

режиме.

Литература

1. Михайлов В.А. Системный подход к модульному автоматизированному проектированию гибких производственных комплексов. М. Московский Автомеханический Институт. 1985г.
2. Михайлов В.А. Моделирование неоднородных технологических систем при композиционном проектировании. В сб. тезисов международного научного симпозиума, посвящённого 135-летию МГТУ МАМИ. Москва, МАМИ. 2000 г.
3. Проников А.С. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: Справочник-учебник. В 3-х т. Т. 1: Проектирование станков. М. Машиностроение. 1994 г.
4. Карепин П.А. Математические основы теории размерных цепей при технологическом и метрологическом обеспечении качества изделия. Монография. М.: Информагротех 1999\
5. Карпов Л.И. Соломатин А.Г. Теория и практика расчета размерных цепей. М.: МАДИ, 1984 г.

Анализ процесса образования погрешности обработки в технологической системе комбинированной обработки резанием и поверхностным пластическим деформированием нежестких деталей типа полый цилиндр

Ветрова Е.А.

МГТУ «МАМИ»

(495) 223-05-23, доб. 1327

Аннотация. На основании проведенного исследования установлено, что процесс формирования погрешности обработки нежестких деталей типа полый цилиндр зависит от погрешностей установки, погрешностей статической и динамической настройки технологической системы комбинированной обработки резанием и поверхностным пластическим деформированием.

Ключевые слова: комбинированная обработка, погрешность обработки, устройство для КРДО, технологическая система, нежесткие детали типа полый цилиндр, точность детали.

Как известно, многообразие применяемых методов обработки, их кинематические и динамические характеристики, а также особенности конструкций элементов технологических систем, реализующих данные методы, обеспечивают должное качество обработки деталей. В технологической системе комбинированной обработки резанием и поверхностным пластическим деформированием (далее КРДО) точность обработки нежестких деталей типа полый цилиндр достигается введением детали в размерные и кинематические цепи устройства для КРДО и токарного станка посредством установки данной детали на базовых поверхностях переднего и заднего центров; статической настройкой взаимоположения конструктивных элементов устройства для КРДО; статической настройкой взаимоположения детали и рабочих элементов устройства для КРДО; реализацией процесса КРДО, обеспечивающего единство технологических баз [1].

В процессе обработки нежесткой детали типа полый цилиндр возникают погрешности, первоисточниками которых являются погрешности установки, погрешности статической настройки и погрешности динамической настройки технологической системы КРДО, то есть систематические и стохастические погрешности настройки [2, 3].

Погрешность размера обработанной детали – это векторная сумма погрешностей установки, погрешностей статической и динамической настройки, а также погрешностей непосредственно самой заготовки: эксцентриситета, концентричности и непостоянной толщины стенок заготовки. В рассматриваемом случае комбинированной режуще-деформирующей

обработки нежестких деталей типа полый цилиндр погрешность размера можно определить по формуле 1:

$$\vec{\Delta} = \vec{\Delta}_y + \vec{\Delta}_{CTy} + \vec{\Delta}_{CT\partial} + \vec{\Delta}_d + \vec{\Delta}_\varnothing + \vec{\Delta}_K + \vec{\Delta}_P, \quad (1)$$

где: $\vec{\Delta}_y$ - погрешность установки;

$\vec{\Delta}_{CTy}$ - погрешность статической настройки взаимоположения элементов конструкции устройства для КРДО;

$\vec{\Delta}_{CT\partial}$ - погрешность статической настройки взаимоположения детали и рабочих элементов устройства для КРДО;

$\vec{\Delta}_d$ - погрешность динамической настройки режущего и деформирующего инструментов и собственно самого устройства для КРДО [1];

$\vec{\Delta}_\varnothing$ - погрешность, вызванная эксцентриситетом заготовки;

$\vec{\Delta}_K$ - погрешность, вызванная концентричностью заготовки;

$\vec{\Delta}_P$ - погрешность, вызванная непостоянной толщиной стенок заготовки.

Как известно, в самом общем случае погрешность установки заготовки по базовым поверхностям вызывает возникновение биения вследствие возникновения эксцентриситета, причиной которого является несоосность заготовки и технологических баз центров устройства для КРДО [1]. Заготовка вращается в процессе обработки, поэтому изменение величины эксцентриситета в проекции на координатную ось ОУ (горизонтальную плоскость ХОУ), как представлено на рисунке 1, в направлении которой и происходит размерообразование, как показано на рисунке 2, можно описать по косинусоидальному закону следующим образом:

$$\tilde{e} = e_{\max} \cdot \cos(\omega \cdot t + \varphi), \quad (2)$$

где: \tilde{e} - текущее значение величины эксцентриситета в проекции на координатную ось ОУ, мм;

e_{\max} - наибольшее значение величины эксцентриситета, мм;

ω - угловая частота вращения обрабатываемой заготовки, рад/сек;

t - текущее время, сек;

φ - начальный угол поворота заготовки (т.е. в момент времени $t = 0$), рад;

Угловая частота вращения заготовки ω определяется по формуле:

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60}, \quad (3)$$

где: n - частота вращения заготовки, мин⁻¹.

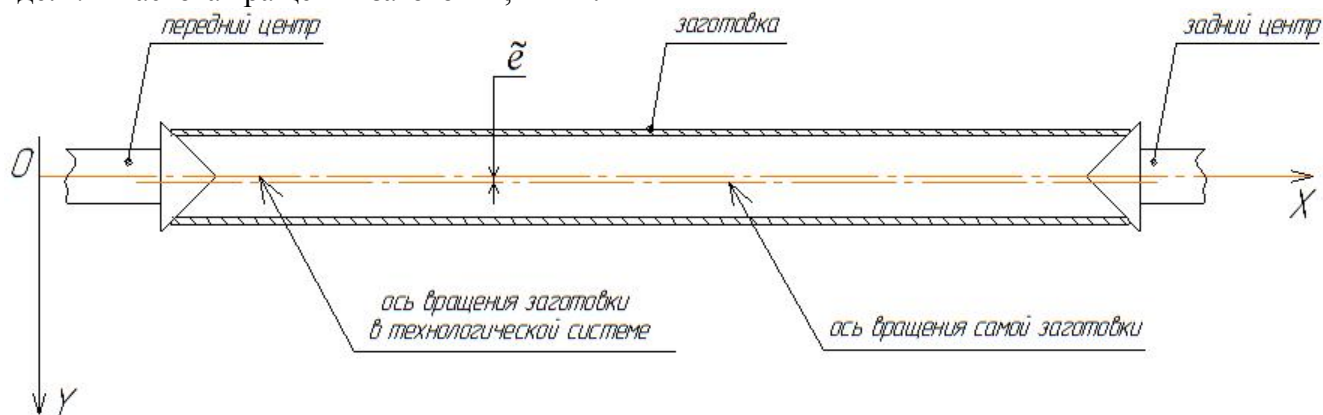


Рисунок 1 – Взаимоположение осей подсистемы «деталь - центры»

На рисунке 2 представлены следующие обозначения:

$O_{вр}$ – точка пересечения оси вращения заготовки в технологических центрах устройства для КРДО с плоскостью YOZ;

$O_{заг}$ – точка пересечения собственной оси заготовки с плоскостью YOZ;

\tilde{O} – мгновенное положение точки O заг.

$R_{зтс}$ – радиус траектории вращения заготовки в технологической системе;

$R_з$ – радиус траектории вращения самой заготовки;

R_T – радиус траектории вращения заготовки в начальный момент времени;

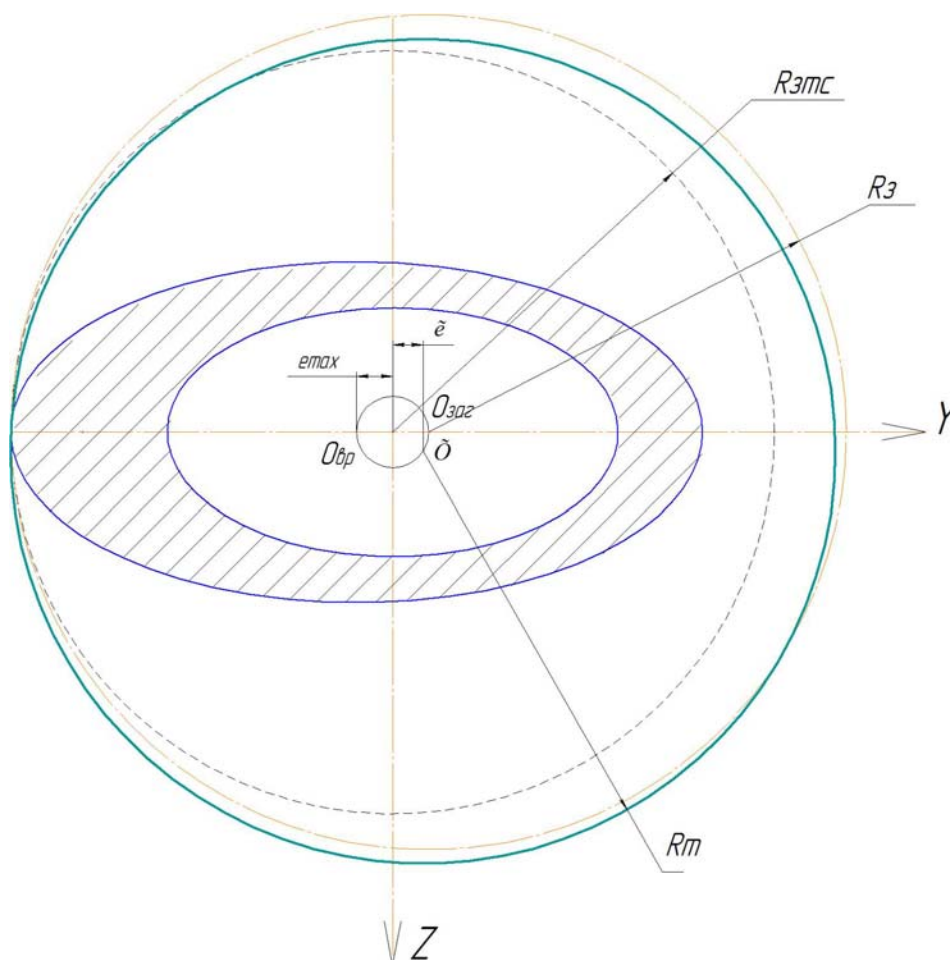


Рисунок 2 – Взаимоположение центров подсистемы «деталь – центры» в проекции на плоскость ZOY

В результате погрешности установки заготовки может также произойти и скрещивание осей: оси вращения заготовки и оси самой заготовки. Вследствие наличия некоторой векторной суммы погрешностей глубина резания в процессе обработки детали будет меняться, следовательно, припуск между резцами резцового блока также будет перераспределяться. Такое перераспределение припуска приведет к возникновению поперечных перемещений резцового блока (который имеет возможность свободно перемещаться) в некоторых пределах, в результате чего в продольном сечении детали возникнет волнистость. Одновременно с этими процессами в результате перераспределения величин в соотношении упругой и пластической деформации, наблюдающихся в зоне резания, возникает волнистость также и в поперечном сечении детали. При обкатывании заготовки роликами возникающие погрешности в значительной степени уменьшаются из-за перераспределения металла в поверхностных слоях ма-

териала заготовки, т.е. происходит заполнение металлом выступов впадин, образовавшихся в процессе резания. Это частичное исправление объясняется достаточной длиной контакта ролика с заготовкой, поскольку длина контакта намного превышает величину осевой подачи на ролик устройства для КРДО.

Так как при осуществлении одновременных процессов резания и поверхностного пластического деформирования обработка ведется от одной технологической базы, дополнительная погрешность из-за переустановки заготовки в данном случае исключается.

Таким образом, в режуще-деформирующем методе обработки резко снижается влияние погрешности установки в сравнении с традиционными технологическими процессами вследствие исключения суммирования аналогичных погрешностей по операциям.

Причинами возникновения погрешности статической настройки взаимоположения конструктивных элементов устройства для КРДО являются: 1) изначальное наличие погрешностей технологического оборудования, в описываемом случае - это радиальное биение шпинделя токарного станка, отклонение траектории движения суппорта станка от прямолинейного, несоосность осей шпинделя и задней бабки станка, и т.д.; 2) наличие погрешности изготовления установочных баз и баз, служащих для сопряжения конструктивных элементов устройства для КРДО; 3) погрешность измерения, возникающая при настройке и контроле взаимного расположения конструктивных элементов устройства для КРДО.

Следует отметить, что погрешность изготовления установочных баз элементов устройства для КРДО практически не оказывает влияния на точность обработки деталей, поскольку данная погрешность либо компенсируется, либо поглощается вследствие суперпозитивного сложения с погрешностью изготовления баз для сопряжения элементов устройства [1].

Рассмотрим вариант работы инструмента в экстремальных условиях. Примем за точку траекторию перемещения оси переднего центра в вертикальной плоскости, перпендикулярной оси вращения центра. Поскольку максимальное значение эксцентриситета заготовки может быть достигнуто в положительном направлении оси OY , как представлено на рисунке 3, принимаем взаимоположение конструктивных элементов устройства для КРДО так, как показано на данном рисунке 3. Также принимаем, что ось вращения заднего центра смещена относительно оси вращения переднего центра на некоторую величину в положительном направлении оси OY в системе координат XOY переднего центра станка, как указано на рисунке 3. Ось вращения непосредственно самой детали также смещена на некоторую величину в положительном направлении оси OY относительно оси вращения заднего центра из-за погрешности предыдущей операции обработки. Ось корпуса головки устройства для КРДО имеет смещение на некоторую величину в отрицательном направлении оси OY относительно оси вращения переднего центра.

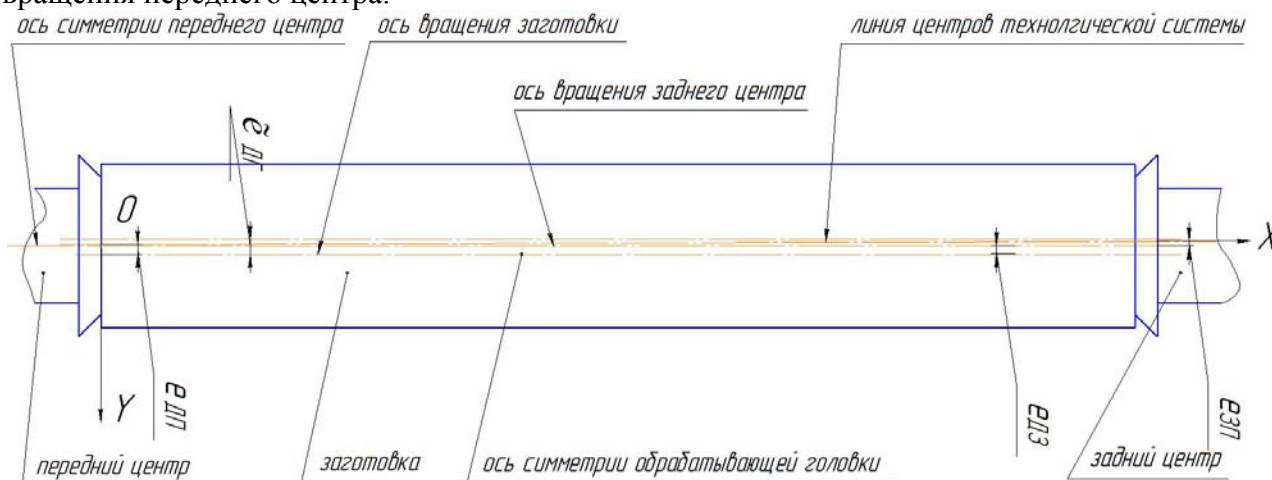


Рисунок 3 – Принимаемое взаимоположение конструктивных элементов устройства для КРДО в проекции на ось XOY

В этом случае несоосность непосредственно самой обрабатываемой детали и оси головки устройства для КРДО в каждом мгновенном поперечном сечении будет составлять некоторую величину, назовем ее $\tilde{e}_{дг}$, и будет изменяться по длине, уменьшаясь от заднего центра к переднему. На рисунке указаны: $e_{дп}$ - величина несоосности детали и переднего центра; $e_{дз}$ - величина несоосности детали и заднего центра. Поскольку деталь во время обработки вращается, величина каждого из эксцентриситетов $e_{дп}$, $e_{дз}$, $\tilde{e}_{дг}$ в каждом мгновенном поперечном сечении будет меняться, к примеру, по косинусоидальному закону [1]. Уравнение линии центров будет иметь следующий вид:

$$\Delta_{ц} = \frac{e_{зп}}{L} \cdot \left(L - \frac{S_0 \cdot n \cdot t}{60} \right), \quad (4)$$

где: $\Delta_{ц}$ - расстояние от оси вращения переднего центра до линии центров детали в проекции на горизонтальную плоскость XOY декартовой системы координат;

$e_{зп}$ - величина несоосности заднего и переднего центров;

L - длина детали или расстояние между центрами;

n - частота вращения детали;

t - время от начала обработки.

Положение оси самой обрабатываемой детали относительно линии центров ее вращения может быть описано уравнением 5:

$$\Delta_{д} = \frac{e_{дз} - e_{дп}}{L} \cdot \left(L - \frac{S_0 \cdot n \cdot t}{60} \right), \quad (5)$$

где: $\Delta_{д}$ - расстояние от линии центров до оси вращения самой детали.

Проекция мгновенного положения оси вращения самой детали на ось OY в каждом поперечном сечении будет меняться при вращении детали вокруг линии ее центров или линии центров устройства для КРДО. Это изменение расстояния между осью вращения собственно детали и линией ее центров в проекции на ось OY при вращении детали вокруг линии центров будет описываться уравнением 6:

$$\Delta_{лц} = \left[\frac{e_{дз} - e_{дп}}{L} \cdot \left(L - \frac{S_0 \cdot n \cdot t}{60} \right) + e_{дп} \right] \times \cos \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \cdot t + \varphi \right), \quad (6)$$

где: $\Delta_{лц}$ - величина проекции расстояния между линией центров и осью вращения самой детали в технологической системе комбинированной обработки на плоскость XOY;

φ - начальная фаза, принимаем равной нулю.

В рассматриваемой технологической системе КРДО передний центр устройства является ведущим элементом и настроечной базой, вследствие чего целесообразно принять координатную систему переднего центра за абсолютную и рассматривать погрешность обработки в координатной системе переднего центра [1].

Учитывая вышесказанное, приведем уравнение (6) к координатной системе переднего центра:

$$\tilde{\Delta}_{лц} = \frac{e_{зп}}{L} \left(L - \frac{S_0 \cdot n \cdot t}{60} \right) + \left[\frac{e_{дз} - e_{дп}}{L} \cdot \left(L - \frac{S_0 \cdot n \cdot t}{60} \right) + e_{дп} \right] \cdot \cos \left(\frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \cdot t + \varphi \right), \quad (7)$$

где: $\tilde{\Delta}_{лц}$ - величина текущего значения приращения глубины резания, вызываемого погрешностью установки и статической настройки взаимоположения конструктивных элементов устройства для КРДО в направлении оси OY координатной системы переднего ведущего центра устройства.

Приведенное выше уравнение (7) учитывает не только погрешность установки детали,

но и погрешность статической настройки взаимоположения конструктивных элементов устройства для КРДО нежестких деталей типа «полый цилиндр».

Статической настройкой взаимоположения обрабатываемой детали и рабочих элементов устройства для КРДО является настройка рабочих элементов данного устройства на требуемый размер. Рабочие элементы устройства для КРДО – это резцы и ролики. Резцы располагаются в резцовом блоке оппозитно, закрепляются клиньями и поджимаются регулировочными винтами. При настройке взаимного расположения обрабатываемой детали и деформирующих роликов следует стремиться к тому, чтобы ролики плотно обхватывали направляющую втулку. Взаимоположение обрабатываемой детали и резцов резцового блока устройства для КРДО в значительной степени влияет на точность данной детали, в то время как взаимоположение детали и деформирующих роликов устройства в большей степени влияет на шероховатость обработанной поверхности. Однако при этом остается возможность поднастройки устройства для КРДО на заданный размер методом пробных проходов, который позволяет не учитывать погрешность настройки взаимоположения детали и рабочих элементов рассматриваемого устройства.

Далее рассмотрим, какое влияние оказывают динамические характеристики процесса обработки на точность нежесткой детали типа «полый цилиндр», обработанной в технологической системе КРДО. В [5] представлена классификация, из которой следует, что к динамическим характеристикам процесса обработки относятся температура, сила и жесткость.

Рассмотрим подробнее, какое влияние оказывает температура на точность обрабатываемой детали. Как известно, в процессе обработки деталей резанием и поверхностным пластическим деформированием происходит пластическое течение металла, которое сопровождается выделением тепла в очаге деформации. Выделяемое тепло отводится в обрабатываемую деталь, тело инструмента, стружку и окружающую среду, под воздействием получаемого тепла металл расширяется, лезвие резца быстро нагревается до высоких температур, а через некоторое время нагревается и весь резец с державкой, вследствие чего происходит его удлинение и уменьшение диаметра обрабатываемой детали. Резец нагревается неравномерно во времени, т.е. сначала происходит быстрое нагревание инструмента, затем его температура увеличивается медленнее, а при достижении определенной температуры наступает равновесное тепловое состояние. Во время перерывов в работе происходит охлаждение резца, вследствие чего расстояние от его вершины до оси детали увеличивается, и диаметр обрабатываемой детали увеличивается.

Образование тепла происходит за счет работы сил деформации поверхности детали и работы сил трения [4]. Тепло деформации возникает в очаге деформации, а тепло трения – на поверхности детали в зоне ее контакта с инструментом, тепло при этом отводится в деталь, инструмент и окружающую среду. Тепло, идущее на нагрев инструмента, в данном случае очень мало, поэтому его можно не учитывать [4]. Тепло, отводимое из зоны резания и пластического деформирования, вызывает нагрев обрабатываемой детали, в результате чего происходят ее температурные деформации. Нагрев детали по длине является неравномерным вследствие перемещения источника тепла по поверхности детали, его относительно небольших размеров и теплопроводности материала детали. Поскольку деталь нагревается неравномерно, погрешность, вызванная температурными деформациями, проявится в форме детали, т.е. произойдет уменьшение диаметра обработанной детали по длине.

Теперь рассмотрим, как влияют жесткость и сила на точность обрабатываемой детали. В технологической системе КРДО понятия жесткости и силы неразделимы. Силы резания и поверхностного пластического деформирования могут быть установлены экспериментально или рассчитаны по эмпирическим формулам в справочниках. К данным силам суммируются также силы, вызванные жесткостью конструктивных элементов устройства для КРДО нежестких цилиндрических деталей. Обосновать это можно следующим образом.

В процессе обработки деталь вращается вокруг некоторой оси, которая отлична от оси

вращения самой детали. Глубина резания при этом изменяется по закону, описанному выражением (7) применительно к направлению ОУ плоскости ХОУ (см. рисунок 3). Однако данное утверждение имеет место только в случае абсолютно жестких конструктивных элементов устройства для КРДО и обрабатываемой детали. Но поскольку на самом деле их жесткость не может быть абсолютной, имеет место некоторая деформация самого податливого звена или системы звеньев, и в нашем случае самым податливым звеном является нежесткая деталь типа полый цилиндр, установленная в центрах устройства для КРДО. Эта деформация посредством податливости детали вызывает дополнительную силу, действующую на обрабатываемую деталь и суммирующуюся с силой резания и поверхностного пластического деформирования, поэтому сила резания и поверхностного пластического деформирования постоянно меняется во времени по длине обработки. В результате такого изменения сил изменяются точность обработанной детали и величина шероховатости ее поверхность.

Выводы

На процесс формирования погрешности обработки нежестких деталей типа полый цилиндр в технологической системе комбинированной режуще-деформирующей обработки влияют погрешности установки, погрешности статической и динамической настройки данной технологической системы.

Литература:

1. Анкин А.В. Повышение производительности и качества комбинированной обработки нежестких валов. Дисс. ... к.т.н., - М., МАМИ, 1993.
2. Справочник технолога-машиностроителя. Под ред. Косиловой А.Г., изд. 5-е, - М. Машиностроение, 1985, - Т. 1, 2.
3. Максимов Ю.В. Обеспечение качества и производительности обработки нежестких валов применением технологических систем с дополнительными контурами связи. Дисс. ... д.т.н., - М., МГТУ «МАМИ», 2000.
4. Папшев Д.Д. Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием. - М.: Машиностроение, 1978. - 152 с.
5. Справочник металлиста. В 5-ти т. Т.4. Под ред. Новикова М.П. и Орлова П.Н. - М.: Машиностроение, 1977. - 720 с.

Исследования кинематики процесса микрорезания при проектировании шлифовальных головок, предназначенных для формирования уплотнительных поверхностей на деталях трубопроводной арматуры

Гайсин С.Н., д.т.н. проф. Цвик Л.Б., Мухин С. В., Травин Д.В.
НИ ИрГТУ, ИрГУПС, ОАО «АНХК», ОАО «ИркутскНИИхиммаш»
8 964 655 21 28, gaisinsn@mail.ru

Аннотация. Исследуется отработка технологий шлифования уплотнительных поверхностей седел вентилях. Целью исследований является снижение трудоемкости и повышение качества при ремонте за счет механизации финишных этапов этого процесса. В рассматриваемой работе механизация осуществляется за счет применения мобильных шлифовально-притирочных устройств, предложена соответствующая теоретическая модель кинематического процесса микрорезания для кругового плоскопараллельного осциллирующего движения шлифовальных или притирочных дисков.

Ключевые слова: шлифовальная головка; инструмент; деталь-свидетель; вибрации; кинематика; процесс микрорезания.

Предварительные технологические испытания в режиме шлифования опытно-промышленной установки по формированию уплотнительной поверхности (УП) на образ-