

УДК 621.9.026

Е.А. Левченко, ассистент,

Ю.К. Новоселов, профессор, д-р техн. наук

Севастопольский национальный технический университет,

ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Украина, 99053

tm@sevntu.com.ua

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА АБРАЗИВНОЙ РАЗРЕЗКИ ТРУБ

Приведена методика проведения экспериментальных исследований энергосиловых параметров процесса абразивной резки труб. Представлены рекомендации, позволяющие снизить теплонапряженность процесса, установить рациональные режимы обработки.

Ключевые слова: *силы резания, измерительный комплекс, датчики усилий, тангенциальная составляющая силы бокового резания, отрезной круг, режимы резания, пластическая деформация.*

Силы резания при абразивной резке являются результатом взаимодействия рабочей поверхности отрезного круга с разрезаемой деталью. В результате такого взаимодействия режущие элементы абразивных зерен, расположенные на боковых поверхностях инструмента, снимают мельчайшие по размерам стружки и поэтому силы, развиваемые отдельными зернами, являются незначительными. Однако вследствие массового микрорезания большим количеством одновременно работающих зерен суммарные силы резания могут достигать максимальных величин [1]. Иногда мощность привода отрезного станка является ограничивающим фактором при назначении режимов обработки.

Значение действующей при абразивной резке силы резания является важнейшей характеристикой процесса обработки. С увеличением сил резания увеличивается износ круга и сокращается период его стойкости, повышается температура в зоне резания и в поверхностных слоях детали, увеличивается шероховатость и снижается точность обработки.

Знание составляющих силы резания при абразивной резке необходимо для определения величины припуска, снимаемого торцом круга, теплового потока, идущего в материал трубы и вызывающего возникновение тепловых полей в ее поверхностных слоях, глубины и характера структурно-фазовых превращений в этих слоях, требуемой мощности привода отрезного круга. От сил резания зависит величина деформации элементов технологической системы, износостойкость режущего инструмента, точность обработки деталей и т.д.

Исследование характера сил резания и зависимостей их величин от режимов резания и необходимого качества обработки при резке отрезным кругом необходимо для определения степени точности результатов моделирования реальных процессов.

Целью данной статьи является анализ результатов экспериментальных исследований, направленных на изучение возникающих сил резания в результате взаимодействия отрезного круга и детали с учетом влияния технологических параметров процесса обработки на их величину.

При проведении экспериментальных исследований по определению зависимости сил резания в процессе резки отрезными кругами труб из углеродистых сталей от режимов обработки и параметров отрезного круга был использован специальный измерительный комплекс (рисунок 1), включающий в себя: малоинерционные датчики усилий; систему управления, регистрации и обработки информации; ПК с графическим дисплеем; печатающее устройство для вывода информации.

Датчики сил служат для измерения радиальных и тангенциальных составляющих силы резания. Масштабирующий усилитель предназначен для согласования малого уровня выходного сигнала от датчиков усилий с системой обработки данных. Аналого-цифровой преобразователь (АЦП) позволяет преобразовывать аналоговую информацию в 8-ми разрядный параллельный код. Блок управления осуществляет управление функционированием АЦП, ПК с масштабирующим усилителем. ПК служит для обработки полученной информации и преобразования ее в виде графиков, таблиц и баз данных.

Для измерения радиальной и тангенциальной составляющих силы резания использован специальный динамометр (рисунок 2), в котором тензометрические датчики герметично изолированы.

Динамометр позволяет измерять силы резания в диапазоне от 2,94 Н до 1294 Н с точностью ± 1 Н.

Базовой деталью динамометра является основание 1, которое закрепляется на столе станка. На основании 1 размещены пазы для расположения шариков 10, по которым перемещается верхняя плита 2 с закрепленным на ней пружинным элементом 5 на котором, в свою очередь, закреплены призматические тиски 6 с разрезаемой трубой 7. Пружинный элемент создает предварительное нагружение датчика измерения усилий 4 величиной 3 – 5 Н. Такое же действие производит винт регулировки силы прижатия

3. При проведении экспериментов производилась тарировка датчиков усилий. Отрезным кругом 8 разрезается закрепленная труба 7, полученный сигнал от датчиков 4 поступает для преобразования и обработки в ПК.

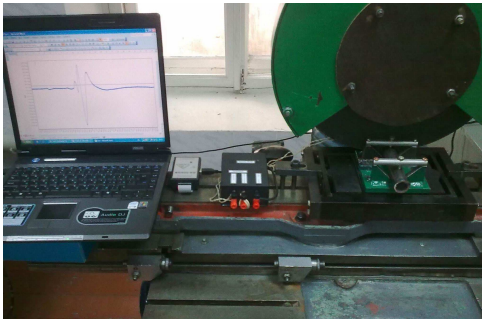


Рисунок 1 – Общий вид испытательного комплекса по измерению сил резания при абразивной разрезке

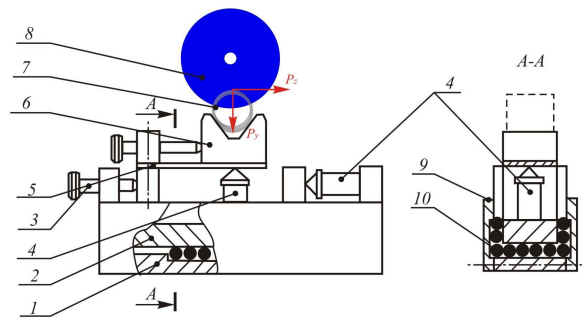


Рисунок 2 – Схема динамометра для замера составляющих силы резания: 1 – основание; 2 – подвижная часть динамометра; 3 – винт для регулировки силы прижатия подвижной части динамометра к датчику усилий; 4 – датчик измерения усилий ЛХ – 143; 5 – упругий элемент; 6 – тиски; 7 – труба; 8 – круг; 9 – боковые пластины для удержания шариков; 10 – шарики

Диаграмма изменения радиальной и тангенциальной составляющих силы резания при абразивной разрезке представлена на рисунке 3. Дальнейшая обработка экспериментальных данных проводится в пакете программы «Excel». Требуемый диапазон графика делится на 10 отрезков, в каждом из которых определяется максимум силы, затем определяются ее среднестатистические значения.

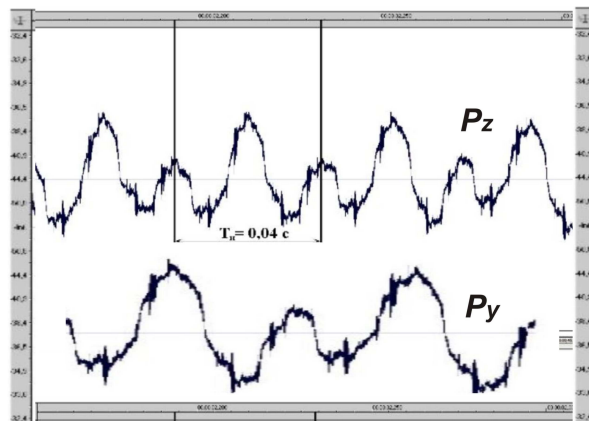


Рисунок 3 – Диаграмма изменения радиальной и тангенциальной сил резания при абразивной разрезке:

$$V_k = 80 \text{ м/с}; d_3 = 26,9 \text{ мм}; \text{материал трубы – сталь 1пс}; S_y = 5 \text{ мм/с}$$

Замеры суммарной тангенциальной составляющей силы резания проводились при использовании специальной методики [2] (рисунок 4, а). После этого измерялась тангенциальная составляющая силы резания от боковых сторон отрезного круга. Для этого испытания отрезных кругов проводились следующим образом. Две части предварительно разрезанной трубы сдвигали и резали при различных величинах зазора. При этом замеряли тангенциальную составляющую силы резания. Величина припуска, срезаемого обеими боковыми сторонами определялась как разность между высотой круга и величиной зазора между двумя половинами предварительно разрезанной трубы $H-h$ (рисунок 4, б). Величину тангенциальной составляющей силы резания измеряли при различных величинах припуска и строили график зависимости тангенциальной силы от величины припуска $H-h$ (рисунок 5).

При этом минимальный припуск устанавливали равным половине размера абразивного зерна для обеспечения условий резания боковыми сторонами, так как, в противном случае, условия взаимодействия боковых поверхностей круга со стенками сдвинутых труб отличались бы от условий такого взаимодействия при обычной разрезке.

Количественную оценку величины тангенциальной составляющей силы резания от боковых сторон отрезного круга производили графически, путем экстраполяции. Для этого график зависимости тангенциальной силы от величины припуска продолжали до оси ординат. Точка пересечения продолжения графика с осью ординат и характеризует величину тангенциальной составляющей силы резания от боковых сторон отрезного круга.

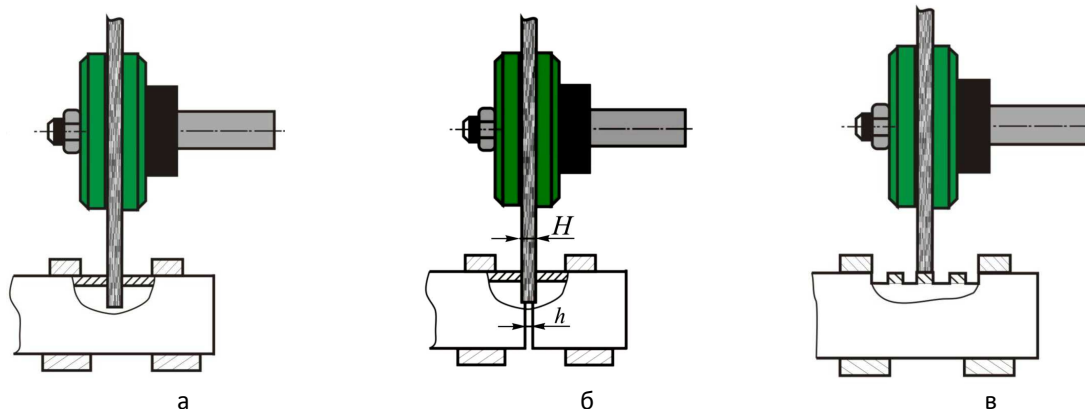


Рисунок 4 – Схемы определения тангенциальной составляющей силы резания от периферии и боковых сторон круга

При резании деталей с зазором, во избежание изгиба круга в процессе резки, зазор располагался симметрично относительно средней плоскости круга.

Для того чтобы выделить силу резания от периферии отрезного круга исключалась сила резания от его боковых поверхностей. Для этой цели в детали прорезались пазы таким образом, чтобы толщина стенок между пазами была равна высоте круга, при разрезке которых определялась суммарная тангенциальная составляющая силы резания и сила от боковых сторон. Тангенциальная сила резания от периферии отрезного круга измерялась как при врезном шлифовании стенок детали кругом той же характеристики (рисунок 4, в).

В результате проведенных исследований построены кривые, показывающие изменения суммарной тангенциальной составляющей силы P_z и тангенциальных составляющих сил от периферийной P_z^n и боковых P_z^b поверхностей отрезных кругов по мере разрезки труб (рисунок 5).

Тангенциальная составляющая силы резания от периферийной части круга зависит от длины контакта круга с трубой (рисунок 6). Она максимальна, когда площадь контакта периферийной части круга достигнет своих максимальных значений, т.е. в области окончания разрезки стенок трубы на начальном этапе процесса и в момент внедрения круга в материал противоположных стенок трубы в конце процесса разрезки.

Сила от бокового трения достигает своей максимальной величины ближе к концу операции разрезки, что связано, по-видимому, с возрастанием площади контакта боковых сторон отрезного круга с трубой по мере разрезки.

Анализ характера изменения суммарной тангенциальной силы показывает, что она достигает своей максимальной величины также ближе к этапу окончания разрезки, т.е. максимум силы несколько сдвинут от центра трубы, что согласуется изменением тангенциальной силы от боковых сторон круга. Этот факт объясняет часто встречающиеся на практике случаи заклинивания отрезного круга в конце операции разрезки, хотя длина дуги контакта периферийной части круга при этом уменьшается.

На рисунке 6 пунктирной линией показано изменение суммарной тангенциальной силы, полученной путем сложения тангенциальных сил от периферии и торцов отрезного круга. Несколько завышенные значения расчетной силы по сравнению с экспериментальной объясняются особенностью методики измерения сил.

Измерение тангенциальной составляющей силы резания осуществлялось не в реальном процессе разрезки, а как при врезном шлифовании, где отсутствует боковое резание, что, по-видимому, приводит к уменьшению выделения теплоты при шлифовании и, следовательно, к снижению степени разупрочнения срезаемого слоя. По этой причине измеряемая сила от периферии круга больше, чем в реальном процессе разрезки.

Из анализа результатов проведенных исследований видно, что на тангенциальную составляющую силы резания от периферии круга состояние его боковых сторон практически не влияет.

Она зависит лишь от высоты, характеристики и длины контакта периферийной поверхности круга с трубой. Состояние боковых сторон круга и погрешности его геометрических параметров влияют лишь на боковую тангенциальную составляющую силы резания, а через нее и на суммарную тангенциальную силу при разрезке.

Исходя из этого, для оценки свойств торцевых поверхностей отрезных кругов наиболее целесообразно в качестве критерия использовать тангенциальную составляющую силы резания от их боковых сторон. Поэтому в ходе дальнейших исследований в качестве критерия использовалась не суммарная тангенциальная сила, а лишь составляющая ее часть от резания боковыми сторонами.

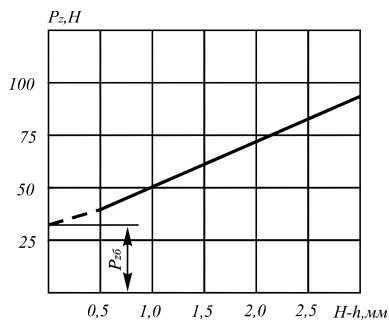


Рисунок 5 – Зависимость тангенциальной составляющей силы резания при разрезке от величины срезаемого боковыми поверхностями припуска: $V_K = 80$ м/с; $d_3 = 26,9$ мм; материал трубы – сталь 1пс; $S_y = 8$ мм/с; круг $D_K = 400$ мм 400×4×32 14AF30

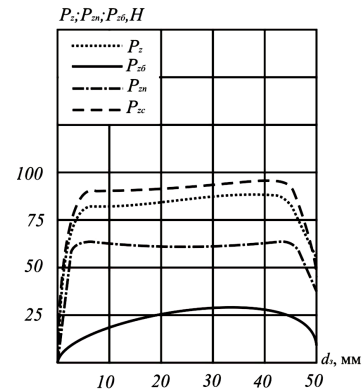


Рисунок 6 – Изменение тангенциальной составляющей силы резания по мере разрезки трубы отрезным кругом: $V_K = 80$ м/с; $D_K = 400$ мм; $d_3 = 26,9$ мм; материал трубы – сталь 1пс; $S_y = 8$ мм/с

На рисунках 7 – 8 представлены графики, отображающие влияние технологических факторов на параметры процесса P_z^{δ} . Графики построены на основе полученных регрессионных зависимостей.

Анализ полученных результатов однозначно показывает, что тангенциальная составляющая силы бокового резания с увеличением подачи возрастает, так как увеличивается объем удаляемого металла в единицу времени (рисунок 7).

Увеличение площади контакта отрезного круга и трубы $F_{БК}$ приводит к увеличению количества находящихся одновременно в зоне контакта круга с трубой режущих зерен n_3 . За счет увеличения единичных, динамически воздействующих силовых источников соответственно возрастает и сила резания.

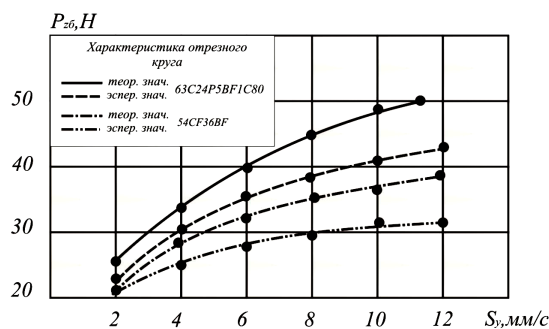


Рисунок 7 – Зависимость тангенциальной составляющей силы бокового резания от величины подачи: $V_K = 80$ м/с; $D_K = 300$ мм; $d_3 = 26,9$ мм; материал трубы – сталь 1пс

На рисунке 8 показано изменение тангенциальной составляющей силы от боковых сторон отрезного круга P_z^{δ} в зависимости от числа зерен на единице его торцевой поверхности n_3 . Для всех исследованных подач характер изменения силы P_z^{δ} аналогичен. По мере увеличения числа зерен на

единице боковой поверхности отрезных кругов тангенциальная составляющая силы бокового резания P_z^{δ} сначала несколько снижается, а затем снова возрастает.

Такой характер изменения силы P_z^{δ} свидетельствует о том, что при малом числе зерен нагрузка на них велика, они быстро притупляются и радиус их закругления ρ_3 увеличивается.

Это приводит к тому, что отношение толщины стружки к радиусу закругления абразивных зерен ξ уменьшается, а, следовательно, возрастают силы трения и пластической деформации при микрорезании единичными зернами [3, 4]. Увеличение числа зерен снижает нагрузку на отдельные зерна, затупление их происходит менее интенсивно, поэтому зерна сохраняются более острыми, т.е. с увеличением числа зерен на боковой поверхности радиус их закругления ρ_3 уменьшается.

Отношение возрастает, в результате чего силы P_z^{δ} несколько снижаются. Дальнейшее увеличение числа зерен вызывает уменьшение глубины резания t , удаляемых единичными зернами, а, следовательно, и отношение ξ . Вследствие этого возрастает доля работ трения и пластической деформации, совершаемых единичными зернами, расположенными на торцах отрезных кругов, и силы P_z^{δ} снова увеличиваются.

Анализ результатов экспериментальных исследований показывает, что при определенных условиях и режимах разрезки и оптимальном числе зерен контактная температура и силы бокового резания достигают минимальных значений.

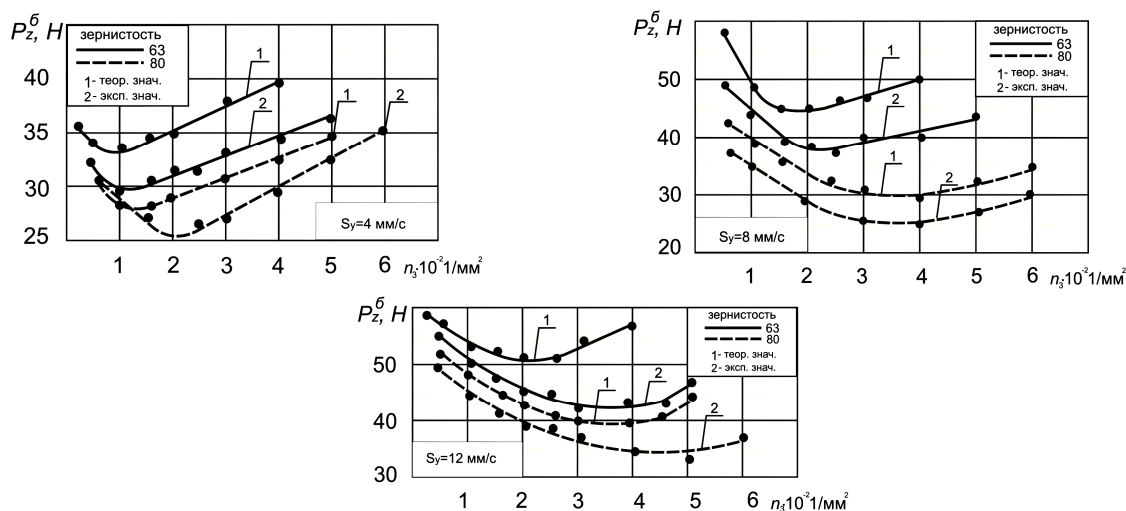


Рисунок 8 – Влияние количества зерен на единице торцовой поверхности круга на тангенциальную составляющую силу бокового резания: $V_K = 80$ м/с; $d_3 = 33,7$ мм; $D_K = 300$ мм; материал образцов – сталь 08кп

Сравним оптимальные значения чисел зерен на единице боковых поверхностей отрезных кругов, полученных экспериментальным и расчетным путем. Для удобства сравнения эти данные сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Экспериментальные и расчетные значения оптимальных чисел зерен на единице боковых поверхностей отрезных кругов

Условия экспериментов	Оптимальное число зерен $n \cdot 10^{-2}$ 1/мм ²		Расчетные данные $n \cdot 10^{-2}$ 1/мм ²
	При минимальной контактной температуре $\Theta = 20$ °С	При минимальной тангенциальной составляющей силе от бокового резания $P_z^{\delta} = 25$ Н	
($D_K = 300$ мм; $V_K = 80$ м/с; $d_3 = 26,9$ мм; материал трубы – сталь 08кп)			
$S_y = 4$ мм/с			
зернистость 50	1,9	2,0	2,2
зернистость 63	1,3	1,1	1,4
зернистость 80	0,8	0,9	0,96
$S_y = 8$ мм/с			

Продолжение таблицы 1

зернистость 50	4,3	3,9	4,4
зернистость 63	2,3	2,1	2,8
зернистость 80	1,6	1,8	1,91
$S_y = 12 \text{ мм/с}$			
зернистость 50	5,0	4,9	6,6
зернистость 63	3,5	3,6	4,2
зернистость 80	2,5	2,2	2,86

Как видно из сравнительного анализа, представленного в таблице 1, расхождения экспериментальных данных с расчетными находятся в пределах 8... 15 %.

Данная погрешность объясняется тем, что при расчете рассматриваются только режущие зерна, а в реальности на тангенциальную составляющую силы стружкообразования оказывают влияние также давящие и скользящие зерна, количество которых в процессе износа круга постоянно увеличивается.

В процессе работы кругом без боковых режущих поверхностей, в связи с возникновением высоких температур в зоне резания, происходит повышенный износ зерен и засаливание рабочей поверхности круга. То и другое приводит к увеличению силы трения, а соответственно и тангенциальной составляющей силы резания.

Все расчетные значения чисел зерен несколько больше, чем экспериментальные. Это объясняется тем, что в расчетной формуле не учитывается радиус закругления абразивных зерен ρ_3 в процессе работы круга.

Несмотря на это, разработанная методика расчета числа зерен на единице торцов отрезных кругов применима на практике, так как ее погрешность вполне допустима для инженерных расчетов.

Выводы. Из анализа результатов экспериментальных исследований можно сделать вывод, что применение абразивных отрезных кругов с режущим микрорельефом при разрезке труб обеспечивает снижение составляющих силы резания в 1,1...1,35 раза по сравнению с обычными кругами. Установлено, что изменение тангенциальной составляющей силы от боковых сторон отрезного круга P_z^b зависит от числа зерен на единице его торцевой поверхности n_3 .

Библиографический список использованной литературы

1. Маслов Е.И. Теория шлифования материалов / Е.И. Маслов. — М.: Машиностроение, 1974. — 320 с.
2. Борисов В.А. Абразивные отрезные круги армированные упрочняющими прокладками. / В.А. Борисов, Е.М. Мануйлов, В.И. Ефремов — М.: Машиностроение, 1975. — 75 с.
3. Новосёлов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке / Ю.К. Новоселов. — Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1979. — 232 с.
4. Ваксер Д.Б. Пути повышения производительности абразивного инструмента при шлифовании / Д.Б. Ваксер — М.: Машиностроение, 1964. — 124 с.

Поступила в редакцию 19.03.2013 г.

Левченко О.О., Новосёлов Ю.К. Експериментальні дослідження енергосилових параметрів процесу абразивної розрізки труб

Наведено методику проведення експериментальних досліджень енергосилових параметрів процесу абразивної розрізки труб. Представлені рекомендації, що дозволяють знизити теплонпруженість процесу, встановити раціональні режими обробки.

Ключові слова: сили різання, вимірювальний комплекс, датчики зусиль, тангенціальна складова сили бічного різання, відрізний круг, режими різання, пластична деформація.

Levchenko E.A., Novoselov Yu.K. Experimental studies of power parameters of the abrasive pipes cutting process

The method of experimental research of power parameters of the abrasive cutting pipes process is given. Recommendations on reducing the calorific process and establishing rational machining regimes are presented.

Keywords: cutting force measuring system, force sensors, tangential component of the lateral cutting force, cutting disc, cutting conditions, plastic deformation.