

своим характеристикам механические дробилки [18].

#### Список литературы:

1. Сёмкин Б.В., Усов А.Ф., Курец В.И. Основы электроимпульсного разрушения материалов. СПб: Наука, 1995, 276 с.
2. Курец В.И., Усов А.Ф., Цукерман В.А. Электроимпульсная дезинтеграция материалов Апатиты: КНЦ РАН, 2002. 324 с.
3. Усов А.Ф. Полувекковой юбилей электроимпульсного способа разрушения материалов. Журнал «Вестник Кольского научного центра РАН» №4, 2012/(11), с.:173-201.
4. Важов В.Ф. Развитие научно-технологических основ электроимпульсного бурения и резания горных пород. Дисс. на соиск. ст. доктора техн. наук. Томск, 2014, с. 213.
5. Воробьев А.А., Воробьев Г.А., Завадовская Е.К., Каляцкий И.И., Кривко В.В., Панин В.Ф., Сёмкин Б.В., Торбин Н.М., Ушаков В.Я., Чепиков А.Т. Импульсный пробой и разрушение диэлектриков и горных пород. – Томск: Изд-во ТГУ, 1971. – 226 с.
6. Брылин В.И. Разрушение горных пород и бурения скважин с применением в качестве промывочной жидкости воды прямоугольными импульсами напряжения с наносекундным фронтом / дисс... канд. техн. наук/. Томск, 1972. – 150 с.
7. Седов Н.В. Исследование основных показателей при разрушении горных пород высоковольтными прямоугольными импульсами с наносекундным фронтом / дисс... канд. техн. наук. – Томск, 1975. – 169 с.
8. Чепиков А.Т. Исследование и разработка электроимпульсного способа бурения скважин / дисс... докт. техн. наук. – Томск: изд. ТПИ, 1968. – 420 с.
9. Сёмкин Б.В. Исследование физических основ и эффективности процесса электроимпульсного разрушения твёрдых

тел / дисс... канд. техн. наук. – Томск, 1966. – 212 с.

10. Рязанов Н.Д. Способ формирования электрических разрядов в жидкости. SU А.С. № 127313, 1985г.
11. Рязанов Н.Д., Левченко Б.С. Устройство для формирования электрических разрядов в жидкости. SU А.С. №1450698, 1987г.
12. Рязанов Н.Д., Левченко Б.С. Устройство для электроимпульсного разрушения твердых материалов. SU А.С. № 1524263, 1987г.
13. Левченко Б.С., Рязанов Н.Д. Высоковольтный электрод электроимпульсного породоразрушающего инструмента. SU А.С. № 1598513, 1989г.
14. Рязанов Н.Д. Явление снижения электрической прочности диэлектриков// Электронный научный журнал "Исследования технических наук". - 2014. - Выпуск 3(13) Июль-Сентябрь. С. 46-51. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [http://www.researches-of-technical-sciences.ingnpublishing.com/archive/2014/release-3-13-july-september/ryazanov\\_n\\_d\\_yavlenie\\_snizheniya\\_elektricheskoj\\_prochnosti\\_dielektrikov/](http://www.researches-of-technical-sciences.ingnpublishing.com/archive/2014/release-3-13-july-september/ryazanov_n_d_yavlenie_snizheniya_elektricheskoj_prochnosti_dielektrikov/)
15. Рязанов Н.Д. Научное подтверждение существования «темных молний». Электронный научный журнал «Austria-science», 1 часть, №20/2018, с. 47-49.
16. Рязанов Н.Д., Рязанова Н.Г. Способ электроимпульсного бурения скважин, электроимпульсный буровой наконечник. Патент RU № 2524101, 2014г.
17. Левченко Б.С., Рязанов Н.Д. Высоковольтный электрод электроимпульсного породоразрушающего инструмента. SU А.С. № 1688624, 1990г.
18. Сафронов В.Н. Исследование энергоёмкости электроимпульсной технологии дробления горных пород. Вестник ТГАСУ № 1, 2004, с. 81-88.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДАТЛИВОСТИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ БЛОКОВ

**Шиляев Сергей Александрович**

(Россия) – профессор кафедры «Автомобили и металлообрабатывающее оборудование», ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашикова»

**Федотов Роман Иванович**

(Россия) – магистрант кафедры «Автомобили и металлообрабатывающее оборудование», ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашикова»

**Воронов Виктор Владимирович**

(Россия) – магистрант кафедры «Автомобили и металлообрабатывающее оборудование», ФГБОУ ВО «Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашикова»

**Аннотация.** В данной работе рассмотрены проблемы повышения точности обработки отверстий на станках ЧПУ путем повышения точности и жесткости инструментальных блоков. Проведено исследование контактной жесткости инструментального блока.

**Ключевые слова:** Станок, ЧПУ, инструментальный блок, унификация, вспомогательный инструмент, режущий инструмент.

**Актуальность:**

Одним из условий эффективной эксплуатации станков с ЧПУ является применение быстросменных инструментальных блоков. Инструментальные блоки состоят из унифицированных вспомогательных и режущих инструментов. Унификация подразумевает использование минимально возможной номенклатуры вспомогательного и режущего инструмента. Несмотря на это точность обработки будет уменьшаться за счет использования составных элементов. В связи с этим большое значение приобретают исследования точности инструментальных блоков.

**Требования к инструменту для осуществления высокоскоростной и высокопроизводительной обработки:**

В связи с реализацией качественно иного процесса резания, возрастают требования к режущему инструменту, отметим наиболее важные: [2]

Биение менее 3 мкм и минимальный вылет с максимальной жесткостью закрепления. По некоторым данным существует практически линейная зависимость износа от биения инструмента при высоких скоростях резания. Например, биение величиной 10 мкм соответствует быстрому износу кромки инструмента на 10 мкм.

Обеспечение минимальной длины контакта инструмента с обрабатываемой деталью для снижения сил резания и риска возникновения вибрации.

Применение конических хвостовиков увеличенного размера, особенно для мелкогабаритного инструмента.

Использование мелкозернистых твердых сплавов с покрытием рабочих поверхностей для повышения износостойкости.

Наличие в инструменте отверстий для внутреннего подвода охлаждающей жидкости или сжатого воздуха.

Специальная геометрия режущей части при высокоскоростной обработке.

Применение инструментов симметричной формы. Например, в случае конструкции инструмента с одним зубом возникают силы отжатия, приводящие к потере точности. Для компенсации этого эффекта на противоположной стороне устанавливается второй зуб, что приводит к компенсации отжимающих усилий.

Концевая монолитная фреза должна иметь три канавки (с таким числом зубьев эта фреза становится наиболее пригодной для выполнения высокоскоростной обработки).

Следует выбирать фрезы с закругленной режущей кромкой для уменьшения вибрации.

Точность инструментальных блоков состоит из статической точности (точность позиционирования) и деформации инструментальных блоков.

Величина первичного отклонения вершины инструмента от номинального положения определяется по следующей формуле:

$$e_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (A_i k_i e_i)^2},$$

где  $A_i = \sum_{i=1}^n l_i / l_{Hi}$  – передаточное отношение  $i$ -го звена;

$k_i$  – коэффициент относительного рассеивания  $i$ -го звена;

$e_i$  – перекос или параллельное смещение оси;

$l_i$  – вылет  $i$ -го элемента компоновки;

$l_{Hi}$  – вылет на котором нормируется величина перекоса в  $i$ -ом соединении.

В зависимости от количества звеньев можно рассмотреть следующие варианты их соединения: [1]

- цельные оправки;
- составной инструмент из двух элементов: базового, который закреплен в шпинделе станка, и сменного (оправок, втулок и т.д.); вместо него можно крепить также режущий инструмент;
- составной инструмент из трех элементов: базового, промежуточного и сменного (или режущего инструмента);
- составной инструмент с базовым, двумя промежуточными и сменными элементами.

Рассмотрим случай  $e_{\Sigma}$  для наибольшего количества соединяемых элементов.

Согласно схеме сборки (рис. 1), можно выявить следующие составляющие погрешности:

- e1 – биение конического отверстия шпинделя;
- e2 – биение шпинделя от перекоса осей;
- e3 – биение базового агрегата от перекоса в соединении конусностью;
- e4 – биение сменной втулки или оправки от зазора в цилиндрическом соединении;
- e5 – биение посадочного отверстия базового агрегата;
- e6 – биение сменной втулки, оправки или режущего инструмента от перекоса в цилиндрическом или коническом соединении;
- e7 – биение конического отверстия в сменной втулке;
- e8 – биение сменной разрезной втулки или режущего инструмента от перекоса в коническом соединении;
- e9 – биение цилиндрического отверстия в сменной разрезной втулке.

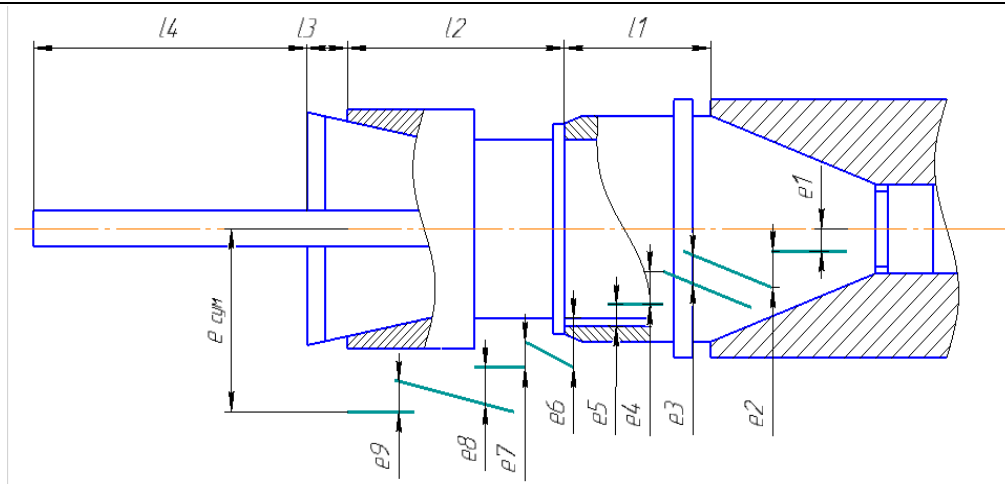


Рисунок 1 – Размерная цепь образования биений составного вспомогательного инструмента

Цель и задачи исследования:

Повысить точности обработки отверстий на станках ЧПУ возможно за счет повышения точности и жесткости инструментальных блоков.

Для решения поставленной задачи были проведены экспериментальные исследования, позволяющие определить влияние податливости державок на точность обработки, путем моделирования процесса обработки с различной степенью нагружения на инструмент.

При проведении эксперимента исследовалась контактная жесткость, как величина, обратная податливости. Исследование проводилось для цилиндрической оправки, так как установлено, что наибольшую точность обеспечивают цилиндрические присоединительные поверхности.

Ось цилиндрической оправки при установке и зажиме винтами в отверстия державки смещается, образуя неравномерные зазоры. Вследствие этого податливость соединения зависит от расположения рассматриваемого диаметрального сечения оправки относительно крепежных винтов. Выбор сечения с минимальной податливостью при конструировании расточных оправок и расположении в этом сечении вершины резца обеспечивает повышение точности обработки.

Работа выполнялась на фрезерном станке 6Н82. Для исследования применялись: динамометр ДМ 600, индикаторы ИЧ 10, цилиндрическая оправка  $\varnothing 23,9$  мм с нанесенными рисками через  $45^\circ$  (рис. 2).



Рисунок 2 – Установка для определения податливости инструментального блока

В шпинделе установлен инструментальный блок, состоящий из державки и цилиндрической оправки. Оправка нагружается силой в 1 кН с помощью динамометра, путем поперечного

перемещения стола, на котором закреплен динамометр. Точка приложения силы располагается на расстоянии 100 мм от торца державки (рис. 3).

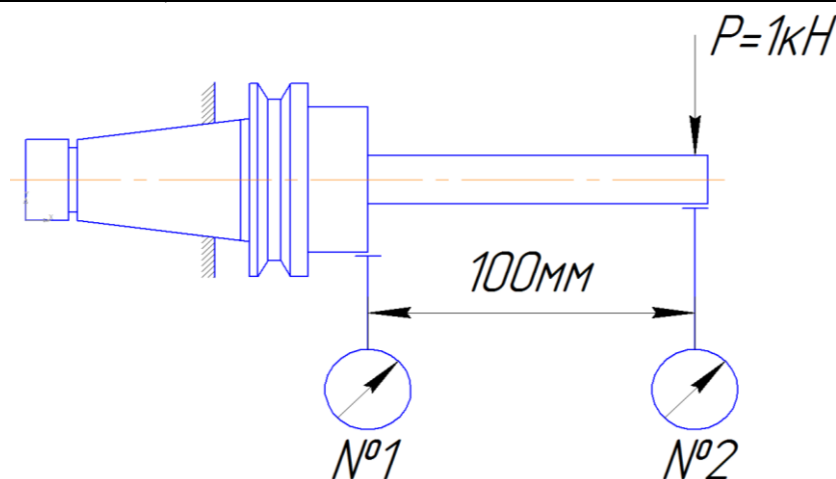


Рисунок 3 – Схема расположения индикаторов

Величина деформации у торца державки и в сечении приложения силы на оправке измеряются индикаторами №1 и №2.

Начало измерений осуществляется на риске № 2 (0°). Разность показаний индикаторов определяет деформацию (объемную и контактную) контрольной оправки. Затем измеряют деформации

последовательно № 3 (45°) – 8 (315°). Разность показаний индикаторов равна деформации оправки в соответствующих направлениях.

По результатам исследования была построена циклограмма податливости инструментального блока, показывающая сечение с минимальной и максимальной податливостью (рис. 4).

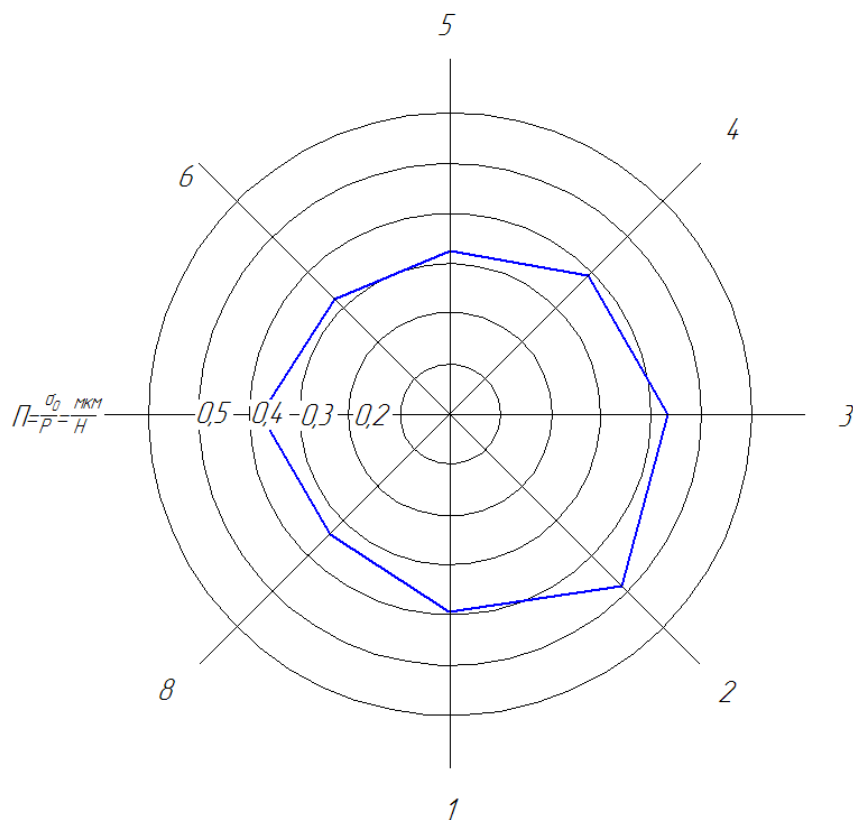


Рисунок 4 – Циклограмма податливости инструментального блока:  $\sigma_0$  – разность показаний индикаторов,  $P = 1000\text{H}$  – сила нагружения

**Заключение**

В результате проведения экспериментальных работ получили следующие результаты: по полученной циклограмме податливости инструментального блока, определены зоны наибольшего и наименьшего отклонения от оси инструмента, что позволяет, разместив режущий

инструмент в зоне наименьшего отклонения от оси, получить более высокую точность.

Решение проблемы высокоточной обработки с использованием составных элементов инструментальных блоков при осуществлении высокоскоростной и высокопроизводительной обработки возможно только на основе научно-

*обоснованных рекомендации по совершенствованию конструкции инструментальных блоков, что делает необходимым дополнительные исследования для разработки державок улучшенной конструкции и с последующим испытанием в условиях производства.*

#### **Список литературы**

Болотов М.А., Дмитриев В.Н., Проничев Н.Д., Смелов В.Г., Сурнов О.С., Высокоскоростная и высокопроизводительная обработка (режимы, характеристика станков, инструмент). Самара. Самарский государственный Аэрокосмический

университет им. академика С.П. Королева. 2010 г. 77с.

Гапонкин В.А. Обработка резанием, металлорежущий инструмент и станки. М.: «Машиностроение». 1990 г. 448с.

Панов А.А., Аникин В.В., И.Г. Бойм и др. Обработка металлов резанием: Справочник технолога. Под общ. ред. Панова А.А. М.: «Машиностроение», 1988 г. 769с.

Кожевников Д.В., Гречишников С.В., Кирсанов С.В., Кокарев В.И. Режущий инструмент. М.: «Машиностроение». 2005. 517с.