

УДК 621.833.389; 621.914.5
DOI 10.22213/2413-1172-2018-4-35-42

НОВЫЕ СХЕМЫ ЧИСТОВОЙ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКИ ВИТКОВ ЧЕРВЯКОВ

Е. С. Трубачев, доктор технических наук, профессор, Институт механики ИжГТУ;
ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

К. В. Богданов, Институт механики ИжГТУ; ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Г. С. Горбунов, магистрант, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Обработка винтовых поверхностей резьб и червяков широко распространена на машиностроительных предприятиях. Получение профиля обуславливается требованиями к локализации первоначального прилегания сопрягаемых поверхностей (обычно в центральной части высоты витка) и подразумевает применение инструментов управления геометрией профиля при нарезании витков. И если в конструкциях традиционных резьбошлифовальных и червячношлифовальных станков имеются механизмы точной настройки углов и формы профиля формируемых витков, то при лезвийной обработке витков их профиль традиционно жестко связан с профилем инструмента, что делает коррекцию геометрии затруднительной.

Рассмотрены возможности такой коррекции при лезвийной обработке инструментами, оснащенными твердосплавными неперетачиваемыми пластинами, что обеспечивает и требуемую геометрию витков, и высокую производительность обработки. В частности, рассмотрены схемы обработки на широко распространенных токарно-винторезных станках с ЧПУ круглой (скругленной) и прямолинейной режущими кромками сборного резца, а также сборной торцовой резцовой головкой, что предполагает сравнительно простую реализацию на большинстве машиностроительных предприятий. В качестве инструментов управления параметрами предлагаются линейные смещения инструмента поперек и вдоль оси центров станка (для схем обработки прямой режущей кромкой и торцовой резцовой головкой) и параметры траектории подачи инструмента (для схемы с круглой (или скругленной) пластиной). Приведены численные примеры, показывающие возможности и эффективность управления геометрией профиля, и результаты нарезания опытных образцов червяков. Определены основные требования к монтажу твердосплавных пластин, связанные с обеспечением точности позиционирования, прочностью и жесткостью крепления пластин. Применение предложенных приемов в ряде случаев позволит отказаться от дорогостоящего шлифования витков, используя современные возможности токарно-винторезных станков с ЧПУ с обеспечением высокой точности и высокой производительности обработки деталей с винтовыми поверхностями. Перспективы методов связаны с оптимизацией управляющих параметров и применением их для обработки термоупрочненных деталей с винтовыми поверхностями.

Ключевые слова: витки, червяк, резцовая головка, винтовая поверхность, лезвийная обработка.

Введение

Операции обработки зубьев и витков резьб являются во многом определяющими трудоемкость и качество машин, поэтому совершенствование зубообработки традиционно является актуальной темой [1]. Витки ответственных и нагруженных резьб и червяков после предварительного прорезания лезвийным инструментом традиционно подвергаются термической обработке и последующему шлифованию. Операции шлифования выполняются на точном и дорогостоящем оборудовании, оснащенном всеми необходимыми устройствами для тонкой коррекции параметров – высоты, толщины, углов и радиусов профиля витков. Одной из тяжелых организационных проблем для отечественных производителей стал подбор и сохранение кадров для выполнения подобных

технологических операций. Подготовка квалифицированного резьбошлифовщика является многолетней задачей, которая не всегда по силам предприятию. В то же время на рынке труда достаточно много (и становится всё больше) операторов станков с ЧПУ – токарных, фрезерно-расточных и других, а также центров их подготовки. Если добавить к этому, что достаточно часто возможности резьбо- и червячношлифовальных станков оказываются избыточными для обрабатываемых червяков и резьб (даже достаточно ответственных, хотя и непрецизионных), то становится ясным, насколько заманчивым является для производителя освоить отделку витков, в том числе термоупрочненных до HRC 50...60, на токарно-винторезных станках с ЧПУ. Положительный опыт отделки поверхностей, в том числе поверхностей зубьев, твердосплав-

ным инструментом известен [2–4], а фактором, сдерживающим решение вопроса чистовой лезвийной обработки витков, является отсутствие тонких регулировок параметров обрабатываемых винтовых поверхностей в штатной конструкции указанных станков, жесткая увязка получаемого профиля витков с геометрией инструмента и его установкой. Это затрудняет наладку и подналадку оборудования. В настоящей статье нами предложены некоторые варианты решения этой проблемы для условий мелкосерийного многономенклатурного производства, например, такого, какое сложилось на малом инновационном предприятии НПК «Механик» [5].

Управляемые параметры витков и традиционные методы управления

Обратим внимание на две важные современные особенности изготовления ответственных резьб:

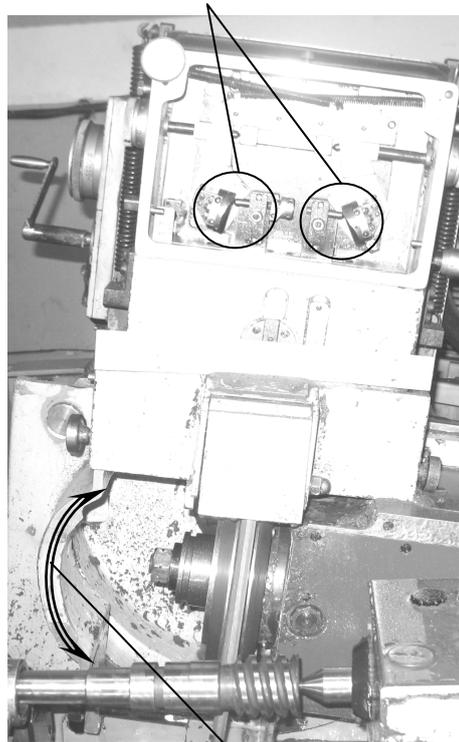
– допуски шага и профиля червяков вполне согласуются с точностными параметрами современных токарно-винторезных станков с ЧПУ (например, для 8-й степени точности червяков по ГОСТ 3675–81 и резьб 5-го класса точности указанные допуски находятся в пределах $\pm 19 \dots 53$ мкм);

– важнейшим современным требованием к профилю витков является обеспечение его кривизны (радиуса кривизны) или, более того, соответствие заданному набором точек; это позволяет обеспечивать требуемую локализацию первоначального прилегания (пятно контакта) витков с сопрягаемыми поверхностями и, соответственно, добиваться пониженной чувствительности сопряжений к неизбежным погрешностям и деформациям и повышенных нагрузочных характеристик сопряжений.

Традиционный подход [6, с. 406, рис. 5.32, 5.33] принципиально состоит в подборе таких параметров наладки резьбообрабатывающего станка, как параметры геометрии инструмента, его установки и движения, которые доставят заданный профиль и шаг витка. В результате действия большого числа технологических факторов фактически получаемая геометрия витков является неким приближением к расчетной, поэтому обычно требуется подналадка оборудования. При шлифовании эта ситуация легко и быстро корректируется правкой профиля круга и малым изменением его положения. Резьбошлифовальные станки штатно оснащены соответствующими устройствами (рис. 1), управляемыми механически или программно.

Правка и изменение положения лезвийного инструмента являются более сложными. Если же производитель для повышения производительности и обработки термоупрочненных витков применяет инструмент с многогранными неперетачиваемыми пластинами, имеющими в большинстве случаев прямолинейные главные режущие кромки, то указанная правка едва ли оправдана в реальном производстве. Далее рассмотрены несколько вариантов относительно простого преодоления отмеченной сложности.

Копиры для наладки углов и радиусов профиля



Наклон шлифовальной бабки

Рис. 1. Устройства подналадки резьбошлифовального станка

Профиль витка, формируемый прямолинейной режущей кромкой резца

Это практически классический вариант (ГОСТ 18498–89. Передачи червячные. Термины, определения и обозначения) формирования витка червяка вида ZN2 (SZN2) (рис. 2). Пожалуй, единственным существенным отличием здесь является то, что передняя плоскость резца может быть смещена на величину y_0 относительно линии центров червяка.

Координаты точек осевого профиля, формируемые производящей прямой – режущей кромкой резца, можно искать в следующей последовательности:

– задать точки (i – номер каждой) на производящей прямой в пределах высоты профиля резца; это удобно делать в системе координат (СК) $S_0(x_0, y_0, z_0)$:

$$z_{0i} = \pm \left[\frac{s_0}{2} + \left(x_{0i} - \frac{d_1}{2} \right) \operatorname{tg} \alpha_0 \right]; \quad (1)$$

– найти координаты этих точек в СК $S(x, y, z)$:

$$\begin{aligned} x_i &= x_{0i}; \\ y_i &= y_0 \cos \gamma_0 - z_{0i} \sin \gamma_0; \\ z_i &= y_0 \sin \gamma_0 + z_{0i} \cos \gamma_0, \end{aligned} \quad (2)$$

где γ_0 – угол наклона передней плоскости резца по отношению к линии центров (обычно выбирается равным или близким к делительному углу подъема червяка/среднему углу подъема резьбы);

– привести точки к плоскости осевого сечения $xOz = rOz(r)$:

$$\begin{aligned} r_i &= \sqrt{x_i^2 + y_i^2}; \\ z(r) &= z_i - p_\gamma \operatorname{arctg}(y_i / x_i), \end{aligned} \quad (3)$$

где p_γ – винтовой параметр формируемой поверхности.

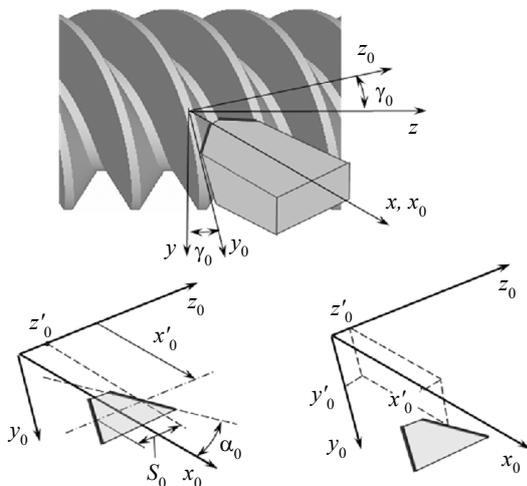


Рис. 2. Схема нарезания резцом и применяемые системы координат

Смещение y_0 резца, которое при наладке может быть легко пересчитано в соответствующее смещение в координатах станка: $\gamma = \gamma_0 \cos \gamma_0$, влияет на геометрию формируемого витка.

На рис. 3, а показано, как при смещении $\gamma_0 = \pm 1$ мм изменяется профиль осевого сечения прорезаемой межвитковой впадины (для удобства визуального восприятия отклонения от профиля, полученного при несмещенном резце, увеличены в 10 раз) четырехзаходного спирoidal

ного червяка с осевым модулем $m_x = 3,35$ мм и углами профиля правой и левой поверхностей витка 12 и 28° соответственно. Как видно, смещение резца ниже оси центров вызывает небольшое срезание ножки витка для правых поверхностей витка и головки – для левых, а смещение вверх ведет к противоположному результату. Если при этом добавить небольшое корректирующее смещение Δz резца вдоль оси z , то можно добиться того, чтобы часть профиля витка представил из себя сочетание трех или более участков, сформированных при различных смещениях y_0 (рис. 3, б). Таким образом, основная идея этой схемы обработки витка заключается в использовании нескольких установленных в револьверной головке резцов, каждый из которых окончательно формирует свой участок профиля резьбы. Для формирования каждой из двух противоположных боковых поверхностей витка удобно использовать собственную группу резцов, при этом в группах резцы могут быть одинаковыми, а различаться лишь установкой относительно линии центров. Количество проходов резцов и время обработки увеличиваются незначительно, а главной «платой» за получаемую возможность управления геометрией профиля резьбы является необходимость использования нескольких резцов.

Результирующий профиль, показанный на рис. 3, б жирной серой линией, оказывается при этом несколько ломаным, неплавность перехода между участками можно количественно оценить по разнице $\Delta\alpha_x$ в углах профиля в месте сопряжения участков. Она может быть уменьшена при увеличении числа участков сопряжения, что, однако, влечет за собой увеличение числа применяемых инструментов.

Еще один прием управления геометрией профиля основывается на том обоснованном в [7] свойстве червяков вида ZN2 (SZN2), согласно которому в обычной схеме нарезания (при несмещенном относительно оси центров резце) осевой профиль червяка оказывается вогнутым. Так, для рассматриваемого примера радиусы вогнутых профилей составляют около 1160 и 280 мм, соответственно, для правой и левой боковых поверхностей. Однако если резец в своем исходном, до выполнения предлагаемого смещения с целью образования профильного завала, положении уже выше или ниже центров, кривизна профиля меняется (как и стоит ожидать, разнаправлено для разноименных боковых поверхностей), и профиль может оказаться выпуклым, что несколько сгладит сопряжение участков и позволит изменить профильный завал (табл. 1).

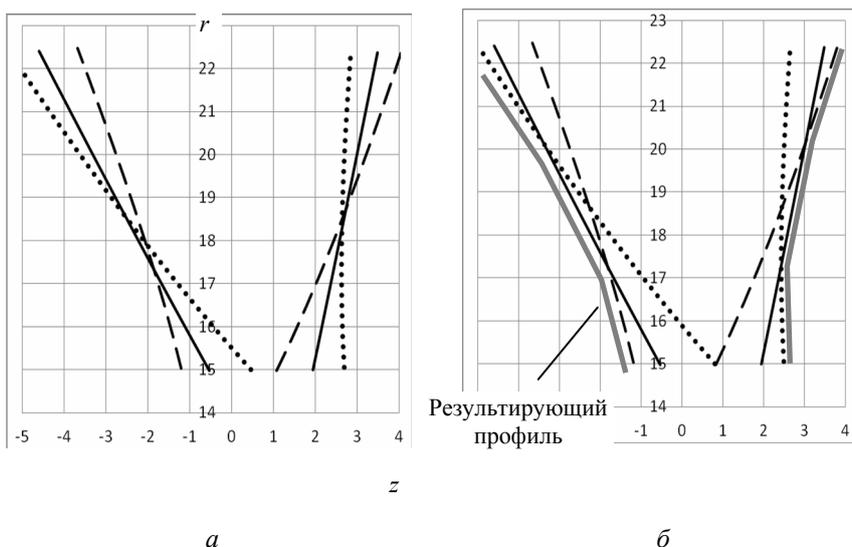


Рис. 3. Осевые профили при смещении резца:
 — — 0 (несмещенный резец); ···· смещен вниз на 1,0 мм, - · - · смещен вверх на 1,0 мм

Таблица 1. Параметры профильной модификации витков при смещении резца на 1 мм

Среднее смещение резца $y_{0\text{ср}}$, мм	Формируемая поверхность	Профильный завал на вершине / впадине витка, мкм	Разность $\Delta\alpha_x$ в точках сопряжения у вершины / впадины витка, °
0 (несмещенный резец)	Правая	27 / 47	0,85 / 1,12
	Левая	12 / 23	0,82 / 1,04
-2	Правая	45 / 70	0,80 / 1,05
+3	Левая	34 / 53	0,67 / 0,84

Профиль витка, формируемый круговой режущей кромкой резца

В этом варианте для окончательного формирования профиля витка применяется резец с неперетачиваемой пластиной ромбической формы с большим радиусным скруглением либо вовсе круглая неперетачиваемая пластина (рис. 4).

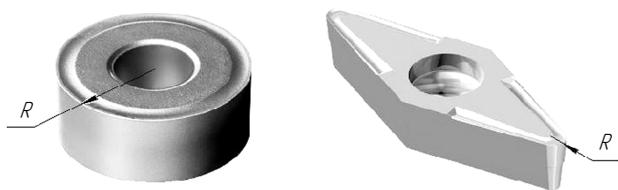


Рис. 4. Неперетачиваемые пластины с круговыми режущими кромками

Окончательный профиль витка формируется в результате множества положений производящей окружности – круглой части режущей кромки (рис. 5). Программное управление траекторией движения инструмента подразумевает достаточно простую корректировку, поэтому, на наш взгляд, в данном случае нет необходимости в точном расчете профиля (он не представляет методической сложности и подобен расчету по (1)–(3)), формируемого при каждом проходе производящей окружности, – достаточно пред-

ставить профиль в виде «обволакивающей» [8] конечного набора дуг окружностей с радиусом, в первом приближении равном радиусу производящей окружности.

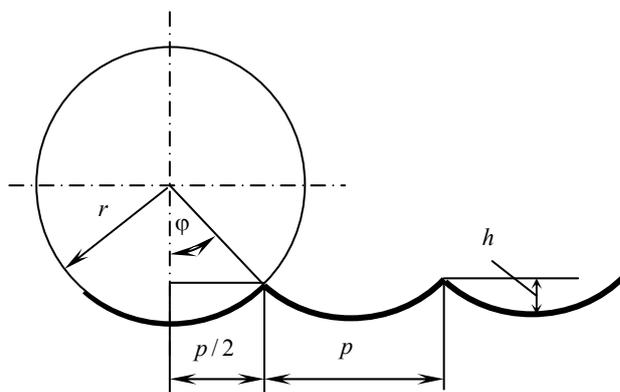


Рис. 5. Образование профиля производящей окружностью – режущей кромкой твердосплавной пластины

Высота h неровностей (волн «обволакивающей»), очевидно, зависит от количества положений производящей окружности и, соответственно, шага p между соседними положениями последней и ее радиуса r (рис. 5). Опуская простые выкладки, можно записать:

$$h = r - \sqrt{r^2 - 0,25p^2}. \quad (4)$$

В проведенном нами пробном нарезании червяка с параметрами, описанными выше, профиль был окончательно сформирован 18 положениями резца ($p = 0,41$ мм) с ромбической пластиной с радиусным скруглением $r = 1,2$ мм и имел согласно расчету по формуле (4) неровности высотой $h = 0,018$ мм. Измерения фактической шероховатости, выполненные с помощью универсального измерительного микроскопа, дали схожий результат (рис. 6, 7).

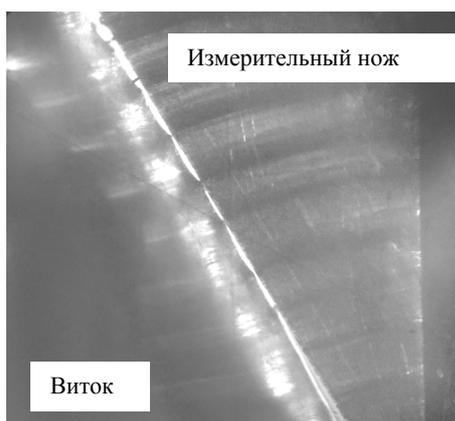


Рис. 6. Измерение неровностей поверхности витка

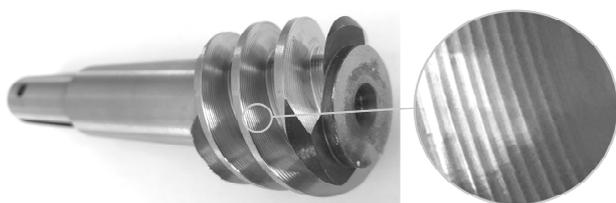


Рис. 7. Витки червяка, обработанные круговой режущей кромкой резца

Профиль витка, формируемый торцевой резцовой головкой

В более производительных схемах лезвийной обработки витков с применением многозубого

инструмента – резцовых головок – также возможно относительно просто и точно управлять геометрией даже в том случае, когда инструмент оснащается прямобочными твердосплавными неплетачиваемыми пластинами. На рис. 8 приведена схема обработки витков торцевой резцовой головкой на токарно-винторезном станке с ЧПУ [9], а также применяемые в расчете системы координат.

Винтовая поверхность в данном случае называется огибающей семейства производящих конических поверхностей, образуемого при винтовом относительном движении (подаче) инструмента. Точки формируемой поверхности можно найти, решая уравнение зацепления (условие касания в относительном движении) этой поверхности и производящей поверхности:

$$F_3 = \mathbf{n} \cdot \mathbf{v}_{s,0} = x_0 z_0 \operatorname{tg} \gamma_0 + y_0 a_{w0} + y_0 p_\gamma \operatorname{tg} \gamma_0 \mp r_0 \operatorname{tg} \alpha (x_0 + a_{w0}) \operatorname{tg} \gamma_0 - p_{\gamma 0} = 0. \quad (5)$$

Подобно схеме нарезания резцом (формулы (2) и (3)) координаты найденных точек касания следует привести к системе координат $S(x, y, z)$ винтовой поверхности и далее – к осевой плоскости xOz .

Резцовая головка может быть несколько смещена относительно своего номинального расчетного положения, что также влияет на геометрию профиля. Варьируемым параметром является межосевое расстояние a_{w0} , расчетное значение которого определяется из условия касания делительной винтовой линии витка и круговой траектории резцов:

$$a_{w0} = 0,5 d_0 \sin \gamma_1, \quad (6)$$

где γ_1 – делительный угол подъема винтовой линии червяка; d_0 – диаметр резцовой головки.

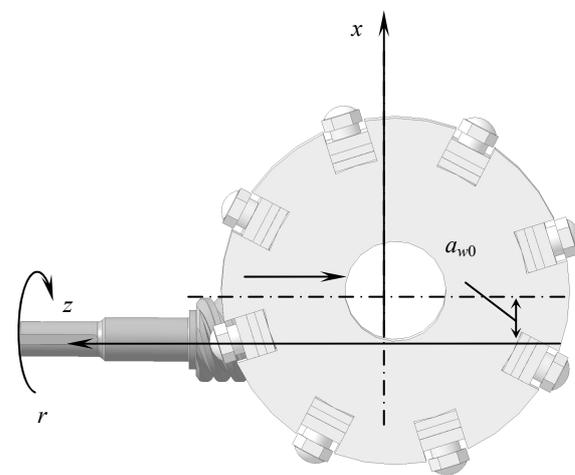
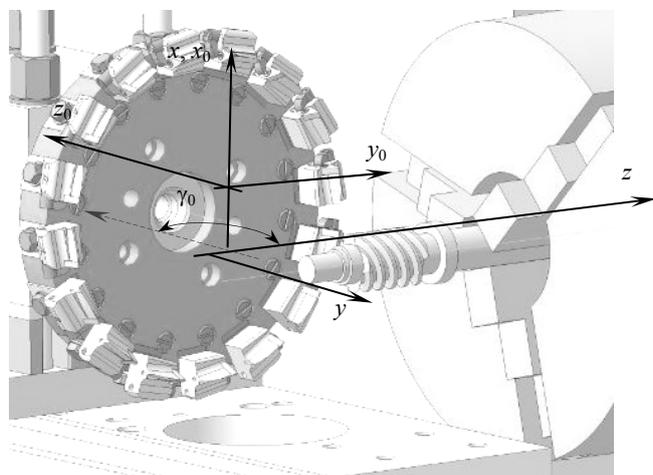


Рис. 8. Схема обработки витков торцевой резцовой головкой на токарно-винторезном станке с ЧПУ

Нарезание каждой из межвитковых впадин предлагается выполнять в три приема: при расчетном по (6) межосевом расстоянии (самый длительный переход с удалением основной части материала) и при вносимом смещении резцовой головки (два относительно кратких прохода с удалением малых слоев материала). На современных многокоординатных токарно-винторезных станках смещение есть по сути изменение координаты y (не путать с одноименной координатой системы координат S); на более простых, двухкоординатных, станках смещение может быть выполнено вручную при останове выполнения программы.

На рис. 9 показано, как при смещении $\Delta a_{и0} = \pm 1$ мм изменяется профиль осевого сечения прорезаемой межвитковой впадины червяка с описанными выше параметрами (табл. 2). Как и в случае одиночного резца, отклонения от номинального профиля преувеличены в 10 раз, а инструменту дано дополнительное смещение вдоль оси заготовки (оси Oz), чтобы профиль витка представил из себя сочетание трех участков, сформированных при различных смещениях $\Delta a_{и0}$.

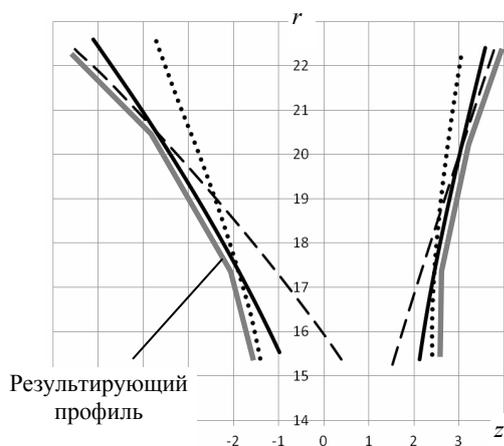


Рис. 9. Профили, сформированные торцовой резцовой головкой при варьировании межосевого расстояния $\Delta a_{и0}$: — — $\Delta a_{и0} = 0$; - - - $\Delta a_{и0} = -1,0$ мм, ··· — $\Delta a_{и0} = +1,0$ мм

Таблица 2. Параметры профильной модификации при смещении резцовой головки на 1 мм

Формируемая поверхность	Профильный завал на вершине / впадине витка, мкм	Разность $\Delta\alpha_x$ в точках сопряжения у вершины / впадины витка, °
Правая	95 / 121	0,54 / 0,72
Левая	262 / 256	1,09 / 1,05

Как видно, схема формообразования позволяет в первую очередь в большей степени модифицировать профиль, потому что он изна-

чительно, еще до внесения модифицирующих смещений, оказывается выпуклым.

Перспективы реализации новой схемы обработки витков червяков

Предложенные в статье схемы лезвийной обработки витков позволяют гибко регулировать параметры геометрии профиля витков червяков и резьб в первую очередь при помощи степени профильной модификации, обеспечивающей благоприятное начальное пятно контакта в сопряжениях. При этом приемы управления являются, на наш взгляд, достаточно простыми, реализуемыми с использованием имеющихся возможностей широко распространенного винторезного оборудования.

Отметим, что для эффективной реализации вышеописанных схем необходимо обеспечить следующие условия.

1. Пластины должны иметь минимальный разброс в размерах режущих кромок. По практике применения желательно, чтобы отклонения не превышали 0,01 мм. Это требование является более жестким в случае использования пластин в резцовых головках; для одиночных резцов разброс размеров при смене пластины может быть скомпенсирован коррекцией траектории резца.

2. Посадочные гнезда под пластины в державках резцов должны быть сделаны с уклоном, обеспечивающим плотное прилегание пластины по трем плоскостям и надежную выборку зазоров при монтаже пластин (рис. 10).

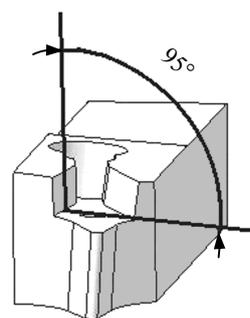


Рис. 10. Державка

3. Крепление пластин должно быть максимально надежным, исключающим ослабление и возможность вибрации пластины. Нами опытным путем было установлено, что для этого хорошо подходит двойное крепление по типу, изображенному на рис. 11.

Перечисленные условия не отягощают предлагаемые разработки в сколько-нибудь значимой мере, являясь умеренной «платой» за новые возможности, упрощающие производство.

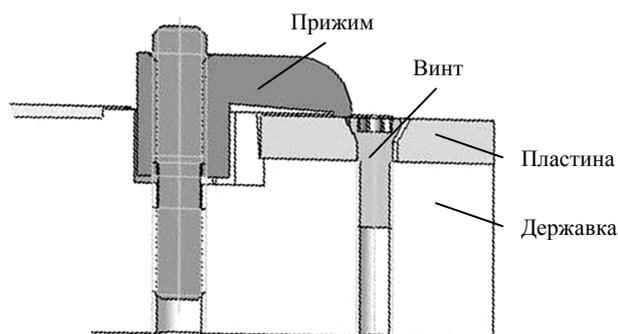


Рис. 11. Двойное крепление пластины

Заключение

Приводя в статье данные расчетов, мы не стремились каким-либо образом оптимизировать наладку: нашей целью было показать приемы и действенность оперативного управления геометрией витков при их обработке. Вопросы оптимизации наладочных геометрических параметров, а также технологических параметров (включая параметры геометрии режущей части инструмента и параметров режима обработки), исследования показателей точности и качества поверхности, являющиеся важными и во многом определяющими эффективность предложенных схем, оказались за рамками настоящей статьи и, на наш взгляд, заслуживают отдельного рассмотрения. Кроме того, полученный нами опыт лезвийной отделочной обработки витков спиральных червяков дает основания для исключения операций абразивной отделки витков для червяков 7-8-й степени точности и грубее.

Библиографические ссылки

1. Волков Г. Ю., Киселев С. А. Изготовление зубчатых венцов с использованием флексагонов // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2017. Т. 20, № 2. С. 43–47.
2. Печёнкин И. А., Пузанов В. Ю., Гильфанов Р. М. Применение 3D лазерного сканирования для повышения эффективности механической обработки исполнительных поверхностей деталей штамповой оснастки // Интеллектуальные системы в производстве. 2014. № 2 (24). С. 57–59.
3. Кундрак Я. Твердое точение: технологические возможности и экономическая эффективность // Оборудование и инструмент для профессионалов. 2009. № 9. С. 24–27.
4. Kundrak J., Gyani K. & oth. Hard turning-machining without cooling = Высокие технологии в машиностроении // Высокие технологии в машиностроении : сборник научных трудов НТУ «ХПИ». 2001. Вып. 1 (4). С. 54–58.
5. Гольдфарб В. И. Инновационный путь развития производства спиральных передач и редукторов //

Сборник докладов научно-практической конференции «Теория и практика зубчатых передач и редукторостроения (Ижевск, 16–18 мая 2017 г.). Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2017. С. 112–114.

6. Технология машиностроения / А. А. Гувев, Е. Р. Ковальчук, И. М. Коселов [и др.]. М. : Машиностроение, 1986. 480 с.

7. Георгиев А. К., Гольдфарб В. И. К вопросу о схемах нарезания резцом и формах профиля цилиндрических линейчатых червяков спиральных (гипоидно-червячных) передач // Механические передачи. Ижевск: Удмуртия, 1972. С. 76–86.

8. Волков А. Э., Гундаев С. А., Шевелева Г. И. Триангуляционные алгоритмы моделирования процессов формообразования и зацепления зубчатых колес // Машиноведение. 1986. № 6. С. 60–65.

9. Trubachev E., Loginov S., Bogdanov K., Khvatov D., Shutkina A. Efficient Schemes and Methods for Gear Machining of Spiroid Gearwheels and Worms. *Advanced Gear Engineering, Mechanisms and Machine Science* 51, Springer International Publishing AG Switzerland, 2018, pp. 465–480. DOI 10.1007/978-3-319-60399-5.

References

1. Volkov G. Yu., Kiselev S. A. *Izgotovlenie zubchatykh vencov s ispol'zovaniem fleksagonov* [Production of gear rims with flexagons]. *Vestnik IzhGTU imeni M. T. Kalashnikova*, 2017, vol. 20, no. 2, pp. 43–47 (in Russ.).
2. Pechenkin I. A., Puzanov V. Yu., Gil'fanov R. M. *Primenenie 3D lazernogo skanirovaniya dlya povysheniya ehffektivnosti mekhanicheskoy obrabotki ispolnitel'nykh poverhnostej detalej shtampovoj osnastki* [Application of 3D laser scanning for higher efficiency of machining the work surfaces of stamp tooling parts]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*, 2014, no. 2, pp. 57–59 (in Russ.).
3. Kundrak J. *Tverdoe tochenie: tekhnologicheskie vozmozhnosti i ehkonomicheskaya ehffektivnost'* [Hard turning: manufacturing possibilities and economic efficiency]. *Oborudovanie i instrument dlya professionalov*, 2009, no. 9, pp. 24–27 (in Russ.).
4. Kundrak J., Gyani K. *Tverdoe tochenie bez okhlazhdeniya* [Hard turning-machining without cooling]. *Vysokie tehnologii v mashinostroenii* [Proc. of NTU "KPI"]. 2001, no. 1, pp. 54–58 (in Russ.).
5. Goldfarb V. I. *Innovacionnyj put' razvitiya proizvodstva spiroidnykh peredach i reduktorov* [Innovative way of development of spiroid gear and gearbox production]. *Sbornik dokladov nauchno-prakticheskoy konferencii "Teorija i praktika zubchatykh peredach i reduktorostroeniya"* [Proc. scientific-practical conference "Theory and practice of gears and gear design" (Izhevsk, May 16–18, 2017)]. *Izhevsk, IzhGTU imeni M. T. Kalashnikova Publ.*, 2017, pp. 112–114 (in Russ.).
6. Guyev A. A., Kovalchuk E. R., Koselov I. M. *Tekhnologiya mashinostroeniya* [Technology of mechanical engineering]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1986, 480 p. (in Russ.).

7. Georgiev A. K., Goldfarb V. I. *K voprosu o skhemah narezaniya rezcom i formah profilya cilindricheskikh linejchatyh chervyakov spiroidnyh (gipoidno-chervyachnyh) peredach* [To the issue of cutting schemes by a cutter and profiles of cylindrical linear worms of spiroid (double-enveloping worm) gears]. *Mehanicheskie peredachi* [Mechanical gears]. Izhevsk, Udmurtija Publ., 1972, pp. 76-86 (in Russ.).

8. Volkov A. E., Gundayev S. A., Sheveleva G. I. *Triangulyacionnye algoritmy modelirovaniya processov*

formoobrazovaniya i zacepleniya zubchatyh koles [Triangulation algorithms of modeling the generation processes and meshing of gears]. *Mashinovedeniye*, 1986, no. 6, pp. 60-65 (in Russ.).

9. Trubachev E., Loginov S., Bogdanov K., Khvatov D., Shutkina A. *Efficient Schemes and Methods for Gear Machining of Spiroid Gearwheels and Worms*. *Advanced Gear Engineering, Mechanisms and Machine Science 51*, Springer International Publishing AG Switzerland, 2018, pp. 465-480. DOI 10.1007/978-3-319-60399-5.

New Schemes for Final Edge Machining of Worm Threads

E. S. Trubachev, DSc in Engineering, Professor, ISTU Institute of Mechanics; Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

K. V. Bogdanov, ISTU Institute of Mechanics; Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

G. S. Gorbunov, Master's Degree Student, Kalashnikov ISTU, Izhevsk, Russia

Machining of helical surfaces of threads and worms is commonly spread in mechanical engineering. Profile generation is determined by requirements to localization of initial adjacency of conjugated surfaces (usually at the central part of the thread height); and it implies application of means for controlling the profile geometry at thread cutting. While the layouts of traditional thread grinding and worm grinding machine-tools are provided with the mechanisms for precise adjustment of angles and shape of the generated thread profile, the profile of threads at edge machining is traditionally rigidly related to the tool profile, thus complicating the geometry correction.

The paper considers the possibilities of such a correction at edge cutting by tools provided with hard alloy disposable plates. This ensures both the required geometry of threads and high production efficiency of machining. In particular, certain schemes are considered for machining at commonly spread CNC lathes by circular (rounded) and rectilinear cutting edges of the assembled cutter, and also by the assembled cutting head implying a comparatively simple implementation at the majority of mechanical engineering enterprises. The means for controlling the parameters are proposed to be linear displacements of a tool across and along the center line of the machine-tool (for schemes of machining by a straight cutting edge and face cutting head) and parameters of the trajectory of the tool feed (for the scheme with a circular (or rounded) plate). Numerical examples are presented to show the possibilities and efficiency of controlling the profile geometry and results of cutting the worm test samples. Main requirements to mounting of hard alloy plate are determined; they are related to providing the positioning accuracy, strength and rigidity of plate fastening. Application of the proposed methods will allow in some cases to eliminate the costly grinding of threads by applying the advanced features of CNC lathes and providing the high accuracy and high production efficiency of machining parts with helical surfaces. Future prospects of the methods are related to optimization of controlling parameters and their application for machining the heat strengthened parts with helical surfaces.

Keywords: threads, worm, cutting head, helical surface, blade processing.

Получено 09.11.2018