

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ИЗНОСОУСТОЙЧИВЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ КОМБИНИРОВАННОГО РЕЖУЩЕ- ДЕФОРМИРУЮЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ ЧИСТОВОЙ ЗУБОБРАБОТКИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КОЛЕС

*Маликов А.А., Сидоркин А.В., Маркова Е.В., Ковалев Ю.В.
Тульский государственный университет, Тула*

Ключевые слова: зубообработка, инструмент, износостойчивые покрытия, ресурс, свойства инструмента.

Аннотация. В настоящей статье рассмотрены аспекты повышения эксплуатационных характеристик комбинированного режущего деформирующего инструмента, предназначенного для чистовой зубообработки цилиндрических зубчатых колес. Представлены актуальные, в настоящий момент, предложения по перспективам применимости износостойких покрытий для данного типа инструмента. Почеркнуто, что независимо от того, где используются покрытия, все они имеют одну общую черту: покрытие меняет поверхностные свойства инструмента.

PROSPECTS FOR THE USE OF MODERN WEAR-RESISTANT COATINGS TO IMPROVE THE PERFORMANCE PROPERTIES OF A COMBINED CUTTING AND DEFORMING TOOL FOR FINISHING GEAR TREATMENT OF CYLINDRICAL WHEELS

*Malikov A.A., Sidorkin A.V., Markova E.V., Kovalev Yu.V.
Tula State University, Tula*

Keywords: dental treatment, tools, wear-resistant coatings, resource, properties of tools.

Abstract. This article discusses aspects of improving the performance of a combined cutting and deforming tool designed for finishing gear processing of cylindrical gears. The current proposals on the prospects of applicability of wear-resistant coatings for this type of tool are presented. It is noted that regardless of where the coatings are used, they all have one thing in common: the coating changes the surface properties of the tool.

В Тульском государственном университете и на протяжении последних десятилетий серьезное внимание уделяется аспектам построения высокопроизводительных ресурсосберегающих процессов комбинированной (режущо-деформирующей) чистовой и отделочной зубообработки цилиндрических зубчатых колес (ЦЗК). В многочисленных работах профессоров Валикова Е.Н, Ямникова А.С., Борискина О.И. и их учеников, в частности [1-6], отмечается высокая эффективность процесса шевингования-прикатывания для чистовой стадии зубообработки при обеспечении стабильно высоких точностных и качественных параметров венцов, обрабатываемых ЦЗК.

Для реализации рассматриваемого процесса, в условиях производства с большим объемом выпуска, требуется применение специальных инструментов – шеверов-прикатников, конструкции которых рассчитываются и проектируются индивидуально для каждого зубчатого колеса [6]. Шеверы-прикатники ввиду сложной конфигурации режущих элементов и достаточно больших

массогабаритных параметров (габаритный диаметр d_a до 250 мм, масса m до 3 кг), как правило, изготавливаются из быстрорежущей стали. Поскольку шевер-прикатник является дорогостоящим и сложным в изготовлении инструментом, то, очевидно, что аспектам его проектирования, изготовления и эксплуатации должно быть уделено серьезное внимание. В частности, одной из важнейших технико-экономических характеристик, определяющих эффективность использования такого инструмента является ресурс его работы.

Для передних поверхностей (ПП) инструмента (рис. 1) износ проявляется образованием лунок и недопустимым изменением геометрии, при этом режущие кромки (РК), по мере затупления, могут «заминаться» внутрь стружечной канавки и, даже, частично скалываться при отсутствии своевременной переточки; для задних поверхностей (ЗП) – размерный износ является важнейшим параметром, оказывающим существенное влияние, как на точность и качество обработки, так и на срок службы инструмента, так как его переточка по данным поверхностям невозможна. В процессе износа инструмента происходит чрезмерное утонение боковых поверхностей его зубьев, искажение их профиля, что приводит к существенному ухудшению точности и качества обработки.

Износ ПП и, особенно РК, приводит к увеличению сил [5-7], действующих в паре инструмент-заготовка, увеличению доли поверхностного пластического деформирования в процессе шевингования прикатывания, появлению излишнего наклепа на боковых поверхностях зубьев, обрабатываемых ЦЗК, ухудшению точности и качества обработки. Размерный износ ЗП, вызывающий неравномерное утоньшение зубьев инструмента приводит недопустимому снижению точности в процессе комбинированной зубообработки. Так, для восьмой степени точности (ГОСТ 1643-81) венцов, обрабатываемых ЦЗК, допустимое отклонение эвольвентного профиля боковых поверхностей зубьев инструмента не должно превышать 0,04 мм на сторону [7-9].

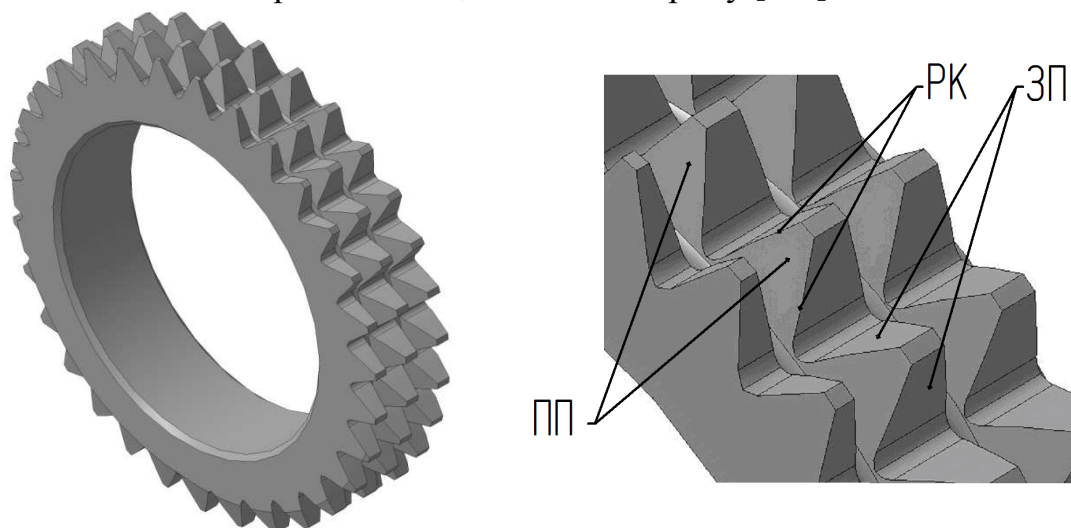


Рис. 1. Твёрдотельная модель шевера-прикатника для зубообработки ЦЗК с выделением элементов режущих зубьев

В работах [3, 5] были приведены некоторые оценочные суждения о периоде стойкости рассматриваемого инструмента. Однако результатов конкретных стойкостных испытаний приведено не было. В то же время, в работах [5, 6]

отмечается невозможность переточки инструмента по задним поверхностям – боковым эвольвентным поверхностям режущих зубьев и полезность внедрения мер по обеспечению их защиты от преждевременного износа: нанесению износостойких, в том числе и многослойных, покрытий из газовой фазы [10-12].

Перспективы применения покрытий для комбинированного инструмента

Тщательный выбор защитного покрытия комбинированного инструмента позволяет увеличить срок его службы, а также повысить точность и качество обработки. Достаточно сложной научно-технической задачей является выбор оптимального покрытия. В процессе эксплуатации инструмента у всех типов покрытия есть как преимущества, так и недостатки. Иногда срок службы инструмента уменьшается из-за неправильно подобранного покрытия, а также неправильно подобранное покрытие может привести к большим проблемам, чем позитивным результатам.

В промышленности применяется обширный выбор PVD (физическое осаждение из газовой фазы), CVD (химическое осаждение из газовой фазы) покрытий, а также ряд альтернативных способов упрочнения поверхности инструмента. Вышеуказанные процессы играют важную роль в определении оптимального вида покрытия.

В настоящее время физическое осаждение из газовой фазы является наиболее часто применяемым на производстве способом нанесения защитных покрытий на режущий инструмент. При использовании на производстве технологии осаждения из газовой фазы необходимо наличие дорогостоящих высокочистых химических реагентов ($TiCl_4$, NH_3 и др.) и точный контроль продуктов химических реакций в рабочей камере. В свою очередь, данный процесс обладает большей производительностью и не столь чувствителен к незначительным отклонениям технологических параметров при нанесении PVD-покрытий при помощи дугового или тлеющего разряда (магнетронное напыление). Таким образом, все многообразие способов физического осаждения износостойких покрытий сводится к испарению или ионному распылению титана или его сплавов с осаждением на рабочих поверхностях инструментов.

Такие параметры как: степень ионизации, скорость и плотность потока напыляемых частиц, оптимизация температуры нанесения покрытий, различные режимы нанесения, конфигурация технологической оснастки, проведение предварительного ионного травления или легирования и многие другие особенности определяют структуру самих покрытий и строение межфазной границы «покрытие – основа», а также определяют структуру и адгезию покрытия инструмента, и его режущие свойства.

Основными характеристиками покрытий можно считать следующие.

1. Твердость. Высокая поверхностная твердость покрытия является одним из лучших способов увеличения срока службы инструмента. Карбонитрид титана ($TiCN$) имеет более высокую поверхностную твердость по сравнению с нитридом титана (TiN). Добавление углерода дает $TiCN$ на 33% более высокую твердость и которое в количественном выражении увеличивается с 3000 до 4000 по шкале Виккерса. Поверхностная твердость при этом достигает 9000 единиц.

2. Износостойкость. Это способность покрытия защищать от истирания рабочие поверхности инструмента. Существуют методы повышения износостойкости инструмента, основанные на нанесении специального износостойкого покрытия на его рабочие поверхности. При этом износостойкость комбинированного инструмента без покрытия может быть намного ниже, чем у инструмента с износостойким покрытием.

3. Поверхностная смазка. Высокий коэффициент трения, повышенное тепловыделение в рабочей зоне контакта комбинированного инструмента и обрабатываемой заготовке приводит к снижению его срока службы. Однако более низкий коэффициент трения может значительно увеличить этот срок. Количество тепла отводимого в тело инструмента может быть уменьшено за счет модификации поверхностного слоя, приобретающего малую шероховатость. Эта гладкая поверхность позволяет материалу обрабатываемой заготовки соскользнуть с поверхности инструмента, что в свою очередь приводит к меньшему тепловыделению.

4. Повышение температурной стойкости за счет нанесения покрытия из алюмонитрида титана. Покрытия из $TiAlN$ сохраняют свою твердость при более высоких рабочих температурах из-за слоя оксида алюминия, который образуется между телом инструмента и срезаемым слоем. Этот слой предотвращает перенос тепла из зоны резания в тело инструмента. Инструмент, имеющий покрытие из алюмонитрида титана, обычно работает на более высоких скоростях по сравнению с классическим покрытием из нитрида титана. Классический мерный инструмент в частности покрывается этим типом покрытия методом PVD.

Основные виды перспективных покрытий

1. Нитрид титана (TiN). Покрытие общего назначения методом PVD, которое увеличивает твердость и имеет высокую температуру окисления. Это покрытие отлично работает на инструментах из быстрорежущей стали, к которым и относится рассматриваемый нами комбинированный инструмент.

2. Титан карбонитрид ($TiCN$). Добавление углерода добавляет больше твердости и улучшает поверхностную смазывающую способность. Это покрытие идеально подходит для инструмента, выполненного из быстрорежущей стали.

3. Алюмонитрид титана ($TiAlN$ или $AlTiN$). Образующийся слой оксида алюминия дает этому инструменту больший срок службы при высоких температурах. Это покрытие в первую очередь выбирается для твердосплавных инструментов с использованием СОЖ. $AlTiN$ предлагает более высокую поверхностную твердость, чем $TiAlN$.

4. Алмазное покрытие. Инструмент с обработкой CVD обеспечивает максимальную производительность. Идеально подходит для графита, металлических матричных композитов, алюминия с высоким содержанием кремния и многих других абразивных материалов. При обработке сталей нельзя использовать алмазные покрытия. Следовательно, такого рода покрытие для рассматриваемого нами инструмента не пригодно. Так как при обработке сталей выделяется больше тепла, вызывающие химические реакции, которые разрушают связи, удерживающие это покрытие инструмента.

Таким образом, перспективные покрытия для комбинированного инструмента (рис. 2) различаются и по свойствам.

Также могут быть рекомендованы к использованию многослойные покрытия, которые сцепляются со следующим слоем вместо материала основы, обеспечивая дальнейшее увеличение срока службы инструмента. В любом случае, такие покрытия имеют толщину δ , которая колеблется в пределах 7 мкм. Следовательно, для адекватной работы инструмента, при его проектировании, необходимо учитывать то, что его зуб (по материалу основы) должен быть уменьшен на величину 2δ .

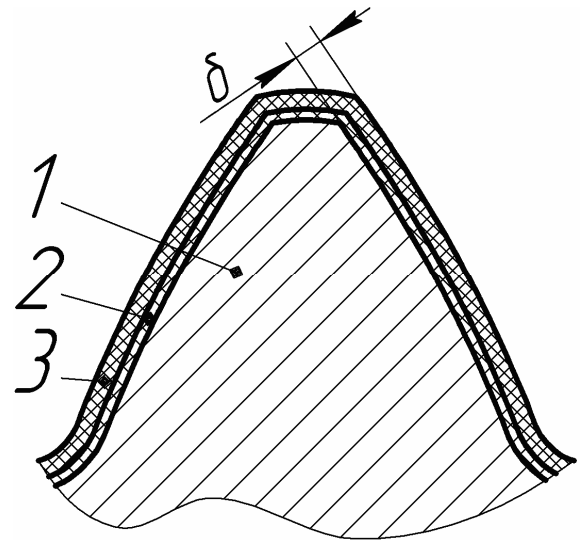


Рис. 2. Схема нанесения износоустойчивого покрытия на зуб инструмента: 1 – основа – быстрорежущая сталь; 2 – адгезионный слой; 3 – защитный слой

Режимы комбинированной зубообработки и применяемые смазочно-охлаждающие жидкости

(СОЖ) могут также оказывать влияние на выбор покрытия. Следует отметить, что производители покрытий постоянно работают над новыми решениями, которые обеспечивают дополнительную теплоустойчивость инструмента и защиту от трения и истирания.

Опираясь на результаты исследований, проведенных ранее, в частности [5, 6], был установлен характер износа инструмента по задней поверхности (рис. 3).

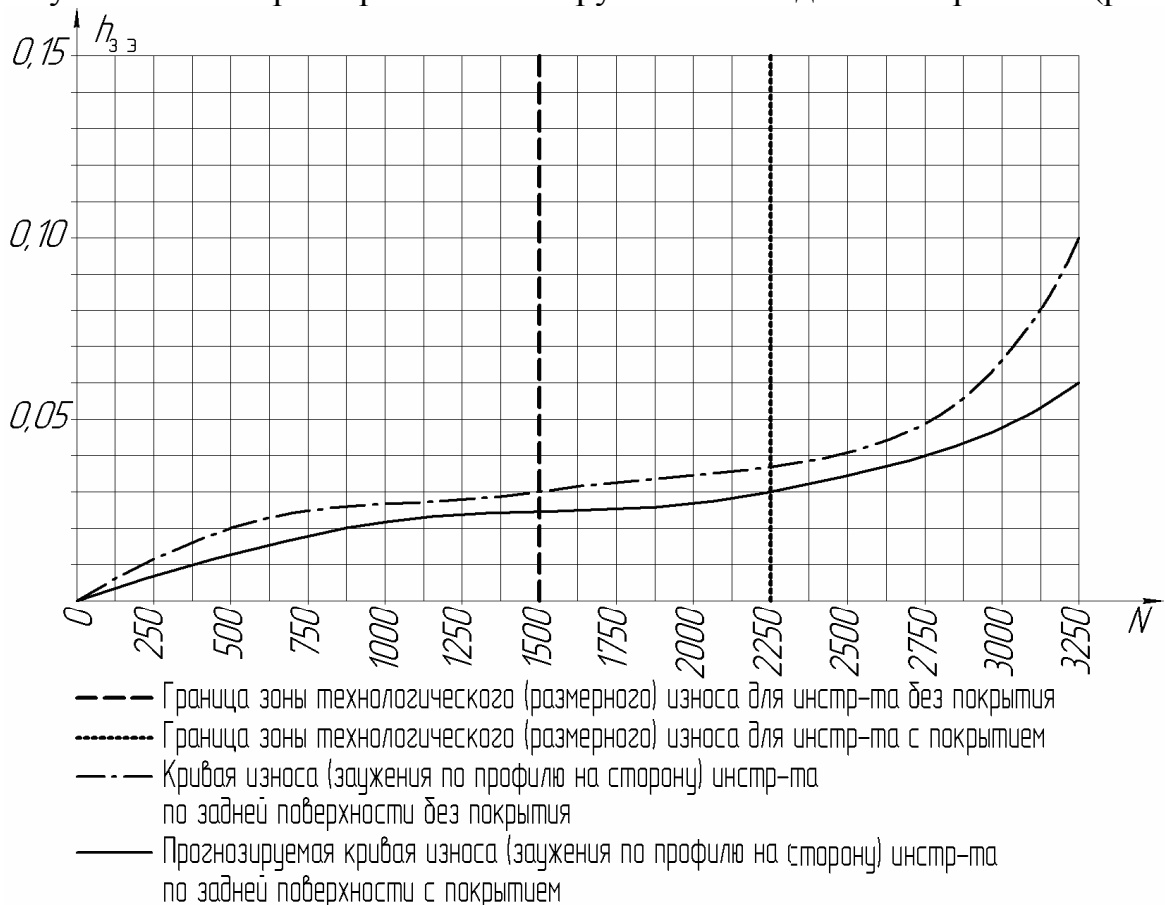


Рис. 3. Зависимость износа инструмента (по задней поверхности) $h_{3,з}$ от количества обработанных им деталей N

Ключевым фактором износа инструментов рассматриваемой конструкции является не допустимый, а размерный износ по задней (эвольвентной) поверхности зуба, который наступает, как видно из графика, намного раньше. Отметим, что прогнозируемый размерный износ инструмента, имеющего защитное покрытие должен уменьшиться почти в 1,5 раза, что является весьма позитивным фактором, говорящим за применимость покрытий.

Отметим, что на текущем этапе исследований, проводимых в данном направлении, актуальным становится процедура выбора оптимального вида покрытия, основанная на обобщении экспертной оценки, полученной методом априорного ранжирования.

Список литературы

1. Борискин О.И., Валиков Е.Н., Белякова В.А. Комбинированная обработка зубьев цилиндрических зубчатых колес шевингованием – прикатыванием: монография. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2007. – 123 с.
2. Валиков Е.Н., Белякова В.А. Использование ЭВМ для разработки технологического процесса на изготовление шевера-прикатника // Известия ТулГУ. Сер. Технология машиностроения. – 2004. – Вып. 2. – С. 142-145.
3. Валиков Е.Н., Белякова В.А. Режущо-деформирующая чистовая обработка боковых поверхностей зубьев зубчатых колес: монография. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2011. – 216 с.
4. Валиков Е.Н., Борискин О.И., Белякова В.А. Расчет шеверов-прикатников для чистовой обработки зубьев зубчатых колес: учебн. пособие. – Тула: изд-во ТулГУ, 2007. – 110 с.
5. Malikov A.A., Sidorkin A.V., Yamnikov A.S. Cutting and plastic deformation in the shaving and rolling of cylindrical gears with round teeth // Russian Engineering Research. 2013, vol. 33, iss. 6, pp. 363-366.
6. Malikov A.A., Sidorkin A.V. Heat liberation in the shaving of cylindrical gears // Russian Engineering Research. 2015, vol. 35, iss. 8, pp. 631-634.
7. Сухоруков Ю.Н., Евстигнеев Р.И. Инструменты для обработки зубчатых колес методом свободного обката. – Киев: Техника, 1983. – 120 с.
8. Марков А.Л. Измерение зубчатых колес. – 4-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1977. – 240 с.
9. Тайц Б.А. Точность и контроль зубчатых колес. – М.: Машиностроение, 1972. – 368 с.
10. Coatings for cutting tools [Electronic resource]. – Access mode: URL:<https://www.statoncoating.com/en/coatings/coatings-cutting-tools>.
11. Narasimha M., Tewodros D., Rejikumar R. Improving wear resistance of cutting tool by coating // IOSR Journal of engineering. 2014, vol. 4(5), pp. 6-14.
12. Sarwar M., Haider J. Development of advanced surface engineering technologies for the benefit of multipoint cutting tools // Advanced Materials Research. 2008, pp. 1043-1050.

Сведения об авторах:

Маликов Андрей Андреевич – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Технология машиностроения»;

Сидоркин Андрей Викторович – к.т.н., доцент кафедры «Технология машиностроения», Тульский государственный университет;

Маркова Екатерина Витальевна – к.т.н., доцент кафедры «Технология машиностроения».

Ковалев Юрий Вячеславович – аспирант.