

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Утверждаю

Директор ИК

Захарова А.А.

« » _____ 2014 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ РЕЗАНИЯ

Методические указания к выполнению лабораторной работы по дисциплине
«Резание материалов и режущий инструмент»
для студентов, обучающихся по направлению 150700 «Машиностроение»

Томск 2014

УДК 621.9.01:681.5

Исследование силовых процессов резания.

Методические указания к выполнению лабораторной работы по дисциплине «Резание материалов и режущий инструмент» для студентов, обучающихся по направлению 150700 «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств».- Томск: Изд. ТПУ, 2014.-12 с.

Составители

ассистент А.Б. Ким

доц., канд. техн. наук А.Ю. Арляпов

доц., канд. техн. наук В.Н. Сбоев

Рецензент

доц., канд. техн. наук В.Ф. Скворцов

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром кафедры «Технология автоматизированного машиностроительного производства»

« ____ » _____ 2014 г.

Зав. кафедрой

доц., канд. техн. наук

А.Ю. Арляпов

Лабораторная работа № 3 «ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ РЕЗАНИЯ»

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Провести исследование силовых зависимостей процессов продольного точения.

ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Экспериментально получить зависимости технологических составляющих силы резания P_x, P_y, P_z от глубины резания t .
2. Экспериментально получить зависимости технологических составляющих силы резания P_x, P_y, P_z от скорости подачи s .
3. Экспериментально получить зависимость удельной мощности резания A_w от скорости подачи s .
4. Экспериментально получить зависимость удельной мощности резания A_w от глубины резания t .
5. Построить график зависимости составляющих силы резания P_x, P_y, P_z от глубины резания и подачи в логарифмических координатах. Используя построенные графики определить величины констант x и y эмпирического уравнения для расчета составляющих силы резания (2).
6. Определить численное значение константы C_p эмпирического уравнения (2).
7. Используя полученные графики объяснить, почему константы x_z и y_z всегда меньше единицы.
8. Объяснить, почему с ростом глубины резания и скорости подачи удельная мощность резания уменьшается, и какое это имеет значение для практики обработки резанием.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Экспериментальная часть работы проводится в два этапа. На первом этапе определяются величины составляющих силы резания при различных значениях глубины резания, на втором – при различных значениях скорости подачи. При этом остальные параметры, влияющие на величину силы резания, остаются неизменными. Таким образом, эксперимент является однофакторным. Результаты измерений заносятся в таблицу 1.

Последовательность выполнения работы:

1. Установить заготовку на станок и проточить цилиндрическую поверхность на длину 200 мм. Измерить диаметр d проточенного участка.
2. Установить такое число оборотов, чтобы скорость резания была примерно равна 1 м/с, скорость подачи 0,17 мм/об.
3. Установить глубину резания равную 4 мм, и в течении 20 секунд проводить обработку детали. Зафиксировать показания измерительных приборов динамометра и занести результаты в таблицу 1.
4. Уменьшить глубину резания на 0,5 мм и повторить пункт 3. В каждом последующем опыте уменьшать глубину резания на 0,5 мм.

Вторая серия опытов проводится в той же последовательности, что и первая. Глубину резания необходимо установить равной 2 мм, скорость подачи увеличивать от 0,07 до 0,52 мм/об. Показания динамометра занести в таблицу 1.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В результате взаимодействия резца с обрабатываемым материалом на его поверхностях возникают усилия резания (см. рис. 1):

1. Сила нормального давления на переднюю поверхность N .
2. Сила трения на передней поверхности F .
3. Сила нормального давления на заднюю поверхность N_1 .
4. Сила трения на задней поверхности F_1 .
5. Сила нормального давления N_2 и трения F_2 на радиусном участке при вершине резца (на рис. 1 не показаны).

Данные силы резания N , F , N_1 и F_1 называют физическими составляющими силы резания. При решении технологических задач (определение необходимой мощности станка, прочностные и точностные расчеты и др.) необходимо знать технологические составляющие силы резания. Так, при точении технологическими составляющими являются проекции результирующей силы резания на оси прямоугольной системы координат X , Y , Z . Между физическими и технологическими составляющими есть взаимосвязь, т.к. они являются компонентами одной и той же результирующей силы резания R .

$$R = N + N_1 + N_2 + F + F_1 + F_2 = P_x + P_y + P_z \quad (1)$$

На практике сначала определяют технологические составляющие, затем рассчитывают физические. Связь между физическими и технологическими составляющими усилий резания в главной секущей плоскости $N-N$ представлена на рис. 2.

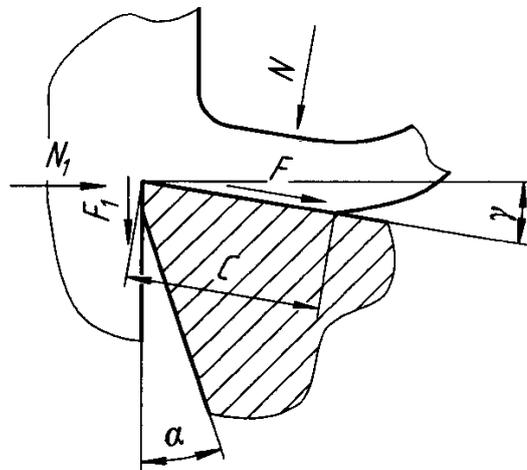


Рис. 1. Схема нагружения резца в процессе резания:
 N – сила нормального давления на переднюю поверхность; F – сила трения на передней поверхности; N_1 – сила нормального давления на заднюю поверхность; F_1 – сила трения на задней поверхности.

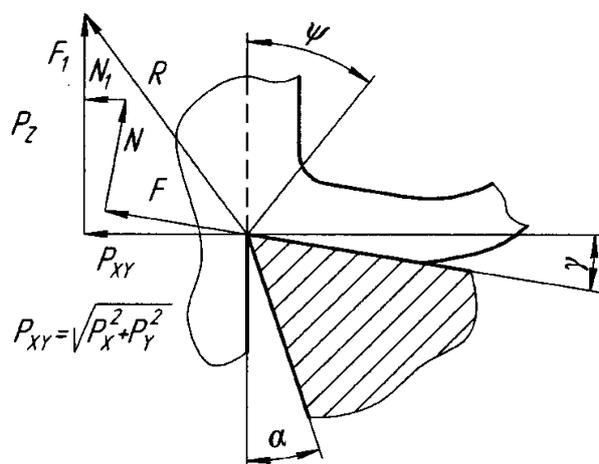


Рис. 2. Разложение равнодействующей силы резания: N , F , N_1 и F_1 – физические составляющие; P_{xy} и P_z – технологические составляющие.

На величину и направление силы резания оказывают влияние такие факторы как режимы резания, геометрические параметры инструмента, условия обработки, свойства инструментального и обрабатываемого материала. Эти факторы влияют на величину силы резания посредством изменения двух величин: величины сопротивления пластическому деформированию в зоне стружкообразования τ_ψ и величины угла сдвига ψ . При этом увеличение τ_ψ приводит к росту силы резания, а рост угла сдвига ψ – к уменьшению силы резания.

Влияние режимов резания

С увеличением скорости резания растет интенсивность тепловыделения и уровень температур в зоне стружкообразования, что приводит к увеличению угла сдвига и уменьшению τ_ψ , что приводит к снижению силы резания.

С увеличением скорости подачи (толщины срезаемого слоя a) прямо пропорционально растет площадь сдвига и соответственно должна возрасти сила резания. Но увеличение скорости подачи также увеличивает температуру и угол сдвига, что приводит к уменьшению силы резания. Однако первое влияние более существенно, поэтому при увеличении скорости подачи сила резания увеличивается.

При увеличении глубины резания (ширины срезаемого слоя) прямо пропорционально растет площадь сдвига. Температура практически не меняется, т.е. не меняется и угол сдвига. Поэтому при увеличении глубины резания сила резания будет увеличиваться.

Влияние геометрических параметров

Наибольшее влияние на величину силы резания оказывает величина переднего угла γ и главного угла в плане ϕ . Изменение переднего угла от отрицательных значений до нуля и дальнейшее увеличение в сторону положительных значений приводит к повороту линии направления действия максимальных касательных напряжений, а также плоскости сдвига, по часовой стрелке. Увеличение угла сдвига приводит к уменьшению площади плоскости сдвига, результатом чего является уменьшение силы резания.

Увеличение главного угла в плане ϕ при постоянных значениях s и t приводит к увеличению толщины и уменьшению ширины срезаемого слоя. В соответствии с изложенным выше это приведет к уменьшению силы резания.

Влияние механических свойств обрабатываемого материала

Как правило, с ростом предела прочности на растяжение σ_b увеличиваются касательные напряжения τ_ψ ; одновременно с этим происходит повышение интенсивности тепловыделения при резании. С увеличением σ_b пластичность обрабатываемого материала, как правило, уменьшается, что приводит к уменьшению зоны стружкообразования и увеличению величины угла сдвига ψ , и, как следствие, уменьшению силы резания. Эти факторы влияют на величину силы резания разнонаправленно. Практика обработки металлов резанием показывает, что, как правило, более значимым является первый фактор. Следовательно, с ростом σ_b сила резания увеличивается. Возможно и обратное явление.

Влияние теплопроводности материалов инструмента и заготовки

Уменьшение теплопроводности обрабатываемого и инструментального материалов при постоянных механических характеристиках приводит к повышению уровня температур в зоне стружкообразования, результатом чего является снижение τ_ψ , угол сдвига ψ при этом будет увеличиваться. Оба эти фактора будут приводить к уменьшению силы резания.

В данной работе будут исследоваться зависимости силы резания только от режимов обработки, глубины резания и скорости подачи. Типовые виды зависимости технологических составляющих силы резания от глубины резания и скорости подачи представлены на рис. 3 и 4. Как видно из этих зависимостей, при увеличении параметров обработки составляющие силы резания монотонно возрастают. Взаимосвязь между технологическими составляющими и параметрами обработки описывается следующими эмпирическими формулами:

$$P_z = C_{Pz} \times t^{xPz} \times s^{yPz} \times v^{nPz} \quad (2)$$

$$P_y = C_{Py} \times t^{xPy} \times s^{yPy} \times v^{nPy} \quad (3)$$

$$P_x = C_{Px} \times t^{xPx} \times s^{yPx} \times v^{nPx} \quad (4)$$

где C_p , x , y и n – константы, зависящие от вида обработки и обрабатываемого материала; v – скорость резания.

В выражениях (2...4) показатели степени x и y меньше единицы, что говорит о том, что силы резания меняются непропорционально параметрам резания, т.е. при увеличении глубины резания или скорости подачи, например, в два раза, составляющие силы резания увеличатся меньше чем в два раза.

Показатель степени n , стоящий в уравнениях (2), (3) и (4) у скорости резания v , отрицателен и очень мал, что говорит об уменьшении силы резания при увеличении v , но в незначительных пределах. При этом влияние скорости резания должно рассматриваться в зоне отсутствия нароста, т.е. $v > 50$ м/мин. В данной работе влияние скорости резания на силы рассматриваться не будет, поэтому будет приниматься, что $v^n \approx 1$.

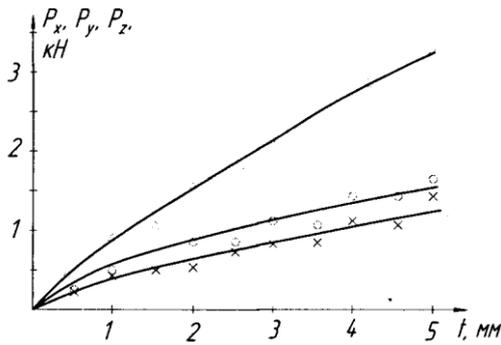


Рис. 3. Зависимости составляющих P_x , P_y и P_z от глубины резания t

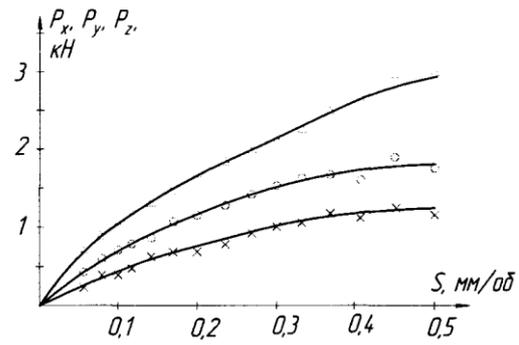


Рис. 4. Зависимости составляющих P_x , P_y и P_z от скорости подачи s

Важной характеристикой процессов резания является удельная мощность резания:

$$A_w = \frac{P_z \times v}{s \times t}, \text{ Вт/мм}^2 \quad (5)$$

Удельная мощность является энергетической характеристикой процесса резания. С увеличением глубины резания и/или скорости подачи удельная мощность монотонно уменьшается. Типовые зависимости удельной мощности резания от глубины резания и скорости подачи приведены на рис. 5 и 7. Данные зависимости показывают, что энергетически выгодно проводить обработку с большими сечениями срезаемого слоя.

Явление непропорционального изменения силы резания от глубины резания и скорости подачи, так же как и монотонное уменьшение удельной мощности резания при увеличении глубины резания и скорости подачи, имеет простое физическое объяснение.

Сила резания на резце представляет собой сумму сил, действующих на участке главной режущей кромки P_L и радиусном участке при вершине резца P_R (см. рис. 6). При уменьшении глубины резания в n раз длина активной части главной режущей кромки также уменьшится в n раз. При этом составляющая P_L уменьшится в n раз, а составляющая на радиусном участке P_R останется неизменной.

Удельная мощность резания увеличивается при уменьшении глубины резания потому, что сила резания на радиусном участке резца не зависит от глубины резания. Именно поэтому величины показателя степени x_P в уравнениях (2), (3) и (4) всегда меньше единицы.

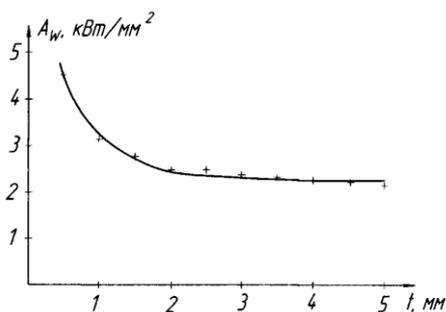


Рис. 5. Зависимость удельной мощности резания A_w от глубины резания t

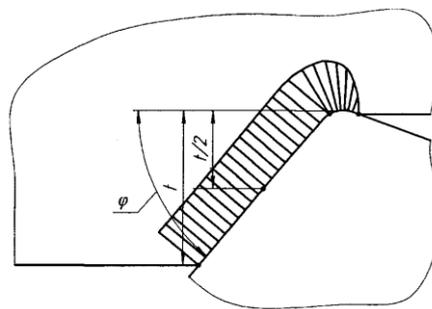


Рис. 6. Распределение нагрузки вдоль режущей кромки резца при его работе

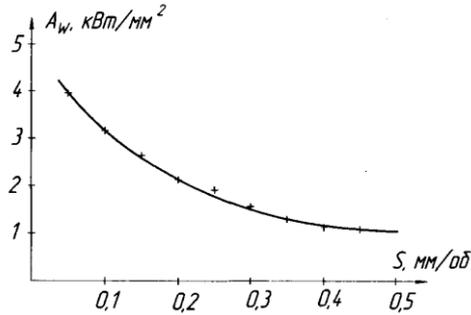


Рис. 7. Зависимость удельной мощности резания A_w от скорости подачи s

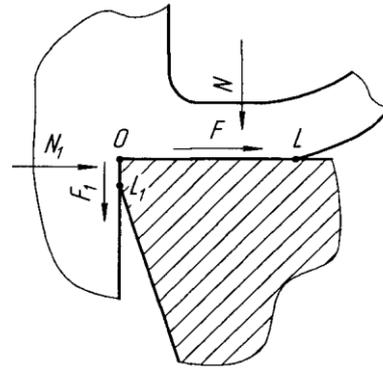


Рис. 8. Действие физических составляющих силы резания на площади контакта по передней и задней поверхностям резца

Подобным, но несколько иным механизмом объясняется и уменьшение удельной мощности резания при увеличении скорости подачи. Обратимся к схеме на рис. 8. Для простоты рассмотрим резец с нулевым передним углом $\gamma = 0^\circ$. Сила резания P_z в этом случае будет определяться суммой сил нормального давления на переднюю поверхность N и силой трения на задней поверхности F_1 .

$$P_z = N + F_1.$$

Сила трения F_1 от толщины срезаемого слоя не зависит, а сила нормального давления N меняется пропорционально толщине срезаемого слоя. Удельная мощность резания увеличивается при уменьшении скорости подачи потому, что сила трения на задней поверхности резца не зависит от толщины срезаемого слоя. Именно поэтому показатели степени y_p в эмпирических уравнениях (2), (3) и (4) всегда меньше единицы.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

1. Определить составляющие силы резания P_x , P_y , P_z из показаний динамометра.
2. Определить величину удельной мощности из выражения (3), где:

$$v = \frac{\pi \times d \times n}{60 \times 10^3}, \text{ м/с} \quad (6)$$

3. Построить графики зависимостей $P_x = f(t)$, $P_x = f(s)$, $P_y = f(t)$, $P_y = f(s)$, $P_z = f(t)$, $P_z = f(s)$, $A_w = f(s)$ и $A_w = f(s)$ в системе координат с линейными шкалами. Образцы оформления графиков приведены на рис. 3, 4, 5 и 7.

4. Определить константы C_{P_z} , x_{P_z} и y_{P_z} уравнения (2.1) в следующей последовательности:

4.1. Построить графики зависимостей $P_z = f(t)$ и $P_z = f(s)$ в системе координат с логарифмическими шкалами (см. рис. 9). Для определения констант x_{P_z} и y_{P_z} воспользуемся свойством логарифмирования степенного уравнения (системы координат с логарифмическими шкалами). Если прологарифмировать уравнение (2), то:

$$\lg P_z = \lg C_{P_z} + x_{P_z} \times \lg t + y_{P_z} \times \lg s. \quad (7)$$

Если $s = \text{const}$, то $y_{P_z} \times \lg s = \text{const}$. Тогда выражение $(\lg C_{P_z} + y_{P_z} \times \lg s)$ можно заменить на $\lg C$, где C – это коэффициент, отличный от C_{P_z} . Он временный, только для расчёта показателя x_{P_z} . Тогда уравнение (2.4) примет вид

$$\lg P_z = \lg C + x_{P_z} \times \lg t. \quad (8)$$

Уравнение (2.5) становится линейным в системе координат с логарифмическими шкалами и график $\lg P_z = f(\lg t)$ будет изображаться прямой линией, проходящей под углом α к оси абсцисс (рис. 9). Таким образом, величину x_{P_z} можно определить следующим образом:

$$x_{P_z} = \operatorname{tg} \alpha = a/b. \quad (9)$$

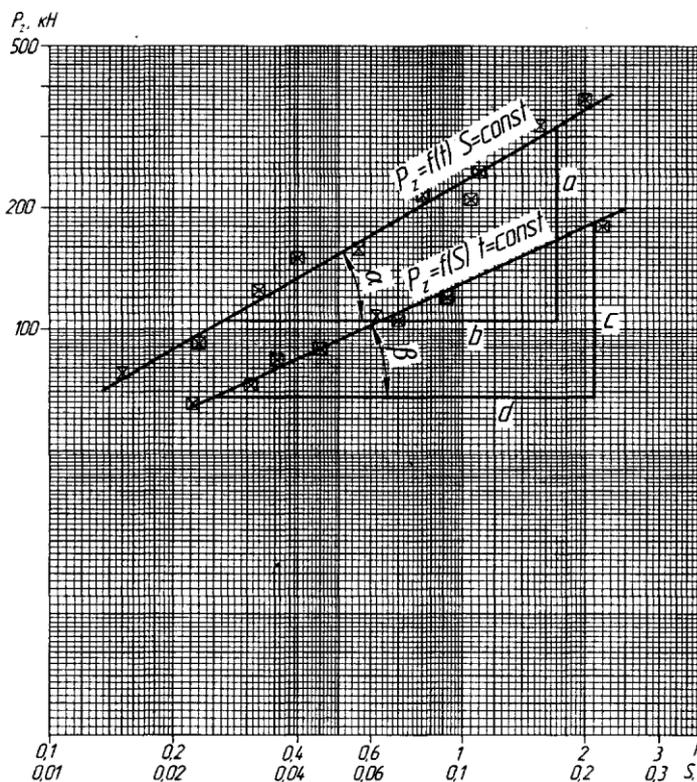


Рис. 9. Определение показателей степеней x_{P_z} и y_{P_z} графическим способом

Аналогично построив зависимость $P_z = f(s)$ при $t = \text{const}$ в системе координат с логарифмическими шкалами можно будет определить величину y_{P_z} как:

$$y_{P_z} = \operatorname{tg} \beta = c/d. \quad (10)$$

Для определения константы C_{P_z} необходимо в формулу (2) подставить значения глубины резания t и скорости подачи s с уже рассчитанными значениями коэффициентов x_{P_z} и y_{P_z} , а также экспериментально полученную при этих параметрах величину силы P_z :

$$C_{P_z} = \frac{P_z}{t^{x_{P_z}} \times s^{y_{P_z}}} \quad (11)$$

5. Записать формулу (2) с найденными величинами констант.

Таблица 1

Экспериментальное определение составляющих силы резания при изменении подачи и глубины резания

№ п/п	t, мм	s, мм/об	I_{Pz} , мА	Pz , Н	I_{Py} , мА	P_y , Н	I_{Px} , мА	P_x , Н	v , м/с	A_w , Вт/мм ²
1	2	0,07								
2	2	0,11								
3	2	0,15								
4	2	0,21								
5	2	0,26								
6	2	0,34								
7	2	0,43								
8	2	0,52								
9	4	0,15								
10	3,5	0,15								
11	3	0,15								
12	2,5	0,15								
13	2	0,15								
14	1,5	0,15								
15	1	0,15								
16	0,5	0,15								

Примечание: диаметр заготовки $d = \underline{\hspace{2cm}}$, мм; частота вращения шпинделя $n = \underline{\hspace{2cm}}$, об/мин;
 материал заготовки: $\underline{\hspace{4cm}}$; материал резца: $\underline{\hspace{4cm}}$.

ТРЕБОВАНИЯ К ОТЧЕТУ

Отчет оформляется на листах формата А4 или А5. Отчет должен обязательно содержать следующие пункты:

1. Название работы.
2. Цель работы.
3. Основное содержание и краткая последовательность выполнения.
4. Необходимые графические материалы: таблицы и графики.
5. Основные выводы по работе. Основные выводы и цель работы должен быть взаимосвязаны, т.е. в выводах должны быть даны ответы на все вопросы, поставленные в цели работы.
6. Теоретическое объяснение полученных результатов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какова цель выполнения данной лабораторной работы?
2. Какие параметры и каким образом влияют на силу резания?
3. Какие силы действуют на переднюю поверхность инструмента?
4. Как влияет главный угол в плане ϕ на соотношение P_y/P_x ?
5. Что определяет коэффициент C_P ?
6. Как из графика определить, что коэффициенты x и y меньше единицы?
7. Почему коэффициенты x и y всегда меньше единицы?
8. Как сделать коэффициент x равным 1?
9. Как сделать так, чтобы коэффициент x стремился к 0?
10. Почему при увеличении параметров s t происходит уменьшение удельной мощности резания (вывод из анализа формулы)?
11. Как выровнять график $A_w=f(t)$?
12. Какие погрешности влияют на точность проведения эксперимента?

13. Для чего выполняется построение графиков зависимости технологических составляющих силы резания в логарифмических координатах?
14. Можно ли получить значения коэффициентов x и y из графиков, представленных в обычных координатах?
15. От чего зависит точность получения значений коэффициентов x и y ?
16. Почему с увеличением главного угла в плане сила P_z уменьшается?

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 25762-83 Обработка резанием. Термины, определения и обозначения общих понятий.
2. Резание металлов : учебное пособие для вузов / Г. И. Грановский, В. Г. Грановский. – М.: Высшая школа, 1985. – 304 с.
3. Металлорежущие инструменты : учебник / Д. В. Кожевников, С. В. Кирсанов; Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во ТГУ, 2003. – 392 с.
4. Резание металлов / А. М. Вульф. – М.; Л.: Машгиз, 1973. – 496 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ РЕЗАНИЯ

Методические указания к выполнению лабораторной работы по дисциплине «Резание материалов и режущий инструмент» для студентов, обучающихся по направлению 150900 «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств»

Составители

ассистент А.Б. Ким
доц., канд. техн. наук А.Ю. Арляпов
доц., канд. техн. наук В.Н. Сбоев

Рецензент

кандидат технических наук Скворцов В.Ф.

Подписано к печати 05.11.2012. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл.печ.л. 9,01. Уч.-изд.л. 8,16.
Заказ . Тираж 100 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Система менеджмента качества
Издательства Томского политехнического университета сертифицирована
NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO 9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  ТПУ. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru