

УДК 621.983

*\*Митичкина Н. Г., Космина А. В.**Донбасский государственный технический университет**\*E-mail: ng\_mitichkina@mail.ru*

## ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОГО СПОСОБА ПРОБИВКИ ОТВЕРСТИЯ В УСЛОВИЯХ СОВМЕЩЕННОЙ ШТАМПОВКИ ТРУБНЫХ ЗАГОТОВОК ОГРАНИЧЕННОЙ ДЛИНЫ

*На основании обзора литературы проанализированы способы пробивки отверстий, применяемые в совмещенных штампах. На базе лаборатории ОМД ДонГТУ проведены экспериментальные исследования процесса пробивки отверстий эластичной средой по клиновому ребру с разным углом заострения и классическим способом. Выполнен сравнительный анализ поверхности среза клиновым пробивным элементом отверстия и отхода, а также поверхности среза, полученной классическим способом. Исследования показали, что поверхности среза отличаются механизмом разделения и внешними признаками. Основными факторами, влияющими на пробивку жестким инструментом, являются зазор между пуансоном и матрицей и род пробиваемого материала, а при пробивке эластичной средой — род материала, жесткость эластичной среды и угол заострения клинового пробивного элемента. Оптимальным при пробивке по клиновому ребру является угол заострения 45 градусов, срез при этом отличается значительной пластической деформацией в зоне реза и утонением. Большая пластическая деформация приводит к дополнительному упрочнению кромки отверстия, что снижает пластичность и в дальнейшем может привести к потере устойчивости во время процесса отгибки.*

**Ключевые слова:** *пробивка, совмещенная штамповка, вырубка, вытяжка, отбортовка, отгибка, штамп, пуансон, матрица, эластичная среда, клиновые ребра, пластическая деформация, трещины скалывания, заусенцы, изгибающий момент.*

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Пробивка — одна из наиболее применяемых операций листовой штамповки. Часто она используется в совмещенных штампах, где за один ход пресса выполняются две и более операции, например: вырубка и пробивка; вырубка, вытяжка и пробивка; пробивка и отбортовка и т. д. Совмещение операций позволяет получать более точные изделия при высокой производительности процесса [1].

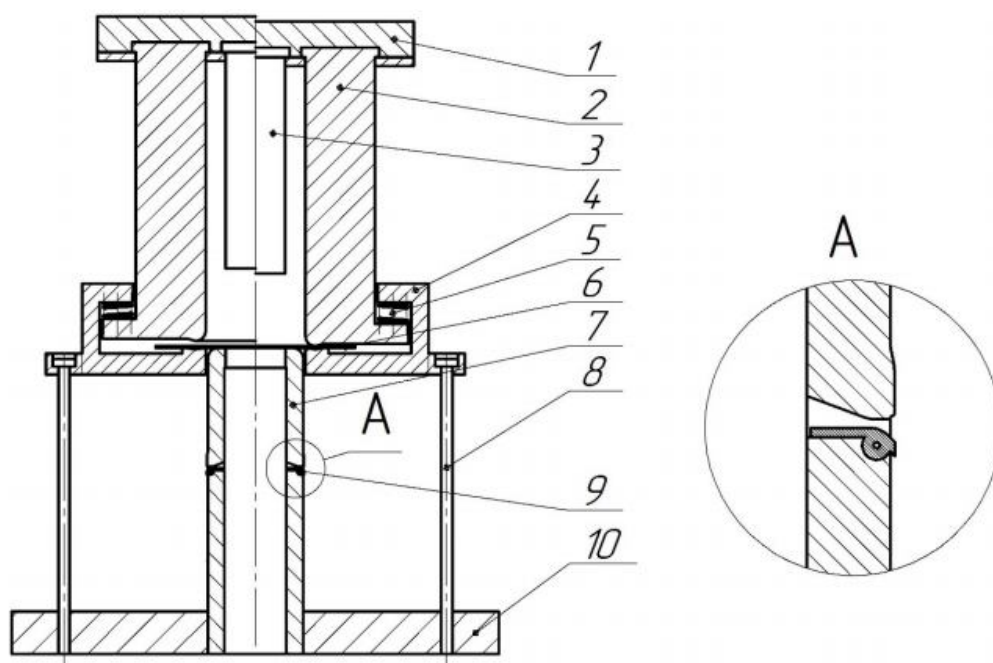
Ранее авторами был предложен совмещенный способ штамповки трубных заготовок ограниченной длины [2]. Способ содержит следующие переходы: вырубку, штамповку трубной заготовки и обрезку. Для штамповки трубной заготовки ограниченной длины предложен штамп совмещенного действия (рис. 1). В нем происходят вытяжка, пробивка дна, отгибка и протяжка за один ход пресса.

**Постановка задачи.** Для получения ровной и качественной поверхности торца

трубной заготовки ограниченной длины в штампе совмещенного действия необходимо выбрать наиболее рациональный способ пробивки на основе анализа литературных данных и экспериментальных исследований.

**Изложение материала.** В процессе штамповки трубной заготовки ограниченной длины происходит пробивка дна, а затем его отгибка, т. е. очень важной составляющей является чистота поверхности получаемого пробивкой отверстия, т. к. в дальнейшем, в процессе отгибки дна, отверстие будет претерпевать деформации тангенциального растяжения и нормального сжатия.

В совмещенных процессах применяют следующие виды пробивки: жестким инструментом с плоской поверхностью (классический способ), жестким инструментом с применением клиновых ребер и с помощью эластичной среды, когда один из рабочих инструментов, пуансон или матрицу заменяют эластичной средой (резиной, полиуретаном, жидкостью или газом).



1 — верхняя плита штампа; 2 — вытяжная матрица с перетяжным ребром; 3 — пробивной пуансон; 4 — прижим; 5 — пружины; 6 — заготовка; 7 — пуансон-матрица; 8 — ограничитель вертикального перемещения; 9 — съемник; 10 — нижняя плита штампа

Рисунок 1 — Схема конструкции штампа совмещенного действия для получения трубной заготовки (начальный момент и момент прижима заготовки)

Рассмотрим каждый вид подробнее.

При пробивке жестким инструментом (классический способ) пуансон и матрица выполнены жесткими и расположены друг относительно друга с зазором, который выбирается в зависимости от толщины и вида пробиваемого материала [3].

В операциях разделения жестким инструментом участвуют две режущие кромки, вблизи которых возникают локальные очаги пластической деформации. По мере перемещения инструмента пластическая деформация охватывает всю толщину материала заготовки, начинается сдвиг ее частей, зарождаются трещины скалывания, которые распространяются навстречу друг другу и встречаются при оптимальном технологическом зазоре.

Достоинством способа является простота исполнения и хорошая применимость в штампах совмещенного действия. К недостаткам можно отнести наличие микротрещин, сколов, заусенцев на поверхности сре-

за при выработке инструмента или неточности выбора зазора или настройки штампа.

Для повышения качества среза применяют пробивной элемент в виде клиновидного ребра [4–8]. Полученное таким образом отверстие обладает срезом повышенного качества, однако стойкость таких ребер невысока и необходимо продумывать их материал, вид изготовления и упрочнения.

При штамповке с использованием эластичной среды [9] происходит процесс разделения металла между жестким пуансоном или жесткой матрицей и эластичной средой в виде полиуретана, резины и т. д. Разделение материала осуществляется только на одной режущей кромке, что вносит существенные изменения в механизм деформирования. Режущая кромка жесткого инструмента внедряется в тело заготовки и вблизи нее возникает очаг пластической деформации. Однако этот очаг локализован и не распространяется на всю толщину заготовки. Под действием давле-

ния эластичного материала часть заготовки прогибается, возникают изгибающий момент, растягивающая сила и контактные касательные напряжения, которые приводят к появлению растягивающих меридиональных напряжений, действующих вдоль листа. Уменьшение поперечного сечения заготовки, вызванное его утонением за счет внедрения режущей кромки, приводит к увеличению растягивающего напряжения. При достижении величины, превышающей напряжение текучести, соответствующее образованию локальной шейки, происходит обрыв заготовки [10]. Поверхность среза отличается неровностью, имеет утяжины и зону скола.

В некоторых случаях для получения отверстий под отгибку эластичной средой применяются пробивные элементы клиновидной формы. Отверстие, полученное таким способом, имеет более качественную поверхность и не требует дополнительной обработки. Это создает благоприятные условия для последующего процесса отбортовки или отгибки [11], что требует

уточнения ввиду применимости в рассматриваемом штампе.

Для уточнения аналитически полученных сведений на базе лаборатории ОМД ДонГТУ проведены экспериментальные исследования процесса пробивки отверстий эластичной средой по клиновому ребру с разным углом заострения и классическим способом. Материал заготовки — алюминий марки А3, толщиной 0,7 и 0,95 мм, диаметр пробиваемого отверстия — 10 мм и 15 мм, клиновые ребра с углом заострения 30, 45 и 60 градусов, в качестве эластичной среды использовалась резина марки 3826. С помощью инструментального микроскопа марки МПБ-3 (увеличение 25×) и визуально были изучены и сравнены поверхности среза клиновым пробивным элементом отверстия и отхода, а также поверхности среза, полученные классическим способом.

На рисунках 2–6 представлены отходы и поверхности среза для пробивки заготовок эластичной средой с различными углами заострения клиновидного ребра.



Рисунок 2 — Вид и качество среза отхода № 1 после пробивки (диаметр 15 мм, толщина материала 0,7 мм, угол заострения клиновидного ребра 45°)

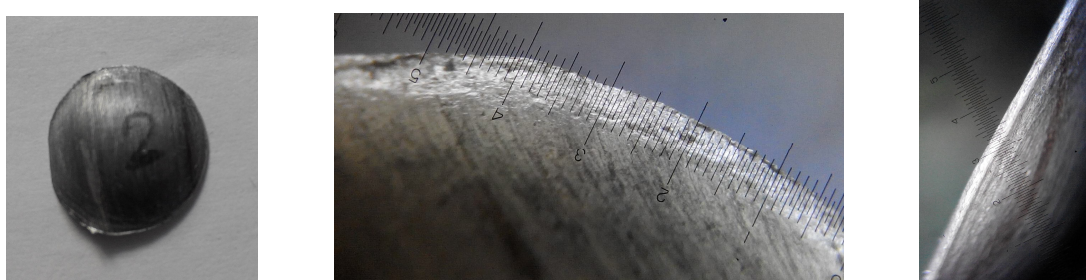


Рисунок 3 — Вид и качество среза отхода № 2 после пробивки (диаметр 15 мм, толщина материала 0,7 мм, угол заострения клиновидного ребра 60°)

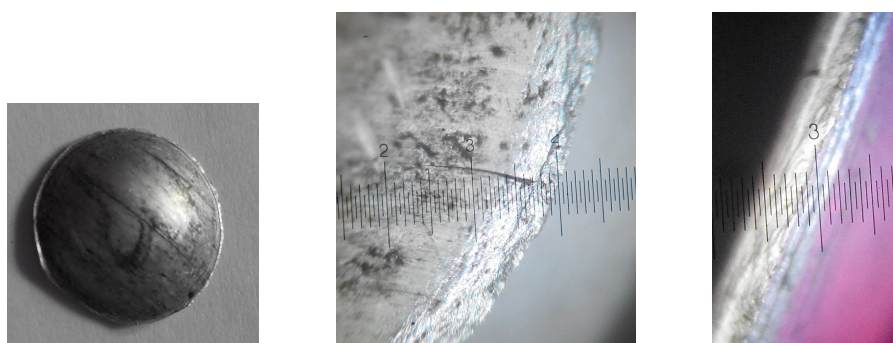


Рисунок 4 — Вид и качество среза отхода № 3 после пробивки (диаметр 15 мм, толщина материала 0,95 мм, угол заострения клинового ребра 45°)

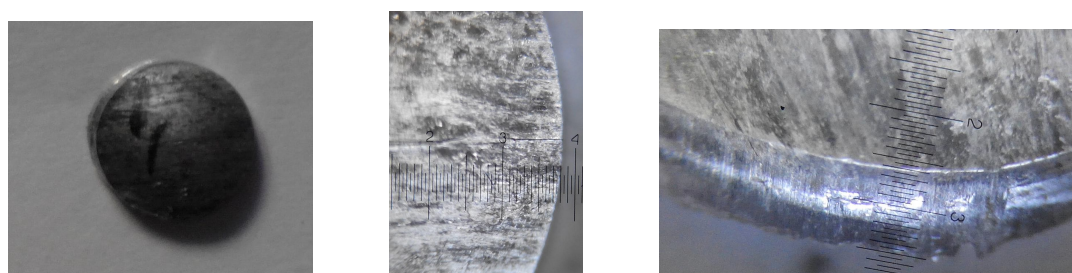


Рисунок 5 — Вид и качество среза отхода № 4 после пробивки (диаметр 10 мм, толщина материала 0,95 мм, угол заострения клинового ребра 30°)

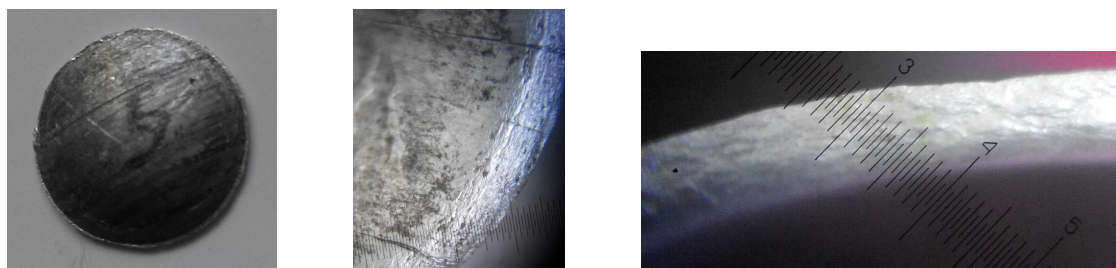
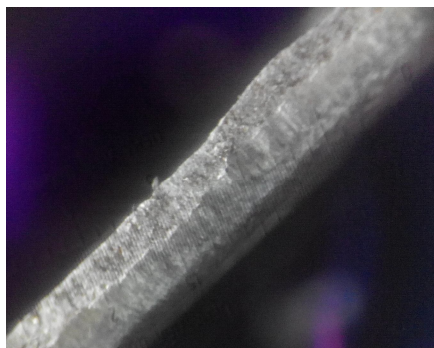


Рисунок 6 — Вид и качество среза отхода № 5 после пробивки (диаметр 15 мм, толщина материала 0,95 мм, угол заострения клинового ребра 60°)

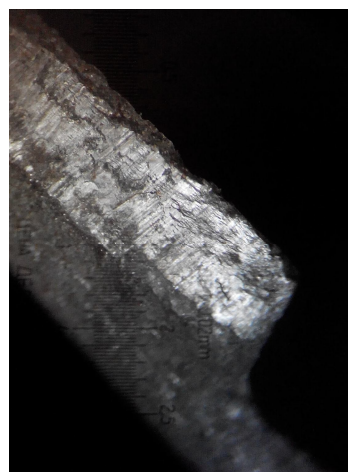
Исследования показали, что срез, получаемый при пробивке эластичной средой и клиновым ребром, имеет ярко выраженное утонение, которое возникает вследствие появления шейки во время взаимодействия эластичной среды с жестким инструментом, и происходит «обкусывание» по контуру возникающей шейки. При этом вид среза практически отличается только толщиной зоны пластической деформации. Углы заострения 30° и 45° показали аналогичные результаты, тогда как стойкость ре-

бра с углом заострения 30° ниже, чем с углом 45°. Угол заострения 60° неэффективен из-за большой утяжки материала, при этом ширина зоны блестящего пояса (зоны резания) составила приблизительно 55 %, тогда как при 45° — 67 %, а при 30° — 69 %. Срез же при пробивке классическим способом имеет значительную зону скола, не имеет утяжины, в нем не наблюдается эффекта образования шейки, однако при большом зазоре появляется втягивание и заусенец (рис. 7).





а



б

Рисунок 7 — Вид среза при пробивке классическим способом: а) срез; б) заусенец (диаметр 15 мм, толщина материала 0,95 мм)

### Выводы и направление дальнейших исследований:

1. Исследования показали, что при использовании пробивки классическим способом поверхность среза зависит от применяемого зазора, материала заготовки, как и отмечено во многих источниках. При этом значительной является поверхность скола, на которой отмечаются неровности и микротрещины, что при дальнейшей отбортовке или отгибке дна может служить как концентратор напряжений для появления трещин. Большая величина зазора или выработка режущей поверхности инструмента приводит к появлению заусенцев.

2. Пробивка эластичной средой по клиновому ребру показывает, что оптималь-

ным углом является угол 45 градусов (как и показано в работах ранее), срез при этом отличается значительной пластической деформацией в зоне реза и утонением.

3. Большая пластическая деформация приводит к дополнительному упрочнению кромки отверстия, что снижает пластичность и в дальнейшем может привести к потере устойчивости во время процесса отгибки.

Таким образом, предпочтительной является в данном случае пробивка классическим способом или жестким инструментом по клиновому ребру, так как поверхности среза в этом случае не будут иметь дополнительного утонения и упрочнения и могут быть без усложнения конструкции штампа применены в совмещенной штамповке.

### Список источников

1. Попов Е. А. *Технология и автоматизация листовой штамповки* : учеб. для вузов. М. : МГТУ, 2003. 480 с.
2. Митичкина Н. Г., Токарев А. В. Совершенствование способа получения трубной заготовки методом холодной штамповки // *Сборник научных трудов ДонГТИ*. 2021. № 22 (65). С. 52–57.
3. Романовский В. П. *Справочник по холодной штамповке*. 6-е изд., перераб. и доп. Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1979. 520 с.
4. Митичкина Н. Г., Бут А. Ю. Совершенствование процесса пробивки отверстий под ответвления соединительных элементов трубопроводов в условиях однопереходной штамповки // *Обработка материалов давлением : сборник научных трудов*. Краматорск : ДГМА, 2011. № 4 (29). С. 137–141.
5. Штмп совмещенного действия для образования отверстия и отбортовки : а. с. 1074632 СССР / Шевченко В. Ф. ; № 709218 ; заявл. 29.10.82 ; опубл. 23.02.84, Бюл. № 7. 3 с.

6. Штамп совмещенного действия для пробивки и отбортовки : а. с. 1258566 СССР / Шевченко В. Ф. ; № 1074632 ; заявл. 10.04.85 ; опубл. 23.09.86, Бюл. № 35. 3 с.

7. Штамп совмещенного действия : а. с. 1260072 СССР / Шевченко В. Ф. ; № 1074632 ; заявл. 15.03.85 ; опубл. 30.09.86, Бюл. № 36. 2 с.

8. В 21 D 37/00, В 21 D 35/00. Штамп совмещенного действия : а. с. 1423230 СССР / Шевченко В. Ф. ; № 1074632 ; заявл. 16.02.87 ; опубл. 15.09.88, Бюл. № 34. 3 с.

9. Митичкина Н. Г., Бут А. Ю. Исследование процесса получения отверстий под оформление ответвлений труб // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. 2012. № 9. С. 12–15.

10. Аверкиев Ю. А. Технология холодной штамповки : учебник для вузов. М. : Машиностроение, 1989. 304 с.

11. Бут А. Ю. Совершенствование процесса штамповки тройников эластичной средой на основе совмещения технологических операций : дис. ... канд. техн. наук. Алчевск, 2014. 220 с.

© Митичкина Н. Г., Космина А. В.

**Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. МТ ДонГТУ Должиковым В. В., к.т.н., доц., пом. нач. СПЦ по технологии ООО «ЮГМК» Чичкан А. А.**

Статья поступила в редакцию 25.10.2023.

#### **СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ**

**Митичкина Наталия Геннадиевна**, канд. техн. наук, доцент, и. о. зав. каф. металлургических технологий

Донбасский государственный технический университет,

г. Алчевск, Луганская Народная Республика, Россия,

e-mail: ng\_mitichkina@mail.ru

**Космина Алена Викторовна**, аспирант каф. металлургических технологий

Донбасский государственный технический университет,

г. Алчевск, Луганская Народная Республика, Россия,

e-mail: alona\_kosmina@mail.ru

**\*Mitichkina N. G., Kosmina A. V.** (Donbass State Technical University, Alchevsk, Lugansk People's Republic, Russia, \*e-mail: ng\_mitichkina@mail.ru)

#### **SELECTING A RATIONAL METHOD FOR PUNCHING THE HOLE UNDER THE DOUBLE-ACTION FORMING OF PIPE BLANKS WITH LIMITED LENGTH**

The analysis of the literature reveals the methods used to punch holes in combined dies. On the basis of the MF laboratory of FSBEI HE "DonSTU" experimental studies were conducted on the process of punching holes in elastic medium on a wedge rib using a different angle of sharpening and a classic method. A comparison has been made between the cutting surface with a wedge-shaped punching element for boring and offscouring, and the cutting surface obtained by the classical method. Studies have shown that the cut surfaces are distinguished by a separation mechanism and external admissions. The main factors influencing punching rigid tool are the gap between the punch, matrix and the type of punched material, as well punching elastic medium — the type of material, the rigidity of elastic medium and the angle of sharpening of the wedge-shaped punching element. The wedge rib is punched at an optimal angle of 45 degrees, and the cut is marked by significant plastic deformation in the cutting area and thinning. Large plastic deformation leads to additional reinforcement of the boring edge, which reduces ductility and can later lead to loss of stability during the bending process.

**Key words:** punching, double-action forming, blanking, drawing, flanging, bending, die, punch, matrix, elastic medium, wedge ribs, plastic deformation, cleavage cracks, burrs, bending moment.

## References

1. Popov E. A. *Technology and automation of sheet forging: textbook [Tekhnologiya i avtomatizaciya listovoj shtampovki: ucheb. dlya vuzov]*. M.: MSTU, 2023. 480 p. (rus)
2. Mitichkina N. G., Tokarev A. V. *Improving the method for producing a pipe blank by cold punching [Sovershenstvovanie sposoba polucheniya trubnoj zagotovki metodom holodnoj shtampovki]*. Scientific works collection of DonSTU. 2021. No. 22 (65). Pp. 52–57. (rus)
3. Romanovskiy V. P. *Cold punching handbook. 6th edition. rev. ed. [Spravochnik po holodnoj shtampovke. 6-e izd., pererab. i dop.]*. L.: Mechanical Engineering. Leningr. otd-nie, 1979. 520 p. (rus)
4. Mitichkina N. G., But A. Yu. *Improve the process of punching borings for the branch of pipeline connecting elements under single-pass punching conditions [Sovershenstvovanie processa probivki otverstij pod otvetvleniya soedinitel'nyh elementov truboprovodov v usloviyah odnoperekhodnoj shtampovki]*. Obrabotka materialov davleniem: sbornik nauchnyh trudov. Kramatorsk: DonSMA, 2011. No. 4 (29). Pp.137–141. (rus)
5. Shevchenko V. F. *Combined action die for boring and crease: a. s. 1074632 USSR. No 709218; submitted 29.10.82; published 23.02.84, bulletin No. 7. 3 p. (rus)*
6. Shevchenko V. F. *Combined action die for punching and crease: a. s.1258566 USSR. No 1074632; submitted 10.04.85; published 23.09.86, bulletin No. 35. 3 p. (rus)*
7. Shevchenko V. F. *Combined action die: a. s. 1260072 USSR. No. 1074632; submitted 15.03.85; published 30.09.86, bulletin No. 36. 2 p. (rus)*
8. Shevchenko V. F. *B 21 D 37/00, B 21 D 35/00. Combined action die: a. s. 1423230 USSR. No. 1074632; submitted 16.02.87; published 15.09.88, bulletin No. 34. 3 p. (rus)*
9. Mitichkina N. G., But A. Yu. *Studying the process of obtaining borings for the branch pipes design. [Issledovanie processa polucheniya otverstij pod oformlenie otvetvlenij trub]*. Die forging. Metal forming. 2012. No. 9. Pp.12–15. (rus)
10. Averkiev Yu. A. *Technology of cold punching: textbook [Tekhnologiya holodnoj shtampovki]*. M.: Mechanical Engineering, 1989. 304 p. (rus)
11. But A. Yu. *Improvement of tee-joints punching process with elastic environment based on combination of technological operations: thesis of PhD in Engineering. [Sovershenstvovanie processa shtampovki trojnikov elastichnoj sredoj na osnove sovmeshcheniya tekhnologicheskikh operacij: dis. ... kand. tekhn. nauk]*. Alchevsk, 2014. 220 p. (rus)

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Mitichkina Natalia Gennadievna**, PhD in Engineering, Assistant Professor, Acting Head of the Department of Metallurgical Technologies  
Donbas State Technical University,  
Alchevsk, Lugansk People's Republic, Russia,  
e-mail: ng\_mitichkina@mail.ru

**Kosmina Alena Viktorovna**, Postgraduate of the Department of Metallurgical Technologies  
Donbas State Technical University,  
Alchevsk, Lugansk People's Republic, Russia,  
e-mail: alona\_kosmina@mail.ru