



Применение системы T-FLEX CAD при разработке управляющей программы для изготовления крупномодульного червяка с формой профиля ZT2 ГОСТ 18498-89 на токарном станке с ЧПУ

Леонид Рохин, Олег Тюкалов, Дмитрий Никитенко

В настоящей статье описан подход к созданию собственной специальной стратегии обработки червяков на базе системы параметрического трехмерного моделирования T-FLEX CAD, позволяющий решить сложные задачи разработки УП ЧПУ без приобретения дорогой специализированной САМ-системы.

Червяки с формой профиля ZT2 по ГОСТ 18498-89 имеют вогнутый профиль витка и обладают гораздо более высокими нагрузочной способностью, КПД, износостойкостью и сроком службы по сравнению с наиболее распространенными червяками ZN, ZA и ZI*, благодаря чему они нашли применение в различных тяжело нагруженных механизмах. В частности, в насосах высокого давления для цементации скважин. В данной статье описывается опыт изготовления такого червяка при выполнении НИОКР на ОАО «Шадринский завод транспортного машиностроения» (ОАО «ШЗТМ»). Фрагменты чертежа червяка представлены на рис. 1 и 2. Рабочая поверхность витков червяка образуется винтовым движением окружности $\rho = 78$ мм (R78 на рис. 2), заданной в плоскости, скрещивающейся с осью вращения червяка под углом $\gamma_{\text{н}} = 8^{\circ}58'57''$; кратчайшее расстоя-

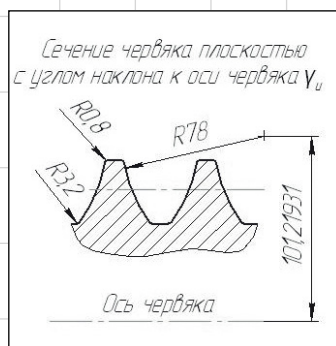


Рис. 2. Профиль и основные параметры червяка

Для обеспечения наибольшей жесткости державки резца и увеличения стойкости был взят максимально возможный радиус режущей пластины — 8 мм. Пластина с таким радиусом позволяет обработать профиль червяка без

Модуль	m	16
Число витков	z_1	2
Вид червяка		ZT2
Делительный угол подъема линии витка	γ	$12^{\circ}31'44''$
Направление линии зуба		Правое
Исходный производящий червяк		ГОСТ 19036-94
Степень точности по ГОСТ 3675-81		8-С
Делительная толщина по жарде витка	\bar{s}_{d1}	18.646
Высота до харды	\bar{h}_{d1}	16.028
Делительный диаметр червяка	d_1	114
Код витка	P_{z1}	100.531
Межосевое расстояние	a_w	4.35 ± 0.13
Угол скрещивания осей червяка и шест. колеса	$\gamma_{\text{н}}$	$8^{\circ}58'57''$

го инструмента нарезку витков червяка было решено проводить на имеющемся на предприятии токарном станке 16А30ФЗ с системой ЧПУ NC210 стандартным токарным резцом со сменной твердосплавной режущей пластиной круглой формы. У резца были срезаны опорные поверхности под углом 13° (угол, близ-

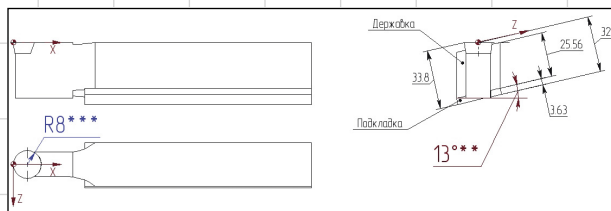


Рис. 3. Резец для нарезки червячной канавки

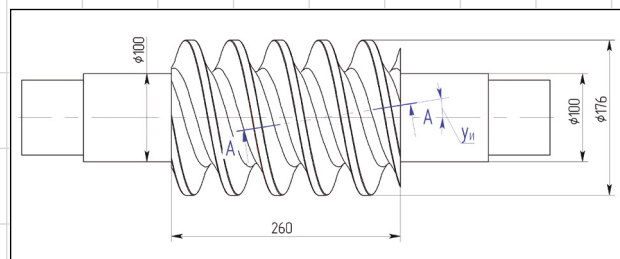


Рис. 1. Схема червяка, образованного тором (форма профиля ZT2)

ние от центра окружности ρ до оси вращения червяка составляет $s_{\text{н}} = 101,219$ мм (см. рис. 2); высота витка червяка $h_1 = 32,5$ мм.

Для сокращения расходов на изготовление специально-

кий делительному углу подъема линии витка) — так, как показано на рис. 3. Это позволило выровнять задние углы резания при обработке левой и правой рабочих сторон червяка, а также разместить резец внутри обрабатываемой канавки без интерференции (рис. 4).

существенного для данной задачи уменьшения его рабочей высоты (рис. 5).

Нарезка профиля витка червяка разделяется на черновую и чистовую обработку. Схема черновой обработки показана на рис. 6 и представляет собой параметрический цикл построчных проходов. Цикл начинается с позиционирования резца на текущем радиусе обработки (параметр E81) касательно мнимого левого профиля впадины витка, расположенного на расстоянии одного шага правее нарезаемого венца. Под мнимым подразумевается профиль впадины витка, лежащий на продолжении винтовой канавки червяка за пределами детали (см. рис. 6). С этой позиции происходит нарезка первой строки

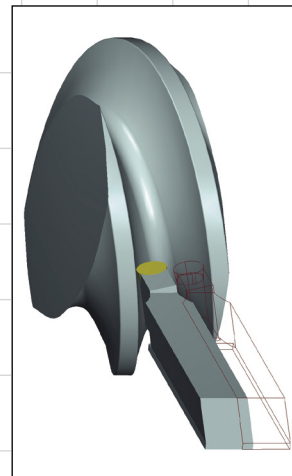


Рис. 4. Положение резца при нарезке левого и правого витков червяка

Леонид Рохин
К.т.н., доцент, Курганский государственный университет.

Олег Тюкалов
Аспирант, Курганский государственный университет.

Дмитрий Никитенко
Инженер, Курганский государственный университет.

цикла (путь 1) посредством функции обработки винтовой канавки. После этого выполняется отвод резца на «безопасный X» (путь 2), возврат в стартовую позицию новой строки (пути 3 и 4), которая расположена на некотором расстоянии (параметр E32) правее стартовой точки текущей строки. Отсюда цикл повторяется снова, каждый раз возвращаясь в новую точку, смещенную на E32 вправо.

* Кривенко И.С. Новые типы червячных передач на судах. Л.: Судостроение, 1967. 256 с.



ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ

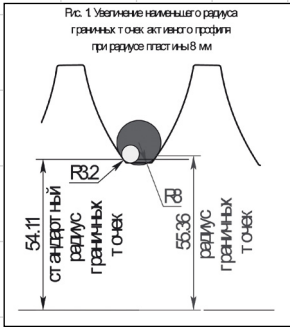


Рис. 5. Изменение формы дна червячной канавки при обработке токарным резцом с радиусом режущей пластины 8 мм

Когда канавка окажется прорезанной на всю ширину, то есть будет достигнута позиция заключительной строки обработки (см. рис. 6), уменьшится текущий радиус и описанный процесс повторится.

Схема чистой обработки (рис. 7) отличается от черновой большим числом проходов по высоте витка и отсутствием промежуточных проходов по ширине червячной канавки. Резец последовательно обрабатывает сначала правую, а затем левую стороны витка, после чего уменьшается текущий радиус и цикл повторяется.

ЗАО «ШЗТМ» не располагало САМ-системой, в которой можно было бы реализовать данную технологию. Поэтому авторы статьи оперативно создали собственную специальную стратегию черновой и чистой построчной токарной обработки червяков с формой профиля ZT2, позволяющую

сформировать текст УП ЧПУ. Эта стратегия была разработана исключительно на параметрических возможностях системы T-FLEX CAD без программирования каких-либо макросов. Рассмотрим особенности ее создания.

Разработка параметрической 3D-модели червяка с формой профиля ZT2 и 3D-модели резца

Формообразование профиля витка происходит круглой режущей кромкой резца, расположенной в плоскости, скрещивающейся с осью вращения червяка (см. рис. 3 и 4). По этой причине задача определения координат точек обработки является пространственной и требует создания 3D-модели червяка и инструмента.

Согласно ГОСТ 19036-94 «Передачи червячные цилиндрические. Исходный червяк и исходный производящий червяк», а также ГОСТ 19650-97 «Передачи червячные цилиндрические», для расчета геометрических параметров была создана полностью параметрическая 3D-модель червяка с формой профиля ZT2 (рис. 8). С помощью данной модели можно изменять любой параметр червяка, в том числе ширину червячной канавки, что необходимо для получения управляющей программы (УП) черновой и чистой обработки.

При разработке 3D-модели инструмента была создана

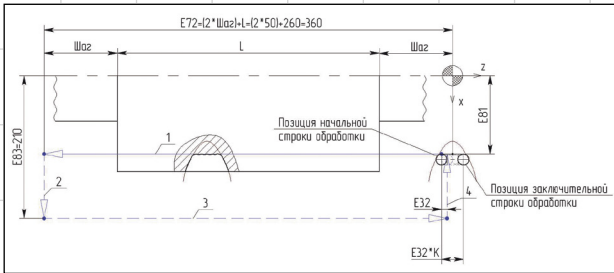


Рис. 6. Схема черновой обработки червячной канавки

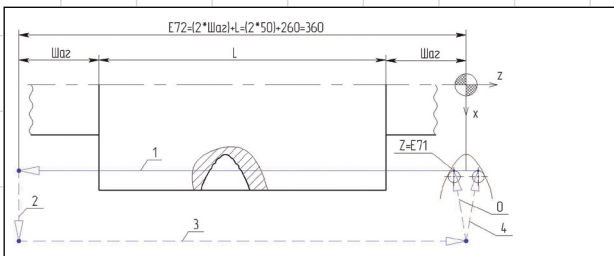


Рис. 7. Схема чистой обработки червячной канавки



Как управлять инженерными данными в единой системе?

Российский комплекс T-FLEX PLM+



- Полнофункциональное PLM-решение на одной платформе
- Все инструменты, необходимые для автоматизации проектирования, изготовления и эксплуатации продукции + управление документооборотом
- Развитые средства интеграции с различными CAD и ERP-системами
- Быстрая настройка под нужды конкретного производства

Топ Системы

www.topsystems.ru

+7 (499) 973-20-34, 973-20-35

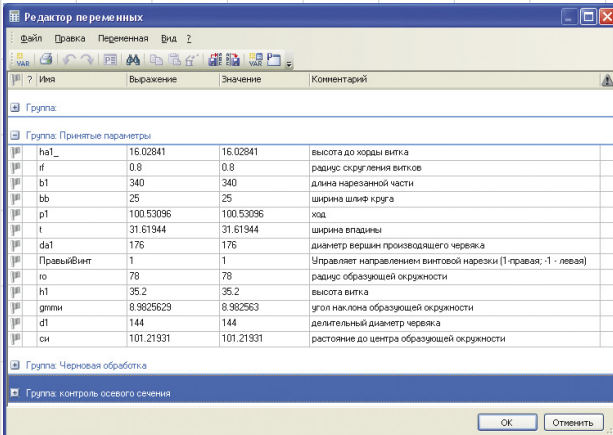
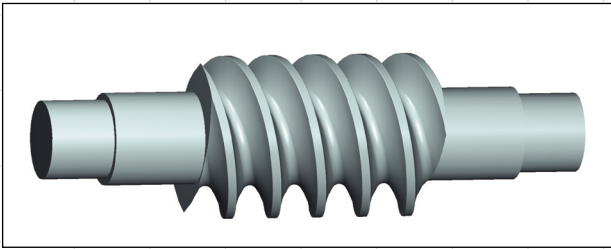


Рис. 8. Параметрическая 3D-модель червяка с формой профиля ZT2

локальная система координат (ЛСК) для привязки реза к 3D-модели обработки. ЛСК расположена так, как показано на рис. 3: начало ЛСК совпадает с программируемой точкой инструмента, а оси X и Z параллельны и сонаправлены одноименным осям токарного станка в процессе работы инструмента. Это позволяет правильно сориентировать резец относительно детали (см. рис. 4) при вычислении координат программируемой точки.

Создание параметрической 3D-модели построчной черновой обработки винтовой канавки червяка

Параметрическая 3D-модель построчной черновой обработки винтовой канавки червяка служит для вычисления координат точек траектории движения инструмента и формирования текста УП ЧПУ. Порядок ее создания в системе T-FLEX CAD следующий:

1. Создаем файл системы T-FLEX CAD и вставляем в него 3D-фрагмент параметрической модели червяка. Размещаем его так, чтобы оси глобальной системы координат располагались

как на рис. 6, то есть ось X глобальной системы координат совпадает с осью симметрии мнимого профиля червячной канавки.

2. Вставляем 3D-фрагмент реза с привязкой к глобальной системе координат и двумя смещениями относительно нее по осям $X = X_{лп}$ и $Z = Z_{лп}$, где $X_{лп}$ и $Z_{лп}$ — переменные системы T-FLEX CAD, определяющие положение программируемой точки. Их значения задаем произвольно.

Таким образом, у нас получилась параметрическая 3D-модель, в которой положение инструмента в процессе обработки определяется двумя переменными: $X_{лп}$ и $Z_{лп}$. Далее необходимо задать условие касания режущей кромки реза левого профиля червячной канавки.

3. Задаем значение переменной $X_{лп}$ так, чтобы резец оказался внутри червячной канавки. С помощью механизма измерения параметров 3D-модели (текстовое меню *Параметры* → *Измерить*) определяем расстояние между режущей кромкой реза и левой гранью червячной канавки. T-FLEX CAD автоматически генерирует функ-

цию для вычисления текущего значения искомого расстояния: *measure*(«Ребро_1», «Грань_2», «GeomDistance»)

В редакторе переменных создаем переменную *РасстДолП*, значение которой вычисляется посредством описанной выше функции. Эта переменная отражает текущее расстояние между режущей кромкой реза и левой гранью червячной канавки.

4. Вычисляем координату $Z_{лп}$, соответствующую положению, при котором режущая кромка реза касается левого профиля червячной канавки. Для этого создадим задание на оптимизацию (текстовое меню *Параметры* → *Оптимизация*), как показано на рис. 9. При выполнении задания T-FLEX CAD подбирает значение переменной $Z_{лп}$ так, чтобы текущее расстояние между режущей кромкой реза и левым профилем червячной канавки, вычисляемое в переменной *РасстДолП*, было равно 0,0001 мм с допуском 1e-05. Опция *Запускать: При оптимальном пересчете модели* (см. рис. 9) означает, что при любом изменении 3D-модели обработки, например при изменении

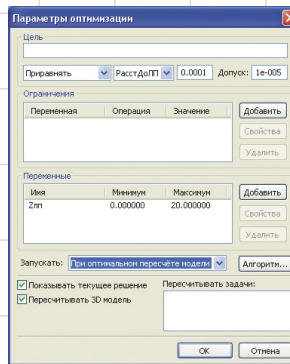


Рис. 9. Задание на вычисление положения реза, при котором режущая кромка касается левого профиля червячной канавки

текущего значения $X_{лп}$, T-FLEX CAD автоматически вычислит искомое значение $Z_{лп}$.

В результате выполненных действий 3D-модель обработки автоматически определяет координаты программируемой точки $Z_{лп}$ в позиции начальной строки обработки (см. рис. 6) при любом заданном значении $X_{лп}$. Теперь сформируем фрагмент текста УП ЧПУ, соответствующий циклу черновой

обработки червячной канавки на заданном радиусе обработки $X_{лп}$.

Движение по траектории 1-2-3-4 (см. рис. 6) запрограммируем в виде параметрической подпрограммы, которую будем множественно вызывать из текста основной программы. Пусть имя подпрограммы будет CHER2/MP5. Согласно синтаксису системы ЧПУ NC210, текст подпрограммы будет следующий:

G33 ZE72 KE41 RE42 — нарезка винта (путь 1 — см. рис. 6)

G00 XE83 — отскок на «безопасный X» (путь 2)

E71=E71+E32 — пересчет точки возврата по Z для выхода на новую строку

G00 ZE71 — возврат по Z (путь 3)

G00 XE81 — возврат по X (путь 4)

Здесь: E71 — текущая точка обработки канавки по оси Z; E81 — начальная точка канавки по оси X; E32 — шаг прохода; E72 — конечная точка нарезания винтовой канавки; E83 — «безопасный X»; E41 — ход червяка; E42 — угловое положение шпинделя.

Основной текст программы будет представлять собой многократный вызов данной подпрограммы с различными параметрами E81, E71 и E32, соответствующими текущему радиусу обработки $X_{лп}$. Текст для УП ЧПУ получим из 3D-модели обработки с помощью механизмов отчетов (*Сервис* → *Специальные данные* → *Отчет*) и анимации (*Параметры* → *Анимация*).

5. Создаем новый отчет и прописываем в нем параметрический текст фрагмента УП:

E81 = {2 * Xлп} — ссылка на значение переменной Xлп с пересчетом радиального размера в диаметральном

E71 = {Zлп} — ссылка на значение переменной Zлп

E32 = {-E32} — ссылка на значение переменной E32

G00 XE81 ZE71 — подход в позицию начальной строки обработки

(RPT, {E11}) — начало блока повторений вызова подпрограммы, количество повторений берется из переменной E11

(CLS, CHER2/MP5) — вызов подпрограммы (ERP)

(CLS, CHER2/MP5)

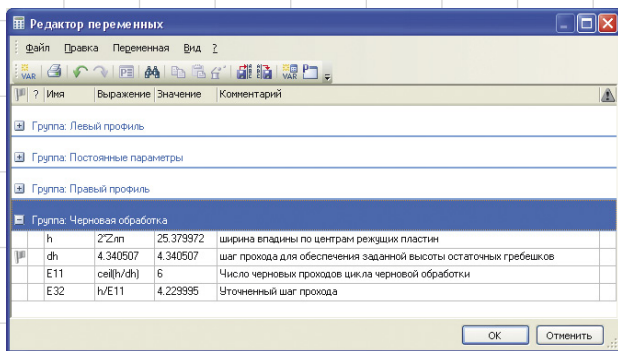


Рис. 10. Вычисление шага (E32) и количества (E11) проходов при черновой обработке червячной канавки на текущем радиусе обработки

Переменные E11 и E32 вычисляются в редакторе переменных T-FLEX CAD (рис. 10).

Формирование УП ЧПУ для черновой обработки червячной канавки

1. В 3D-модели обработки устанавливаем значение ширины червячной канавки с учетом припуска под чистовую обработку.
2. В стойке станка прописываем подпрограмму CHER2/MP5.
3. Создаем новый текстовый файл УП ЧПУ, в котором прописываем блок постоянных параметров: режимы резания, включение оборотов шпинделя, выполнения других вспомогательных функций, а также предустановку постоянных параметров обработки канавки:
 $E72 = -360$ — конечная точка нарезки винтовой канавки
 $E83 = 210$ — «безопасный X»
 $E41 = 100.53$ — ход червяка
 $E42 = 0$ — угловое положение шпинделя для первого захода червяка
4. В 3D-модели обработки запускаем анимацию (рис. 11). T-FLEX CAD автоматически изменяет радиус обработки (переменная Xлп) с 95 до 64 мм (рабочая высота профиля червячной канавки) с шагом $-0,1$. При этом для каждого установленного значения Xлп автоматически определяется координата позиции начала строки обработки Zлп, количество повторений E11 и шаг прохода E32. По полученным значениям в текстовый файл записывается отчет *Перем-Часть Черн*, представляющий собой описанный выше в п. 5 фрагмент текста УП ЧПУ.

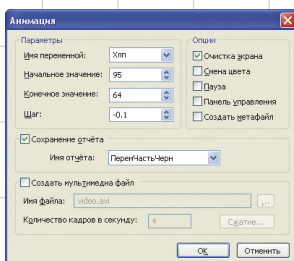


Рис. 11. Запуск анимации для формирования УП ЧПУ

По завершении анимации файл отчета имеет следующий вид:

$E81 = 190$ — установка начальной строки обработки $X = 179$
 $E71 = 11.020952$ — установка координаты Z начального прохода строки
 $E32 = -1.836825$ — установка шага прохода по Z
 $G00 XE81 ZE71$ — перемещение в начальную точку цикла (RPT, 12) — начало цикла, количество повторений $K = 12$ (CLS, CHER2/MP5) — вызов подпрограммы черновой построчной обработки канавки (ERP) — конец цикла
 $E81 = 189.8$ — установка следующего уровня $X = 178.6$ для формирования витка
 $E71 = 11.010298$
 $E32 = -1.83505$
 $G00 XE81 ZE71$ (RPT, 12) (CLS, CHER2/MP5) (ERP) (CLS, CHER2/MP5)
 $E81 = 128$ — установка заключительного уровня $X=111$ для формирования витка
 $E71 = 0$
 $E32 = 0$
 $G00 XE81 ZE71$ (CLS, CHER2/MP5)



Рис. 12. Червяк с формой профиля ZT2 ГОСТ 18498-89, обработанный на токарном станке с ЧПУ 16А30Ф3 методом построчных проходов

5. Копируем текст УП ЧПУ из отчета в файл основного текста программы и, если червяк имеет более одного захода, программируем повторение текста программы с новым значением параметра E42 (для двухзаходного червяка устанавливается $E42 = 180$).

Формирование УП ЧПУ для чистовой обработки червячной канавки

Для получения УП ЧПУ для чистовой нарезки червячной канавки необходимо в файле 3D-модели прописать отчет формирования текста программы, составленный на основании схемы (см. рис. 7), установить значение чистовой ширины червячной канавки и повторить действия 3-5 по формированию УП ЧПУ для черновой обработки червячной канавки.

На рис. 12 показан червяк, нарезанный по описанной в статье технологии.

Резюме

Представленная в статье 3D-модель обработки червячной канавки методом построчных проходов является универсальной: с ее помощью можно получить УП ЧПУ для любого червяка с формой профиля ZT2 путем введения соответствующих параметров. Ее также можно легко адаптировать к любому другому виду червяков либо иной системе ЧПУ. На разработку модели авторы статьи потратили не более двух часов, за исключением времени изучения программирования стойки ЧПУ и нормативных документов по геометрии червяков.

Описанный в статье подход к разработке собственной специальной стратегии обработки, конечно, не является полноценной заменой САМ-системы, однако опытному или ремонтному производству он позволит сэкономить значительные средства, так как не требует специального оборудования, инструмента и дорогой САМ-системы. ◀