

УДК 621.91.04

ОБРАБОТКА ПРОФИЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ НА УНИВЕРСАЛЬНЫХ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКАХ

*д-р техн. наук, проф. В.А. ДАНИЛОВ, Ю.Ю. МАСАЛЬСКИЙ
(Полоцкий государственный университет)*

Рассматривается технология предварительной и окончательной обработки некруглых валов профильных моментопередающих соединений на универсальных станках с использованием специальных режущих инструментов и устройств. Обоснован выбор для профилирования некруглых цилиндрических поверхностей при их предварительной обработке метода обката эксцентрично установленной цилиндрической фрезой и технологического оборудования для его реализации. Предложен и экспериментально исследован метод окончательной обработки профильных валов на токарных станках опиливанием металлическими и абразивными брусками с плоской инструментальной поверхностью.

Введение. Профильные соединения, несмотря на технологические и эксплуатационные преимущества по сравнению со шлицевыми соединениями [1], практически не нашли применения в отечественном машиностроении. Кроме отсутствия на них стандартов, аналогичных стандартам на шлицевые и шпоночные соединения и зарубежным стандартам на профильные соединения [2], основными причинами, сдерживающими применение профильных соединений в технике, является отсутствие необходимого станочного оборудования и технологий механической обработки, обеспечивающих требуемое их качество. Перспективность таких разработок подтверждается, в частности, тем, что себестоимость профильных соединений не превышает 60 % себестоимости шлицевых соединений при более высоких эксплуатационных показателях [1]. В этой связи, учитывая высокую стоимость специального импортного оборудования, актуальна разработка технологий предварительной и окончательной механической обработки деталей профильных соединений на основе прогрессивных схем формообразования и применения универсального станочного оборудования.

Предварительная обработка профильных поверхностей. Некруглые поверхности допускают множество схем их кинематического профилирования методами следа, касания и обката режущими инструментами с производящими элементами в виде множества дискретных точек, линий или поверхностей [3].

Преимуществом профилирования методом следа, характерным для точения и выглаживания некруглых поверхностей, является возможность обработки на одном станке инструментом одного типа, например резцом, как наружных, так и внутренних сопряженных поверхностей, что важно для единичного и мелкосерийного производства. Однако инструменты, реализующие этот метод, уступают по стойкости и производительности многолезвийным инструментам, применяемым при профилировании некруглых поверхностей методами касания и обката, в частности эксцентрично установленными дисковыми и цилиндрическими фрезами. За счет частичного переноса функции кинематики формообразования на инструмент при применении этих инструментов упрощаются кинематические схемы обработки некруглых поверхностей, что позволяет реализовать их при минимальных затратах на зубошлицефрезерных и других универсальных станках и тем самым заменить дорогостоящее специальное оборудование.

Недостатком метода касания, реализуемого при обработке некруглых валов дисковым инструментом (лезвийным или абразивным), является зависимость формируемого профиля от диаметра инструмента [4]. Это снижает эффективность данного метода из-за необходимости использования для предварительной и окончательной обработки инструментов одного диаметра, например, фрезы и шлифовального круга или введения дополнительного корректирующего движения, что усложняет схему обработки и станок. Различие в диаметрах инструментов обуславливает переменность припуска под окончательную обработку, создаваемого при предварительной обработке, что отрицательно влияет на точность профилирования.

В этой связи предпочтительным для обработки некруглых цилиндрических поверхностей является профилирование по методу обката инструментом с цилиндрической производящей поверхностью (некруглой или круглой, но расположенной эксцентрично относительно оси вращения). При сообщении инструменту и заготовке вращательных движений вокруг скрещивающихся под прямым или близким к нему углом форма образуемого профиля не зависит от диаметра инструмента, что позволяет повысить точность профилирования при последовательной или параллельной обработке заданной поверхности разными инструментами (фрезами, опиливателями), благодаря единой схеме формообразования.

Профилирование некруглой поверхности (рис. 1) методом обката осуществляется в результате согласованных вращательных движений V_1 и V_2 соответственно эксцентрично установленной цилиндрической фрезы 1 и заготовки 2. Производящей является цилиндрическая исходная инструментальная поверхность фрезы 1, расположенная с эксцентриситетом e относительно оси вращательного движения V_1 .

При указанном расположении фрезы и заготовки и форме производящей поверхности образуется выпуклый профиль, текущий радиус ρ которого изменяется от минимального значения, равного $d/2$, до его максимального значения $D/2$, где d (D) – диаметр вписанной (описанной) окружности профиля.

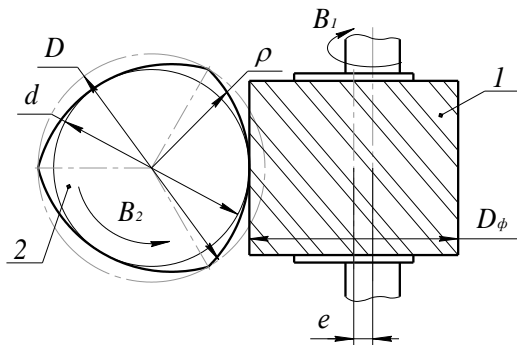


Рис. 1. Схема профилирования некруглого вала эксцентрично установленной цилиндрической фрезой

Высота выступов профиля в два раза больше величины эксцентриситета e . Благодаря тому, что профилирование основано на согласованных вращательных движениях инструмента и заготовки, данный метод обработки технически просто реализуется на универсальных зубообрабатывающих станках. Рисунок 2 иллюстрирует пример обработки некруглого вала эксцентрично установленной цилиндрической фрезой на вертикально-фрезерном станке модели 5В312 производства Витебского станкостроительного завода «Вистан». На оправке 1 последовательно расположены ведущая втулка 2, фреза 3, дистанционные 4 и направляющая 5 втулки. Изменение эксцентриситета e установки фрезы достигается заменой эксцентричной втулки 6. Передача крутящего момента от оправки 1 фрезе 3 осуществляется через ведущую втулку 2 посредством торцового шпоночного соединения.

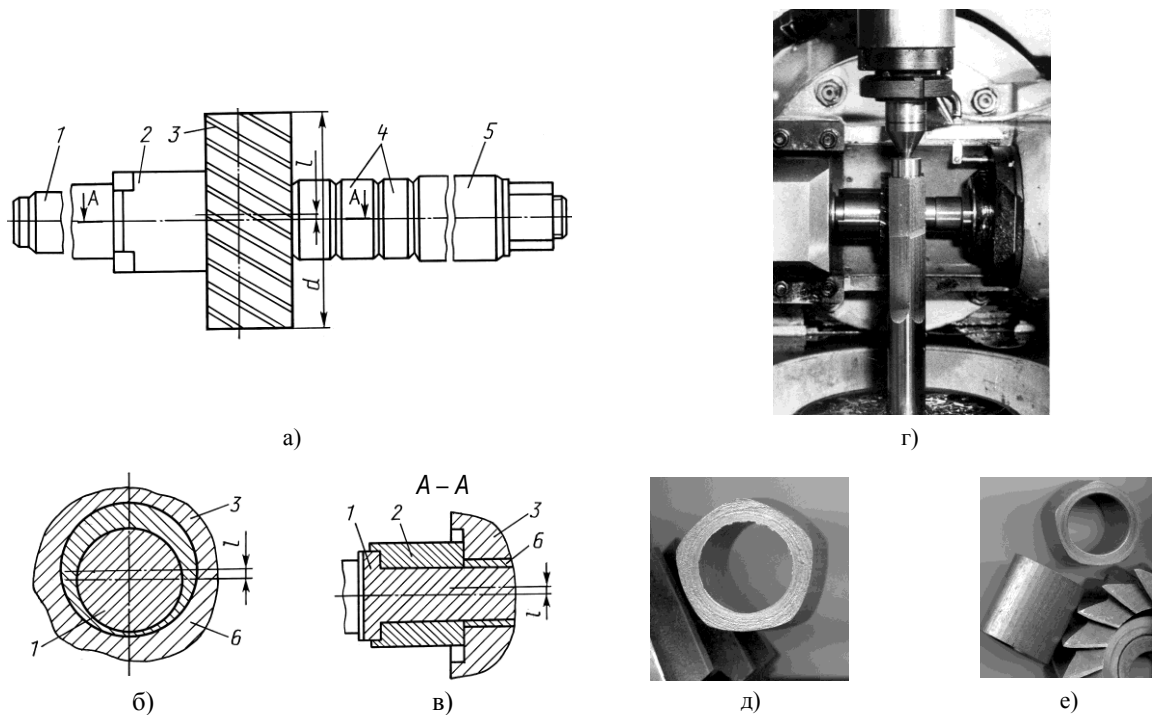


Рис. 2. Обработка профильных валов на зубофрезерном станке:
а, б, в – конструкция инструментальной наладки; г – вид на рабочую зону станка модели 5В312;
д, е – режущий инструмент с обработанными деталями

Более эффективным по сравнению с зубофрезерными станками является широкоуниверсальный зубошлифозубофрезерный станок модели ВС-50 производства этого же завода, который спроектирован с учетом обработки некруглых валов эксцентрично установленными инструментами. Его преимуществом по сравнению с зубофрезерными станками является возможность обработки профильных поверхностей с любым числом выступов (от одного и более), тогда как кинематика серийных зубофрезерных станков позволяет настраивать их на обработку поверхностей минимум с четырьмя выступами.

Согласование вращательных движений заготовки и инструмента осуществляется по зависимости:

$$n_1 = mn_2, \tag{1}$$

где n_1 , n_2 – частота вращения соответственно инструмента и заготовки; m – число конгруэнтных участков получаемого профиля.

Некруглая поверхность, обработанная этим методом, имеет отклонения от номинальной в виде гребней (волнистости) вдоль оси вала и огранку профиля, обусловленные схемой формообразования. Расчетная высота гребней [3] составляет

$$h = \frac{S_0^2}{4D_\phi}, \quad (2)$$

где S_0 – подача вдоль оси вала, мм/об; D_ϕ – диаметр фрезы, мм.

Образование огранки профиля неизбежно, так как каждый его участок от вершины до вершины формируется количеством резцов, не превышающим число режущих зубьев фрезы, что характерно и для других лезвийных инструментов, работающих по методу обкатки, например червячных фрез. Максимальная высота огранки исходя из схемы профилирования определяется зависимостью:

$$\Delta = \frac{\pi^2 r_k}{2z_1^2 m^2}, \quad (3)$$

где r_k – радиус кривизны профиля на участке между двумя соседними резами, z_1 – число зубьев фрезы, участвующих в формировании этого участка.

Так как уменьшение высоты гребней за счет подачи S_0 снижает производительность обработки, а возможность уменьшения огранки Δ ограничена конструктивным фактором (числом зубьев z фрезы), во многих случаях необходима последующая обработка профильной поверхности детали. Она может выполняться шевингованием, опиливанием и поверхностно-пластическим деформированием по той же схеме формообразования, что и фрезерование эксцентрично установленной фрезой, на аналогичном станке или шлифованием на профилешлифовальных станках.

Чистовая обработка профильных поверхностей. Учитывая регулярный характер отклонений обработанной поверхности от номинальной в виде выступов (гребней и огранки), за номинальную поверхность целесообразно принять поверхность, над которой они расположены. В этом случае окончательную обработку опиливанием можно выполнять как копировальную, при которой копиром является обрабатываемая заготовка, что существенно упрощает технологическое оборудование.

Так, опиливание предварительно обработанной заготовки возможно также плоскими лезвийными или абразивными инструментами на универсальном токарном станке, снабженном специальным устройством [5], опытный образец которого схематично показан на рисунке 3. Устройство содержит основание 1,

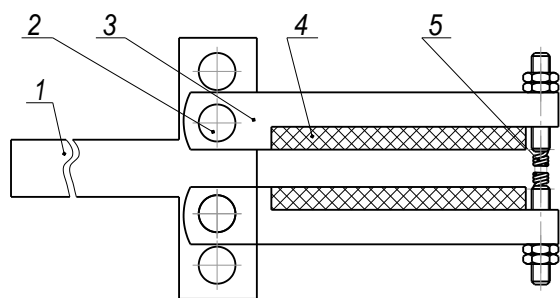


Рис. 3. Устройство для чистовой обработки наружных поверхностей профильных деталей

которым оно закрепляется на станке. На основании 1 с возможностью поворота вокруг осей 2 установлены держатели 3, несущие сменные режущие элементы 4, например, плоские напильники или абразивные бруски. Свободные концы держателей 3 связаны между собой механизмом 5 регулирования усилия взаимодействия режущих элементов 4 с обрабатываемой деталью. Механизм 5 может быть выполнен в виде упругих элементов или гидроцилиндра, допускающих изменение относительного положения держателей 3 в соответствии с изменением диаметрального размера обрабатываемой детали.

Использование устройства на токарном станке модели 16К20 показано на рисунке 4.

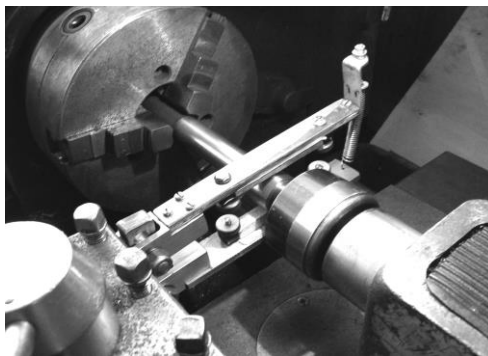


Рис. 4. Установка устройства для чистовой обработки профильных деталей на токарном станке

Основание 1 (см. рис. 3) закрепляется в резцедержателе станка так, чтобы обрабатываемая деталь располагалась между быстросменными режущими элементами 4. Механизмом 5 создается необходимое усилие прижима режущих элементов к обрабатываемой поверхности. Обработка осуществляется при вращении детали в результате ее взаимодействия с режущими элементами 4. При обработке некруглого вала держатели 3 совершают независимые качательные движения относительно осей 2 в соответствии с изменением расстояния между точками контакта режущих элементов 4 с обрабатываемой поверхностью. За счет поперечного перемещения устройства контакт режущих элементов с обрабатываемой деталью может быть осуществлен в различных зонах по длине держателей, что позволяет более полно использовать режущую способность инструмента.

Реализуемая устройством схема обработки представлена на рисунке 5, где B_1 – главное движение (вращение заготовки); K_2 – качательные движения режущих элементов, обусловленные некруглостью профиля детали; P_3 – движение подачи. Так как качательные движения режущих элементов создаются

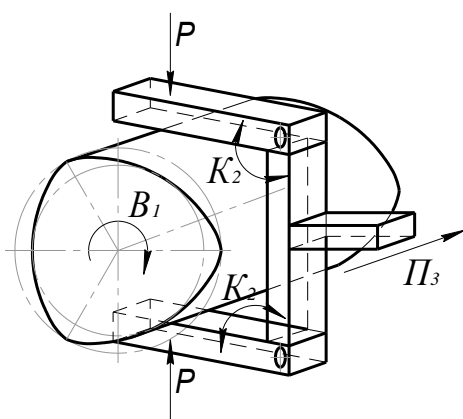


Рис. 5. Схема чистовой обработки профильного вала опилованием

в результате их взаимодействия с заготовкой, данная схема относится к копировальной обработке, при которой функцию копира выполняет заготовка. При этом образующая некруглой поверхности воспроизводится согласованными движениями B_1 и K_2 , а ее направляющая (прямая линия) – перемещением P_3 режущих элементов вдоль оси заготовки.

Обработка выполняется за 2...3 прохода с подачей 0,10...0,15 мм/об и скоростью резания, задаваемой в зависимости от условий обработки. Усилие P прижима режущих элементов задается настраиванием механизма 5 (см. рис. 3).

Процесс обработки продолжается до удаления неровностей над номинальной поверхностью, в результате чего уменьшается шероховатость обработанной поверхности. При прочих равных условиях, основным фактором, влияющим на шероховатость, является зернистость инструментального материала. Точность же формы профиля детали

должна быть обеспечена на предыдущей операции – в данном случае фрезерованием эксцентрично установленной фрезой. Учитывая, что отклонения обработанной поверхности от номинальной в виде гребней и огранки не превышают, согласно (2) и (3), 0,15...0,2 мм, обработка осуществляется методом опилования. Режущие элементы могут быть изготовлены из металлических и абразивных материалов. Целесообразно в качестве режущих инструментов использовать алмазно-металлические бруски для хонингования, стойкость которых по сравнению с абразивными существенно выше. Процесс обработки сводится к удалению неровностей над номинальной некруглой поверхностью, образованных при предварительной обработке эксцентрично установленной цилиндрической фрезой (рис. 6, а). Деталь, окончательно обработанная абразивными брусками, показана на рисунке 6, б.

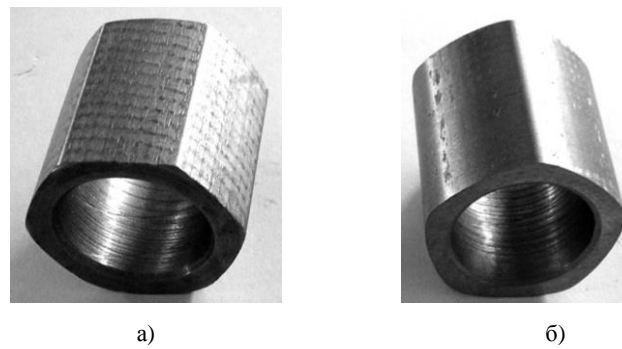


Рис. 6. Образцы, обработанные эксцентрично установленной цилиндрической фрезой (а); опилованием (б)

Режим обработки (скорость резания V , подача S и усилие P прижима режущих элементов к заготовке) назначается исходя из условий формирования некруглых поверхностей с учетом особенности процесса срезания припуска, материала инструмента и обрабатываемого материала, требований к шероховатости обработанной поверхности.

Проведенные эксперименты по обработке профильных деталей брусками из белого электрокорунда зернистостью 24, твердостью СМ1 позволили определить зависимости производительности и шероховатости обработанных поверхностей от скорости резания V , усилия P и зернистости абразивного материала (рис. 7).

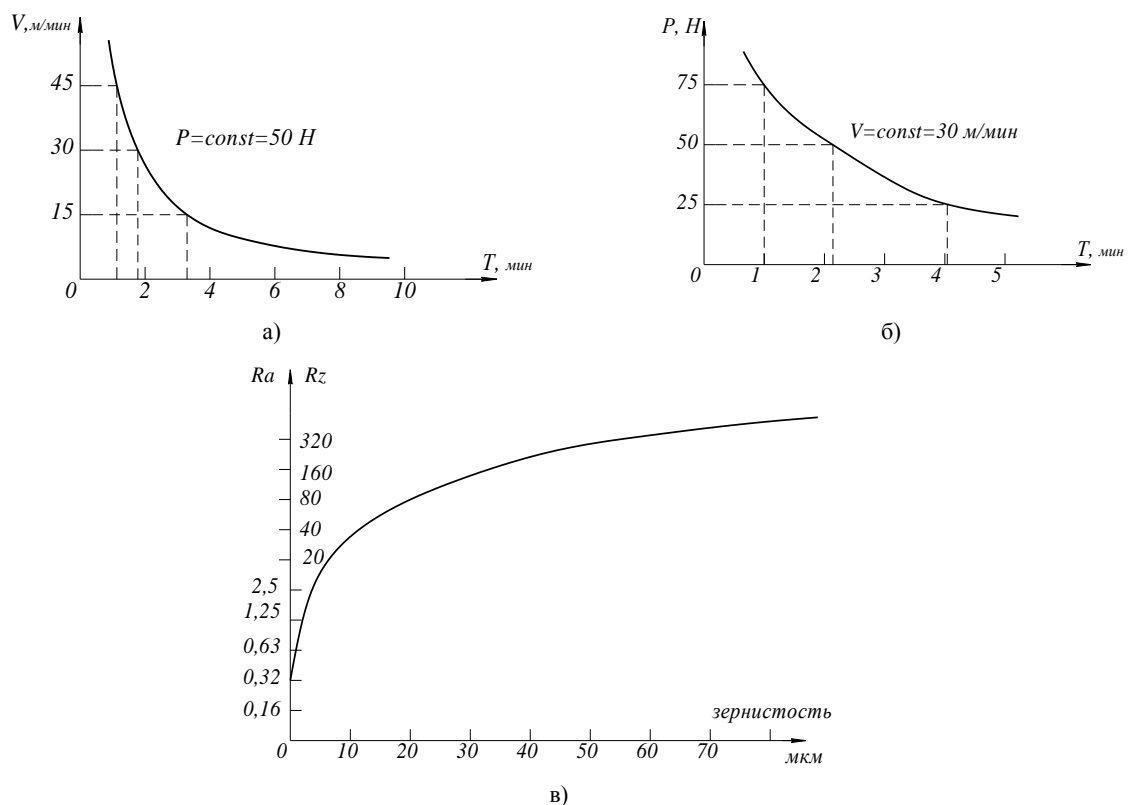


Рис. 7. Экспериментальные зависимости: времени обработки T от скорости резания V (а); времени обработки T от усилия P прижима режущих элементов (б); влияния зернистости абразивных брусков на шероховатость R_a (R_z) обработанной поверхности (в)

Выводы

1. Технология обработки деталей профильных моментопередающих соединений, включающая предварительную их обработку эксцентрично установленной цилиндрической фрезой на зубошлицефре-

зерном станке и последующую обработку опилением на универсальном токарном станке, позволяет в условиях мелкосерийного и ремонтного производства отказаться от применения специальных станков.

2. Опиливание заготовки, предварительно обработанной эксцентрично установленной цилиндрической фрезой, может осуществляться как копировальная обработка, при которой заготовка выполняет функцию копира, что упрощает технологическое оборудование.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тимченко, А.И. Синтез, анализ и выбор процессов формообразования РК-профильных поверхностей для массового, серийного и единичного (ремонтного) производств / А.И. Тимченко // Вестн. машиностроения. – 1991. – № 1.
2. DIN 32711. Die Polygonprofile P3G (BRD), 1979.
3. Данилов, В.А. Формообразующая обработка сложных поверхностей резанием / В.А. Данилов. – Минск: Наука и техника, 1995. – 264 с.
4. Данилов, В.А. Формообразование некруглых валов эксцентрично установленными дисковыми фрезами / В.А. Данилов, Ю.Ю. Масальский // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. В. Прикладные науки. – 2005. – № 12. – С. 136 – 139.
5. Устройство для чистовой обработки наружных поверхностей профильных деталей: пат. 3124 (BY): МКИ В24В1/00 / В.А. Данилов, Ю.Ю. Масальский; заявитель Полоц. гос. ун-т. – № u20060269; опубл. 7.04.2006 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2006.

Поступила 05.12.2007