

ЭФФЕКТИВНЫЕ СХЕМЫ ОБРАБОТКИ ЗАКРЫТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВРЩЕНИЯ НА ТОКАРНЫХ СТАНКАХ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Рассмотрена задача повышения эффективности использования токарных станков с числовым программным управлением (ЧПУ) посредством совершенствования методов и схем обработки. Выполнен анализ типовых схем обработки закрытых поверхностей вращения. Приведены рациональные схемы совмещения переходов при изготовлении деталей на токарных станках с ЧПУ, оснащенных двумя независимо управляемыми суппортами.

Введение. Одной из приоритетных задач на современном этапе развития машиностроения является комплексная механизация и автоматизация технологических процессов механической обработки. В условиях мелкосерийного и серийного производства, выпускающего около 75% продукции машиностроения, эта задача решается путем внедрения станков и станочных комплексов с числовым программным управлением (ЧПУ). Оборудование с ЧПУ совмещает гибкость универсального оборудования и высокую производительность специального автоматического, что существенно меняет характер производства, делает его мобильным, удовлетворяющим требованиям по непрерывному совершенствованию и обновлению продукции машиностроения. Однако такое оборудование является достаточно сложным, а его приобретение связано с большими финансовыми затратами. Поэтому проблема эффективного использования станков с ЧПУ является приоритетной для большинства предприятий машиностроения и неразрывно связана с необходимостью совершенствования проверенных на практике типовых методов и схем обработки. С применением рациональных типовых технологических решений значительно уменьшается трудоемкость подготовки управляющих программ, что является основой для создания систем автоматизированного программирования.

Эффективные схемы токарной обработки. Детали, обрабатываемые на станках с ЧПУ токарной группы, образуются цилиндрическими, коническими, сферическими и торцевыми поверхностями, на которых могут быть канавки, фаски, резьбы. Для наружной, торцевой и внутренней обработки указанных поверхностей, а также для проточки канавок и нарезания резьб используются резцы различных типов. Обработку отверстий ведут также сверлами, зенкерами и развертками. Выбор режущего инструмента производится в основном по общим правилам и рекомендациям, как и для универсальных станков.

При проектировании переходов обрабатываемая область, ограниченная контурами детали и заготовки, разделяется на отдельные зоны в зависимости от требований к чистоте и точности поверхностей детали, режущего инструмента и способа крепления заготовки на станке. Каждая зона ограничивается замкнутым контуром, состоящим из основного и вспомогательного участков. Основным считается тот участок контура зоны, который является границей траектории инструмента при обработке. Все многообразие зон может быть представлено зонами выборки объемов металла и зонами контурной обработки [1]. Зоны выборки служат для многопроходной обработки при больших съемах припуска. Они делятся на открытые, полуоткрытые и закрытые. Основной участок контура открытой зоны выборки ограничивает ее с одной стороны, полуоткрытой – с двух, а закрытой – с трех сторон. Контурные зоны состоят из припуска на получистовую или чистовую обработку поверхностей и служат для прохода инструмента эквидистантно к участкам контура детали.

При разработке траектории движения инструмента для зон выборки рекомендуются типовые схемы движения инструмента (рис.1). Схема «петля» используется при обработке заготовки резцами, которые работают в одном направлении. Схема «зигзаг» применяется в основном при обработке в обоих направлениях глубоких впадин чашечными резцами.

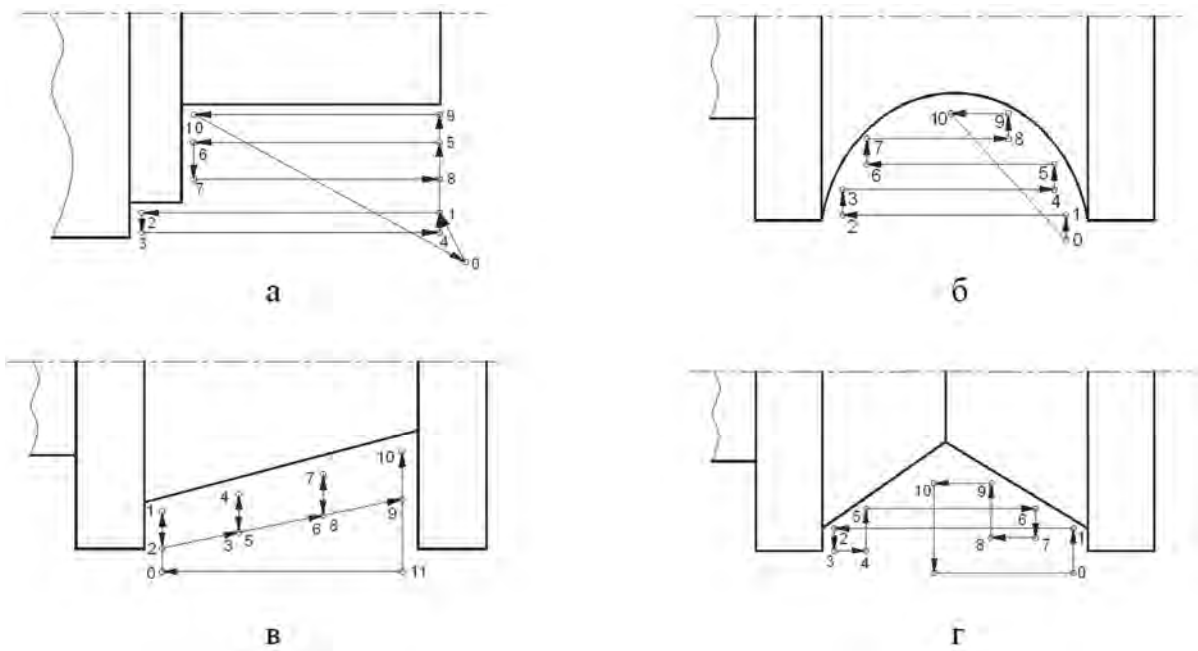


Рис. 1. Типовые схемы движения инструмента типа «петля» (а), «зигзаг» (б), «виток» (в), «спуск» (г)

Схема «виток» мало отличается от схемы «зигзаг», но имеет преимущество при обработке неглубоких и относительно пологих впадин чашечными резцами. Схема «спуск» предназначена для работы канавочными резцами (рис. 2).

Контурную зону составляют линии, эквидистантные к основному контуру детали. Основное ее назначение состоит в формировании контура детали или в обеспечении равномерного припуска под чистовую обработку. Канавки (проточки) сложной формы обрабатываются по типовым схемам за несколько переходов [1]. Окончательный профиль детали получают при чистовом переходе. Критерием для выбора схемы ее обработки служит глубина канавки $h = 0,5(D_2 - D_1)$ и ее ширина B , где D_1 и D_2 минимальный и максимальный диаметры обработки соответственно. При $h < 5$ мм и $B < 30$ мм предварительную обработку ведут с продольной подачей канавочным резцом, если $B > 30$ мм – проходным резцом [1]. При $h > 5$ мм и $B < 30$ мм применяют канавочные резцы и работают методом ступенчатого врезания (рис.3). При $B > 30$ мм сначала обрабатывают канавку шириной около 10 мм, затем оставшийся материал убирают подрезным резцом (рис. 4). Окончательную обработку во всех случаях проводят канавочными резцами по контуру. Аналогично обрабатывают внутренние канавки.

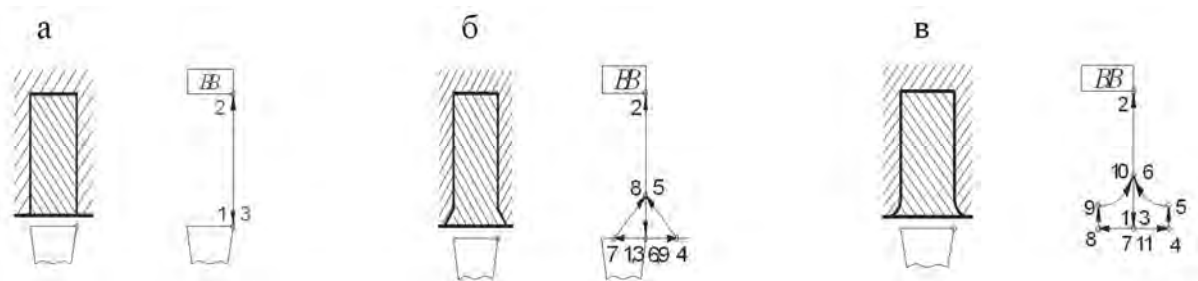


Рис. 2. Схемы и циклы обработки канавок:
а – простой прямоугольной; б – с фасками; в – с закруглениями

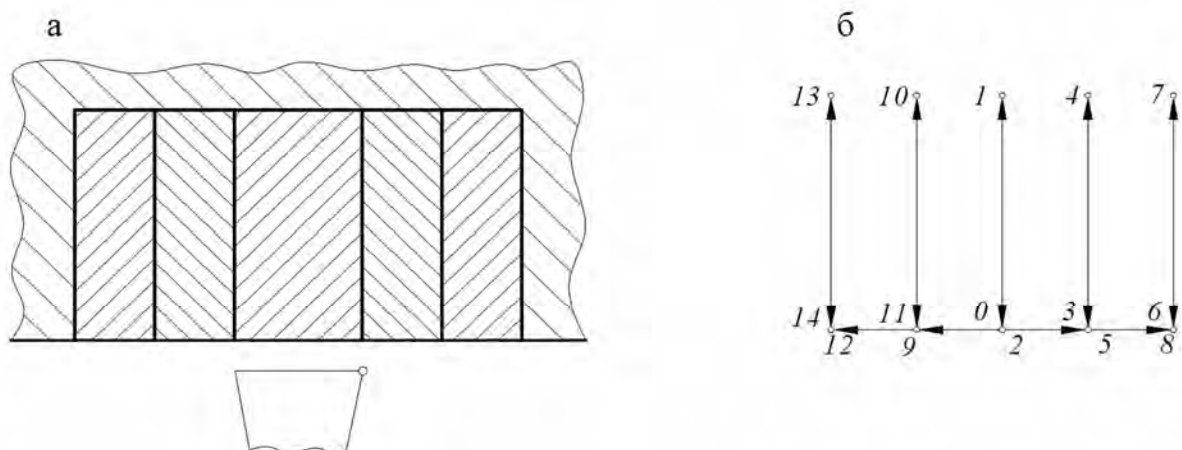


Рис.3. Схема (а) и цикл (б) обработки канавки (проточки) сложной формы методом ступенчатого врезания

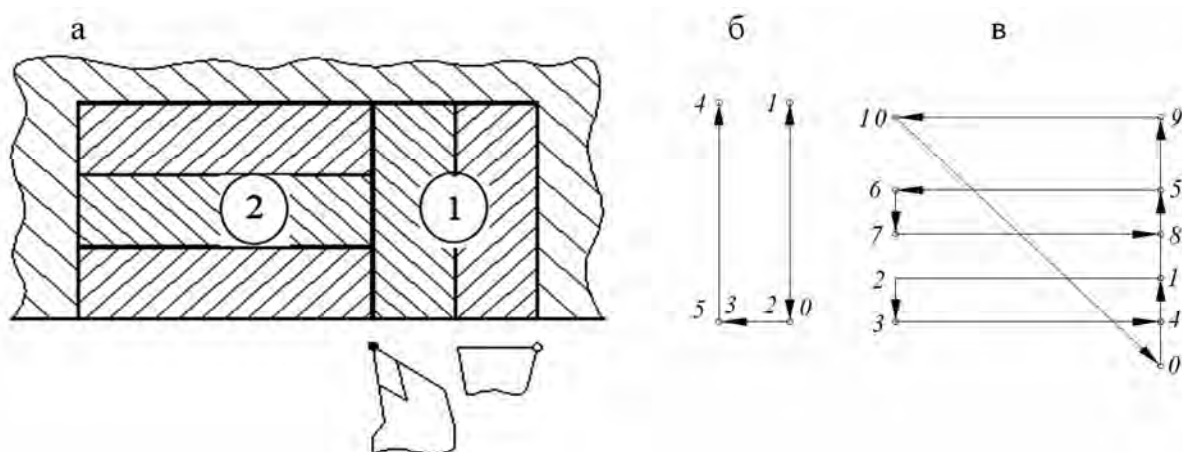


Рис. 4. Схема (а) и циклы перемещения канавочного (б) и подрезного (в) резцов при обработке канавки (проточки) сложной формы

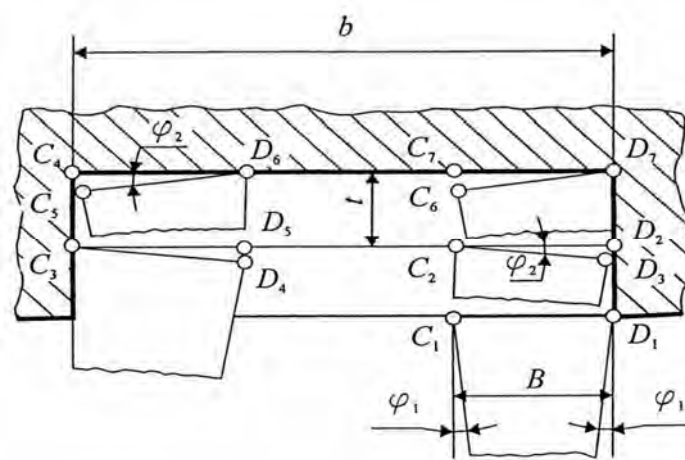


Рис. 5. Схема МТО закрытой поверхности

Использование представленных выше схем и циклов обработки существенно повышает эффективность использования токарных станков с ЧПУ. Однако для целого ряда закрытых участков контура детали (проточки, желоба, канавки шкивов, канавки лабиринтного уплотнения и др.) они имеют ряд недостатков [1,2]. К таким недостаткам относятся: низкая стойкость режущего инструмента; значительные затраты машинного времени на выполнение дополнительных чистовых проходов; затруднен процесс образования и отвода стружки, что ведет к повышению сил и мощности резания. Сведение к минимуму указанных недостатков может быть достигнуто путем использования новых схем обработки и построения на их основе циклов с новой структурой. В этом плане наибольший интерес представляют схемы и циклы многонаправленной обработки. Их использование позволяет повысить стойкость режущего инструмента, ограничить число инструментов в инструментальной наладке, уменьшить вспомогательное время на поиск и смену инструмента, а в отдельных случаях исключить время на переустановку заготовки.

Сущность многонаправленной токарной обработки (МТО) заключается в том, что вместо нескольких стандартных или специальных резцов различного назначения используют один канавочный (прорезной) резец, режущая пластина которого имеет возможность разворачиваться так, что между ее главной режущей кромкой и направлением продольной подачи образуется вспомогательный угол в плане φ_2 [3, 4].

При этом резец может работать либо как канавочный (с подачей в поперечном направлении и вспомогательными углами в плане φ_1), либо как правый или левый проходной (с подачей в осевом направлении и вспомогательным углом в плане). Фактически одним резцом обеспечивается формообразование открытых, полуоткрытых и закрытых поверхностей деталей, а также различных дополнительных поверхностей (канавок, проточек, желобов).

Образование угла φ_2 может быть обеспечено путем использования дополнительной управляемой координаты и специального резцедержателя для разворота резца или за счет изгибных деформаций державки инструмента осевыми (продольными) силами резания [5]. Схема обработки закрытой поверхности представлена на рис. 5.

Согласно этой схеме резцу с длиной главной режущей кромки B , настроечными точками C и D (их исходное положение C_1 и D_1) и вспомогательными углами в плане φ_1 сообщают перемещение (врезание) на глубину t с подачей S_1 ; при этом настроечные точки занимают положение C_2 и D_2 . Далее режущая кромка резца разворачивается относительно точки C_2 так, что между ней и направлением, перпендикулярным к правой боковой поверхности проточки, образуется угол φ_2 (всегда $\varphi_2 \leq \varphi_1$). После разворота резцу сообщают продольную подачу S_2 в направлении левой боковой поверхности проточки; при этом он работает как проходной с главным углом в плане $\varphi = 90^\circ + \varphi_1 - \varphi_2$ и вспомогательным φ_2 . Когда настроечная точка C будет находиться в крайнем левом положении (см. точка C_3), режущую кромку разворачивают относительно этой точки в исходное положение ($\varphi_2 = 0$) и производят последующее врезание на глубину t . Затем режущую кромку разворачивают с образованием угла φ_2 относительно настроечной точки D , которая находится в положении D_5 , и сообщают резцу продольную подачу в направлении правой боковой поверхности проточки. После завершения этого перемещения режущую кромку возвращают в исходное положение для очередного врезания. Такие движения повторяются до полного формообразования проточки по глубине. Разворот главной режущей кромки резца относительно настроечных точек резца осуществляется за счет изгибных деформаций упругой пластины под действием осевой составляющей силы резания [6].

Обработка узких канавок (рис. 2) на токарных станках, как правило, ведется с поперечной подачей прорезными резцами, у которых длина главного режущего лезвия равна ширине протачиваемой канавки [7]. Однако при такой схеме обработки сход стружки, ширина которой в процессе усадки становится больше ширины канавки, затруднен. Это приводит к увеличению мощности резания и ухудшению качества образующихся боковых сторон канавки (увеличенная

по ширине стружка, периодически защемляясь в канавке, при выходе царапает ее боковые стороны). А при обработке глубоких канавок возможно даже защемление и поломка резца.

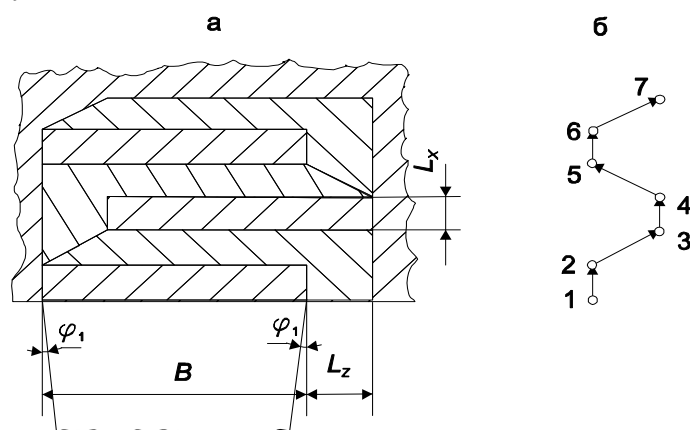


Рис. 6. Схема (а) и структура цикла (б) МТО канавки

Значительного уменьшения мощности резания и шероховатости, а также уменьшения числа поломок резцов можно достичь, обеспечив свободный выход стружки из обрабатываемой канавки. Это условие будет обеспечено, если прорезному резцу наряду с поперечной подачей (перемещение в направлении, перпендикулярном главной режущей кромке) через оборот детали сообщать знакопеременное дополнительное перемещение в основной плоскости перпендикулярно вектору поперечной подачи, а ширину главной режущей кромки принять при этом меньше ширины протачиваемой канавки на величину этого перемещения.

Схема описанного метода МТО канавки, которая реализуется обычным (стандартным) прорезным резцом, и структура цикла представлены на рис. 6. На схеме начало обработки совпало с поперечной подачей. Далее резцу дополнительно в течение следующего оборота заготовки сообщается перемещение перпендикулярно вектору поперечной подачи вправо на величину L_z , которая выбирается в зависимости от поперечной усадки стружки. При этом перемещении резца припуск снимается главной режущей кромкой и правой вспомогательной кромкой. Между левой вспомогательной режущей кромкой и левой стороной проточки образуется зазор, который растет от нуля до величины дополнительного перемещения L_z . В течение следующего оборота резец получает только поперечную подачу. При таком перемещении происходит исправление положения правой боковой поверхности канавки за счет удаления правой вспомогательной режущей кромкой слоя металла, определяемого величиной дополнительного перемещения L_z . Когда резец перемещается влево (очередной оборот заготовки), рабочими являются главная режущая кромка и левая вспомогательная режущая кромка. Перемещение только с поперечной подачей в течение следующего оборота ведет к исправлению положения левой боковой поверхности канавки. Указанные перемещения повторяются до полного образования канавки по глубине. Окончательное формирование канавки происходит перемещением резца в направлении перпендикулярном поперечной подаче на величину дополнительного перемещения L_z .

Схема МТО канавки, представленная на рис. 6, может быть использована также при обработке закрытых поверхностей (канавок или проточек) сложной формы на токарных станках с ЧПУ, оснащенных двумя независимо управляемыми суппортами. На одном из суппортов устанавливается канавочный (прорезной) резец, совершающий перемещения характерные для МТО, а на втором – канавочный (прорезной) резец, выполняющий врезание в направлении перпендикулярном главной режущей кромке (рис. 7) либо подрезной резец, выполняющий резание с продольной подачей (рис.8). Обработка обоими резцами может осуществляться либо последовательно, либо параллельно. Первым в процесс резания всегда включается резец, снимающий припуск по схеме МТО (зона 1 на рис. 7 и рис. 8).

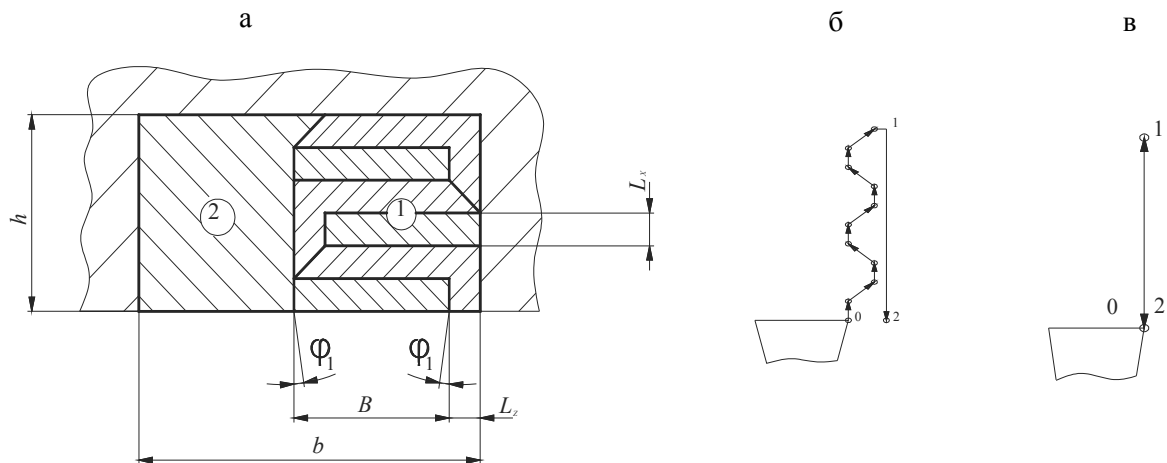


Рис.7. Схема (а) и циклы (б,в) обработки закрытой поверхности вращения (канавки или проточки) двумя прорезными резцами

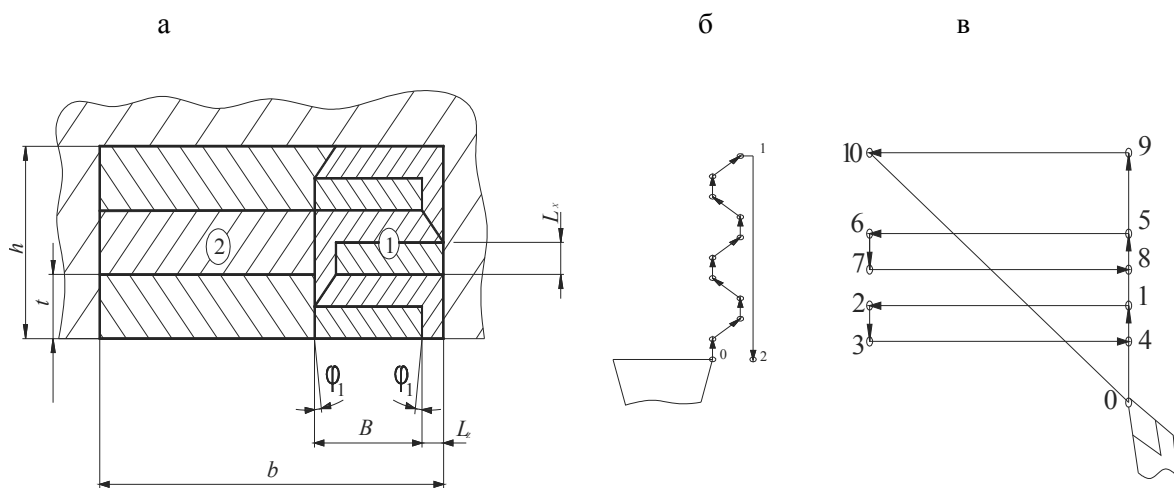


Рис.8. Схема (а) и циклы (б,в) обработки закрытой поверхности вращения (канавки или проточки) прорезным и подрезным резцами

Канавка, образованная МТО, обеспечивает свободный сход стружки (без защемлений) на последующих рабочих ходах (рис. 7). При этом на первом и последующих рабочих ходах уменьшаются силы и мощность резания, и как следствие снижается энергоемкость процесса. Стойкость режущего инструмента также возрастает. Это связано с тем, что в процессе резания вершины канавочного (прорезного) резца контактируют с обрабатываемым металлом поочередно. При выборе общего числа рабочих ходов принимается во внимание, что соседние рабочие хода необходимо выполнять с перекрытием величиной около 1 мм.

Задача повышения эффективности использования токарных станков с ЧПУ может быть обеспечена также включением в программное обеспечение (ПО) программных модулей, реализующих функцию управления кинематикой процессов резания, а также функцию независимого управления координатными перемещениями.

Алгоритм независимого управления координатными перемещениями был разработан и реализован на двухсуппортном токарном станке мод. 1А751ФЗ, оснащенный устройством ЧПУ КМ85. По данному алгоритму согласование начала отработки обеих управляющих программ (для правого и левого суппортов) осуществляется с помощью признака синхронизации Н. В управляющей программе (УП) для правого (левого) суппортов под адресом Н задается номер кадра, с которого начинается отработка УП для левого (правого) суппорта [8]. Данная функция управления позволяет обеспечить оптимальное сочетание рабочих и вспомогательных ходов

для правого и левого суппортов при их совместной работе. При этом в качестве критерия оптимальности была принята продолжительность цикла обработки, а в качестве ограничений параметры качества обработки при совмещении переходов (точность размеров и формы обработанной поверхности, ее шероховатость), стойкость режущего инструмента.

Наибольший эффект от совместной работы двумя суппортами станка с ЧПУ может быть получен при точении длинных нежестких валов (кроме увеличения производительности обработки значительно повышается точность формы детали в продольном сечении). Эффект повышения точности обработки обеспечивается за счет уравнивания радиальных сил резания P_{y_1} и P_{y_2} . Настройку резцов для точения двумя резцами осуществляют по одной из известных схем: с делением глубины резания; с делением подачи [9]. При настройке по первой схеме требования к точности расположения вершины резца, удаляющего верхний слой припуска, по отношению к оси вращения заготовки, невысоки. Фактически точность получаемого при обработке заготовки размера обеспечивается настройкой второго резца. Настроить резцы для точения с делением подачи значительно труднее, поскольку главные режущие кромки резцов должны располагаться на одном конусе, соосном обрабатываемой поверхности, а их вершины должны находиться на одинаковом расстоянии от оси вращения.

Указанные схемы точения нежестких валов двумя резцами имеют один общий недостаток, который связан с возникновением вибраций вследствие взаимного влияния реализуемых процессов резания друг на друга (при совпадении частот вынужденных колебаний одного и другого процессов резания появляются резонансные явления). Для исключения этого недостатка целесообразно для одного из процессов резания обеспечить управляемое закономерное изменение уровня вибраций. Данная задача может быть решена включением в процесс резания управляемой кинематической неустойчивости, например, путем модулированного изменения подачи в функции пути. С целью его осуществления был разработан и включен в технологическое программное обеспечение устройства ЧПУ KM85 модуль, позволяющий периодически увеличивать подачу от S_{\min} до S_{\max} , а потом снижать ее до первоначального значения. Изменение подачи между ее пиковыми значениями при этом производится приращениями величиной ΔS по мере обработки участков Δl между приращениями [1]. Для этого устройство ЧПУ поочередно реализует зависимость $S_{\max} = S_{\min} + n_s \Delta S$ и зависимость $S_{\min} = S_{\max} - n_s \Delta S$, где n_s – число приращений скорости подачи при ее изменении от S_{\min} до S_{\max} . Длина пути разгона (замедления) при этом определяется из выражения $l_1 = n_s \Delta l$; значение ΔS выбирается кратным 0,1 мм/мин; Δl принимается кратной единице дискретности.

Экспериментальные исследования, выполненные с использованием станка мод. 1A751ФЗ, оснащенного устройством ЧПУ KM85, показали, что реализация функции модулированного изменения подачи совместно с функцией независимого управления суппортами обеспечивает повышение виброустойчивости технологической системы независимо от принятой схемы точения при совмещении технологических переходов.

Вывод. Применение представленных в работе схем формообразования закрытых поверхностей вращения позволяет повысить эффективность использования токарных станков, оснащенных двумя независимо управляемыми суппортами. Предложенные схемы обработки могут быть реализованы путем включения в программное обеспечение устройства ЧПУ соответствующего макроопределения, описывающего последовательность рабочих и вспомогательных ходов режущего инструмента, либо путем организации цикла средствами параметрического программирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гжиров, Р.И. Программирование обработки на станках с ЧПУ: справ. / Р.И. Гжиров, П.П. Себренницкий. – Л.: Машиностроение, 1990. – 588 с.
2. Каштальян, И.А. Повышение эффективности использования станков с ЧПУ в условиях стационарного резания / И.А. Каштальян. – Минск: Изд-во БНТУ, 2008. – 311 с.
3. Официальный сайт компании Seco [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.secotools.com/>

4. Музыкант, Я.А. Конструкции инструмента и технология многонаправленной токарной обработки (МТО) на станках с ЧПУ и ОЦ / Я.А. Музыкант // Технология металлов. – 2007. – №5. – С. 31–37.
5. Способ обработки канавки или проточки, или желоба на токарном станке с числовым программным управлением и резец для его осуществления: пат. РБ № 13315. МПК В 23В 1/00, 27/04 / И.А. Каштальян, А.; заявитель Белорусский национальный технический ун-т. - № а 200711622; заявл. 27.12.2007; опубл. 30.06.2010 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. Уласнасці. – 2010. – № 3. – С. 72 – 73.
6. Каштальян, И.А. Многонаправленная токарная обработка на станках с числовым программным управлением / И.А. Каштальян // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 11: в 2 ч. Ч 1, Тула: Изд-во ТулГУ, 2014. – С. 244–254.
7. Способ обработки канавки или проточки, или желоба на токарном станке с числовым программным управлением: пат. РБ № 13315. МПК В 23В 1/00 / И.А. Каштальян, А.А. Козорез; заявитель Белорусский национальный технический ун-т. - № а 20101886; заявл. 24.12.2010; опубл. 30.06.2013 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. Уласнасці. – 2013. – № 3. – С. 64 –65.
8. Каштальян И.А., Шелег В.К., Орукари Б. Программная реализация функции независимого управления координатными перемещениями // Автоматизация и роботизация процессов и производств: материалы научно-практического семинара. – Минск, 2014. – С. 33-35.
9. Махаринский Е.И., Горохов В.А. Основы технологии машиностроения: Учебник. Минск: Вышэйшая школа, 1997. – 423 с.

УДК 621.791.92

Кудина А.В., Капица М.С., Сокоров И.О., Спиридонов Н.В.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА И НАДЁЖНОСТИ ДЕТАЛЕЙ

УЗЛОВ ТРЕНИЯ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Разработаны композиционный состав металлопокрытия и технология его нанесения на поверхности деталей узлов трения машин, механизмов и технологического оборудования. Состав и технология получения покрытий придают наплавленному слою металла высокие качественные, физико-механические и эксплуатационные характеристики, что позволяет поднять на новый уровень износостойкость и ресурс деталей узлов трения и, следовательно в целом, надёжность машин и механизмов.

Введение. На каждом этапе технологического процесса изготовления любой производственной продукции решается основная проблема – обеспечение необходимого уровня качества и, в частности, надёжности изделия. В отличие от всех других показателей качества, показатели надёжности тесно связаны с фактором времени и характеризуют способность изделия выполнять заданные функции в рассматриваемый момент или в пределах заданного отрезка времени. В машиностроении известно, что для получения высококачественной продукции требуется применение новых конструкционных материалов и технологий, способных улучшить важнейшие параметры машин и механизмов, а значит, повысить их надёжность и долговечность, снизить материалоемкость. Особая роль, при этом, отводится композиционным материалам, обладающим высокими значениями прочности, износостойкости, жёсткости, низкими показателями плотности и рядом других положительных физико-механических и химических свойств. Эти материалы относятся к классу порошковых. Их структура представляет собой матрицу из основного металла или сплава, в которой равномерно распределены дисперсные частицы упрочняющей фазы. В качестве последней применяются термодинамически стабильные соединения с высоким значением модуля сдвига – оксиды, карбиды, нитриты, бориды, интерметаллиды. Такие материалы широко применяются в машиностроительном производстве для повышения качества рабочих поверхностей деталей узлов и механизмов, что повышает надёжность и качество машин в целом. Технология и методы нанесения порошковых материалов на металлопо-