мкм.

По результатам с алмазоподобным покрытием DLCPateks было определено, что максимальное напряжение составило 1333 Мпа, минимальное 0,0007 Мпа, максимальная и минимальная деформации пластины, соответственно 9,3 и 8,12 мкм.

По результатам с алмазоподобным покрытием DLC (ta-C) было определено, что максимальное напряжение составило 1401 Мпа, минимальное 0,0003 Мпа, максимальная и минимальная деформации пластины, соответственно 1,04 и 0,0003 мкм.

Таким образом, наиболее целесообразно применение покрытия DLC (ta-C) поскольку выявлены незначительные деформации в результате компьютерного исследования.

Получено оптимальное сочетание режимов резания при обработке детали из стали 40X резцом с износостойким покрытием – алмазоподобное покрытие DLC(ta-C):  $S=0,19$  мм/об,  $V=85$  м/мин,  $n=410$  об/мин, при составляющей силе резания  $P_z=212,69$  Н.

Проведение прочностных статических и динамических анализов позволило определить наиболее оптимальное сочетание режимов резания при обработке детали нефтегазового сектора с износостойким покрытием и сделать обоснованный выбор покрытия и метода его нанесения, основанные на модельном эксперименте.

Установлено, что определение рационального износостойкого покрытия:

1) позволит сохранить ресурс и надежность режущей пластины инструмента;

---

- 2) обеспечит сокращение вспомогательного времени на смену пластин;
- 3) способствует выбору оптимальных режимов резания.

Предлагаемая методика выбора износостойких покрытий позволит сократить все виды затрат при токарной обработке деталей и может быть применена на предприятиях нефтегазового машиностроения.

*Статья подготовлена при финансовой поддержке Некоммерческой организации «Благотворительный фонд «ЛУКОЙЛ».*

### Литература

1. Дрималовский Е. И., Памфилов Е. А. Особенности нанесения твердых покрытий на режущий инструмент // Новые материалы и технологии в машиностроении. 2019. №29. С. 33-36.
2. Верещака А. С. Обработка труднообрабатываемых материалов инструментом из твердого сплава с Re-Co-связкой повышенной теплостойкости и нано-структурированным износостойким покрытием // Материалы МНТК ААИ «Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров», посвященной 145-летию МГТУ «МАМИ». URL: [mospolytech.ru / science / mami145 / scientific / article / s08 / s08\\_04.pdf](http://mospolytech.ru/science/mami145/scientific/article/s08/s08_04.pdf).
3. Верещака А. С., Дачева А. В., Аникеев А. И. Повышение работоспособности режущего инструмента при обработке труднообрабатываемых материалов путем комплексного применения наноструктурированного износостойкого покрытия и твердого сплава оптимального состава // Известия МГТУ «МАМИ». 2010. №.1(9). С. 99-105.
4. Табаков В. П., Ширманов Н. А., Смирнов М. Ю., Циркин А. В. Износостойкие ионно-плазменные покрытия режущих инструментов // Фундаментальные исследования. 2005. №8. С. 92-93.



5. Молочных П. Н. Влияние размерного износа режущего инструмента на точность обработки // Наука и образование. 2012. №4. С. 1-6. URL: [technomag.edu.ru](http://technomag.edu.ru).

6. Пономарев А. И., Игнатьев А. А. Оценка стойкости режущего инструмента при точении на основе вычисления показателя колебательности динамической системы станка // Инженерный вестник Дона. 2023. № 4. URL: [ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_38\\_\\_4\\_Ponomarev\\_Ignat\\_ev.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_38__4_Ponomarev_Ignat_ev.pdf).

7. Артамонов Е. В. Прочность и работоспособность сменных твердосплавных пластин сборных режущих инструментов: учебное пособие. Тюмень: ТюмГНГУ, 2003. 192 с.

8. Artamonov E. V., Tveryakov A. M., Shtin A. S. Determination of maximum working capacity of retrofittable cutters on the basis of physicalmechanical features of tool hard alloys // MATEC Web of Conferences. – EDP Sciences, 2018. – Т. 224. – р. 1-6.

9. Барбышев Б. В., Некрасов Р. Ю., Кокорин И. Н., Долгушин В. В. Анализ методики снижения внутренних напряжений в сменных режущих пластинах // Инженерный вестник Дона. 2022. № 3. URL: [ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_25\\_\\_3\\_Barbyshev\\_Nekrasov.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_25__3_Barbyshev_Nekrasov.pdf).

10. Темпель О. А., Темпель Ю. А., Васьков Д. Е. Планирование эксперимента выбора оптимальных параметров процесса резания труднообрабатываемых материалов // Вестник МГТУ «Станкин». 2022. №4 (63). С.28-32.

11. Nekrasov R. Y., Putilova U. S. Laser nanometry of cutting tool deformation. – 2016. – 144 p.

### References

1. Drimalovskij, E. I., Pamfilov E. A. Novye materialy i tekhnologii v mashinostroenii. 2019. №29. pp. 33-36.

---

2. Vereshchaka A. S. Materialy MNTK AAI «Avtomobile- i traktorostroenie v Rossii: priority razvitiya i podgotovka kadrov», posvyashchenoj 145-letiyu MGTU «MAMI». URL: [mospolytech.ru/science/mami145/scientific/article/s08/s08\\_04.pdf](http://mospolytech.ru/science/mami145/scientific/article/s08/s08_04.pdf).
3. Vereshchaka A. S., Dacheva A. V., Anikeev A. I. Izvestiya MGTU «MAMI». 2010. №.1 (9). pp. 99-105.
4. Tabakov V. P., Shirmanov N. A., Smirnov M. Yu., Cirkin A. V. Fundamental'nye issledovaniya. 2005. №8. pp. 92-93.
5. Molochnyh, P. N. Nauka i obrazovanie. 2012. №4. pp. 1-6. URL: [technomag.edu.ru](http://technomag.edu.ru).
6. Ponomarev A. I., Ignat'ev A. A. Inzhenernyy vestnik Dona. 2023. № 4. URL: [ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_38\\_\\_4\\_Ponomarev\\_Ignat\\_ev.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_38__4_Ponomarev_Ignat_ev.pdf).
7. Artamonov E. V. Prochnost' i rabotosposobnost' smennykh tverdosplavnykh plastin sbornyh rezhushchih instrumentov: uchebnoe posobie [Durability and performance of replaceable carbide inserts in prefabricated cutting tools]. Tyumen': TyumGNGU, 2003. 192 p.
8. Artamonov E. V., Tveryakov A. M., Shtin A. S. MATEC Web of Conferences. EDP Sciences, 2018. T. 224. pp. 1-6.
9. Barbyshev B. V., Nekrasov R. Yu., Kokorin I. N., Dolgushin V. V. Inzhenernyy vestnik Dona. 2022. № 2. URL: [ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_25\\_\\_3\\_Barbyshev\\_Nekrasov.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_25__3_Barbyshev_Nekrasov.pdf).
10. Tempel' O. A., Tempel' Yu. A., Vas'kov D. E. Vestnik MGTU Stankin. 2022. №4 (63). pp. 28-32.
11. Nekrasov R. Y., Putilova U. S. Laser nanometry of cutting tool deformation. 2016. 144 p.