

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:  
Левченко Е.А. Анализ и расчет температур при абразивной резке труб // Вестник ПНИПУ. Машиностроение. Материаловедение. – 2023. – Т. 25, № 1. – С. 37–42. DOI: 10.15593/2224-9877/2023.1.04

Please cite this article in English as:

Levchenko E.A. Analysis and calculation of temperatures during abrasive cutting of pipes. *Bulletin of PNRPU. Mechanical engineering, materials science*. 2023, vol. 25, no. 1, pp. 37-42. DOI: 10.15593/2224-9877/2023.1.04

---

**ВЕСТНИК ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение**  
**Т. 25, № 1, 2023**  
**Bulletin PNRPU. Mechanical engineering, materials science**  
<http://vestnik.pstu.ru/mm/about/inf/>

---

Научная статья

DOI: 10.15593/2224-9877/2023.1.04

УДК 621.914.02

**Е.А. Левченко**

Севастопольский государственный университет, Севастополь, Российская Федерация

**АНАЛИЗ И РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУР ПРИ АБРАЗИВНОЙ РАЗРЕЗКЕ ТРУБ**

Представлены результаты исследований тепловых явлений в процессе абразивной резки труб. Как показал анализ, при абразивной резке высокие температуры, развивающиеся в сечении паза разрезаемой поверхности трубы, оказывают двойственное влияние на эффективность обработки. В первую очередь в результате разогрева материала снижается прочность разрезаемого материала, что приводит к уменьшению сил резания, а следовательно, и энергозатрат. С другой стороны, высокая температура резания – опасный фактор, значительно снижающий качество детали, что приводит к изменению сечения паза разрезаемой трубы. Качество поверхностного слоя деталей, подвергнутых резке, служит результатом сложного взаимодействия температурного и силового факторов. Физико-механические свойства поверхностного слоя в основном характеризуются глубиной и степенью упрочнения, величиной, знаком и характером распределения остаточных напряжений, наличием микротрещин и микроструктурой.

Силовой и температурный факторы оказывают конкурирующее влияние на фактор возможного упрочнения поверхности и развитие напряжений. Увеличение сил резания ведет к повышению степени наклепа, глубина которого тем больше, чем длительнее силовое воздействие. Преобладание какого-либо из этих факторов определяет напряженное состояние поверхностного слоя. Результатами исследований было установлено, что последствия теплового воздействия особенно сказываются на стойкости и износе инструмента. Контактное взаимодействие инструмента со стружкой и деталью происходит в условиях высоких температур и давлений, причем велики не только их абсолютные значения, но и перепады, изменения во времени и по объему. Это способствует интенсификации практически всех механизмов износа режущего инструмента.

**Ключевые слова:** абразивная резка, температура, износ инструмента, абразивные зерна, деформация, источники тепловыделения, остаточные напряжения, отрезной круг, микронеровности, тепловое воздействие.

**E.A. Levchenko**

Sevastopol State University, Sevastopol, Russian Federation

**ANALYSIS AND CALCULATION OF TEMPERATURES  
DURING ABRASIVE CUTTING OF PIPES**

The results of studies of thermal phenomena in the process of abrasive cutting of pipes are presented. As the analysis showed during abrasive cutting, high temperatures developing in the groove section of the pipe surface being cut have a dual effect on the processing efficiency. First of all, as a result of heating the material, the strength of the material being cut decreases, which leads to a decrease in cutting forces, and, consequently, energy consumption. On the other hand, high cutting temperature is a dangerous factor that significantly reduces the quality of the part, which leads to a change in the groove cross section of the pipe being cut. The quality of the surface layer of parts subjected to cutting is the result of a complex interaction of temperature and force factors. The physical and mechanical properties of the surface layer are mainly characterized by the depth and degree of hardening, the magnitude, sign and nature of the distribution of residual stresses, the presence of microcracks and microstructure.

Force and temperature factors have a competitive effect on the factor of possible surface hardening and stress development. An increase in cutting forces leads to an increase in the degree of work hardening, the depth of which is the greater, the longer the force effect. The predominance of any of these factors determines the stress state of the surface layer. The results of the research found that the effects of thermal exposure on the tool especially affect its durability and wear. The contact of the tool with the chips and the workpiece occurs under conditions of high temperatures and pressures, and not only their absolute values are large, but also differences, changes in time and volume. This contributes to the intensification of almost all wear mechanisms of the cutting tool.

**Keywords:** abrasive cutting, temperature, tool wear, abrasive grains, deformation, sources of heat release, residual stresses, cutting wheel, microroughness, thermal impact.

Тепловые явления, возникающие при абразивной разрезке материалов, особенно при напряженных условиях обработки и высоких требованиях к точности размеров и свойствам поверхностных слоев деталей, связаны с эффективностью процессов металлообработки и качеством продукции [1–5].

Проблемы распространения теплоты при абразивной разрезке отрезным кругом встречают ряд трудностей, связанных с недостаточной изученностью явлений, происходящих в зоне работы каждого зерна, расположенного по всему периметру как периферийной, так боковой режущей поверхности отрезного круга. Расположение зерен на боковых сторонах режущего инструмента, как правило, стохастическое, поэтому процесс работы каждого зерна подчиняется вероятностным законам. Для получения практических результатов, в том числе и при анализе тепловых явлений, процессы разрезки обычно рассматриваются усредненно ввиду особенностей самого процесса [6].

В практике анализа тепловых процессов при работе абразивной разрезки существует два подхода к описанию режущего аппарата абразивного инструмента. По одному из них взаимодействие между поверхностью разрезаемой детали и поверхностью отрезного круга является дискретным, состоящим из множества микросрезов (отдельных режущих зерен-микросрезцов, промежутки между которыми определяются характеристиками режущего инструмента и режимами резания). При этом режущий аппарат отрезного круга может рассматриваться как усредненно, так и стохастически. Представление о дискретности контакта абразивного инструмента и разрезаемой детали оправданно, если решается вопрос о тепловых процессах, связанных с инструментом: работа зерен, расположенных на боковых поверхностях отрезного круга, тепловой баланс, точный учет влияния таких характеристик инструмента, как зернистость и концентрация зерен [7–9].

В большинстве случаев расчет температурных полей при абразивной разрезке связан с разрезаемой деталью, поскольку высокоинтенсивные тепловые нагрузки могут привести к нежелательному распределению остаточных напряжений, структурным изменениям, прижогам в поверхностных слоях изделия, термическим деформациям, влияющим на точность размеров сечения паза трубы. Для описания температурных полей, возникающих внутри поверхностных слоев разрезанных деталей, более плодотворным является подход, по которому контакт инструмента с деталью представляется сплошным. Такой подход обосновыва-

ется тем, что если оценивать зерна как источники теплоты, нагревающие материал детали, то скользящие по поверхности зерна вносят не меньший вклад, чем зерна, выполняющие микрорезание [10].

На последних выделяется в целом больше энергии, но она расходуется в основном на работу деформации и нагревание стружки [11].

В деталь поступает в основном тепловая энергия – результат трения о поверхность разрезаемой детали режущих и скользящих зерен, связки и стружки, расположенной в межзеренном пространстве и не имеющей возможности свободного удаления. Существенность нарушений сплошности контакта значительно снижается вследствие известной инерционности тепловых явлений, поэтому представление о сплошном контакте в отношении детали при тепловом анализе вполне приемлемо и достаточно точно [12–16].

В дальнейшем, схематизируя процесс абразивной разрезки, будем основываться на представлении о сплошном контакте детали с периферийной и боковыми поверхностями отрезного круга.

Поверхностный слой сечения паза трубы детали обычно прогревается на глубину порядка 2–3 мм, которая несколько изменяется в зависимости от режимов процесса разрезки и свойств материала детали.

Поэтому большинство деталей можно считать полубесконечными телами и задавать условия только на одной границе – разрезаемой поверхности [17–20]. Зону контакта круга с деталью можно считать участком, через который в сечение паза разрезаемой детали поступает тепловой поток с определенным законом распределения плотности. Таким образом, в зоне контакта на разрезаемой поверхности детали должны быть заданы граничные условия второго рода (рис. 1).

Вне зоны контакта с инструментом поверхность сечения паза детали при разрезке (без охлаждения) контактирует с воздухом, теплообменом, которым можно пренебречь, так как воздух обладает низкой теплопроводностью и относительно малоподвижен. Следовательно, эти поверхности детали можно считать теплоизолированными, что соответствует граничным условиям второго рода с нулевым тепловым потоком [21].

На участке поверхности детали, занятом зоной контакта, в этом случае по-прежнему сохраняются граничные условия второго рода. Значит, в данном случае получается задача со смешанными граничными условиями.

Если зона контакта круга с деталью находится в непосредственной близости от других ограничивающих поверхностей, то наличие указанных

поверхностей может существенно повлиять на температурное поле, поэтому граничные условия (обычно второго или третьего рода) должны быть заданы и на этих поверхностях [22–26].

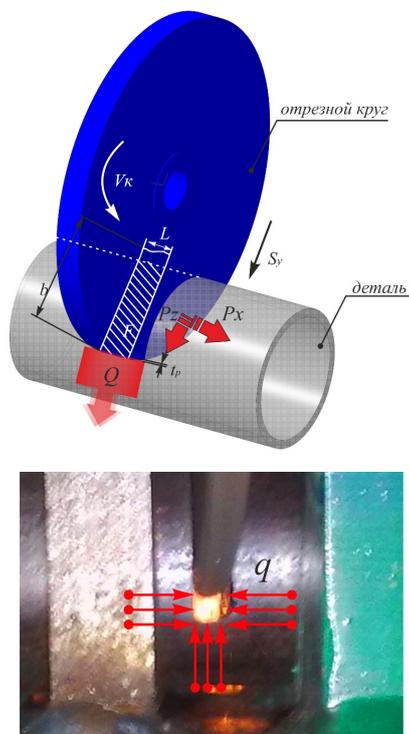


Рис. 1. Тепловая схема процесса абразивной резки детали

В подавляющем большинстве случаев в качестве начальных условий при абразивной резке следует принимать равномерное распределение температуры по всему объему детали. Поскольку в зоне контакта инструмента с деталью действует граничное условие второго рода, необходимо остановиться на форме теплового источника, распределении его плотности и пр.

Представим зону контакта инструмента с деталью в виде прямоугольника (рис. 2), так как из-за большого диаметра отрезного круга кривизна поверхности резания мала. Тепловой источник целесообразно схематизировать в виде бесконечно длинной полосы.

Реальная ограниченность этой полосы никак не повлияет на распределение температуры на ее средних участках, а некоторые изменения на концах полосы в большинстве случаев не существенны.

При расчете температур по схеме сплошного источника необходимо определить закон распределения плотности теплового потока данного источника в направлении движения. Этот закон, очевидно, зависит от особенностей схемы абразивной резки, формы детали, не обязательно равномерной. Обоснованной информации о законе распро-

странения плотности теплового потока нет. Имеющиеся данные [3] свидетельствуют, что характерные для процесса абразивной резки температуры мало зависят от закона распределения плотности теплового потока. Разница проявляется при расчете температур от медленно движущихся источников теплоты. При скоростях, характерных для абразивной резки, это различие не превышает 5–6 %. Поэтому в большинстве случаев плотность теплового потока источника можно считать равномерно распределенным.

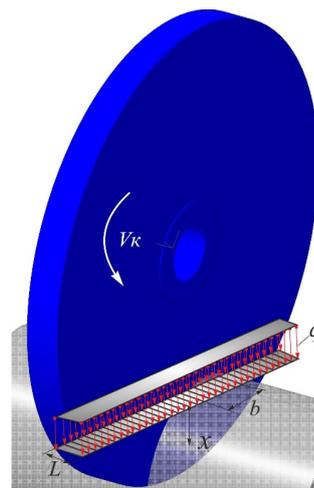


Рис. 2. Графическая интерпретация методом источников

Для определения плотности теплового потока при резке необходимы экспериментальные данные о тангенциальной составляющей силы резания или эффективной мощности резания.

Тангенциальная составляющая силы резания  $P_{z\text{общ}}$  равна сумме тангенциальных составляющих силы резания от периферийной (режущей) части круга  $P_z$  и боковых поверхностей круга  $P_z^6$

$$P_{z\text{рез}} = P_z + P_z^6. \quad (1)$$

Значения сил резания и мощности, требуемой на резку с учетом износа инструмента ( $K_3$ ):

$$P_z (P_z^6) = P'_z \cdot n_3 \cdot F_k \cdot K_3, \quad (2)$$

где  $n_3$  – число режущих абразивных зерен на боковой поверхности отрезного круга;  $F_k$  – площадь контакта инструмента с деталью.

Эффективная мощность

$$N_3 = P_{z\text{рез}} \cdot V_k. \quad (3)$$

По зависимостям (1)–(3) находятся силы, обеспечивающие сдвиг и деформацию металла при образовании элементов стружки; силы, противо-

действующие силам упругости и трению в зоне контакта режущего зерна с обработанной поверхностью.

Разделив эффективную мощность резания, определенную любым из перечисленных способов, на площадь зоны контакта ( $b$  и  $L$ ), можно найти плотность теплового потока:

$$q = \frac{N}{b \cdot L} = \frac{P_{\text{рез}} \cdot V_{\text{к}}}{b \cdot L}. \quad (4)$$

В дальнейшем общее количество теплоты  $Q$ , выделяющееся при абразивной резке, распределяется между контактирующими телами:

$$Q = Q_{\text{д}} + Q_{\text{к}} + Q_{\text{с}}, \quad (5)$$

где  $Q_{\text{д}}$ ,  $Q_{\text{к}}$  – доля теплоты, поступающая соответственно в деталь и отрезной круг;  $Q_{\text{с}}$  – доля теплоты, уносимая стружкой.

Таким образом, в зоне резания общее количество теплоты  $Q$  распределяется между деталью, отрезным кругом и стружкой. Имеется несколько версий по поводу распределения тепловой энергии между этими телами. При этом использованы разные подходы и получены разные доли теплоты, поступающей в деталь, инструмент и стружку. В настоящее время утвердилось положение, что большая часть теплоты поступает в разрезаемую деталь и значительно меньшая – в отрезной круг и стружку. Так, в работе [2] приведена формула для определения коэффициента  $\alpha_g$ , показывающего, какая доля теплоты при контактировании детали и отрезного круга поступает в деталь:

$$\alpha_g = \frac{1}{1,25 \frac{\lambda_{\text{к}}}{\lambda} \sqrt{\frac{a}{d_u \cdot V_{\text{к}}}} + 1}, \quad (6)$$

где  $\lambda_{\text{к}}$  – коэффициент теплопроводности отрезного круга, Вт/(м·°C);  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала детали, Вт/(м·°C);  $a$  – коэффициент температуропроводности материала детали, м<sup>2</sup>/с;  $V_{\text{к}}$  – скорость отрезного круга, м/с;  $d_u$  – средний диаметр площадки контакта режущего зерна с деталью (площадка износа на зерне), м.

Согласно формуле [5], при обработке отрезными кругами в инструмент поступает всего лишь около 1 % общего количества теплоты.

Для анализа тепловыделения в стружку удобнее пользоваться безразмерным коэффициентом  $\beta_1$ , который покажет, какая доля тепла от общего пойдет в деталь, а какая в стружку:

$$\beta_1 = 1 / \left( 1 + t_{\text{ф}} \sqrt{\frac{S_y}{a \cdot L_{\text{к}}}} \right). \quad (7)$$

где  $S_y$  – радиальная подача круга, мм/с;  $L_{\text{к}}$  – длина дуги контакта.

Согласно данной формуле, в стружку при резке может отводиться 10–30 % общего количества теплоты.

Анализ этих и других данных показывает, что доля теплоты, поступающая в деталь, в среднем может быть принята равной 80–90 %. Тогда плотность теплового потока, действующего на поверхность детали:

$$q = (0,8 \dots 0,9) \cdot \frac{P_{\text{рез}} \cdot V_{\text{к}}}{b \cdot L}. \quad (8)$$

### Заключение

Как показали результаты исследований процесса абразивной резки, по мере перемещения источника теплообразования происходят локализация процесса контактного пластического деформирования и, следовательно, повышение интенсивности тепловыделения в единицу объема металла с приближением источника тепловыделения и контактной поверхности. На первом этапе резки происходит переход от пластического течения к граничному трению и смена теплоисточника от объемного к источнику, в котором тепловыделение происходит в тонком граничном слое.

### Библиографический список

1. Евсеев Д.Г., Сальников А.Н. Физические основы процесса шлифования. – Саратов: Изд-во Саратовского университета, 1978. – 129 с.
2. Качество и производительность абразивно-алмазной обработки: учеб. пособие / А.В. Якимов, Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков, А.А. Якимов. – Одесса: ОГПУ, 1999. – 212 с.
3. Основы теории тепловых явлений при шлифовании деталей машин: учеб. пособие / А.В. Якимов [и др.]. – Одесса: ОГПУ, 1997. – 272 с.
4. Левченко Е.А. Моделирование энергоемкости пластической деформации работы режущих поверхностей отрезного круга при абразивной резке труб // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – Пермь: Изд-во ФГАОУ ВО ПНИПУ, 2022. – Т. 24, № 1. – С. 15–20.
5. Levchenko E., Pokintelitsa N. Investigation of Thermal Processes in Abrasive Pipe Samplin // MATEC Web of Conferences. – 2017. – Vol. 129. – P. 01078. DOI: 10.1051/mateconf/201712901082
6. Сипайлов В.А. Тепловые процессы при шлифовании и управление качеством поверхности. – М.: Машиностроение, 1978. – 167 с.

7. Новоселов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2012. – 304 с.

8. Левченко Е.А. Теплофизическая модель процесса абразивной резки труб отрезными кругами // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. Вып. 40. Технические науки. – Симферополь: НИЦ КИПУ, 2013. – С. 70–75.

9. Отрезка труб абразивными кругами / А.Г. Сторожик, Г.П. Лещенко [и др.] // Технология производства, научная организация труда и управления. – 1968. – Вып. № 4. – С. 67–70.

10. Левченко Е.А. Пути повышения эффективности процесса абразивной резки труб с учетом износа вершин зерен отрезного круга // Вісник СевНТУ. Машиноприладобудування та транспорт: зб. наук. пр. Севастопольський національний технічний університет. – Севастополь: Вид-во СевНТУ, 2014. – Вип. 152. – С. 145–151.

11. Левченко Е.А., Покинтелица Н.И. Теплофизическая модель процесса абразивной резки труб отрезными кругами // Вестник современных технологий: сб. науч. тр. Севастопольский государственный университет. – Севастополь: Изд-во ФГАОУ ВО СевГУ, 2016. – Вып. № 3. – С. 46–51.

12. Богомолов Н.И. Исследование деформации металла при абразивных процессах под действием единичного зерна // Труды ВНИИАШ. Машиностроение. – 1968. – № 7. – С. 74–87.

13. Суров С.П. Тепловые явления при разрезании абразивными кругами (дисками) // Тр. УралВНИИАШ. – Челябинск, 1968. – Вып. 1. – С. 164–169.

14. Богомолов Н.И. Основные процессы при взаимодействии абразива и металла. автореф. дис. ... д-ра техн. наук: спец. 05.02.08 «Технология машиностроения». – Киев, 1967. – 46 с.

15. Вульф А.М., Мурдасов А.В. Геометрические параметры режущих элементов абразивных зерен шлифовального круга // Науч. техн. реф. сб. «Абразивы». – М.: НИИМАШ, 1968. – Вып. 1.

16. Корчак С.Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей. – М.: Машиностроение, 1974. – 280 с.

17. Лоладзе Т.Н., Бокучава Г.В. Износ алмазов и алмазных кругов. – М.: Машиностроение, 1967. – 112 с.

18. Эшги С. Функции, характеризующие разделение теплового потока и оптимальные условия отрезки // Часть II. Теоретический анализ. / Конструирование и технология машиностроения. – М.: Мир, 1967. – № 2. – С. 43–49.

19. Основы тепловых явлений при шлифовании деталей машин / А.В. Якимов [и др.]. – Одесса: ОГПУ, 1997. – 272 с.

20. Левченко Е.А. Теоретическое исследование особенностей работы боковых поверхностей отрезного круга при абразивной резке труб // Вісник СевНТУ. Машиноприладобудування та транспорт: зб. наук. пр. Севастопольський національний технічний університет. – Севастополь: Вид-во СевНТУ, 2010. – Вип. 107. – С. 114–117.

21. Левченко Е.А., Новоселов Ю.К. Анализ закономерностей удаления металла боковыми сторонами круга при абразивной резке труб // Вісник СевНТУ. Машиноприладобудування та транспорт: зб. наук. пр. Севастопольський національний технічний університет. – Севастополь: Вид-во СевНТУ, 2011. – Вип. 118. – С. 57–61.

22. Левченко Е.А. Методика расчета параметров боковых поверхностей отрезных кругов при абразивной резке // Вестник современных технологий: сб. науч. тр. Севастопольский государственный университет. – Севастополь: Изд-во ФГАОУ ВО СевГУ, 2017. – Вып. № 6. – С. 39–45.

23. Левченко Е.А., Покинтелица Н.И., Харченко А.О. Теория и практика абразивной резки труб: монография – М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2018. – 142 с.

24. Евсеев Д.Г., Сальников А.Н. Физические основы процесса шлифования. – Саратов: Изд-во Саратовского университета, 2021. – 129 с.

25. Эшги С. Тепловые явления при абразивной отрезке // Часть I. Теоретический анализ. Конструирование и технология машиностроения. – М.: Мир, 1967. – № 2. – С. 67–72.

26. Завадский В.В., Мыздриков А.М., Панков Г.В. Температура разрезания при резке ленточных магнитопроводов абразивными дисками // Труды Уфимского авиац. института. – 2015. – 38 с.

## References

1. Evseev D.G., Sal'nikov A.N. Fizicheskie osnovy protsessy shlifovaniia [Physical basis of the grinding process]. Saratov: Izdatelstvo Saratovskogo universiteta, 1978, 129 p.

2. Iakimov A.V., Novikov F.V., Novikov G.V., Iakimov A.A. Kachestvo i proizvoditel'nost' abrazivno-almaznoi obrabotki: uchebnoe posobie [Quality and productivity of abrasive and diamond machining: textbook]. Odessa: OGPU, 1999, 212 p.

3. Iakimov A.V. et al. Osnovy teorii teplovykh iavlenii pri shlifovanii detalei mashin: uchebnoe posobie [The bases of the theory of thermal phenomena in the grinding of machine parts: textbook]. Odessa: OGPU, 1997, 272 p.

4. Levchenko E.A. Modelirovanie energoemkosti plasticheskoi deformatsii raboty rezhushchikh poverkhnostei otreznogo kruga pri abrazivnoi razrezke trub [Simulation of energy intensity of plastic deformation of cutting surfaces of the cutting wheel during abrasive cutting of pipes]. Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Mashinostroenie, materialovedenie. Perm': Izd-vo PNIPU, 2022, vol. 24, no. 1, pp. 15–20.

5. Levchenko E., Pokintelitsa N. Investigation of Thermal Processes in Abrasive Pipe Samplin. MATEC Web of Conferences, 2017, vol. 129, pp. 01078. DOI: 10.1051/mateconf/201712901082

6. Sipailov V.A. Teplovye protsessy pri shlifovanii i upravlenie kachestvom poverkhnosti [Thermal processes in grinding and surface quality management]. Moscow: Mashinostroenie, 1978, 167 p.

7. Новоселов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке [Dynamics of Sur-

face Shaping in Abrasive Machining]. Sevastopol': Izdatelstvo SevNTU, 2012, 304 p.

8. Levchenko E.A. Teplofizicheskaya model' protsessy abrazivnoi razrezki trub otreznymi krugami [Thermophysical model of the abrasive pipe cutting process with cutting wheels]. *Uchenye zapiski Krymskogo inzhenerno-pedagogicheskogo universiteta. Vyp. 40. Tekhnicheskie nauki*. Simferopol': NITs KIPU, 2013, pp. 70–75.

9. Storozhik A.G., Leshchenko G.P. et al. Otrezka trub abrazivnymi krugami [Cutting pipes with abrasive wheels]. *Tekhnologiya proizvodstva, nauchnaya organizatsiya truda i upravleniya*, 1968, iss. no. 4, pp. 67–70.

10. Levchenko E.A. Puti povysheniya effektivnosti protsessy abrazivnoi razrezki trub s uchedom iznosa verkhniy zeren otreznogo kruga [Ways to improve the efficiency of the abrasive pipe cutting process, taking into account the wear of the grain tips of the cutting wheel]. *Vestnik SevNTU*. Sevastopol': Vid-vo SevNTU, 2014, iss. 152, pp. 145–151.

11. Levchenko E.A., Pokintelitsa N.I. Teplofizicheskaya model' protsessy abrazivnoi razrezki trub otreznymi krugami [Thermophysical model of the abrasive pipe cutting process with cutting wheels]. *Vestnik sovremennykh tekhnologii: sbornik nauchnykh trudov. Sevastopol'skii gosudarstvennyi universitet*. Izdatelstvo SevGU, 2016, iss. no. 3, pp. 46–51.

12. Bogomolov N.I. Issledovanie deformatsii metalla pri abrazivnykh protsessakh pod deystviem edi-nichnogo zerna [Study of metal deformation during abrasive processes under the action of a single grain]. *Trudy VNIILASH. Mashinostroenie*, 1968, no. 7, pp. 74–87.

13. Surov S.P. Teplovyie iavleniya pri razrezanii abrazivnymi krugami (diskami) [Thermal phenomena during cutting with abrasive wheels (discs)]. *Trudy UralVNIILASH. Cheliabinsk*, 1968, iss. 1, pp. 164–169.

14. Bogomolov N.I. Osnovnye protsessy pri vza-imodeistvii abraziva i metalla [The main processes in the interaction of abrasive and metal]. Ph.D. Theses. Kiev, 1967, 46 p.

15. Vul'f A.M., Murdasov A.B. Geometricheskie parametry rezhushchikh elementov abrazivnykh zeren shlifoval'nogo kruga [Geometric parameters of the cutting elements of abrasive grains of a grinding wheel]. *Nauchno-tekhnicheskii referativnyi. sbornik «Abrazivy»*. Moscow: NIIMASH, 1968, iss. 1.

16. Korchak S.N. Proizvoditel'nost' protsessy shlifovaniya stal'nykh detalei [Productivity of the grinding process of steel parts]. Moscow: Mashinostroenie, 1974, 280 p.

17. Loladze T.N., Bokuchava G.V. Iznos almazov i almaznykh krugov [Wear and tear on diamonds and diamond wheels]. Moscow: Mashinostroenie, 1967, 112 p.

18. Eshgi S. Funktsii, kharakterizuiushchie razdelenie teplovogo potoka i optimal'nye usloviya otrezki. Chast' II. Teoreticheskii analiz. Konstruirovaniye i tekhnologiya mashinostroeniya [Functions characterizing heat flow partitioning and optimal sectioning conditions. Part II. Theoretical analysis]. Moscow: Mir, 1967, no. 2, pp. 43–49.

19. Iakimov A.V. et al. Osnovy teplovykh iavlenii pri shlifovanii detalei mashin [Basics of thermal phenomena in grinding machine parts]. Odessa: OGPU, 1997, 272 p.

20. Levchenko E.A. Teoreticheskoe issledovanie osobennosti raboty bokovykh poverkhnosti otreznogo kruga pri abrazivnoi razrezke trub [Theoretical study of the performance of the side surfaces of the cutting wheel during

abrasive pipe cutting]. *Visnik SevNTU*. Sevastopol': Izdatelstvo SevNTU, 2010, iss. 107, pp. 114–117.

21. Levchenko E.A., Novoselov Iu.K. Analiz zakonornosti udaleniya metalla bokovymi storonami kruga pri abrazivnoi razrezke trub [Analysis of metal removal patterns by the sides of the wheel during abrasive pipe cutting]. *Visnik SevNTU*. Sevastopol': Izdatelstvo SevNTU, 2011, iss. 118, pp. 57–61.

22. Levchenko E.A. Metodika rascheta parametrov bokovykh poverkhnosti otreznykh krugov pri abrazivnoi razrezke [Calculation method for the parameters of the side surfaces of cutting wheels during abrasive cutting]. *Vestnik sovremennykh tekhnologii: sbornik nauchnykh trudov. Sevastopol'skii gosudarstvennyi universitet*. Sevastopol': Izdatelstvo SevGU, 2017, no. 6, pp. 39–45.

23. Levchenko E.A., Pokintelitsa N.I., Kharchenko A.O. Teoriya i praktika abrazivnoi razrezki trub: monografiya [Theory and practice of abrasive pipe cutting: a monograph]. Moscow: Vuzovskii uchebnik: INFRA-M, 2018, 142 p.

24. Evseev D.G., Sal'nikov A.N. Fizicheskie os-novy protsessy shlifovaniya [Physical basis of the grinding process]. Saratov: Izdatelstvo Saratovskogo universiteta, 2021, 129 p.

25. Eshgi S. Teplovyie iavleniya pri abrazivnoi otrezke. Chast' I. Teoreticheskii analiz. Konstruirovaniye i tekhnologiya mashinostroeniya [Thermal phenomena in abrasive cutting. Part I. Theoretical analysis. Design and technology of mechanical engineering]. Moscow: Mir, 1967, no. 2, pp. 67–72.

26. Zavadskii V.V., Myzdrikov A.M., Pankov G.V. Temperatura razrezaniya pri razrezke lentochnykh magnitoprovodov abrazivnymi diskami [Cutting temperature when cutting ribbon magnetic circuits with abrasive discs]. *Trudy Ufimskogo aviatsionnogo institute*, 2015, 38 p.

Поступила: 01.10.2022

Одобрена: 09.02.2023

Принята к публикации: 15.02.2023

### Об авторе

**Левченко Елена Александровна** (Севастополь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология машиностроения» Севастопольского государственного университета (Россия, 299053, Севастополь, Университетская набережная, 33, e-mail: ealev1978@mail.ru).

### About the author

**Elena Al. Levchenko** (Sevastopol, Russian Federation) – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Technology of Mechanical Engineering Sevastopol State University (33, Universitetskaya embankment, Sevastopol, 299053, Russian Federation, e-mail: ealev1978@mail.ru).

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

**Вклад автора.** 100 %.