

## ВЛИЯНИЕ УГЛА ЗАБОРНОГО КОНУСА ДОРНА НА КАЧЕСТВО ПРЕССОВЫХ УЗЛОВ С ТОНКОСТЕННЫМИ СВЕРТНЫМИ ВТУЛКАМИ

Осипов Ю.К. - аспирант, Роговой В.М. - к.т.н., доцент,  
Хоменко В.А., д.т.н., профессор  
АлтГТУ им. И.И. Ползунова (г. Барнаул)

Одним из условий прочности прессовых соединений с использованием тонкостенных свертных втулок, является качество их замков. Частым дефектом при запрессовке тонкостенных свертных втулок в корпуса с использованием процесса дорнования, является раскрытие стыка. Дорнование может производиться двумя методами: с течением металла (удлинением втулки) в направлении движения дорна и с обратным, когда металл втулки удлиняется в направлении противоположном движению дорна. В обоих случаях происходит раскрытие замка в средней части дорнуемой втулки. Однако второй метод предпочтительнее, так как раскрытие замка значительно меньше [1], но при этом используется сложная технологическая оснастка.

В связи с этим, проведены экспериментальные исследования по минимизации раскрытия замка при установке свертных втулок в корпуса дорнованием за счет изменения угла заборного конуса дорна.

Исходя из оптимального тягового усилия (усилия дорнования  $P_d$ ) и величины радиальной деформации, принято считать угол заборного конуса равным  $5^0$ . Увеличение этого угла приводит к увеличению  $P_d$  и более интенсивному осевому течению металла стенок втулки. При этом величина радиального давления уменьшается, то есть происходит снижение контактного давления в стыке сопрягаемых поверхностей и снижение эффекта упрочнения посадки.



Рис.1

Экспериментальные исследования проводились с использованием втулок диаметром 32 мм, свернутых из ленты толщиной 1,3 мм. Длина развертки втулки  $L_{разв}$  была постоянной и равнялась 78мм. Материал – бронза БрОЦС 4-4-2,5 ГОСТ 15885-77. В качестве инструмента использовались дорны с одним деформирующим элементом с углом заборного конуса  $2^0$ ,  $2,5^0$ ,  $3^0$ ,  $3,5^0$ ,  $4^0$ ,  $4,5^0$ ,  $5^0$ ,  $6^0$ ,  $8^0$ ,  $10^0$  (рис.1). Натяг дорнования  $i_d$  во всех случаях – 0,2 мм. Смазка – сульфозфрезол. Торцы замка обрабатывались с  $R_z=1,25\text{мкм}$ . Раскрытие замков втулок измерялось на микроскопе БМИ после извлечения втулок из разборной обоймы (рис. 2).

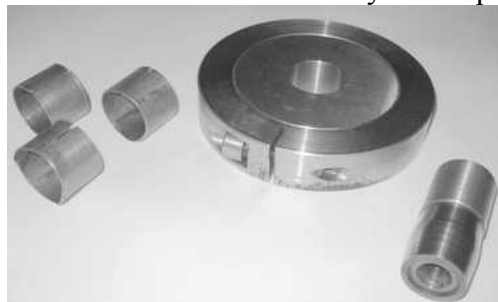


Рис.2

Эксперименты показали, что при обработке дорнами, имеющими угол заборного конуса  $\alpha = 3,5^0 \dots 4,5^0$ , раскрытия замков втулки не было. При увеличении угла заборного конуса  $\alpha$  наблюдалось раскрытие замка втулки от середины к торцам, что снижает прочность прессо-

вого соединения на критерий распрессовки  $P_p$  и увеличивает течение металла в направлении движения дорна.

Таким образом, угол заборного конуса дорна в пределах  $3,5^{\circ} \dots 4,5^{\circ}$  можно считать оптимальным, при этом прочность соединения является наилучшей. Кроме того, замечено, что увеличение угла заборного конуса  $\alpha$  приводит к уменьшению шероховатости обработанной поверхности за счет более высоких давлений на единицу площади заборного конуса. При дорновании прессового соединения со степенью деформации  $i/d_0=0,022$  при  $\alpha=2^{\circ}$  получена шероховатость обработанной поверхности  $R_z=4,54 \dots 1,57$  мкм; при  $\alpha=3^{\circ}$

При всей своей очевидной экономической выгоде метод диффузионного соединения в настоящее время не нашел должного применения в промышленности. По нашему мнению, к рискам внедрения можно отнести:

- 1) недостаточную известность метода диффузионного соединения для производителей;
- 2) относительно большие для производителей затраты на проведение научно-исследовательских работ, с получением результатов, рискованных для использования в действующем производстве.

Указанные риски могут быть сняты проведением научно-исследовательских работ не за счёт потребителя и потенциального инвестора, а за счёт самих исследователей, с предоставлением инвестору образцов исследований и проведения сравнительных испытаний образцов на действующем производстве.

Разрабатываемые нами конструкция и технология изготовления фрез применимы к достаточно широкому спектру инструментов с устанавливаемыми элементами из твёрдых сплавов. Учитывая это, к потенциальным потребителям следует отнести:

- производителей дизельных установок;
- предприятия, осуществляющие ремонт двигателей внутреннего сгорания;
- предприятия, выпускающие и осуществляющие ремонт строительных механизмов;
- предприятия сельхозмашиностроения;
- деревообрабатывающие предприятия.

## ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ГАЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

Кениг Э.В. – магистрант, Ситников А.А. – д.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

В рыночных условиях важнейшей задачей, определяющей стратегию развития производства, является повышение конкурентоспособности и надежности выпускаемой продукции. Как показывают статистические данные, большинство отказов, более 80%, при работе деталей автомобилей, сельскохозяйственной техники, станочного оборудования происходит вследствие износа, коррозии и других воздействий рабочей среды. Эффективным средством обеспечения долговечности и ремонтпригодности при одновременном повышении уровня конкурентоспособности производимых агрегатов являются технологии, основанные на нанесении покрытий.

Нанесение покрытий на рабочие поверхности деталей позволяет сэкономить дефицитные материалы, значительно повысить эксплуатационные показатели машин, продлить срок службы новых и восстановленных деталей, сократить затраты на изготовление запасных частей.

Газотермическое напыление объединяет группу методов, к которым относятся газопламенный, газодуговой, плазменный и детонационный способы нанесения покрытий. Сущность процесса заключается в осаждении частиц порошка (или капель расплавленного металла) на подложку при ударном столкновении с её поверхностью. В качестве источника энергии используется скоростная высокотемпературная струя. Газотермическое покрытие является своеобразным материалом, полученным в результате удара, деформации и чрезвычайно быстрой кристаллизации небольших частиц (10...150 мкм) материала, напыляемого на подложку. Последовательно накладываясь друг на друга, частицы образуют чешуйчатое, слоистое покрытие с анизотропией физических и механических свойств, неоднородное в структурном и химическом отношении. В результате послойного нанесения материала формируется поверхность с развитой топографией. Напыленный материал характеризуется прочностью его сцепления с основой, когезионной прочностью, величиной внутренних остаточных напряжений, пористостью и рядом других параметров.

Непосредственно после напыления детали, особенно работающие в узлах трения, без механической обработки использовать невозможно. Это объясняется значительной разницей между требуемыми значениями показателей качества и сформированными в процессе нане-

сения покрытия. Для достижения высокой работоспособности износостойких слоев, кроме получения соответствующих физико-механических свойств, необходимо обеспечить заданные условиями эксплуатации параметры точности детали.

Величину геометрических параметров качества, таких как точность размеров и расстояний между поверхностями, относительных поворотов и отклонений формы, волнистость и шероховатость поверхностей, назначают исходя из условий работы детали в машине. Однако у детали с покрытием имеется еще один параметр, напрямую связанный с геометрией детали - это толщина остаточного слоя. Определение ее значения, удовлетворяющего требованиям эксплуатации, является ответственной задачей. Самое главное, чтобы минимальная толщина слоя покрытия была больше величины предельного износа, иначе в процессе эксплуатации может произойти полный износ нанесенного слоя. Это может привести к поломке машины и к тому, что восстановить деталь с покрытием будет невозможно.

Не весь слой газотермического покрытия по толщине имеет стабильные показатели качества. Переходный слой между основным металлом и материалом покрытия отличается химическим составом, структурой и свойствами от материала покрытия. Верхний слой покрытия включает шлаки, различные примеси, имеет повышенную пористость. В этом случае слой покрытия, предназначенный для обеспечения ресурса работы, после обработки окажется в зонах с пониженными механическими свойствами. В таких условиях работоспособность детали с покрытием будет снижена. Значит необходимо задаваться не только минимальной толщиной остаточного слоя, но и максимальной.

На современном этапе развития машиностроения все большую актуальность приобретает использование покрытий, так как они позволяют получать требуемые параметры жаропрочности, износостойкости, коэффициента трения и ряд других характеристик, обеспечивая при этом сокращение расхода дефицитных и дорогостоящих материалов и придание поверхностям особых эксплуатационных свойств.

## ВЫБОР КОНСТРУКЦИИ ЧЕРВЯЧНЫХ ФРЕЗ С ПРОГРЕССИВНОЙ СХЕМОЙ РЕЗАНИЯ

Хоменко В. А. - д. т. н., профессор, Черданцев П. О. – аспирант,

Игнатенков Е. Ю. – магистрант

Алтайский государственный технический университет (г.Барнаул)

На сегодняшний день наиболее перспективным путём повышения стойкости червячных фрез при прочих равных условиях является применение конструкций, обеспечивающих раздельное стружкообразование на вершинной и боковых режущих кромках, в частности, червячные фрезы с прогрессивной схемой резания.

При работе фрезами с прогрессивной схемой условия резания приближаются к условиям свободного резания благодаря разделению стружки, снимаемой вершинной и боковыми режущими кромками за счёт чередования через один зубьев нормального и завышенного профиля. При этом уменьшается деформация срезаемых слоёв металла (прежде всего на боковых режущих кромках), изменяется направление схода стружки. При правильном назначении параметров заужения на сторону и завышения высотных зубьев стойкость червячных фрез с прогрессивной схемой резания в 1,5 – 2 раза (в ряде случаев в 4 – 5 раз) выше, чем стойкость фрез стандартной конструкции.

Но в этом случае наиболее нагруженными являются высокие зубья, они же лимитируют износ инструмента. Однако, учитывая то, что формирование эвольвентной части зуба происходит зубьями стандартного профиля, можно высотные зубья в целях повышения стойкости выполнять с оптимальным передним углом, не опасаясь искажения профиля зуба нарезаемого колеса.

К недостатком прогрессивной схемы резания можно отнести также увеличение огранки зуба из-за уменьшения числа формирующих его резцов в два раза. Поэтому фрезы с прогрессивной схемой не могут применяться для окончательной отделочной операции. Их можно

успешно применять для зубофрезерования колёс с последующим шевингованием, шлифованием или чистовым зубофрезерованием.

Из вышесказанного следует, что выбирать конструктивную реализацию прогрессивной схемы резания необходимо таким образом, чтобы максимально использовать её достоинства и свести к минимуму влияние недостатков.

Для этого был осуществлён литературный обзор и патентный поиск по базам отечественного и зарубежных патентных ведомств на глубину 30 – 40 лет (по базам патентного ведомства США USPTO – на глубину 120 лет) наиболее перспективных конструкций червячных фрез.

В основу выбора конструкции было положено то, что значительная часть продукции производится в условиях единичного и мелкосерийного производства предприятиями малых и средних форм собственности. Таким предприятиям выгоднее использовать неперетачиваемые червячные фрезы с оптимальными геометрическими параметрами, обладающие за счёт этого в несколько раз более высокой стойкостью по сравнению с фрезами обычной конструкции, чем создавать заточные участки для их переточки. К тому же при таком подходе увеличивается и точность обрабатываемых колёс, так как при переточке затылованного инструмента неизбежно вносятся погрешности в его профиль.

Неперетачиваемая конструкция червячных фрез позволяет разместить по периметру больше реек с зубьями, так как в этом случае толщина зуба определяется только исходя из обеспечения его прочности, без учёта съёма металла при переточках. Применительно к червячным фрезам с прогрессивной схемой резания это означает возможность свести к минимуму, а в некоторых случаях и исключить совсем её недостаток, связанный с увеличением огранки зубьев нарезаемого колеса.

При использовании неперетачиваемой конструкции возможна заточка инструмента с оптимальными задними углами, что позволит облегчить процесс резания и тем самым увеличить стойкость инструмента.

Следует отметить, что неперетачиваемые червячные фрезы должны обладать значительной длиной рабочей части, так как изготовление одной длинной фрезы экономически выгоднее изготовления 2 – 3 коротких. При этом целесообразно использовать защитные покрытия.

Таким образом, наиболее перспективной представляется неперетачиваемая конструкция червячной фрезы с прогрессивной схемой резания с передними углами на высотных зубьях и оптимальными задними углами.

## РАЗВИТИЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

Дударев М.В. – магистрант, Щербаков Н.П. – к.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет (г.Барнаул)

Технологическая подготовка производства (ТПП) требует больших затрат времени и ресурсов. Поэтому с появлением ЭВМ специалисты по ТПП стремились ее автоматизировать. С помощью ЭВМ проектировщик стремится решать задачи не только расчетного характера, но и творческие задачи.

В истории развития автоматизации технологической подготовки производства можно выделить три этапа.

Первый этап (период зарождения) длился с конца пятидесятых годов до 1966 г. На этом этапе с помощью ЭВМ решали частные задачи технологической подготовки, в основном расчетного характера, хотя формулировались и делались попытки решения с помощью ЭВМ нерасчетных задач проектирования. Были начаты работы по автоматизации конструированию и технологического проектировании: расчет деталей машин, конструирование сложных машиностроительных объектов, расчет режимов резания и норм времени, проектирование режущих инструментов и станочных приспособлений, работ по автоматизации вы-

черчивания и т. д. Были проведены функциональные исследования, которые в значительной степени предопределили дальнейшее развитие проблемы.

Второй этап (1967—1970 гг.) характеризуется бурным ростом числа организаций, занимающихся проблемой автоматизации технологической подготовки производства, и переходом от решения отдельных задач к созданию систем и подсистем технологического проектирования. Системный подход к технологическому проектированию позволил выявить перечень задач, для решения которых целесообразно привлекать ЭВМ, а также принципиальный состав и структуру автоматизированной системы технологической подготовки производства.

Наибольшее распространение в машиностроении получил принцип автоматизации технологической подготовки производства на основе типовых и групповых технологических процессов. В соответствии с таким принципом автоматизации, многих машиностроительных предприятиях были проведены работы по унификации процессов, созданию классификационных групп деталей, унификации технологической оснастки и приспособлений, в том числе и штампов, специализации рабочих мест и другие подготовительные работы.

На базе унификации технологических приспособлений и их функциональных элементов в виде нормализованных деталей и конструкций, типовых конструктивных решений и прочих данных подобного рода получили развитие принципы и алгоритмы автоматизированного конструирования приспособлений. В составе функциональных возможностей системных пакетов прикладных программ (ППП) автоматизированного проектирования маршрутов и операций обработки эффективно стали решаться задачи подбора унифицированного и проектирования специального инструмента.

Практический опыт эксплуатации систем автоматизированного проектирования в машино- и приборостроении позволил уточнить ранее известные и отработать новые принципы построения комплексных систем (подсистем) автоматизированного проектирования промышленных изделий. Некоторые из этих принципов, определившие тенденции создания следующих поколений систем автоматизированного проектирования в машино- и приборостроении.

С начала 70-х годов в различных министерствах стали создавать отраслевые головные организации по автоматизации технологической подготовки производства, которые проводят работы, направленные на создание автоматизированных систем технологической подготовки, охватывающих широкий круг задач. В этих задачах определяющее значение принадлежит проектированию технологических процессов, с которых начинается технологическая подготовка производства по освоению новых изделий и от точности разработки которых зависят многие технические и экономические показатели деятельности производства.

На сегодняшний день в мире существует множество систем автоматизации ТПП, это такие как: САТИА, SPRUT TP, продукты компании АСКОН (САПР ТП ВЕРТИКАЛЬ, КОМПАС-АВТОПРОЕКТ) и др. Развитие автоматизации ТПП продолжается и возможно будущие системы автоматизации ТПП позволят решать неформализованные задачи, решение которых сегодня по-прежнему осуществляет технолог.

## РАСЧЕТ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭВМ

Карпов Д.А. – магистрант, Щербаков Н.П. – к.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет (г.Барнаул)

XX век характеризовался бурным развитием машиностроительных производств, результатом чего стало увеличение номенклатуры выпускаемых изделий, а также рост требований к качеству продукции. Обеспечение темпов роста промышленности - важная задача, решаемая на уровне технологической подготовки производства. Одной из проблем решаемых ТПП является инструментальное обеспечение технологических процессов в машиностроении. Многообразие выпускаемой продукции привело к усложнению формообразующих операций и, следовательно, к необходимости появления большого количества инструментов различных типоразмеров. Теперь проектирование инструмента занимает объем времени, соизмеримый со временем разработки технологического процесса изготовления детали в целом.

Одним из путей решения возникшей проблемы является полная или частичная автоматизация ТПП, в частности проектирование режущего инструмента с использованием ЭВМ.

Автоматизированное проектирование режущего инструмента может осуществляться на различных уровнях – от поиска требуемого типоразмера инструмента до осуществления новых конструктивных решений с использованием ЭВМ в режиме диалога. Это вызвано рядом причин: разной трудоемкостью расчетов различных видов режущего инструмента, в том числе стандартного или специального; различным типам производства и параметрами используемых ЭВМ; изменяющимися и быстро растущими возможностями компьютеров. Расчет отдельных видов инструмента ведется по известным алгоритмам, которые легко поддаются программированию на ЭВМ. Результатами расчета являются набор геометрических параметров режущей части, инструментальный материал, элементы конструкции и крепления инструмента, а также весь жизненный цикл изготавливаемого изделия.

Использование ЭВМ для расчета различного режущего инструмента дает значительное увеличение производительности проектирования, сокращение времени ТПП, возрастание качества принимаемых решений, возможность проработки нескольких вариантов конструкции инструмента и технологии их изготовления. Таким образом применение ЭВМ дает ощутимый экономический и технический эффект.

### СОВРЕМЕННЫЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ И ЗАРУБЕЖНЫЕ САПР ТП

Черданцев А.О. – магистрант гр.МТМ-21, Щербаков Н.П. – к.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет (г.Барнаул)

По мнению ведущих мировых аналитиков, основными факторами успеха в современном промышленном производстве являются: сокращение срока выхода продукции на рынок, снижение ее себестоимости и повышение качества. К числу наиболее эффективных технологий, позволяющих выполнить эти требования, принадлежат так называемые САД/САМ/САЕ-системы (системы автоматизированного проектирования, технологической подготовки производства и инженерного анализа).

На большинстве российских предприятий существуют объективные препятствия для применения западного передового опыта по автоматизации одного из важнейших этапов технологической подготовки производства - проектирования технологических процессов. Дело в том, что зарубежное машиностроение широко использует станки с ЧПУ, поэтому зарубежные технологи не пишут операционные технологии, как это делают их российские коллеги.

Традиционно существует деление САД/САМ/САЕ-систем на системы верхнего, среднего и нижнего уровней. Следует отметить, что это деление является достаточно условным, т. к. сейчас наблюдается тенденция приближения систем среднего уровня (по различным параметрам) к системам верхнего уровня, а системы нижнего уровня все чаще перестают быть просто двумерными чертежно-ориентированными и становятся трехмерными.

Примерами САД/САМ-систем верхнего уровня являются Pro/Engineer, Unigraphics, CATIA, EUCLID, I-DEAS (все они имеют расчетную часть — САЕ). Наиболее известными САД/САМ-системами среднего уровня ADEM; Cimatron; Mastercam; AutoCAD 2006, и Autodesk Inventor; Powermill; CADdy++; Mechanical Design; семейство продуктов Bravo, IronCad, MicroStation Modeler; CADKEY; Pro/Desktop; SolidWorks; Anvil Express, Solid Edge и Unigraphics Modeling; и др. САД-системы нижнего уровня (например, AutCAD LT, Medusa, TrueCAD, КОМПАС, БАЗИС и др.) применяются только при автоматизации чертежных работ.

Западный конструктор и технолог работают бок о бок, и созданная конструктором трехмерная модель практически тут же переводится в программы для ЧПУ, разрабатываемые технологом с учетом используемого на производстве оборудования и инструмента, в дальнейшем программы уточняются. Таким образом, технолог минует стадию пооперационной разработки технологического процесса, мыслит более укрупненными категориями.

В России стандарты ЕСКД предусматривают пооперационное описание производственного процесса и, соответственно, предприятия вынуждены использовать САПР ТП отечественного производства с очень узкой нишей применения. Необходимо в ближайшем будущем осуществить переход к использованию систем верхнего уровня. Наибольшей эффективности можно было бы достичь при разработке и внедрении отечественных систем верхнего уровня.

### ПРИМЕНЕНИЕ САПР ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Капышева Е.А. – магистрант, Щербаков Н.П. – к.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет (г.Барнаул)

Современные конструкции машин предъявляют повышенные требования к качеству обработанной поверхности, точности размеров, шероховатости. Добиться этого можно, в том числе, улучшив качество механической обработки. Для этого создаются новые станки с повышенной точностью обработки, высокими скоростями резания, повышенной жесткостью.

Данные станки потребовали создания инструментов, которые смогли бы работать при высоких температурах в зоне резания, обеспечивая заданное качество детали. Получение таких конструкций инструментов связано, не только с созданием новых инструментальных материалов, но и с выбором оптимальных геометрических параметров инструмента. Расчет этих геометрических параметров производится по сложным зависимостям, включающим множество коэффициентов, которыми можно варьировать, получая различные варианты геометрии режущего инструмента. Расчет геометрии режущего инструмента очень трудоемкий, монотонный, занимает много времени, что в условиях современного производства не допустимо, но он поддается алгоритмизации. Данное обстоятельство дает возможность создавать программы расчета различных режущих инструментов с помощью САПР.

При современном уровне развития вычислительной техники и программного обеспечения преимущества расчета режущих инструментов с помощью САПР очевидны:

- возможность сразу после расчета получить не набор рассчитанных параметров, а готовый чертеж инструмента с последующим выводом на печать;
- возможность многократного расчета параметров режущего инструмента путем варьирования входными данными, с целью нахождения оптимальной геометрии режущей части;
- существенное сокращение времени расчета режущего инструмента и избавление конструктора от монотонных расчетов.

Работа конструктора при автоматизированном проектировании обычно происходит в режиме диалога, что требует от него знания языка общения с САПР. Таким образом, САПР не заменяет конструктора в его работе, а является лишь орудием, облегчающим его труд. Наибольший эффект достигается при совместной работе конструктора с САПР.

### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ МОДИФИКАЦИИ ИХ РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Кениг Э.В. – магистрант гр. МТМ – 21, Щербаков Н.П. – к.т.н., профессор  
Алтайский государственный технический университет (г.Барнаул)

На сегодняшний день одним из наиболее распространенных и эффективных путей совершенствования режущих инструментов является применение методов модификации их рабочих поверхностей, заключающихся в направленном изменении физико-механических и кристаллохимических свойств поверхностного слоя.

При работе режущего инструмента наиболее нагруженным оказывается его поверхностный слой, и именно его свойства определяют работоспособность инструмента в процессе резания.

Модификация рабочих поверхностей инструментов позволяет создать режущий инструмент, обладающей уникальным сочетанием на первый взгляд противоречивых свойств, - на-



пример, высокой прочности и твердости. Многообразие используемых в инструментальной промышленности методов модификации можно разделить на 5 групп: нанесение покрытий; поверхностное легирование, термическое воздействие; деформационное воздействие; комбинированная обработка (сочетание методов, относящихся к различным группам).

Использование указанных методов характеризуются различным механизмом воздействия с поверхностным слоем режущего инструмента. При применении методов нанесения покрытий на поверхности режущего инструмента происходит формирование тонкой пленки. Поверхностное легирование изменяет химический состав поверхностного слоя режущего инструмента, а термическое воздействие - его структуру. При деформационном воздействии происходит наклеп поверхностного слоя режущего инструмента, изменяется его микрогеометрия и энергетический запас.

Сегодня промышленность располагает достаточно большим арсеналом методов нанесения износостойких покрытий, из которых в инструментальном производстве наиболее широко применяются методы химического осаждения покрытий из газовой фазы - *Chemical Vapour Deposition (CVD)* и физического осаждения покрытий в вакууме - *Physical Vapour Deposition (PVD)*.

К разновидностям метода *CVD* относятся: высокотемпературное осаждение покрытий - *high-temperature (HT-CVD)*; среднетемпературное осаждение покрытий - *medium-temperature (MT-CVD)*; осаждение покрытий с плазменным сопровождением - *plasma assisted (PA - CVD)*. К разновидностям метода *PVD* относятся: электронно-лучевое испарение; вакуумно-дуговое испарение; магнетронное распыление. Методы *CVD* и *PVD* существенно различаются по температурам и давлениям, при которых они реализуются, по составам наносимых покрытий, а также по областям применения.

При выборе того или иного способа обязательно необходимо учитывать масштабы производства и стоимость технологического оборудования для нанесения покрытий.

Как показывает производственный опыт, при обработке на повышенных скоростях резания, *PVD*-покрытия имеют некоторое преимущество перед *CVD*-покрытиями. Это связано с тем, что по мере повышения скорости резания, и как следствие температуры в зоне обработки, *PVD*-покрытия значительно меньше теряют в твердости, что позволяет существенно увеличить относительную стойкость инструмента - до 6 раз.

## ТОПОГРАФИЯ ПОВЕРХНОСТИ

Дударев М.В.- магистрант, Леонов С.Л. – к.т.н. профессор  
Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Оценка параметров шероховатости по ГОСТ 2789-73 с помощью профилограмм оказывается недостаточно информативным, так как с помощью нее можно судить только о сечении, в котором измерялась профилограмма, а это не дает полного представления о свойствах обработанной поверхности в целом. Так например если взять длинный нежесткий валик и обработать его поверхность точением, то шероховатость поверхности валика в различных местах будет разной из-за значительных деформаций валика и вибраций вызываемых дисбалансом. Кроме того, погрешности, вносимые непосредственно самим профилографированием, могут существенно исказить результаты измерения параметров шероховатости.

Поэтому становится актуальным вопрос о рассмотрении не профилограммы поверхности, а ее топографии. Соответственно для топографии поверхности вводятся свои параметры шероховатости аналогичные параметрам профилограммы. Топографию поверхности можно представить в виде набора профилограмм, измеренных на исследуемой поверхности с определенным шагом. В таблице 1 приведены параметры шероховатости по ГОСТ 2789-73 и топографические параметры.

Таблица 1

по ГОСТ 2789-73	Топографические параметры
-----------------	---------------------------

Средняя линия профиля $w = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m y_i$	Средняя поверхность $w^T = \frac{1}{n \cdot m} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n y_{ij}$
Среднее арифметическое отклонение профиля $R_a = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m  y_i - w $	Среднее арифметическое отклонение поверхности $R_a^T = \frac{1}{n \cdot m} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n  y_{ij} - w^T $
Наибольшая высота профиля $R_{\max} = Y_{\max} - Y_{\min}$	Наибольшая высота поверхности $R_{\max}^T = Y_{\max} - Y_{\min}$
Относительная опорная длина профиля $tp = \frac{\sum_{i=1}^n b_i}{l}$	Относительная опорная площадь поверхности $tp^T = \frac{\sum_{i=1}^n s_i}{S}$

В таблице 1 обозначено:  $y_i$  - отклонение профиля,  $m$  - количество точек,  $Y_{\max}$  - максимальное отклонение профиля,  $Y_{\min}$  - минимальное отклонение профиля,  $l$  - базовая длина профиля,  $b$  - опорная длина,  $n$  - количество профилограмм,  $s_i$  - опорная площадь,  $S$  - базовая площадь,  $y_{ij}$  - отклонение поверхности.

Для сравнения численных значений параметра шероховатости  $Ra$  по ГОСТ 2789-73 и топографического параметра  $Ra^T$  поверхности была разработана программа в среде MS Excel. Топография поверхности задавалась исходной профилограммой, а для других сечений детали профилограммы генерировались наложением случайной составляющей с заданной дисперсией по закону равной вероятности. Рассчитывался параметр  $Ra$  по одной из профилограмм и топографический параметр  $Ra^T$ , при различной дисперсии.

Результаты расчетов приведены в таблице 2. В таблице 2:  $N$  - число точек профилограммы,  $m$  - количество профилограмм.

Таблица 2

Количество точек	2076	2076	2076
Число профилограмм	11	11	11
Средняя линия профиля	-0,06862	-0,06862	-0,06862
Средняя поверхность	-0,06861	-0,06877	-0,06855
Среднее арифметическое отклонение профиля	0,35645	0,35645	0,35645
Среднее арифметическое отклонение поверхности	0,356435	0,356637	0,356761
Наибольшая высота профиля	2,054	2,054	2,054
Наибольшая высота поверхности	2,06918	2,077812	2,109356
Дисперсия	0,02	0,04	0,06

Как видно из таблицы 2  $Ra$  и  $Ra^T$  отличаются незначительно, поэтому для описания свойств поверхности, полученной точением, можно пользоваться не только параметром шероховатости  $Ra$  по ГОСТ 2789-73, но и топографическим параметром шероховатости

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
ОПЕРАЦИЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ С ПОКРЫТИЯМИ

Куранов А.В. - аспирант, Мостовая Я.Г. - аспирант

Ситников А.А., д.т.н., профессор

Алтайский государственный технический университет (г. Барнаул)

Трудоемкость и себестоимость изготовления деталей во многом зависят от правильности и скорости решения задач на этапе технологической подготовки производства. Современный уровень развития машиностроения отличается высокими требованиями к времени, затрачиваемому на технологическую подготовку производства. С целью повышения эффективности выбора характеристик инструмента и назначения режимов резания при проектировании операций токарной и алмазно-абразивной обработки газотермических покрытий создана автоматизированная технологическая система проектирования операций механической обработки деталей с покрытиями.

Алгоритм автоматизированной технологической системы проектирования операций механической обработки деталей с покрытиями представлен на рисунок 1.

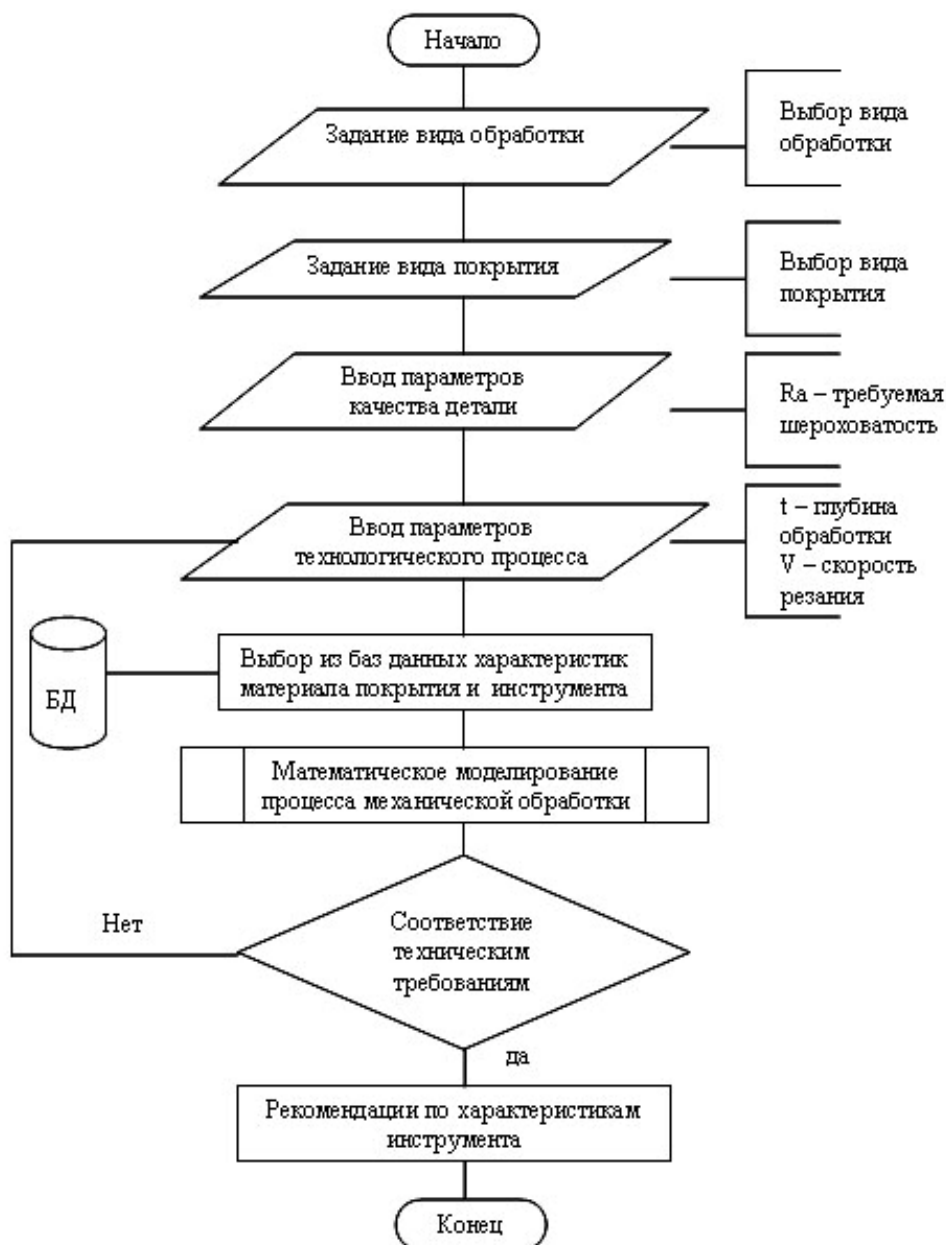


Рисунок 1 – Алгоритм автоматизированной технологической системы

В основе данной системы лежит принцип математического моделирования операций механической обработки, созданные на базе изучения физических явлений, происходящих в процессе обработки напыленных слоев.

В процедуре математического моделирования в зависимости от вида обработки участвуют модели токарной или алмазно-абразивной обработки.

Математическая модель токарной обработки создана в среде ANSYS, моделированием напряженного состояния покрытия, основана на расчете методом конечных элементов. Для придания покрытию необходимой структуры были созданы поры различной конфигурации. После этого задаются физико-механические параметры материала покрытия при помощи: модуля юнга, коэффициента Пуассона.

В ходе моделирование было выявлено что при достижении подачи 0,3 мм/об происходит разрушение структуры пор вследствие нарушение когезионных связей. При увеличении скорости резания происходит уменьшение сил и разрушение пор при подачи равной 0,3 мм/об не наблюдалось. Увеличение износа по задней поверхности от 0,25 до 0,5 мм увеличивало значения сил на треть особенно сильно силу  $P_y$ , что также приводило к нарушению когезионных связей.

Математическая модель алмазно-абразивной обработки создана на основе принципа имитационного моделирования работы инструмента деталей с покрытиями.

Результатом расчета по модели, является профилограмма поверхности детали, по которой определяются любые параметры шероховатости и величина съема металла. Меняя исходные данные (режимы резания, характеристики покрытия и др.), можно узнать, обеспечивают ли выбранные режимы резания, требуемые параметры качества, таким образом формируются рекомендации по проектированию операции шлифования деталей с покрытиями.

В дальнейшем, возможности этой системы можно расширять с помощью моделей других механических операций деталей с покрытиями.

В результате выполнения работы создана автоматизированная технологическая система, позволяющая спроектировать операцию механической обработки детали с покрытием, а именно назначить режимы резания, выбрать инструмент и его характеристики, тем самым снизить затраты на ТПП.