

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»

Кафедра автоматизированного оборудования
машиностроительного производства

ПРОЕКТНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Методические указания

к выполнению практических работ для студентов
направления 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств»,
профили: «Технология машиностроения», «Металлообрабатывающие
станки и комплексы», «Конструкторско-технологическое
обеспечение кузнечно-штамповочного производства»
всех форм обучения

Воронеж 2021

УДК 621.01 (07)
ББК 34.5я7

Составители:

д-р техн. наук, проф. С. Ю. Жачкин
канд. техн. наук, доц. М. Н. Краснова

Проектная деятельность: методические указания к выполнению практических работ для студентов направления 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», профили: «Технология машиностроения», «Металлообрабатывающие станки и комплексы», «Конструкторско-технологическое обеспечение кузнечно-штамповочного производства» всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: С. Ю. Жачкин, М. Н. Краснова. - Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2021. - 25 с.

В методических указаниях изложены требования и общие вопросы по выполнению практических работ, рассматриваются способы анализа и обобщения полученной информации, при изучении влияния различных условий и методов технологического воздействия на показатели качества изделий.

Предназначены для студентов направления 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств всех форм обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле Проект._деят._МУ.ПР._15.03.05.pdf.

Ил. 2. Табл. 6. Библиогр.: 6 назв.

УДК 621.01(07)
ББК 34.5я7

Рецензент – С. Н. Яценко, канд. физ.-мат. наук, доц. кафедры
автоматизированного оборудования машиностроительного
производства ВГТУ

*Издается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета*

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1

Экспериментальное исследование влияния угла резания инструмента на составляющие силы резания при точении резцом с твердосплавной пластиной

Цель: практическое ознакомление с основными принципами исследования влияния геометрии инструмента на силовые параметры обработки.

Известно, что с уменьшением переднего угла γ возрастает давление стружки на резец. Причина этого — уменьшение угла сдвига и увеличение силы трения по передней поверхности резца, так как при этом стружка все более отклоняется от своего естественного направления. Указанные обстоятельства способствуют деформации и как следствие — увеличению сопротивления резанию. А. Н. Челюсткин на основании данных Тиме, Зворыкина и своих исследований пришел к выводу: в пределах значений $\delta = 60\text{—}90^\circ$ сила резания P_z прямо пропорциональна углу резания δ . Таким образом, если принять P_z при $\delta = 75^\circ$ за единицу (при $\delta = 75^\circ$ определяется коэффициент резания), то при любом значении угла δ сила резания P_z будет

$$P_{z\delta} = P_{z75} \cdot \frac{\delta}{75}$$

Надо добавить, что степень влияния угла резания на силу P_z уменьшается с увеличением скорости резания. Это объясняется тем, что с увеличением угла δ при малых скоростях усиливается наклеп стружки и поверхности резания, в результате чего повышается сопротивление деформации и трение стружки о резец. Опыты К. В. Савицкого показали, что удельная работа трения непрерывно возрастает с увеличением степени наклепа. При больших, скоростях резания трение, наклеп и деформации уменьшаются, пластичность стружки увеличивается вследствие нагрева, и поэтому с увеличением угла резания силы резания растут, но в меньшей степени, чем это имеет место при пониженных скоростях.

Очевидно, при обработке хрупких металлов (чугун, бронза), когда деформация стружки и наклеп весьма незначительны, угол резания не будет оказывать заметного влияния на силы резания, что и подтверждается на практике.

При работе твердосплавными резцами влияние угла резания на все составляющие силы резания для случая обработки стали можно выразить эмпирическими формулами

$$P_z = C_{Pz} \delta^{z_{Pz}}$$

$$P_y = C_{Py} \delta^{z_{Py}}$$

$$P_x = C_{Px} \delta^{z_{Px}}$$

При наличии упрочняющей фаски на передней поверхности резца вдоль режущей кромки замечается значительное увеличение составляющих резания, как только ширина фаски достигнет определенной величины, зависящей от подачи (рис. 1.1). Надо полагать, что возрастание нагрузки должно быть тем большим, чем выше значение угла резания у самой фаски.

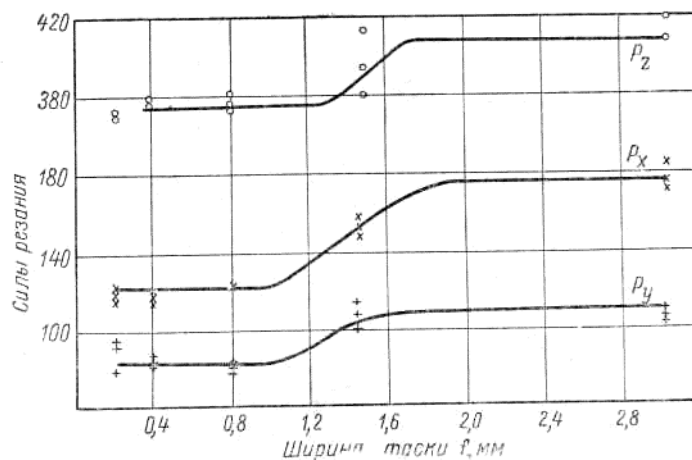


Рис. 1.1. Влияние ширины фаски на составляющие силы резания

Графо-аналитический метод обработки экспериментальных данных

Экспериментально установлено, что составляющие силы резания при точении в зависимости от угла резания могут быть определены по следующим формулам:

$$P_z = C_{Pz} \delta^{z_{Pz}}$$

$$P_y = C_{Py} \delta^{z_{Py}}$$

$$P_x = C_{Px} \delta^{z_{Px}}$$

$$(1.1)$$

где C_{Px} , C_{Py} , C_{Pz} - постоянные коэффициенты, зависящие от физико-механических свойств материала заготовки и условий обработки;

z_{Pz} , z_{Py} , z_{Px} - показатели степеней, учитывающие влияние режимов резания.

Значения постоянных коэффициентов показателей степеней и поправочных коэффициентов в выражениях (1.1) для конкретных условий обработки могут быть определены по однофакторной или многофакторной

методике, суть которых состоит в поочередном или одновременном изменении условия обработки.

При изменении только одного из параметров выражение (1.1) для каждой составляющей силы резания примет свой первоначальный вид:

Графически выражения (1.1) изображаются в виде графиков степенной функции. Нахождение коэффициентов C_p и показателей степеней z_p таких функций при экспериментальных исследованиях упрощается после логарифмирования

$$\ln P_z = \ln C_{p_z} + z_{p_z} \ln \delta \quad (1.2)$$

Полученные выражения аналогичны уравнениям первой степени вида

$$y = a + bx \quad (1.3)$$

Таким образом, выражения (1.2) в двойной логарифмической системе координат, т.е. когда по осям откладываются не сами величины а их логарифмы, изобразятся в виде прямых. При этом показатели степеней, показывающие соответственно степень влияния исследуемого фактора, численно равны тангенсам углов наклона линий функции $P_z = f(\delta)$ к горизонтальной оси

$$z_{p_z} = \operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{a_1}{b_1} \quad (1.4)$$

C_{p_z} , - коэффициенты, зависящие от материалов заготовки и инструмента, условий обработки и прочих факторов, численно равные составляющей P_z силы резания при единичных значениях t , s , v .

Порядок выполнения работы:

1. Определить физико-механические свойства обрабатываемого материала.
2. Измерить конструктивные и геометрические параметры резца, диаметр и длину заготовки.
3. Произвести тарировку динамометра и построить тарировочный график в координатах показания динамометра- сила резания.
4. Установить динамометр и заготовку на станок.
5. С помощью динамометра и тарировочного графика определить величины составляющих силы резания P_z , P_y и P_x в зависимости от изменения

угла резания инструмента при постоянных других геометрических параметрах инструмента, глубине резания $t = 1,0$ мм, подаче $s = 1,0$ мм/об и скорости резания $v = 20$ м/мин и занести данные в табл. 1.1.

6. На основании полученных данных в логарифмической системе координат строятся графики зависимостей $P_z(P_y, P_x) = f(\delta)$.

7. На основании данных табл. 1.1 и построенных графиков графо-аналитическим методом определить коэффициенты C и показатели степени z_{pz} , z_{py} , z_{px} зависимостей для каждой составляющей силы резания. При этом показатели степени z_{pz} , z_{py} , z_{px} определяются как $\text{tg}\alpha_1$, $\text{tg}\alpha_2$, $\text{tg}\alpha_3$ и т. д. выражение (1.4), а коэффициенты C - подстановкой в выражения (1.1) и (1.2) значений величин составляющих P_z , P_y , P_x при соответствующих значениях геометрического параметра инструмента из табл. 1.1. Каждое из значений z_{pz} , z_{py} , z_{px} , C_p определяется не менее трех раз и затем находится среднее арифметическое.

8. На основании полученных зависимостей $P_z(P_y, P_x) = f(\delta)$ сделать вывод о влиянии угла резания инструмента на составляющие силы резания P_z , P_y , P_x .

9. Оформить отчет по работе.

Таблица 1.1

№ подгруппы	№ опыта	Геометрия инструмента			Составляющие силы резания		
		α	δ	φ	P_z , кН	P_y , кН	P_x , кН
1	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
2	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
3	1						
	2						
	3						
	4						
	5						

4	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
5	1						
	2						
	3						
	4						
	5						

Содержание отчета

Отчет оформляется в специальной тетради грамотно и аккуратно. Все записи должны быть выполнены чернилами, а схемы и другой иллюстративный материал карандашом. Отчет представляется на проверку и подпись преподавателю по окончании работы и при сдаче зачета.

Отчет должен содержать следующие разделы:

1. Название, цель и содержание работы
2. Техническая характеристика станка.
3. Физико-механические свойства обрабатываемого материала.
4. Наименование, геометрия и инструментальный материал режущего инструмента.
5. Рабочий эскиз заданного инструмента со всеми видами, сечениями, разрезами, необходимыми для полного уяснения его геометрии (фронтальная, горизонтальная, при необходимости профильная проекции, сечения в главной и вспомогательной секущей плоскостях, дополнительные виды при необходимости).
6. Зависимость составляющих силы резания P_z , P_y , P_x , от исследуемого геометрического параметра инструмента (табл. 1.1).
7. Графики зависимостей $P_z(P_y, P_x) = f(\delta)$ в двойных логарифмических координатах.
8. Расчеты показателей степени Z_{pz} , Z_{py} , Z_{px} , и коэффициентов C_p в выражении (1.1).
9. Зависимости $P_z(P_y, P_x) = f(\delta)$ (1.1) с рассчитанными значениями Z_{pz} , Z_{py} , Z_{px} , и C_p .
10. Выводы.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2

Экспериментальное исследование влияния угла в плане инструмента на составляющие силы резания при точении резцом с твердосплавной пластиной

Цель: практическое ознакомление с основными принципами исследования влияния геометрии инструмента на силовые параметры обработки.

Из теории известно, что помимо угла резания на силу резания влияет также угол в плане φ ; нагрузка на резец увеличивается с уменьшением угла в плане и наоборот. Это понятно: при постоянной площади среза f с уменьшением угла в плане уменьшается толщина среза и соответственно увеличивается удельная сила резания. Опыт показывает, что нагрузка растет заметно лишь при весьма малых углах в плане $\varphi < 30^\circ$. Это подтверждается и формулой А. Н. Челюсткина.

Правда, опыт показывает и более сложную зависимость, когда при угле $\varphi > 55^\circ$ нагрузка не уменьшается, а растет с дальнейшим увеличением угла в плане, что объясняется изменением условий образования стружки у вершины резца. Практически с увеличением угла в плане нередко уменьшают вспомогательный угол в плане, чтобы таким образом сохранить угол при вершине во избежание ослабления резца (рис. 2.1). В таком случае сокращаются остаточные гребешки на обработанной поверхности изделия, следовательно, одновременно возрастает фактическая площадь среза, а тем самым и нагрузка на резец. Последняя может увеличиться еще и потому, что с уменьшением угла φ_1 усиливается роль вспомогательной режущей кромки, работающей в менее благоприятных условиях.

В действительности сила резания P_z может повышаться также вследствие уменьшения переднего угла γ при $\varphi > 55^\circ$, если передняя грань не перетачивается, ибо согласно теории

$$\operatorname{tg} \gamma = \cos \varphi \cdot \operatorname{tg} \gamma_y + \sin \varphi \cdot \operatorname{tg} \gamma_x$$

с возрастанием угла в плане величина $\sin \varphi$ увеличивается в меньшей степени, чем уменьшается $\cos \varphi$ при $\varphi > 55^\circ$, и, следовательно, будет увеличиваться фактический угол резания, а вместе с ним и сила P_z .

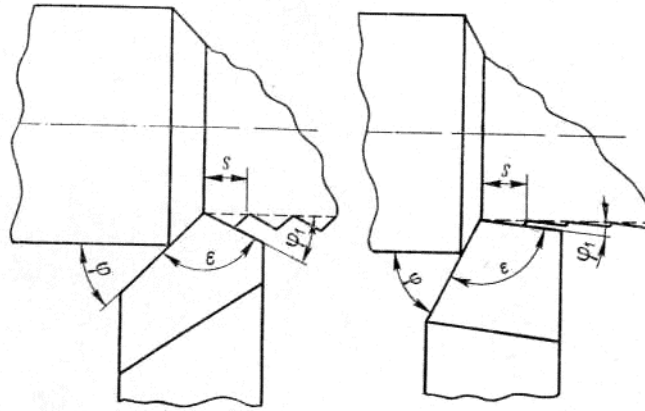


Рис. 2.1. Влияние углов в плане на величину остаточных гребешков

Комиссия по резанию металлов рекомендовала учитывать влияние угла в плане для стали по следующим структурным формулам для стали:

$$\begin{aligned}
 P_z &= \frac{C_{P_z}}{\varphi^{z_{pz}}} \quad \text{при } \varphi = 30^\circ - 90^\circ \\
 P_y &= \frac{C_{P_y}}{\varphi^{z_{py}}} \quad \text{при } \varphi = 30^\circ - 90^\circ \\
 P_x &= C_{P_x} \cdot \varphi^{z_{px}} \quad \text{при } \varphi = 30^\circ - 90^\circ
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

Графо-аналитический метод обработки экспериментальных данных

Экспериментально установлено, что составляющие силы резания при точении в зависимости от угла резания могут быть определены по следующим формулам (2.1), где C_{px} , C_{py} , C_{pz} - постоянные коэффициенты, зависящие от физико-механических свойств материала заготовки и условий обработки;

Z_{pz} , Z_{py} , Z_{px} , - показатели степеней, учитывающие влияние режимов резания;

Значения постоянных коэффициентов показателей степеней и поправочных коэффициентов в выражениях (2.1) для конкретных условий обработки могут быть определены по однофакторной или многофакторной методике, суть которых состоит в поочередном или одновременном изменении условия обработки.

При изменении только одного из параметров выражение (2.1) для каждой составляющей силы резания примет свой первоначальный вид:

Графически выражения (2.1) изображаются в виде графиков степенной функции. Нахождение коэффициентов C_p и показателей степеней z_p таких функций при экспериментальных исследованиях упрощается после логарифмирования

$$\ln P_z = \ln C_{p_z} + z_{p_z} \ln \varphi \quad (2.2)$$

Полученные выражения аналогичны уравнениям первой степени вида

$$y = a + bx \quad (2.3)$$

Таким образом, выражения (2.2) в двойной логарифмической системе координат, т.е. когда по осям откладываются не сами величины а их логарифмы, изобразятся в виде прямых. При этом показатели степеней, показывающие соответственно степень влияния исследуемого фактора, численно равны тангенсам углов наклона линий функции $P_z = f(\varphi)$ к горизонтальной оси

$$z_{p_z} = \operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{a_1}{b_1} \quad (2.4)$$

C_{p_z} , - коэффициенты, зависящие от материалов заготовки и инструмента, условий обработки и прочих факторов, численно равные составляющей P_z силы резания при единичных значениях t , s , v .

Аналогичные вычисления проводятся для P_x и P_y .

Порядок выполнения работы

1. Определить физико-механические свойства обрабатываемого материала.
2. Измерить конструктивные и геометрические параметры резца, диаметр и длину заготовки.
3. Произвести тарировку динамометра и построить тарировочный график в координатах показания динамометра - сила резания.
4. Установить динамометр и заготовку на станок.
5. С помощью динамометра и тарировочного графика определить величины составляющих силы резания P_z , P_y и P_x в зависимости от изменения главного угла в плане инструмента при постоянных других геометрических параметрах инструмента, глубине резания $t = 1,0$ мм, подаче $s = 1,0$ мм/об и скорости резания $v = 20$ м/мин и занести данные в табл. 2.1.
6. На основании полученных данных в логарифмической системе координат строятся графики зависимостей $P_z(P_y, P_x) = f(\varphi)$.
7. На основании данных табл. 2.1 и построенных графиков графо-аналитическим методом определить коэффициенты C и показатели степени z_{p_z} ,

Z_{py} , Z_{px} зависимостей для каждой составляющей силы резания. При этом показатели степени Z_{pz} , Z_{py} , Z_{px} определяются как $tg\alpha_1$, $tg\alpha_2$, $tg\alpha_3$ и т.д. выражение (2.4), а коэффициенты C - подстановкой в выражения (2.1) и (2.2) значений величин составляющих P_z , P_y , P_x при соответствующих значениях геометрического параметра инструмента из табл. 2.1. Каждое из значений Z_{pz} , Z_{py} , Z_{px} , C_p определяется не менее трех раз и затем находится среднее арифметическое.

8. На основании полученных зависимостей $P_z(P_y, P_x) = f(\varphi)$ сделать вывод о влиянии главного угла в плане инструмента на составляющие силы резания P_z , P_y , P_x .

9. Оформить отчет по работе.

Таблица 2.1

№ подгруппы	№ опыта	Геометрия инструмента			Составляющие силы резания		
		α	δ	φ	P_z , кН	P_y , кН	P_x , кН
1	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
2	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
3	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
4	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
5	1						
	2						
	3						
	4						
	5						

Содержание отчета

Отчет оформляется в специальной тетради грамотно и аккуратно. Все записи должны быть выполнены чернилами, а схемы и другой иллюстративный материал карандашом. Отчет представляется на проверку и подпись преподавателю по окончании работы и при сдаче зачета.

Отчет должен содержать следующие разделы:

1. Название, цель и содержание работы.
2. Техническая характеристика станка.
3. Физико-механические свойства обрабатываемого материала.
4. Наименование, геометрия и инструментальный материал режущего инструмента.
5. Рабочий эскиз заданного инструмента со всеми видами, сечениями, разрезами, необходимыми для полного уяснения его геометрии (фронтальная, горизонтальная, при необходимости профильная проекции, сечения в главной и вспомогательной секущей плоскостях, дополнительные виды при необходимости).
6. Зависимость составляющих силы резания P_z , P_y , P_x , от исследуемого геометрического параметра инструмента табл. 2.1.
7. Графики зависимостей $P_z(P_y, P_x) = f(\varphi)$ в двойных логарифмических координатах.
8. Расчеты показателей степени Z_{pz} , Z_{py} , Z_{px} , и коэффициентов C_p в выражениях (2.1) и (2.2).
9. Зависимости $P_z(P_y, P_x) = f(\varphi)$ (2.1), (2.2) с рассчитанными значениями Z_{pz} , Z_{py} , Z_{px} , и C_p .
10. Выводы.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3

Исследование влияния условий электроэрозионной размерной обработки заготовок проволочным электродом-инструментом на показатели качества и технико-экономической эффективности в рамках проводимого однофакторного лабораторного эксперимента

Цель: в рамках выполняемой практической работы студент должен получить представление о научных методах, используемых при подготовке и проведении исследований, в частности при выявлении закономерности влияния силы тока генератора импульсов электроэрозионного вырезного станка с ЧПУ на производительность процесса электроэрозионной обработки и

шероховатость формообразуемой поверхности, также уметь реализовывать общепринятые методики обработки теоретико-экспериментальных данных в рамках выполняемого научного исследования.

Электроэрозионная обработка заключается в изменении формы, размеров, шероховатости и свойств поверхностного слоя заготовки под воздействием электрических разрядов в результате электрической эрозии.

Технологические особенности практической реализации разновидностей размерной электроэрозионной обработки описаны в научно-технической литературе.

Содержание работы

В процессе выполнения практической работы для каждого из режимов и условий (параметров) размерной электроэрозионной обработки проволочным электродом-инструментом, представленных в табл. 3.1, осуществляют отрезание от заготовки в виде пластины из токопроводящего материала с размерами (длина - 50 мм, ширина - 20 мм, толщина - 4 мм) вдоль направления (ширина пластины) экспериментальные образцы толщиной (2 ... 3) мм по предварительно разработанной управляющей программе на электроэрозионном вырезном станке с ЧПУ с количеством параллельных опытов равным трем. В процессе отрезки измеряется время формообразования каждого из экспериментальных образцов и данные заносятся в табл. 3.2. Качество обработанной поверхности каждого из экспериментальных образцов оценивается по параметру - среднее арифметическое отклонение неровностей профиля, с помощью профилометра и данные измерений заносятся в табл. 3.2. Дальнейшие действия студента должны быть направлены на обработку экспериментальных данных и выявление закономерностей влияния силы тока на производительность обработки и шероховатость обработанной поверхности.

Средства технологического оснащения:

- станок - вырезной электроискровой 04ИВ200-2 с ЧПУ 2М43 и генератором тиратронным биполярных импульсов.
- электрод-инструмент - калиброванная проволока диаметром 0,3 мм, материал проволоки - латунь Л63, ГОСТ 1066.
- рабочая жидкость - вода водопроводная, ГОСТ 2874.

Таблица 3.1

Условия и режим электроэрозионной обработки

Условия (параметры) обработки	Номер режима		
	1	2	3
Напряжение генератора импульсов $U_{Ги}$, кВ	1,25	1,50	1,75
Сила тока генератора импульсов $I_{Ги}$, А	0,05	0,06	0,075
Частота следования импульсов $f_{Ги}$, кГц	12	12	12
Длительность импульсов $t_{и}$, мкс	3	3	3
Скважность импульсов q	5	5	5
Напряжение между электродом-инструментом и электродом-заготовкой $U_{МЭП}$, В	8	12	16
Материал электрода-заготовки (пластина), электрода-инструмента (проволока) и рабочая жидкость	Л63, АЛ6,	Л63, АЛ6,	Л63, АЛ6,
Скорость перемотки электрода-инструмента $V_{Эи}$, мм/мин	8	8	8
Сила натяжения электрода-инструмента $F_{Эи}$, Н	4	4	4
Скорость подачи электрода-инструмента $S_{Эи}$, мм/мин	3	3	3
Диаметр проволочного электрода-инструмента $d_{Эи}$, мм	0,3	0,3	0,3

Примечание. Значения параметров $U_{Ги}$, $I_{Ги}$, $f_{Ги}$, $V_{Эи}$, $F_{Эи}$ устанавливаются ручной настройкой. Значение параметра $S_{Эи}$ задается в управляющей программе. Значение параметра $U_{МЭП}$ контролируется визуально по вольтметру на стойке ЧПУ электроэрозионного вырезного станка и при необходимости корректируется через управляющий орган системы обратной связи.

Таблица 3.2

Результаты экспериментальных данных

№ режима	№ опыта	$I_{ГИ}$, А	$U_{ГИ}$, кВ	$U_{МЭП}$, В	T_0 , мин	$Ra_{э}$, мкм	$Q_{э}$, мм ³ /мин	Q_p , мм ³ /мин
1	1	0,05	1,25	8				
	2	0,05	1,25	8				
	3	0,05	1,25	8				
2	1	0,06	1,50	12				
	2	0,06	1,50	12				
	3	0,06	1,50	12				
3	1	0,075	1,75	16				
	2	0,075	1,75	16				
	3	0,075	1,75	16				

Примечание. T_0 - время формообразования экспериментального образца;
 $Ra_{э}$ - экспериментальное значение среднего арифметического отклонения неровностей профиля обработанной поверхности экспериментального образца;
 $Q_{э}$ - экспериментальное значение производительности обработки;
 Q_p - теоретическое (расчетное) значение производительности обработки.

Заготовка - пластина 50x20x4 мм из алюминия АЛ6, ГОСТ 2685. Профилометр мод. 296 или любой другой аналог. Штангенциркуль - ШЦ-I. Секундомер электронный.

Порядок выполнения работы

- изучают устройство и правила эксплуатации станка 04ИВ 200-2, системы ЧПУ 2М43 и генератора импульсов (техническая документация, помощь учебного мастера и преподавателя).

- закрепляют на столе станка заготовку в виде пластины.

- в соответствии с заданием (табл. 3.1) на каждом из режимов электроэрозионной обработки осуществляют отрезание от заготовки по три экспериментальных образца, контролируя время обработки секундомером с последующим занесением данных в табл. 3.2.

- после обработки замеряют с помощью профилометра среднее арифметическое отклонение профиля Ra обработанной поверхности каждого из экспериментальных образцов и данные об измерениях заносят в табл. 3.2.

- оценивают возможные промахи результатов измерения T_0 , мин и Ra , мкм (табл. 3.2) по критерию Шовине.

- оценивают экспериментальные значения производительности $Q_{э}$ электроэрозионного вырезания, данные вычислений заносят в табл. 3.2.

- по зависимости, приведенной ниже оценивают теоретические (расчетные) значения производительности Q_p электроэрозионного вырезания, данные заносят в табл. 3.2.

Под производительностью обработки непрофилированным электродом понимают отношение площади боковой поверхности паза ко времени обработки. Площадь боковой поверхности определяется произведением длины пути l , пройденного проволочным ЭИ в направлении подачи за время обработки t , на толщину заготовки b :

$$Q_p = \frac{l \cdot b}{t}$$

- строят графики зависимостей $Q_{\text{Э}}$ и R_a от $I_{\text{ГИ}}$.

- оценивают степень соответствия теоретических (расчетных) значений Q_p (табл. 3.2) значениям производительности полученным в результате проведенного лабораторного однофакторного эксперимента, опираясь по указанию преподавателя на реализацию методики проверки адекватности по критерию Фишера или по методу «наименьших квадратов».

- оценивают степень соответствия Q_p экспериментальным значениям $Q_{\text{Э}}$ путем построения графиков с последующей оценкой наибольшей относительной погрешности в расхождении результатов расчета с результатами эксперимента.

- выявляют математическую зависимость оценки R_a , мкм от $I_{\text{ГИ}}$, А на отрезке $I_{\text{ГИ}} \in [0,05; 0,06]$ А, опираясь на реализацию локальной линейной аппроксимации, и рассчитывают ожидаемое R_a , мкм при $I_{\text{ГИ}} = 0,055$ А.

- выявляют математическую зависимость оценки R_a , мкм от $I_{\text{ГИ}}$, А на отрезке $I_{\text{ГИ}} \in [0,05; 0,06]$ А, опираясь на реализацию локальной параболической аппроксимации, и рассчитывают ожидаемое R_a , мкм при $I_{\text{ГИ}} = 0,055$ А.

- оценивают абсолютную и относительную погрешности ожидаемого R_a при реализации разновидностей аппроксимации.

- выявляют математическую зависимость оценки $Q_{\text{Э}}$, мм³/мин от $I_{\text{ГИ}}$, А на отрезке $I_{\text{ГИ}} \in [0,05; 0,075]$ А, опираясь на реализацию глобальной линейной аппроксимации, и рассчитывают ожидаемое $Q_{\text{Э}}$, мм³/мин при $I_{\text{ГИ}} = 0,065$ А.

- составляют вывод о влиянии силы тока генератора импульсов на производительность обработки и шероховатость обработанной поверхности при электроэрозионном вырезании и сходимости расчетных и экспериментальных значений производительности электроэрозионного вырезания.

Содержание отчета

Отчет по практической работе включает в себя: титульный лист, цель работы, условия проведения лабораторного однофакторного эксперимента

(табл. 3.1), результаты экспериментальных данных (табл. 3.2), решения задач в соответствии с порядком выполнения работы.

Отчет сохраняют до заключительного занятия, на котором студенты обмениваются друг с другом полученной информацией для выявления взаимосвязей входных и выходных параметров исследуемой технологической операции.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4

Разработка научно-обоснованных технологических рекомендаций по обеспечению заданной точности сложнопрофильных изделий на операциях электроэрозионного вырезания, выполняемых на станках с ЧПУ

Цель: в рамках выполняемой практической работы студент должен научиться проектировать условия размерной электроэрозионной обработки сложнопрофильных (зубчатых) изделий на станках с ЧПУ, при которых гарантированно будет обеспечиваться их заданная точность, а также изучить способы анализа и обобщения полученной информации. Кроме этого, студент должен подтвердить правильность назначенных условий реализации размерной электроэрозионной обработки результатами проведенного лабораторного эксперимента и представить и защитить результаты проектной деятельности.

В настоящее время в отечественном машиностроении приобретает важное значение тенденция к разработке и внедрению альтернативных ресурсосберегающих технологий.

Контурное электроэрозионное вырезание проволочным электродом-инструментом на станках с ЧПУ применимо для формообразования венцов цилиндрических эвольвентных прямозубых зубчатых изделий (зубчатых колес, секторов, матриц, пуансонов) и в ряде случаев более эффективно по отношению к способам зубонарезания по методу обкатки (зубофрезерование, зубодолбление) по критерию - полная технологическая себестоимость обработки.

Несмотря на то, что парк технологического оборудования практически любого машиностроительного предприятия оснащен электроэрозионными вырезными станками с ЧПУ, обработка зубчатых изделий на этих станках ограничена, что может объясняться сложностью геометрии и отсутствием научно обоснованных рекомендаций по подготовке управляющих программ и назначению

режимов электроэрозионной размерной обработки с гарантированным обеспечением заданной (требуемой) точности формообразования.

Для решения задачи по обеспечению требуемой точности зубоформообразования необходимо выявить функциональную взаимосвязь между значимыми внешними конструкторско-технологическими факторами процесса размерной электроэрозионной обработки на станках с ЧПУ и выходными показателями оценки точности изготовления зубчатых изделий.

Содержание работы

В процессе выполнения практической работы для одного из условий (выдается преподавателем), представленных в табл. 4.1, и опираясь на методические рекомендации, осуществляют: автоматизированный расчет необходимого (оптимального) числа формообразующих точек торцового эвольвентного профиля боковой поверхности зуба зубчатого изделия и исследуют характер влияния способов формообразования этих поверхностей на число формообразующих точек (выбирают способ, обеспечивающий минимальное с точки зрения обеспечения заданной точности число формообразующих точек); автоматизированный расчет длины траектории перемещения проволочного электрода-инструмента при электроэрозионном вырезании венцов зубчатых изделий и оценивают степень соответствия рассчитанного значения полной длине траектории без учета особенностей интерполирования (работа линейно-кругового интерполятора системы ЧПУ станка); автоматизированный расчет показателей режима электроэрозионного зубовырезания и оценивают степень соответствия полученных данных результатам; подготовку управляющей программы электроэрозионного вырезания венца зубчатого изделия на станке с ЧПУ; вырезание зубчатого изделия и оценивают действительные значения параметров точности, используя специальные средства измерения (данные заносят в табл. 4.2). Дальнейшие действия студента должны быть направлены на анализ результатов измерений и формирование заключения о соответствии условий реализации размерной электроэрозионной обработки требуемой точности зубчатого изделия.

Варианты заданий (условий)

Условия обработки	Номер задания			
	1	2	3	4
Тип зубчатого изделия	Зубчатое колесо с наружным венцом	Зубчатое колесо с внутренним венцом	Зубчатое колесо с наружным венцом	Зубчатое колесо с внутренним венцом
Модуль зубчатого изделия m , мм	1,5	2,0	2,5	3,0
Число зубьев зубчатого изделия z	10	15	20	25
Степень точности	6	7	8	9
Материал зубчатого изделия	40X	30XГС	20X	45
Ширина зубчатого венца b , мм	2	4	6	8
Станок, генератор	04ИВ200-2 (СВЭИ-2, СВЭИ-7), тиратронный (ГКИ-300-200А)	то же	то же	то же
Диаметр d_i , мм и материал проволочного электрода-инструмента	0,1, Л68	0,2, Л63	0,3, Л63	0,25, Л68
Интерполяция	Линейная	Круговая	Линейная	Круговая
Вид обработки	Окончательная по сплошному металлу	Окончательная по формованной поверхности	Окончательная по сплошному металлу	Окончательная по формованной поверхности

Результаты эксперимента

№ опыта	m, мм	z	№ зуба		f_{fr} , МКМ	f_f , МКМ	f_{pbr} , МКМ	f_{pb} , МКМ	R_a , МКМ	$R_{анорм}$, МКМ
1			1	1*						
				2*						
			z - 6	1*						
				2*						
			z - 3	1*						
				2*						
2			1	1*						
				2*						
			z - 6	1*						
				2*						
			z - 3	1*						
				2*						
3			1	1*						
				2*						
			z - 6	1*						
				2*						
			z - 3	1*						
				2*						

Примечание. f_{fr} - погрешность торцового эвольвентного профиля зуба;
 f_f - допуск на погрешность торцового эвольвентного профиля зуба;
 f_{pbr} - отклонение шага зацепления; f_{pb} - допуск на отклонение шага зацепления;
 R_a - среднее арифметическое отклонение неровностей профиля боковой эвольвентной поверхности; $R_{анорм}$ - нормированное значение шероховатости боковой эвольвентной поверхности зуба; 1* , 2* - соответственно левая и правая боковые эвольвентные поверхности зуба

Средства технологического оснащения

- станок - вырезной электроискровой 04ИВ200-2 (аналог СВЭИ-2, СВЭИ-7) с ЧПУ 2М43 и генератором тиратронным (аналог ГКИ-300-200А).
- электрод-инструмент - калиброванная проволока диаметром от 0,1 до 0,3 мм из латуни Л63 и Л68, ГОСТ 1066.
- рабочая жидкость - вода водопроводная, ГОСТ 2874.

- заготовки - пластины под размер зубчатого изделия из сталей 45, 20Х, 30ХГС, 40Х.
- профилометр.
- универсальный зубоизмерительный прибор.
- эвольвентомер универсальный.

Порядок выполнения работы

- изучают методики, измерения зубчатых изделий, а также знакомятся со стандартами: ГОСТ 1643, ГОСТ 16532, ГОСТ 13755 и ГОСТ 9587.

- в соответствии с заданием, опираясь на использование методик, выполняют расчет необходимого (оптимального) числа формообразующих точек торцового эвольвентного профиля боковой поверхности зуба зубчатого изделия (расчет результатов должен прилагаться) и исследуют характер влияния способов формообразования этих поверхностей на число формообразующих точек (выбирают способ, обеспечивающий минимальное при прочих равных условиях с точки зрения обеспечения заданной точности число формообразующих точек).

- опираясь на использование методик, выполняют расчет длины траектории перемещения проволочного электрода-инструмента при электроэрозионном вырезании венца зубчатого изделия (расчет результатов должен прилагаться) и оценивают степень соответствия (через абсолютную и относительную погрешности) значения полной длине траектории без учета особенностей интерполирования.

- опираясь на использование методик, выполняют расчет показателей режима электроэрозионного зубовырезания (расчет результатов должен прилагаться) и оценивают степень соответствия полученных данных результатам вычислений.

- опираясь на использование методик, выполняют подготовку управляющей программы электроэрозионного вырезания венца зубчатого изделия на станке с ЧПУ (распечатка текста управляющей программы должна прилагаться). Разрабатывают технологический эскиз программной обработки.

- изучают устройство и правила эксплуатации оборудования для электроэрозионного зубовырезания (техническая документация на оборудование, помощь учебного мастера и преподавателя).

- закрепляют на столе станка заготовку в виде пластины под размер зубчатого изделия и по управляющей программе осуществляют вырезание зубчатого изделия (опыты повторяют три раза).

- осуществляют измерение действительных значений параметров точности изготовления зубчатого изделия (f_{fr} , f_{pbr} , R_a), используя, соответственно, эвольвентомер универсальный, универсальный зубоизмерительный прибор и профилометр. Результаты измерений заносят в табл. 4.2.

- составляют вывод о соответствии условий реализации размерной электроэрозионной обработки обеспечению требуемой точности зубчатого изделия, сопоставив действительные значения анализируемых параметров точности f_{fr} , f_{pbr} , R_a с их допустимыми значениями f_f , f_{pb} , $R_{анорм}$ (допуски устанавливаются по ГОСТ 1643).

Содержание отчета

Отчет по практической работе включает в себя: титульный лист, цель работы, задание (табл. 4.1), результаты экспериментальных данных (табл. 4.2), решения задач в соответствии с порядком выполнения работы.

Отчет сохраняют до заключительного занятия, на котором студенты обмениваются друг с другом полученной информацией по разработке научно обоснованных рекомендаций по обеспечению требуемой точности зубчатых изделий на операциях электроэрозионного вырезания, выполняемых на станках с ЧПУ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бобров В. Ф. Основы теории резания металлов. М.: Машиностроение, 1975, С 11-52.
2. Вульф А. М. Резание металлов. Л.: Машиностроение, 1973. С. 35-73.
3. Грановский Г. Г., Грановский В. Г. Резание металлов. М., Высш. школа, 1985 .
4. Немилов Е. Ф. Справочник по электроэрозионной обработке материалов. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1989. – 164 с.: ил.;
5. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. Учебник. М.: Юрайт, 2018. 480 с.
6. Горленко О. А., Борбаць Н. М. Статистические методы в управлении качеством. Учебник и практикум. М.: Юрайт, 2020. – 306 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1. Экспериментальное исследование влияния угла резания инструмента на составляющие силы резания при точении резцом с твердосплавной пластиной.....	3
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2. Экспериментальное исследование влияния угла в плане инструмента на составляющие силы резания при точении резцом с твердосплавной пластиной.....	8
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3. Исследование влияния условий электроэрозионной размерной обработки заготовок проволочным электродом-инструментом на показатели качества и технико-экономической эффективности в рамках проводимого однофакторного лабораторного эксперимента.....	12
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4. Разработка научно-обоснованных технологических рекомендаций по обеспечению заданной точности сложнопрофильных изделий на операциях электроэрозионного вырезания, выполняемых на станках с чпу.....	17
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	23

ПРОЕКТНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Методические указания

к выполнению практических работ для студентов
направления 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств»,
профили: «Технология машиностроения», «Металлообрабатывающие
станки и комплексы», «Конструкторско-технологическое
обеспечение кузнечно-штамповочного производства»
всех форм обучения

Составители:

Жачкин Сергей Юрьевич
Краснова Марина Николаевна

В авторской редакции

Компьютерный набор Е. Д. Зотовой

Подписано к изданию 22.09.21.

Уч.-изд. л. 1,6.