

11

На правах рукописи



ЖИХАРЕВ ДМИТРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ЧЕРВЯЧНЫХ ФРЕЗ ЗА СЧЕТ
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДА ФОРМИРОВАНИЯ
ПОВЕРХНОСТЕЙ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ ИНСТРУМЕНТА**

Специальность 05.03.01 Технологии и оборудование механической и
физико-технической обработки

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Тула - 2009

Работа выполнена в ГОУ ВПО «Тульский государственный университет»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Борискин Олег Игоревич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Гречишников Владимир Андреевич;
доктор технических наук, доцент
Феофилов Николай Дмитриевич.

Ведущая организация: ОАО «ЦКБА», г. Тула.

Защита состоится 09 февраля 2010 г. в 14 час. на заседании
диссертационного совета Д.212.271.01 при ГОУ ВПО «Тульский государственный
университет» (300600, г. Тула, ГСП, просп. им. Ленина, 92, корп. 9, ауд. 101).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО «Тульский
государственный университет».

Автореферат разослан 30 12. 2009 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

 — А.Б. Орлов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Развитие машиностроения предъявляет все более высокие требования к качеству выпускаемой продукции. От этого напрямую зависит ее конкурентоспособность. Качество и точность продукции машиностроения определяются рядом факторов, причем одним из основных является качество применяемого металлорежущего инструмента.

Особое место среди машиностроительной продукции занимают детали с периодическими профилями, такие как зубчатые колеса, зубчатые муфты, детали шлицевых соединений и др., обработка которых преимущественно осуществляется обкаточными инструментами. Наиболее распространенными обкаточными инструментами являются червячные фрезы.

Несмотря на значительное количество работ отечественных и зарубежных авторов, посвященных этим инструментам, вопросы теории и методов их проектирования разработаны недостаточно, что ограничивает их потенциальные возможности.

В связи с этим обоснование конструкторских решений, повышающих эксплуатационные характеристики червячного инструмента, является актуальной научной задачей.

Работа выполняется в рамках госбюджетной темы №14-06 «Повышение эффективности и качества механической обработки на основе совершенствования процессов резания и конструкций инструментов».

Цель работы заключается в повышении эксплуатационных характеристик червячных фрез, в частности, в уменьшении органических погрешностей на детали и увеличении ресурса работы инструмента.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- проведен анализ теории формирования поверхностей при зацеплении червячного инструмента с деталью с позиций новых достижений теории формообразования;

- разработана методика, в частности математическое и программное обеспечение для проведения исследования процесса формообразования поверхностей при решении прямой и обратной задач;

- исследованы закономерности процесса формообразования поверхностей детали червячным инструментом;

- разработаны рекомендации по выбору параметров червячных фрез, минимизирующих органические погрешности и увеличивающих ресурс работы инструмента.

Методы исследования. Применялись теоретические исследования, моделирование на ЭВМ, численные эксперименты. При этом были использованы основные положения теории зацепления, геометрической теории формирования поверхностей резанием, теории винтовых поверхностей, теоретической механики, высшей математики.

Автор защищает:

- математическую модель формирования поверхностей режущей части

2

червячных фрез, отличающуюся тем, что она позволяет аналитически точно рассчитывать профили при решении прямой и обратной задачи для инструмента различной величины сточенности;

- методику проектирования червячных фрез с оптимальными параметрами, которая обеспечивает минимизацию органических погрешностей инструмента;

- результаты теоретических исследований формирования поверхностей детали при обработке червячным инструментом, учитывающие изменения его профиля при переточках, что является основной причиной возникновения органических погрешностей;

- рекомендации по минимизации органических погрешностей червячного инструмента, отличающиеся принципом выбора радиуса начального цилиндра детали при обработке поверхностей деталей с профилями, очерченными различными кривыми, а также имеющими точки излома.

Научная новизна работы заключается:

- в математической модели, описывающей процесс формирования поверхностей детали и червячной фрезы при различной величине сточенности инструмента;

- в установлении закономерности влияния переточек червячных фрез на параметры их производящих поверхностей;

- в методе расчета червячных фрез, обеспечивающем минимизацию органических погрешностей инструмента.

Практическая ценность работы заключается:

- в рекомендациях по проектированию червячных фрез, обеспечивающих повышенную точность;

- в разработке комплекса прикладных программ для исследования закономерностей процесса формообразования и проектирования червячных фрез;

- в системном подходе к проектированию червячных фрез с оптимальными параметрами в учебном процессе.

Реализация работы. Результаты исследований апробированы и внедрены на ОАО «Щекинский завод РТО» (г. Щекино), а также использованы в учебном процессе в дисциплине «Режущий инструмент» в ТулГУ.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы были доложены и обсуждены на второй международной научно-технической конференции «Проектирование, технологическая подготовка и производство зубчатых передач» (Тула, 2005); международной юбилейной научно-технической конференции «Проблемы формообразования деталей при обработке резанием», посвященной 90-летию со дня рождения Лашнева С.И. (Тула, 2006); международной научно-технической конференции, посвященной 105-летию Петрухина С.С. (Тула, 2008); на научных конференциях ТулГУ в 2004 – 2009 гг.

Публикации. Материалы проведенных исследований отражены в 4 статьях в рецензируемых изданиях, внесенных в список ВАК, 5 статьях в меж-

вузовских сборниках научных трудов.

Автор выражает глубокую благодарность кандидату технических наук, профессору Н.Г. Стаханову за оказанную помощь при выполнении работы, ценные советы и замечания.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка использованных источников из 113 наименований, 6 приложений и включает 91 страницу машинописного текста, содержит 87 рисунков и 1 таблицу. Общий объем - 161 страница.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность задачи, показана научная новизна диссертационной работы, определена цель и дана краткая характеристика направления исследований, научного и практического значения решаемой задачи и кратко раскрыто содержание разделов.

В первом разделе рассмотрено современное состояние вопроса проектирования червячных инструментов. Дан анализ обкаточных инструментов с позиций целевых движений. Рассмотрено образование производящих поверхностей червячных фрез, как двухпараметрического семейства формируемых поверхностей детали.

Проведенный анализ работ различных авторов показал, что вопросы проектирования червячных фрез разобраны недостаточно, имеется необходимость разработки методики проектирования червячных фрез с учетом новых положений в теории формообразования. В соответствии с этим, в разделе определена цель и сформулированы основные задачи работы.

Во втором разделе проведен анализ схемы формообразования поверхностей винтовой пары инструмент-деталь, образующейся при переточках инструмента.

Сопряжение производящих поверхностей инструментов, образующих с деталью цилиндрическую винтовую пару с перекрещивающимися осями, осуществляется с точечным контактом.

Для определения производящей поверхности таких инструментов в соответствии со вторым способом Оливье используется вспомогательная рейка.

Традиционно методы расчета предполагают наличие общей точки контакта начальных цилиндров детали (рисунок 1), инструмента и начальной плоскости вспомогательной рейки, которая лежит на линии межосевого расстояния и является полюсом зацепления.

Линии зацепления разноименных сторон зубьев в этом случае проходят через полюс. Именно такая винтовая пара лежит в основе расчета червячных фрез, шеверов, и ряда других инструментов. Однако при переточках инстру-

мента диаметральный размер его зубьев изменяется, что приводит к необходимости соответствующего изменения межосевого расстояния. Как следствие, изменяется геометрия зацепления.

Радиусы начальных цилиндров, по которым осуществляется качение начальных плоскостей вспомогательной рейки, определяются по следующим зависимостям:

$$\text{для детали } r_w = \frac{p \cdot \sin \Sigma_{w0}}{\frac{z_0 \cdot p}{p_0 \cdot z} + \cos \Sigma_{w0}}, \quad (1)$$

$$\text{для инструмента } r_{w0} = \frac{p_0 \cdot \sin \Sigma_{w0}}{\frac{p_0 \cdot z}{z_0 \cdot p} + \cos \Sigma_{w0}}, \quad (2)$$

где Σ_{w0} - угол скрещивания осей детали и инструмента,

p, p_0 - винтовой параметр детали и инструмента соответственно,

z, z_0 - число зубьев (заходов) детали и инструмента соответственно.

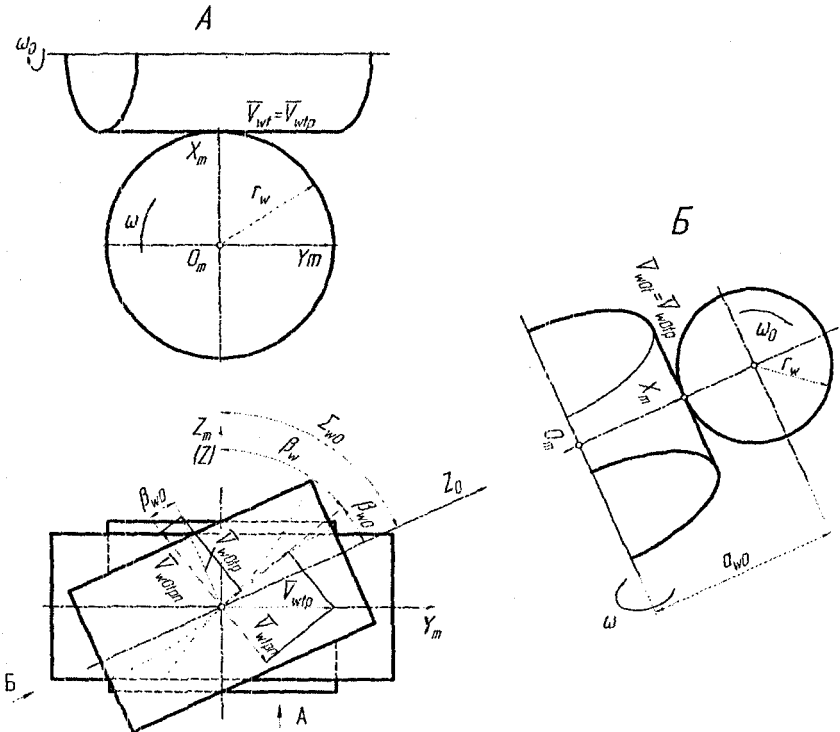


Рисунок 1 - Схема расположения начальных поверхностей винтовой пары и векторов скоростей при условно положительном направлении вращения

В разделе приведены доказательства того, что:

1. При изменении межосевого расстояния, но неизменном угле скрещивания:

- а) радиусы начальных цилиндров изменяться не будут;
- б) начальные цилиндры не касаются друг друга;
- в) вспомогательная рейка будет иметь не одну, а две начальные плоскости (рисунок 2), каждая из которых касается соответствующего начального цилиндра;

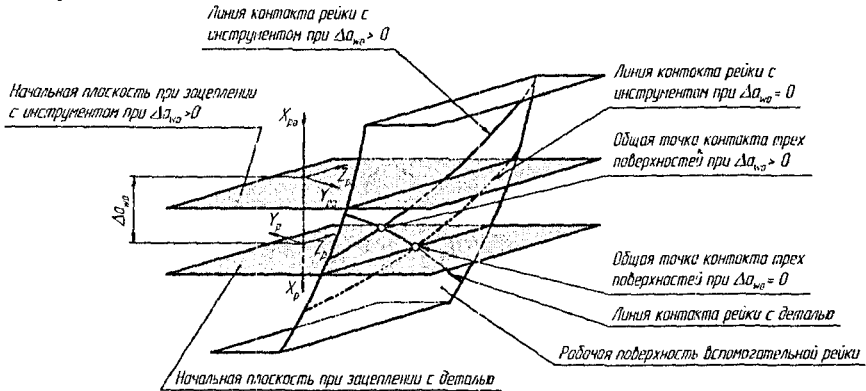


Рисунок 2 - Схема расположения начальных плоскостей рейки при изменении межосевого расстояния за счет запаса на переточку инструмента

г) линии зацепления детали и инструмента будут смещены относительно межосевой линии в различные стороны для разноименных сторон зубьев, причем тем больше, чем меньше угол скрещивания, и пересекать ее не будут;

д) если изменение межосевого расстояния вызвано изменением запаса на переточку инструмента, то положение вспомогательной рейки относительно детали и профиль рейки останутся без изменения. Положение рейки относительно инструмента будет смещаться и поэтому профиль его производящей поверхности должен измениться, чтобы не нарушилась правильность зацепления.

е) если изменение межосевого расстояния осуществляется при одной и той же производящей поверхности (при изменении положения инструмента относительно детали), то профиль вспомогательной рейки и ее положение относительно инструмента меняться не будут, но относительно детали рейка будет смещена. В результате размеры нарезаемых зубьев и их профиль будут изменяться.

В разделе разработаны зависимости для расчета профилей производящих поверхностей, контактных линий и линий зацепления по заданным поверхностям детали (прямая задача) и соответствующие зависимости при заданной производящей поверхности (обратная задача). Формулы справедливы для инструментов различной величины сточенности и угла скрещивания осей, неравному нулю. Кроме этого, разработаны зависимости для расчета параметров ре-

жушей кромки червячной фрезы, определения траекторий точек детали относительно системы координат рейки и следов траекторий точек излома детали на осевую плоскость червяка.

На базе этих зависимостей были разработаны алгоритмы и программное обеспечение, которые позволяют, как производить автоматизированное проектирование червячных фрез, так и проводить различные численные эксперименты.

Третий раздел посвящен теоретическим исследованиям закономерностей формирования поверхностей с профилями, очерченными различными кривыми, в зацеплении деталь-рейка-червяк.

При переточках червячных фрез, как уже указывалось выше, теоретически требуемый профиль производящей поверхности будет изменяться. С целью выявления величины и характера изменений теоретически требуемого профиля производящей поверхности при различной величине сточенности инструмента проведен их анализ на примере червячной фрезы для обработки шлицевого вала с прямобочным профилем.

Численные эксперименты проводились по разработанной исследовательской программе. Рассчитанные профили совмещались и определялись отклонения базового профиля относительно теоретически требуемого. В качестве базового был принят профиль наполовину сточенной фрезы. Анализировалось влияние таких параметров, как радиус начального цилиндра детали (r_w) и радиус

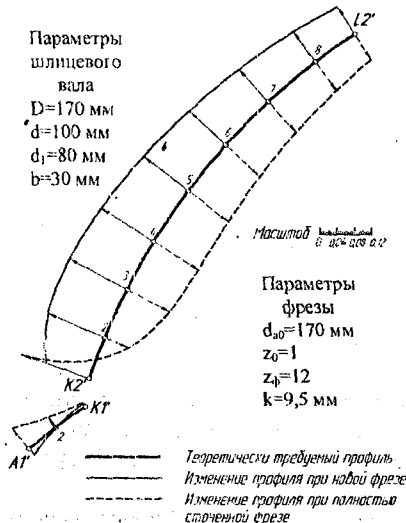


Рисунок 3 - Изменение теоретического профиля производящих поверхностей фрезы при переточках

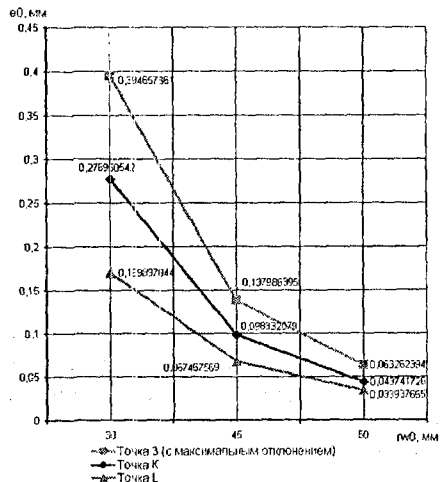


Рисунок 4 - График влияния r_w на отклонения профиля в расчетных точках для ноковой фрезы ($r_w = 80$ мм)

начального цилиндра червяка (r_w). Исследования проводились для пяти значений смещения межосевого расстояния. При этом были выбраны 4 значения ра-

диуса r_w , лежащие в допустимых пределах. Фрагменты результатов исследований приведены на рисунках 3 и 4.

Результаты анализа показали, что при увеличении радиуса начального цилиндра фрезы отклонения теоретического профиля от базового уменьшаются более чем в 5 раз. При увеличении r_w на боковом рабочем участке K2-L2 отклонения профиля по абсолютному значению увеличиваются. Это объясняется увеличением нормальных шагов на детали и червяке и соответствующим увеличением угла подъема. Максимальное отклонение теоретически требуемых профилей при различной величине сточенности инструмента может достигать весьма существенных величин - в приведенном примере до 0,2 мм. Таким образом, установлено, что при проектировании инструмента с незвольвентным профилем следует учитывать изменение его профиля при переточках, которое является источником органической погрешности инструмента.

Особенностью эвольвентной винтовой пары со скрещивающимися осями является то, что изменение межосевого расстояния не нарушает правильности зацепления. Инструментальная рейка в этом случае будет иметь прямолинейный профиль. Смещение такой рейки относительно производящего колеса приведет к образованию эвольвентной винтовой поверхности с тем же радиусом основного цилиндра, что и до смещения. Поэтому все требуемые для правильного зацепления торцевые профили производящих червяков фрезы при различной величине сточенности будут эвольвентами одной и той же основной окружности, но повернутыми на некоторый угол. При этом в зацеплении будут использоваться разные участки профиля той же эвольвенты. Т. е. при эвольвентном зацеплении теоретических отклонений обработанной поверхности не будет.

Для того чтобы спроектировать инструмент или получить инструментом поверхность детали, для каждой расчетной точки детали, рейки и производящей поверхности инструмента необходимо выполнить три условия формообразования: а) в каждой точке контакта должна быть общая касательная плоскость; б) касание сопряженных поверхностей должно происходить только с открытой стороны; в) эти поверхности не должны пересекаться в зоне контакта. Наибольшее влияние на выполнение условий формообразования при обработке деталей по методу обкатки оказывает радиус начального цилиндра детали. Этот радиус определяет возможность получения конкретной точки профиля. Приведены зависимости, выведенные С.И. Лашневым, для определения предельных значений радиусов начальных цилиндров детали.

Зубчатые детали имеют, как правило, ограниченные типы кривых для формирования профиля зубьев. По этой причине в данном разделе рассматривались более часто встречающиеся из них (неэвольвентные), а именно: отрезки прямой линии и дуги окружностей. Установлен характер влияния r_w на формирование поверхностей деталей с профилями, очерченными такими кривыми, режущим инструментом.

На рисунке 5 приведены графики предельных значений радиуса начального цилиндра детали для профилей, состоящих из отрезков прямых.

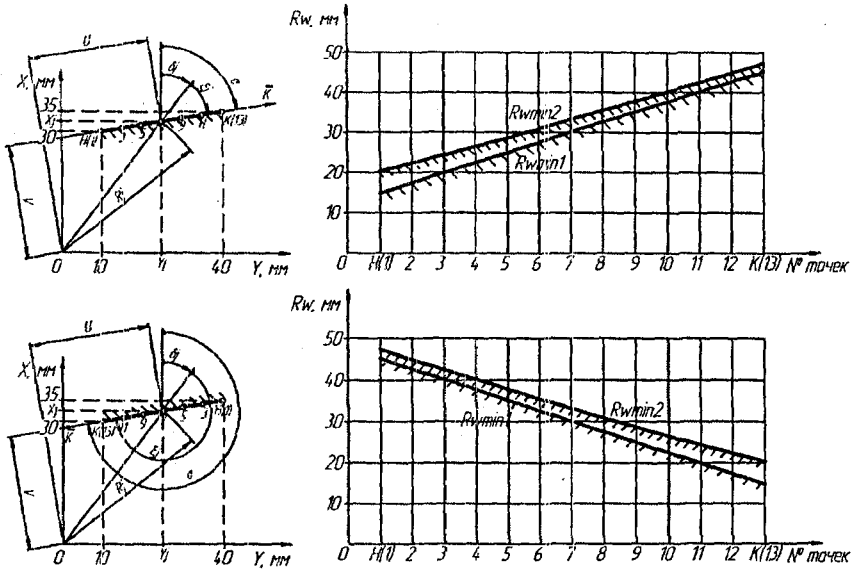


Рисунок 5 – График предельных значений r_w для участка профиля детали, очерченного отрезком прямой

Во всех точках профилей, очерченных отрезком прямой, лимитирующим условием является второе условие формообразования, причем лимитирующей является точка на прямолинейном участке с наибольшим радиусом.

Для выявления закономерностей формирования поверхностей деталей с профилями, оформленными дугами окружностей, в зависимости от выбранного значения r_w , исследовался профиль детали, представленный на рисунке 6.

Из графиков видно, что при радиусе r_w , проходящим через центр окружности, на участке ниже точки S будет иметь место нарушение 2-го условия формообразования. Величина этого участка, на котором второе условие формообразования не выполняется, возрастает с уменьшением координаты X центра дуги.

Для выпуклой поверхности детали с профилем, очерченным дугой окружности, выбор r_w для участка выше точки S ограничивается только минимумом из первого условия формообразования, ниже точки S – минимумом из второго условия. Для вогнутой поверхности участок выше точки S получен быть не может, т. к. в формулах предельных значений r_w будет отрицательное подкоренное выражение; ниже точки S лимитирующим является ограничение по минимуму и максимуму из второго условия формообразования. Причем на участке в зоне точки S всегда будет происходить нарушение второго условия формообразования.

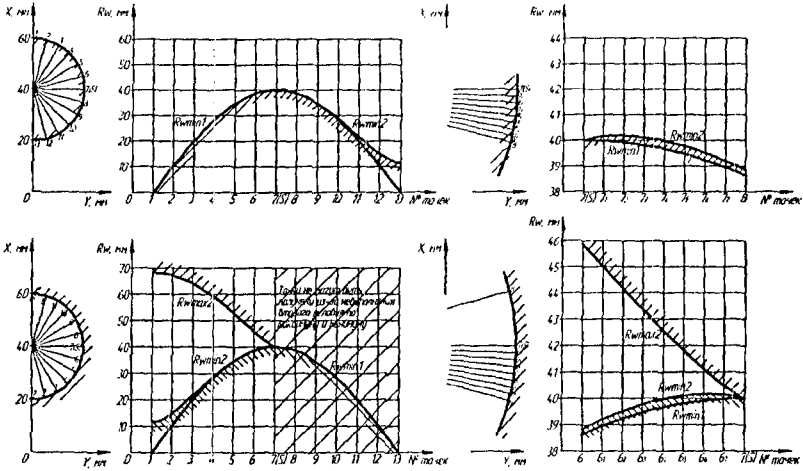
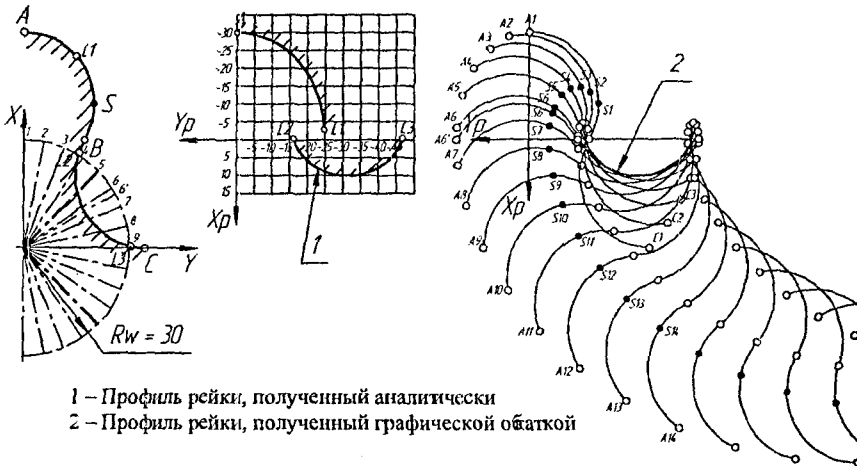


Рисунок 6 – Графики предельных значений r_w для участков профиля детали, очерченных дугами окружности

При исследовании формирования вогнутых и выпуклых поверхностей, также рассматривался профиль, показанный на рисунках 7 и 8, состоящий из сопряженных дуг окружности. Радиус начального цилиндра детали принимался меньшим, равным и большим радиуса центра дуг окружности.



1 – Профиль рейки, полученный аналитически
2 – Профиль рейки, полученный графической обкаткой

Рисунок 7 – Профиль рейки при $r_w = 30$ мм (меньше радиуса центров дуг окружностей профиля)

Как видно, при r_w меньшем радиуса центров дуг окружностей, оформляющих профиль детали, происходит нарушение минимума из первого условия формообразования на нескольких участках профиля (L1-L2, L3-C) и, соответственно, они не могут быть получены методом обкатки.

Обычно, на практике, принимают радиусы начальных цилиндров деталей с профилями, очерченными дугами окружностей, проходящими через их центр (см. рисунок 8). В этом случае профиль рейки должен совпадать с профилем детали (это упрощает расчет и изготовление инструмента). Однако, в этом случае, на некоторых участках профиля могут иметь место точки возврата (рисунок 9).

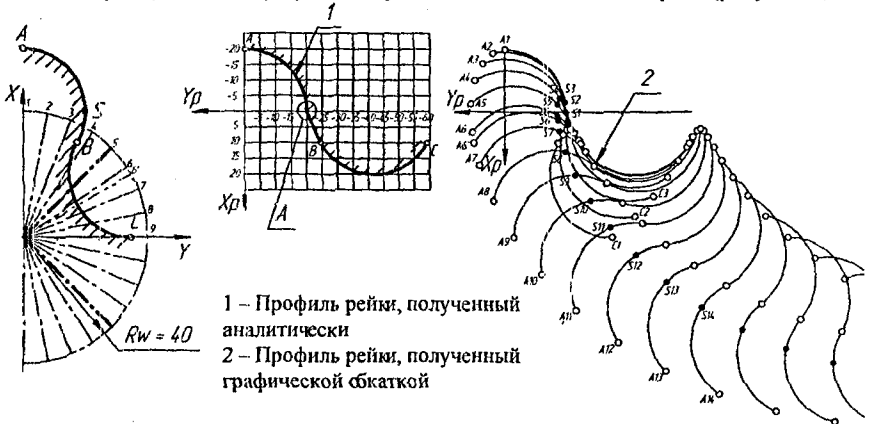


Рисунок 8 – Профиль рейки при $r_w = 40$ мм (разен радиусам центров дуг окружностей профиля)

Точки возврата появляются на тех участках, где происходит нарушение второго условия формообразования (участок ТВ1-ТВ2 на рисунке 9). В этом случае будет наблюдаться подрез не только на участке нарушения условия формообразования, но и на соседних уже сформированных участках профиля.

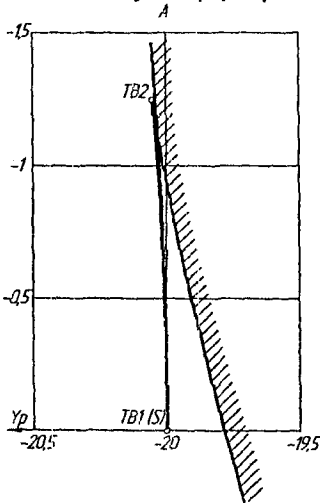


Рисунок 9 – Точка возврата на профиле рейки при $r_w = 40$ мм

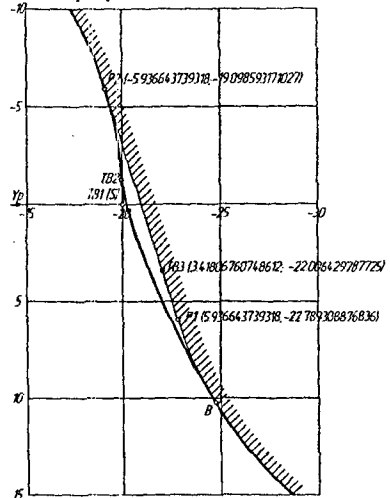


Рисунок 10 – Оформленный профиль рейки при $r_w = 40$ мм

Т.к. выбор r_w , проходящим через центр окружности, широко распространен на практике, для этого случая проведено решение обратной задачи и было найдено максимальное отклонение профиля. Для получения непрерывного профиля рейки он был оформлен по прямой, касательной к дугам окружности (рисунок 10).

После решения обратной задачи участок, оформленный прямой, на детали образует эвольвенту (рисунок 11). Часть этой эвольвенты не может быть получена, на детали образуется точка возврата ТВЗ, и все близлежащие с ней точки будут срезаться. Максимальное отклонение профиля детали, полученного после решения обратной задачи, от требуемого достигает 0,7 мм.

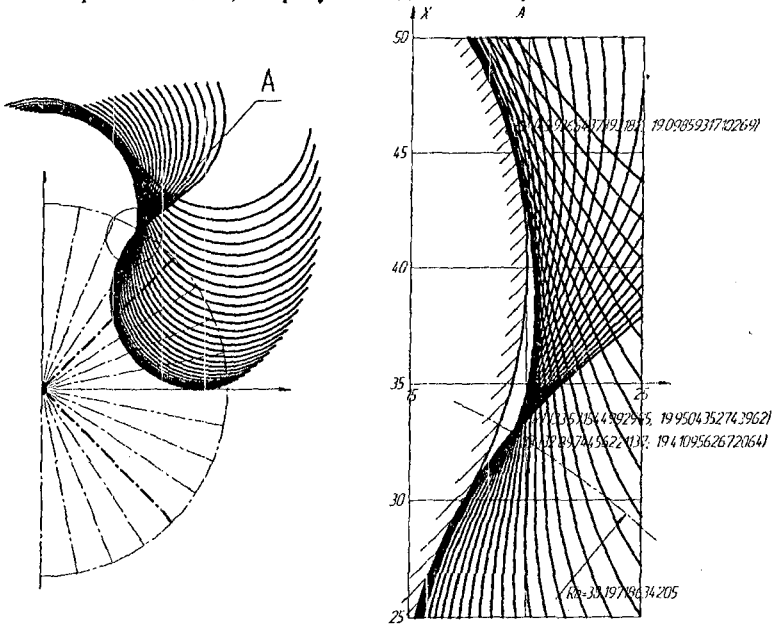


Рисунок 11 – Профиль детали, полученный после решения обратной задачи графическим методом

При r_w большем радиуса центров, минимумы из условий формообразования выполняются для всех точек профиля, поэтому на профиле рейки не наблюдаются ни разрывы, ни точки возврата. Таким образом, можно сделать вывод, что для получения всех точек подобных профилей следует стремиться выбирать r_w немного большим радиуса центров дуг – исходя из графика предельных значений r_w .

Отдельный интерес на зубчатых деталях представляют участки в зоне особых точек – точек излома, т. к. часто возникают проблемы с профилированием именно этих участков. Проведено исследование формирования таких участков режущим и червячным инструментами.

Анализ показал, что во всех случаях, когда радиус начального цилиндра

детали не проходит через точку излома, на рейке образуется разрыв профиля. Чем больше разница между радиусом начального цилиндра детали и радиусом точки излома (далее по тексту R_k), тем больше величина разрыва профиля.

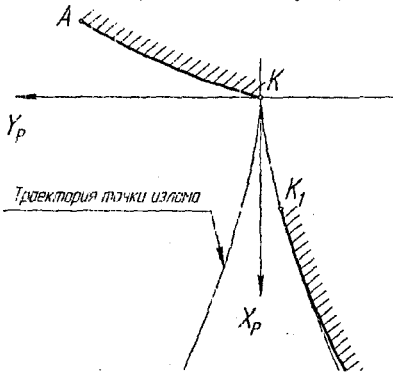


Рисунок 12 – Профиль рейки для детали с поднутренным участком

Как показали численные эксперименты, при поднутрении профиля детали, в отличие от других случаев, в зоне точки излома на рейке образуется разрыв профиля при любом значении радиуса начального цилиндра детали, в том числе, и при равенстве радиусов точки излома и начального цилиндра детали (рисунок 12).

Это объясняется тем, что нормали в точке излома к образующим ее участкам профиля пересекают начальную окружность в различных местах, в результате чего моменты профилирования будут различными.

На профиле инструментальной рейки при соблюдении второго условия формообразования ветвь возврата не наблюдается. Однако при определенных значениях радиуса начального цилиндра детали она все же может появиться на профиле червяка. Так, при исследовании формирования участков профиля прямобокового шлицевого вала (принятые параметры: наружный центрирующий диаметр равен 170 мм, номинальный внутренний диаметр втулки – 100 мм, число зубьев – 6) выяснилось, что если принять r_w меньшим радиуса точки излома, то при значительной величине сточенности фрезы, либо при большом запасе на переточку на профиле червяка все равно образуется точка возврата (рисунок 13). Необходимо отметить, что, как правило, при расчетах профиля ввиду малых размеров ветви возврата последняя остается незамеченной и профиль оформляется кривой, которая не соответствует требуемой. Это ведет к искажению профиля инструмента червячной фрезы и при обработке может привести к существенным отклонениям профиля детали (до 0,5 мм в данном примере).

Разрыв профиля инструмента в области точки излома должен оформляться кривыми, которые не будут пересекаться траекториями этих точек излома. Иначе неизбежно произойдет срез участка профиля детали. Соответственно такие кривые должны рассчитываться по теоретически точным зависимостям. Разработанное программное обеспечение позволяет производить расчет таких кривых.

При принятии радиуса начального цилиндра детали большим или равным радиусу точки излома на червяке не наблюдалось образования точек и линий возврата (см. рисунок 13). Соответственно, теоретически, чтобы обеспечить получение точки излома детали и прилегающих участков профиля следует выбирать r_w большим или равным R_k . Однако на практике внутреннюю точку излома на профиле инструмента получить практически невозможно из-за осыпания

шлифовального круга, погрешности установки и изменении радиуса при затыловании по архимедовой спирали. По этой причине желательно иметь большой разрыв между профилирующими участками профиля инструмента. Обеспечить это условие без опасения нарушения условий формообразования точно можно только при больших значениях радиуса начального цилиндра детали.

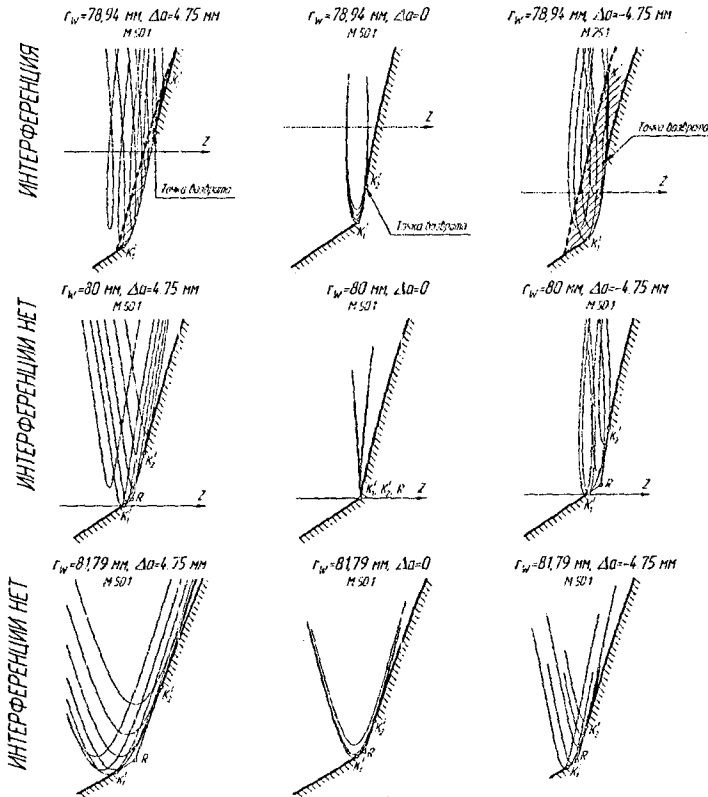


Рисунок 13 – Формирование поверхностей в зоне точки излома на червяке

Существующая в справочной литературе тенденция принятия радиуса начального цилиндра детали минимально возможным (при котором переходная кривая будет наименьшей) с этой точки зрения не всегда является оправданной.

В четвертом разделе предложена методика проектирования червячных фрез с учетом новых положений в теории формообразования, а также результатов численных экспериментов данной работы.

Можно выделить основные этапы проектирования червячных фрез:

1) Ввод параметров детали: число зубьев, винтовой параметр, число участков профиля, припуски на последующую обработку и др.

На этом же этапе производится подготовка профиля к расчету. Профиль разбивается на элементарные участки, параметры которых вносятся в систему автоматизированного проектирования.

В методике расчетный контур детали принято располагать по середине поля допуска. В случае если рабочие поверхности детали будут иметь припуск на последующую обработку, расчетный контур будет отстоять от указанного выше среднего контура на величину соответствующих припусков. По размерам этого контура делают контрольный образец, используемый при окончательной приемке червячной фрезы.

2) Расчет дискретного представления профиля детали. В результате расчета должны быть определены полярные и декартовы координаты точек профиля детали, углы наклона касательных и радиусы кривизны в этих точках.

3) Расчет предельных значений радиуса начального цилиндра детали.

4) Анализ выбранного значения радиуса начального цилиндра детали на выполнение условий формообразования различных участков профиля. Анализ целесообразно производить на основании графиков предельных значений r_w .

Учитывая результаты исследования для деталей с различными профилями, можно рекомендовать рассматривать при расчете несколько вариантов с разными радиусами начальной окружности детали, из которых в дальнейшем следует выбрать наилучший. В условиях автоматизированного проектирования такое решение незначительно увеличит время проектирования, но, в тоже время, позволит повысить точность обрабатываемых деталей.

5) Ввод принятого значения радиуса начального цилиндра детали r_w .

6) Расчет параметров точек профиля инструментальной рейки: $x_p, y_p, z_p, \alpha_p, \rho_p$ и др. Расчет теоретического профиля инструментальной рейки следует производиться по зависимостям из раздела 2 данной работы.

7) На данном этапе необходимо произвести анализ результатов расчета теоретического профиля инструментальной рейки. Это можно сделать, например, по графическому изображению профиля или после решения обратной задачи.

8) Если анализ результатов расчета инструментальной рейки устраивает, то производится оформление рабочего профиля инструментальной рейки. Иначе следует вернуться к пункту 4 – анализу радиуса начального цилиндра детали.

9) Ввод параметров червяка: радиус начального цилиндра червяка, винтовой параметр, число заходов, направление винтовой (левая или правая), запас на переточку по межосевому перпендикуляру и др.

10) Расчет параметров профиля червяка в торцевой и осевой плоскостях (по зависимостям из раздела 2).

11) Анализ результатов расчета теоретического профиля червяка. Это снова можно сделать, по графическому изображению профиля (рисунок 14) или по результатам решения обратной задачи.

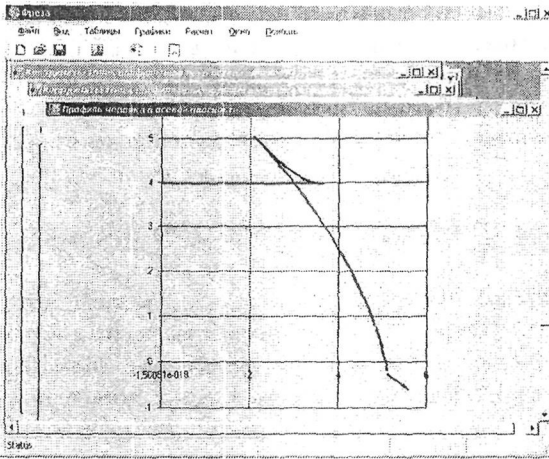


Рисунок 14 – Графическое изображение профиля червяка в осевой плоскости

12) Если анализ результатов расчета теоретического профиля червяка устраивает, то, при необходимости, производится оформление рабочего профиля червяка. Иначе следует вернуться к пункту 9 – ввести другие параметры червяка с учетом данных последнего анализа.

13) Ввод параметров передней поверхности: смещение или передний угол, винтовой

параметр.

14) Расчет координат режущей кромки и положения касательных в ее расчетных точках.

15) Расчет координат проекций режущих кромок на контрольные плоскости: нормальную к средней линии витка на начальном цилиндре и касательную к передней поверхности.

Контроль профиля фрезы, а точнее, режущих кромок, ведется в контрольной плоскости, нормальной к виткам или касательной к передней поверхности. Для определения проекций режущих кромок на эти плоскости не требуется вмешательство конструктора, поэтому оно может производиться в автоматическом режиме.

Профиль, соответствующий рабочим участкам на детали, на чертеже профиля фрезы целесообразно задавать координатным способом в виде таблиц расчетных точек. В этом случае профиль фрезы будет соответствовать расчетному и поэтому не будет иметь органических погрешностей, которые возникают в результате замены дугами окружностей, а также при использовании приближенных традиционных методов расчета.

16) Следующий этап проектирования сводится к выбору типа задней поверхности и ее параметров. При этом необходимо учитывать, чтобы все участки режущей кромки были обеспечены необходимыми кинематическими задними углами, по возможности с оптимальными значениями. Особое внимание следует уделить участкам режущей кромки, которые имеют наибольшую загрузженность, поскольку износ на них определяет стойкость инструмента.

17) Расчет параметров профиля инструмента второго порядка.

В разделе даны рекомендации по выбору значения r_w (как параметра, оказывающего наибольшее влияние на результаты проектирования червячной фрезы) с учетом анализа результатов численных экспериментов.

По разработанной методике была спроектирована червячная фреза для обработки специального шлицевого вала, которая позволила исключить брак на производстве.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

В работе решена актуальная научная задача, имеющая важное народно-хозяйственное значение для различных отраслей машиностроения и состоящая в развитии метода проектирования червячных фрез, обеспечивающего повышение их эксплуатационных характеристик, в частности, в уменьшении органических погрешностей на детали и увеличении ресурса работы инструмента.

В процессе теоретических исследований получены **новые основные результаты** и сделаны следующие выводы:

1. Разработана математическая модель, позволяющая аналитически точно рассчитывать профили при решении прямой и обратной задачи для червячных фрез различной величины сточенности. Разработанные зависимости наилучшим образом адаптированы для использования в системах автоматизированного проектирования червячных фрез.

2. Установлено, что при эвольвентном зацеплении теоретических отклонений обработанной поверхности от базовой не будет. Это объясняется тем, что при переточке фрезы и изменении межосевого расстояния, радиус основного цилиндра червяка не меняется. Поэтому все поверхности при любой величине сточенности будут эвольвентами одной и той же основной окружности. При этом линии зацепления при изменении межосевого расстояния будут расходиться в разные стороны от межосевого перпендикуляра, а угол зацепления останется неизменным.

3. Доказано, что при проектировании инструмента следует учитывать изменение его профиля при переточках, которое является источником органической погрешности инструмента. Проведенные исследования отклонений требуемых производящих поверхностей инструмента от базовых для незвольвентных профилей показали, что максимальное отклонение может достигать существенных величин (до 0,2 мм).

Установлен характер и величина отклонений требуемых производящих поверхностей инструмента от базовых в зависимости от таких параметров, как радиус начального цилиндра детали и радиус начального цилиндра инструмента.

4. Установлены закономерности формирования поверхностей деталей с профилями, оформленными наиболее часто используемыми кривыми – прямыми

мыми, дугами окружности; исследовано формирование поверхностей в зоне точек излома.

Доказано, что существующая тенденция принимать радиус начального цилиндра детали минимально возможным с целью уменьшения переходной кривой не всегда оправдана, т. к. в этом случае при определенной величине сточенности фрезы может происходить нарушение второго условия формообразования части профиля детали. Это станет причиной образованию ветвей и точек возврата, что приведет к искажению профиля червячной фрезы, и при обработке может привести к существенным отклонениям профиля детали (до 0,5 мм).

5. Предложена общая методика автоматизированного проектирования червячных фрез, которая обеспечивает минимизацию органических погрешностей инструмента.

По созданной математической модели и данной методике разработан комплекс прикладных программ для проектирования червячных фрез, а также проведения различных исследований процесса формообразования.

Данная методика и программное обеспечение использованы при проектировании червячной фрезы для обработки нестандартного шлицевого валика. Это позволило повысить точность фрезы и исключить брак на производстве.

6. Результаты теоретических исследований положены в основу практических рекомендаций по выбору радиуса начального цилиндра детали при обработке деталей с профилями, очерченными различными кривыми, а также имеющими точки излома. Данные рекомендации снижают органические погрешности червячного инструмента и увеличивают ресурс работы инструмента примерно в 1,3 раза. Результаты диссертационной работы внедрены на ООО «Щекинский завод РТО».

Основное содержание диссертации отражено в следующих работах:

1. Борискин О.И., Стаханов Н.Г., Якушенков А.В., Жихарев Д.А. Формирование точек излома профиля прямобочного шлицевого вала червячными фрезами // Известия ТулГУ. Машиностроение, системы приводов и детали машин. – Тула: ТулГУ, 2005. – С. 61-65.

2. Борискин О.И., Стаханов Н.Г., Якушенков А.В., Жихарев Д.А., Мухаметханов Р.Н. Концепция назначения радиуса начального цилиндра детали при обработке шлицевых валов с прямобочным профилем червячными фрезами // Известия ТулГУ. Серия «Инструментальные и метрологические системы» выпуск 2. – Тула: ТулГУ, 2006. – С. 243-249.

3. Борискин О.И., Стаханов Н.Г., Якушенков А.В., Жихарев Д.А. Формирование профиля прямобочных шлицевых валов червячными фрезами // Справочник. Инженерный журнал. 2006. – № 12. – С. 15-19.

4

4. Борискин О.И., Стаханов Н.Г., Якушенков А.В., Жихарев Д.А. Формирование наружных точек излома профиля деталей червячными фрезами // Известия ТулГУ. Серия «Технические науки» выпуск 1. – Тула: ТулГУ, 2006. – С. 12-17.

5. Борискин О.И., Стаханов Н.Г., Жихарев Д.А. Формирование выпуклых участков профиля детали, очерченных по дуге окружности, реечным инструментом // Вестник ТулГУ. Сер. «Инструментальные и метрологические системы». – Тула: ТулГУ, 2008. – С. 177-179.

6. Борискин О.И., Стаханов Н.Г., Якушенков А.В., Жихарев Д.А., Мухаметханов Р.Н. Принцип формирования теоретических производящих поверхностей червячных фрез при переточках // Проблемы качества машин и их конкурентоспособности: сб. материалов Шестой Международной научно-технической конференции. - Брянск. – 2008. - С. 161-162.

7. Жихарев Д.А. Исследование процесса формирования точек излома на прямобочных шлицевых валах червячными фрезами различной степени сточенности // Лучшие научные работы студентов и аспирантов технологического факультета: сб. ст. - Тула: ТулГУ, 2005. - С. 73-77.

8. Жихарев Д.А., Сарапин О.А. Влияние переточек червячных фрез на формирование поверхностей обрабатываемой детали // Лучшие научные работы студентов и аспирантов технологического факультета: сб. ст. - Тула: ТулГУ, 2008. - С. 69-72.

9. Жихарев Д.А., Сарапин О.А. Органические погрешности червячных фрез для эвольвентных зубчатых деталей // Лучшие научные работы студентов и аспирантов: сб. ст. Ч.2 - Тула: ТулГУ, 2009. - С. 150-152.

Подписано в печать

Формат бумаги 60 X 84 1/16. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 1,1. Уч.-изд. л. 1,0.

Тираж 120 экз. Заказ 052

Тульский государственный университет.
300600, г. Тула, просп. Ленина, 92.

Отпечатано в Издательстве ТулГУ.
300600, г. Тула, просп. Ленина, 95.