

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ



УДК 621.91.01+531.44+621.923

Влияние способов заточки металлорежущих инструментов на технологическую наследственность показателей качества обработанных поверхностей деталей

В.И. Бутенко, Р.Г. Кадач

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Аннотация

В статье исследуется степень влияния технологической наследственности на процесс обработки отверстий в зависимости от метода заточки используемых инструментов. Показано, что заточка свёрл с использованием импрегнированного диоксида хрома заточного круга и охлаждающей жидкости, содержащей йод и сульфат железа, способствует формированию специфического поверхностного слоя. Этот слой, в свою очередь, значительно повышает стойкость инструмента при последующей обработке с использованием других инструментов, а также улучшает качество обработанной поверхности в сравнении с альтернативными методами заточки. Целью статьи является углублённое изучение влияния различных подходов к заточке инструментов на итоговые и промежуточные показатели эффективности обработки отверстий, что позволит выявить оптимальные решения для повышения производительности и качества процессов резания.

Ключевые слова: способ заточки, сверло, расточной резец, быстрорежущая сталь, стойкость, йод, диоксид хрома, технологическая наследственность, шероховатость поверхности

Для цитирования. Бутенко В.И., Кадач Р.Г. Влияние способов заточки металлорежущих инструментов на технологическую наследственность показателей качества обработанных поверхностей деталей. *Молодой исследователь Дона*. 2025;10(1):9–14.

Influence of Metal-Cutting Tool Sharpening Methods on the Technological Heredity of Quality Indicators of the Machined Surfaces of Parts

Viktor I. Butenko, Roman G. Kadach

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Abstract

The article investigates the degree of technological heredity influence on the process of hole machining depending on the sharpening method of the tools used. It has been determined that drill sharpening using a grinding wheel impregnated with chromium diiodide and a coolant containing iodine and ferrous sulphate enables formation of a specific surface layer. This layer, in turn, significantly increases the tool durability during subsequent machining with other tools, moreover, it improves the quality of the machined surface compared to the that sharpened by the alternative methods.

The aim of the article is to conduct an in-depth research on the influence of different tool sharpening approaches on the final and intermediate efficiency indicators of hole machining, which will allow finding the optimal solutions for increasing the productivity and quality of cutting processes.

Keywords: sharpening method, drill, boring cutter, high-speed steel, durability, iodine, chromium diiodide, technological heredity, surface roughness

For citation. Butenko VI, Kadach RG. Influence of Metal-Cutting Tool Sharpening Methods on the Technological Heredity of Quality Indicators of the Machined Surfaces of Parts. *Young Researcher of Don*. 2025;10(1):9–14.

Введение. Исследование путей улучшения качества поверхности с целью повышения эксплуатационных свойств до недавнего времени было ограничено лишь анализом методов и условий последней операции, завершающей технологический процесс обработки деталей. В результате такого подхода игнорировалось влияние результатов предшествующих операций технологического цикла на износостойкость, контактную жесткость, усталостную прочность и другие эксплуатационные характеристики готовых изделий [1].

Однако современные исследования, представленные в работах [2–5], опровергли подобный подход к проектированию технологических процессов механической обработки деталей. Обнаружено, что существует явление технологической наследственности, которое играет ключевую роль в формировании показателей качества рабочих поверхностей машинных деталей. Важно отметить, что эта наследственность проявляется не только после завершения чистовых операций, но и может значительно влиять на изменение свойств или потерю точности формы готовых деталей в процессе их эксплуатации. Это происходит под воздействием различных элементов качества поверхности, образовавшихся в результатах черновой обработки.

Согласно исследованиям, проведенным М.Л. Хейфецом [6, 7], актуальной проблемой в области технологического обеспечения эксплуатационных характеристик качества поверхностного слоя деталей машин является определение рациональных путей управления технологическими факторами, режимами структурообразования материала и формообразования поверхности. Также критически важно стабилизировать параметры материала и поверхности в процессе эксплуатации, опираясь на анализ самоорганизации и наследования физико-механических и геометрических структур и свойств, воздействующих в ходе комплексной обработки.

Целью данного исследования является изучение степени влияния различных методов заточки инструментов на итоговые и промежуточные показатели эффективности обработки отверстий, что позволит более глубоко понять значимость оптимизации каждого этапа технологического процесса для достижения высокой производительности и качества резания.

Основная часть. В качестве основных показателей эффективности обработки отверстий с использованием инструментов, подвергнутых различным комбинациям способов заточки, были выбраны следующие параметры: стойкость инструментов T , температура в зоне обработки Θ и шероховатость обработанной поверхности по параметру Ra . В исследовании применялись спиральные свёрла из быстрорежущей стали Р6М5 диаметром 28 мм, а также цельные зенкеры из быстрорежущей стали Р9М4К8 размером 32,08–0,038 мм с числом зубьев (спиральных канавок) $z = 4$. Для всех серий проведённых исследований была установлена единая геометрия заточки свёрл: угол заточки $2\varphi = 118^\circ$, $\psi = 54^\circ$, $\alpha = 12^\circ$, а длина заднего фаса $B = 2,3$ мм. Для зенкеров установлены следующие параметры: $\gamma = 20^\circ$, $\alpha = 8^\circ$, $\varphi = 45^\circ$ при длине переходного конуса 2,5 мм с углом $\varphi_0 = 5^\circ$. Предварительно в исследуемых образцах из котельной стали 12Х1МФ были просверлены сквозные отверстия диаметром 16 мм и длиной 30 мм. Рассверливание отверстий осуществлялось при скорости резания $V = 0,585$ м/с ($n = 400$ об/мин) и подаче $S = 0,15$ мм/об. В процессе зенкерования применялись следующие режимы резания: глубина резания (припуск на обработку) $t = 2$ мм, скорость резания $V = 0,416$ м/с ($n = 250$ об/мин) и подача $S = 0,3$ мм/об ($S_z = 0,075$ мм/зуб). Все операции сверления, рассверливания и зенкерования отверстий проводились на вертикально-сверлильном станке модель 2Н135. В качестве смазочно-охлаждающего технологического средства (СОТС) использовался 5-процентный водный раствор эмульсола «Укринол-14» с добавлением 0,8 г/л кристаллического йода [8].

За критерий износа свёрл был принят износ по задней поверхности сверла на периферийном участке равный $h_z = 1,2$ мм, который фиксировался на микроскопе БМИ-1М при помощи специальной подставки [9]. За критерий износа зенкера был принят износ его по периферии заборного конуса, равный $h_u = 0,8$ мм. Измерение износа производилось на инструментальном микроскопе БМИ-1М сначала после обработки 10 деталей, затем после обработки каждых трёх деталей по каждому зубу зенкера и принималось среднее его значение. Стойкостью зенкера T считалось время непрерывной работы его до достижения среднего значения критерия износа его зубьев. Шероховатость обработанной поверхности образцов определялась по параметру Ra при помощи портативного профилометра *SURFEST SJ-210*. Средняя температура в зоне резания при рассверливании отверстий Θ определялась методом естественной термопары [10]. Температура резания Θ при зенкеровании определялась заложенной перерезной термопарой «хромель – алюмель» трижды за период стойкости инструмента и принималось среднее её значение.

Приведены сравнительные исследования эффективности трёх способов заточки свёрл из быстрорежущей стали Р6М5 и зенкеров из быстрорежущей стали Р9М4К8:

- 1 — заточка абразивным кругом без охлаждения;
- 2 — электроалмазная заточка кругом с использованием электролита следующего состава: нитрат калия — 5 %, нитрат натрия — 0,3 %, вода — 94,7 % [11];
- 3 — заточка импрегнированным дифоидом хрома абразивным кругом с подачей в зону обработки йодосодержащей СОТС.

Заточка всех инструментов осуществлялась на универсально-заточном станке мод. 3А64М с использованием специального поворотного приспособления [9]. Абразивная заточка свёрл и зенкеров по первому и третьему способам осуществлялась чашечными кругами типа 11 и характеристикой 175×20×32×3 25А 100L8 V 35 ГОСТ Р 52781-2007. Режимы абразивной заточки по первому и четвёртому способам были приняты следующими: скорость вращения круга — $V_{кр} = 13,2$ м/с, продольная подача стола — $S_{np} = 0,06$ м/с, поперечная подача стола — $S_{nop} = 0,02$ мм/дв. ход.

Электроалмазная заточка свёрл и зенкеров осуществлялась алмазными чашечными кругами типа 11, имеющие следующую характеристику: 175-13-32 AC6 100/80 M1. Режимы электроалмазной заточки свёрл и зенкеров производилась на следующих режимах: $V_{кр} = 26,1$ м/с, $S_{np} = 0,03$ м/с, $S_{non} = 0,05$ мм/дв. ход стола станка, рабочее напряжение $U = 6$ В, плотность тока $i = 60$ А/см², расход электролита $v = 7$ л/мин.

Результаты исследований. Составлен алгоритм экспериментов (таблица 1) для выявления корреляционной зависимости между показателями качества поверхностного слоя обрабатываемых образцов, а также условий температурной напряжённости процессов рассверливания и зенкерования отверстий в образцах из котельной стали 12Х1МФ.

Таблица 1

Алгоритм экспериментов для исследования технологической наследственности при обработке отверстий

№ эксперимента	№ способа обработки сверла	№ способа обработки зенкера
1	1 — абразивная без охлаждения	1 — абразивная без охлаждения
2	2 — электроалмазная	1 — абразивная без охлаждения
3	3 — абразивная импрегнированным кругом с подачей йодосодержащей СОТС	1 — абразивная без охлаждения
4	1 — абразивная без охлаждения	2 — электроалмазная
5	2 — электроалмазная	2 — электроалмазная
6	3 — абразивная импрегнированным кругом с подачей йодосодержащей СОТС	2 — электроалмазная
7	1 — абразивная без охлаждения	3 — абразивная импрегнированным кругом с подачей йодосодержащей СОТС
8	2 — электроалмазная	3 — абразивная импрегнированным кругом с подачей йодосодержащей СОТС
9	3 — абразивная импрегнированным кругом с подачей йодосодержащей СОТС	3 — абразивная импрегнированным кругом с подачей йодосодержащей СОТС

В таблице 2 приведены результаты средней стойкости свёрл, полученные по результатам пяти последовательных испытаний, из анализа которых следует, что применение импрегнированного дийодида хрома абразивного круга с подачей йодосодержащей СОТС позволяет на 20–30 % уменьшить шероховатость обработанной данным инструментом поверхности, при повышении периода стойкости инструмента T и снижении средней температуры в зоне обработки Θ_{cp} .

Таблица 2

Результаты предварительной обработки отверстий свёрлами при различных способах заточки

№ способа обработки сверла	Шероховатость после сверления Ra , мкм	Стойкость сверла T , мин	Температура Θ_{cp} , °С
Заточка абразивным кругом без охлаждения	9,3	23,5	290
Электроалмазная заточка кругом с использованием электролита	8,7	31,8	272
Заточка импрегнированным дийодидом хрома абразивным кругом с подачей в зону обработки йодосодержащей СОТС	8,2	35,9	259

На металлографическом микроскопе МИМ-8М проведены исследования начальной топографии поверхностного слоя задней поверхности сверла после того или иного способа заточки (рис. 1). Результаты исследований показали, что способ заточки сверла из быстрорежущей стали импрегнированным дийодидом хрома абразивным кругом с подачей йодосодержащей СОТС позволяет получать поверхность практически без рисков со сформировавшимся на ней слое йодидов железа, обладающих низким коэффициентом трения.

В работах [12, 13] показано, что наличие в используемых при металлообработке СОТС йода значительно снижает температуру резания, что способствует существенному снижению коэффициента трения в зоне резания. Существующие в настоящее время теории механизма действия йода [12, 14] объясняют облегчение процесса резания при использовании СОТС с йодом образованием в зоне контакта рабочей части инструмента с обрабатываемым материалом йодосодержащих разделительных плёнок. Эти плёнки, представляющие собой йодиды металлов, имеют слоистое строение и выполняют роль твёрдой смазки в зоне резания, изменяя условия трения между контактирующими поверхностями рабочей части инструмента и обрабатываемым материалом, оказывая тем самым влияние как на стойкость инструмента, так и на процессы стружко- и наростообразования [15–17].

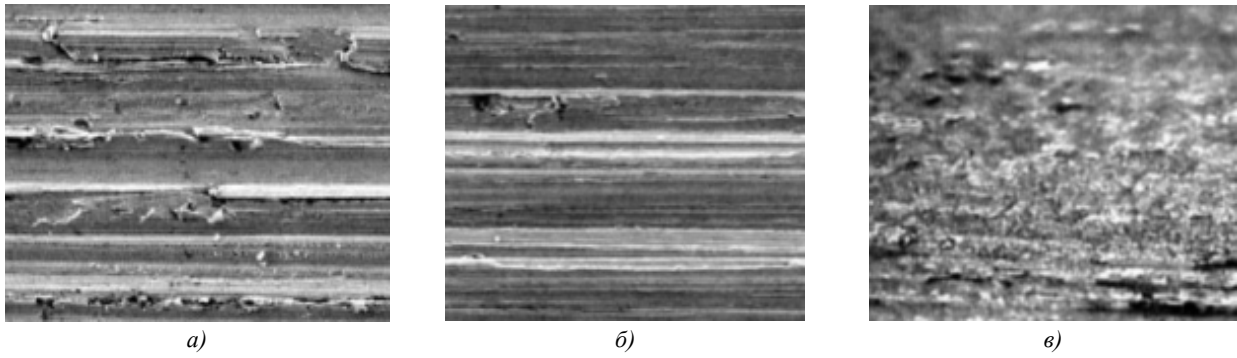


Рис. 1. Начальная топография задней поверхности сверла после его заточки абразивным кругом:
a — без охлаждения; *б* — электроалмазной заточки;

в — импрегнированным диодидом хрома абразивным кругом с подачей йодосодержащей СОТС. Увеличение 24

Таблица 3

Результаты экспериментов процесса зенкерования отверстий

Показатели процесса обработки	Номера экспериментов								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Ra</i> , мкм	2,75	2,63	2,51	2,60	2,55	2,40	2,23	2,20	2,15
<i>T</i> , мин	42,5	43,3	46,7	47,5	47,9	52,5	54,3	55,0	59,2
$\Theta_{ср}$, °С	210	208	206	200	198	195	190	189	187

Из таблицы 2 и рис. 2 следует, что наибольшая стойкость металлорежущего инструмента оказалась в эксперименте под номером 9, где заточка сверла и зенкера осуществлялась с применением импрегнированного диоксида хрома заточного круга и подаче в зону обработки йодосодержащей СОТС.

По-видимому, это объясняется тем, что инструмент, заточенный с применением диоксида хрома, адсорбирует на своей поверхности йодиды железа, и благодаря прочным адгезионно-когезионным связям, не только сохраняет их на своей поверхности в процессе работы, но и способствует образованию слоя йодидов железа на обработанной поверхности отверстия.

Йодиды железа, обладающие слоистым строением и высокими антифрикционными свойствами, выступают в роли твёрдых смазок, снижающих силовую напряжённость в зоне обработки [8, 13]. В связи с этим стойкость инструмента, обрабатывающего данную поверхность, повышается, даже если данный инструмент не прошёл заточку с применением диоксида хрома (рис. 2, № эксперименты 3 и 6). Одновременно образующиеся на контактных поверхностях инструмента и обрабатываемой поверхности йодиды железа способствуют снижению температурной напряжённости в зоне обработки (рис. 4).

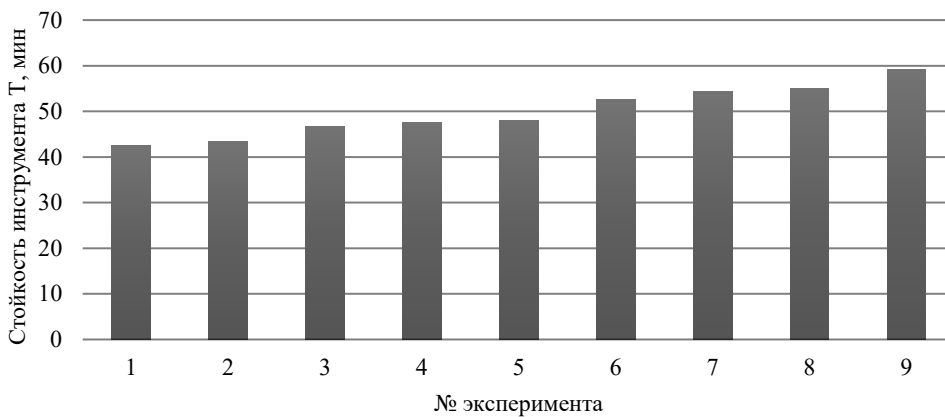


Рис. 2. Зависимость стойкости *T* зенкеров от способа их заточки и способа заточки свёрл

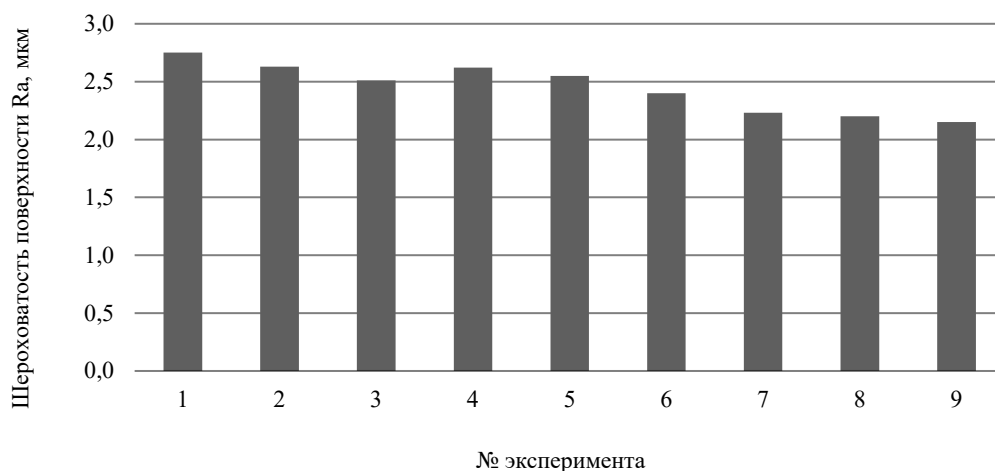


Рис. 3. Зависимость шероховатости обработанной поверхности отверстий Ra от способа заточки зенкеров и способа заточки свёрл

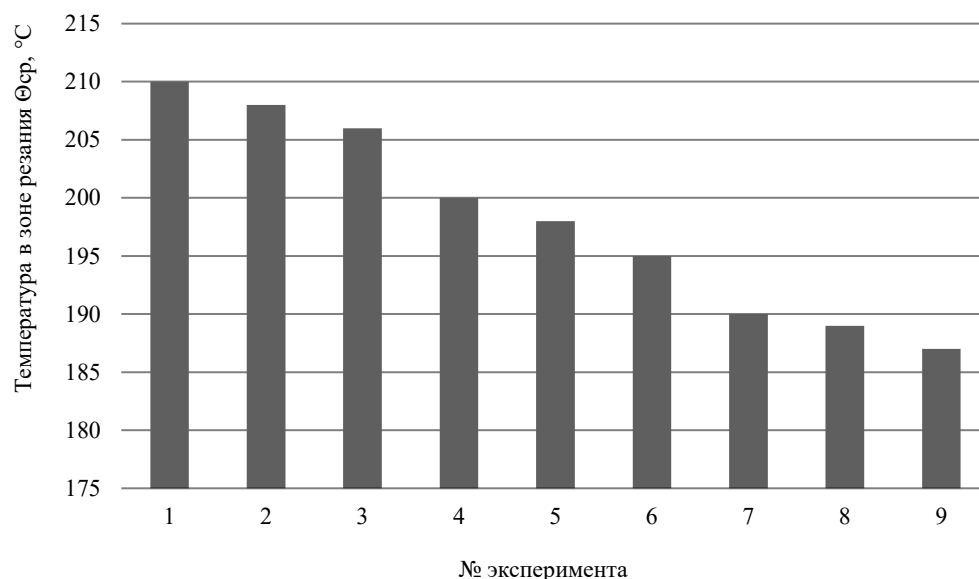


Рис. 4. Зависимость средней температуры в зоне обработки $\Theta_{ср}$ при зенкеровании отверстий от способа заточки зенкеров и способа заточки свёрл

Заключение. Результаты проведённых исследований позволяют сделать вывод об эффективности применения метода заточки металлорежущих инструментов, используемых для обработки отверстий. Этот метод включает использование абразивного круга, импрегнированного диоксидом хрома, с подачей йодосодержащей смазочно-охлаждающей технологической жидкости (СОТС) в зону обработки. Данный подход способствует проявлению эффекта технологической наследственности, что положительно сказывается на показателях качества обработанной поверхности детали.

Производственные испытания подтвердили, что предложенный метод заточки инструментов из быстрорежущих сталей демонстрирует особенно высокую эффективность при работе с большим количеством инструментов различных размеров. В таких условиях дополнительные расходы на импрегнирование абразивных заточных кругов и подготовку йодосодержащей СОТС полностью оправдывают себя.

Список литературы

1. Ящерицын П.И., Рыжов Э.В., Аверченко В.И. *Технологическая наследственность в машиностроении*. Минск: Наука и техника; 1977. 256 с.
2. Дальский А.М. *Технологическое обеспечение надёжности высокоточных деталей машин*. Москва: Машиностроение; 1975. 223 с.
3. Маркарян Г.К. Технологическая наследственность при образовании поверхности закалённых деталей машин. *Физика резания металлов*. 1971;1:63–68.

4. Маталин А.А. *Технологические методы повышения долговечности деталей машин*. Киев: Изд-во «Техника»; 1971. 142 с.
5. Ящерицын П.И. *Технологическая наследственность и эксплуатационные свойства шлифованных деталей*. Минск: Наука и техника; 1971. 210 с.
6. Хейфец М.Л. *Проектирование процессов комбинированной обработки*. Москва: Машиностроение; 2005. 272 с.
7. Хейфец М.Л., Васильев А.С., Клименко С.А., Танович Л. Технологическая наследственность в процессах производства и реновации изделий. *Инженер-механик*. 2015;2:8–13.
8. Бутенко В.И. *Применение йода и его соединений в процессах обработки и эксплуатации деталей машин*. Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ; 2023. 242 с.
9. Бутенко В.И., Кадач Р.Г. Исследование эффективности способов заточки металлорежущих инструментов из быстрорежущей стали. В: *сб. тр. науч.-техн. конф. «Современные тенденции развития инструментальных систем и металлообрабатывающих комплексов»*. Ростов-на-Дону: ДГТУ; 2023. 96–101. URL: <https://ntb.donstu.ru/content/2023265> (дата обращения: 13.01.2025).
10. Бутенко В.И. *Применение йода и его соединений в процессах обработки и эксплуатации деталей машин*. Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ; 2023. 242 с.
11. Савицкий В.В. *Электроэрозионные методы обработки материалов: учеб. пособие для вузов*. Витебск: Изд-во УО «ВГТУ»; 2006. 276 с.
12. Латышев В.Н. *Повышение эффективности СОЖ*. Москва: Машиностроение; 1985. 64 с.
13. Латышев В.Н., Наумов А.Г., Раднюк В.С. Применение йода как компонента СОТС при резании металлов. *Металлообработка*. 2008;3(45):9–14.
14. Фьюри М.Дж. Действие йода при получении особо низкой величины трения. *Wear*. 1966;9(5):1–23.
15. Бутенко В.И. *Научные основы функциональной инженерии поверхностного слоя деталей машин*. Ростов-на-Дону: Издательский центр ДГТУ; 2017. 481 с.
16. Бутенко В.И. *Нелинейность процессов при обработке металлов резанием*. Таганрог: Изд-во ТРТУ; 2001. 224 с.
17. Бутенко В.И., Дуров Л.С. *Совершенствование процессов обработки авиационных материалов*. Таганрог: Изд-во ТРТУ; 2004. 127 с.

Об авторах:

Роман Геннадьевич Кадач, аспирант кафедры технологии машиностроения Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), rkad925@mail.ru

Виктор Иванович Бутенко, доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), butenkowiktor@yandex.ru

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

About the Authors:

Roman G. Kadach, Postgraduate Student of the Mechanical Engineering Technology Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), rkad925@mail.ru

Viktor I. Butenko, Dr.Sci. (Engineering.), Professor of the Mechanical Engineering Technology Department, Don State Technical University (1, Gagarin Sq., Rostov-on-Don, 344003, Russian Federation), butenkowiktor@yandex.ru

Conflict of Interest Statement: the authors declare no conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.