ЧЕБЫШЕВСКИЙ СБОРНИК

Том 22. Выпуск 5.

УДК 620.193:620.194.22

DOI 10.22405/2226-8383-2021-22-5-384-390

Закономерности газолазерной обработки металлических сплавов¹

И. В. Минаев, А. Е. Гвоздев, С. Н. Кутепов, А. А. Калинин, А. Д. Бреки, О. В. Кузовлева,
А. В. Маляров, Е. С. Крупицын

Минаев Игорь Васильевич — Тульский государственный педагогический университет им. Л. Н. Толстого (г. Тула).

e-mail: ivminaev1960@yandex.ru

Гвоздев Александр Евгеньевич — доктор технических наук, профессор, Тульский государственный педагогический университет им. Л. Н. Толстого (г. Тула).

e-mail: gwozdew.alexandr2013@yandex.ru

Кутепов Сергей Николаевич — кандидат педагогических наук, доцент, Тульский государственный педагогический университет им. Л. Н. Толстого (г. Тула).

e-mail: kutepov.sergei@mail.ru

Калинин Антон Алексеевич — Тульский государственный университет (г. Тула).

e-mail: antony-ak@mail.ru

Бреки Александр Джалюльевич — кандидат технических наук, доцент, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого; Институт проблем машиноведения РАН (г. Санкт-Петербург).

e-mail: albreki@yandex.ru

Кузовлева Ольга Владимировна — кандидат технических наук, доцент, Российский государственный университет правосудия (г. Москва).

e-mail: kusovleva@yandex.ru

Маляров Андрей Викторович — Тульский государственный педагогический университет им. Л. Н. Толстого (г. Тула).

e-mail: vascko.andr@yandex.ru

Крупицын Евгений Станиславович — кандидат физико-математических наук, Московский педагогический государственный университет (г. Москва).

e-mail: krupitsin@gmail.com

Аннотация

Рассмотрена газолазерная обработка металлических сплавов на примере газолазерной резки с различной мощностью, скоростью, давлением вспомогательного газа и фокусным расстоянием. В результате проведенных комплексных исследований установлено, что применение газолазерной резки при изготовлении деталей из металлических сплавов системы «железо – углерод» открывает возможность совмещения в одной операции и получения и упрочнения детали без использования дополнительной термической и химико-термической обработки. Разработаны адекватные математические нелинейные регрессионные модели протяженности зоны газолазерного термического влияния (L); ортогональности поверхности реза (a); шероховатости поверхности газолазерного реза (Rz), которые связывают

¹Со стороны СПбПУ Петра Великого исследования выполнены в рамках Программы Минобрнауки России «Научный центр мирового уровня» № 075-15-2020-934, со стороны ИПМаш РАН - в рамках государственного задания № АААА-А18-118012190023-2.

показатели качества поверхности газолазерной резки с параметрами лазерной обработки, содержанием углерода в стали и толщиной стального листа.

Ключевые слова: газолазерная резка, зона газолазерного термического влияния, мощность, скорость лазерной резки.

Библиография: 15 названий.

Для цитирования:

И. В. Минаев, А. Е. Гвоздев, С. Н. Кутепов, А. А. Калинин, А. Д. Бреки, О. В. Кузовлева, А. В. Маляров, Е. С. Крупицын Закономерности газолазерной обработки металлических сплавов // Чебышевский сборник, 2021, т. 22, вып. 5, с. 384–390.

CHEBYSHEVSKII SBORNIK

Vol. 22. No. 5.

UDC 620.193:620.194.22

DOI 10.22405/2226-8383-2021-22-5-384-390

Regularities of gas-laser processing of metal alloys

I. V. Minaev, A. E. Gvozdev, S. N. Kutepov, A. A. Kalinin, A. D. Breki, O. V. Kuzovleva,
A. V. Malyarov, E. S. Krupitsyn

Minaev Igor Vasilyevich — Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University (Tula).

e-mail: ivminaev1960@yandex.ru

Gvozdev Alexander Evgenievich — doctor of technical sciences, professor, Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University (Tula).

e-mail: gvozdev.alexandr2013@yandex.ru

Kutepov Sergey Nikolaevich — candidate of pedagogical sciences, associate professor, Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University (Tula).

e-mail: kutepov.sergei@mail.ru

Kalinin Anton Alekseevich — Tula State University (Tula).

e-mail: kutepov.sergei@mail.ru

Breki Alexander Dzhalyulevich — candidate of technical sciences, associate professor, Saint-Petersburg Polytechnic University of Peter the Great; Institute of Problems of Machine Science of the Russian Academy of Sciences (Saint-Peterburg).

e-mail: albreki@yandex.ru

Kuzovleva Olga Vladimirovna — candidate of technical sciences, associate professor, Russian state University of Justice (Moscow).

e-mail: kusovleva@yandex.ru

Malyarov Andrey Viktorovich — Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University (Tula).

e-mail: vascko.andr@yandex.ru

Krupitsyn Evgeny Stanislavovich — candidate of physical and mathematical sciences, Moscow Pedagogical State University (Moscow).

e-mail: krupitsin@gmail.com

Abstract

Gas laser processing of metal alloys is considered on the example of gas laser cutting with different power, speed, auxiliary gas pressure and focal length. As a result of the comprehensive studies carried out, it was found that the use of gas laser cutting in the manufacture of parts from metal alloys of the iron –carbon system opens up the possibility of combining in one operation

and obtaining and hardening the part without the use of additional thermal and chemical-thermal treatment. Adequate mathematical nonlinear regression models have been developed for the extent of the gas-laser thermal influence zone (L); orthogonality of the cutting surface (a); surface roughness of the gas-laser cut (R_z), which link the quality indicators of the gas-laser cutting surface with the parameters of laser processing, the carbon content in steel and the thickness of the steel sheet.

Keywords: gas laser cutting, zone of gas laser thermal influence, power, speed of laser cutting.

Bibliography: 15 titles.

For citation:

I. V. Minaev, A. E. Gvozdev, S. N. Kutepov, A. A. Kalinin, A. D. Breki, O. V. Kuzovleva, A. V. Malyarov, E. S. Krupitsyn, 2021, "Regularities of gas-laser processing of metal alloys", *Chebyshevskii sbornik*, vol. 22, no. 5, pp. 384–390.

1. Основной текст статьи

Рассмотрена газолазерная обработка металлических сплавов на примере газолазерной резки с различной мощностью, скоростью, давлением вспомогательного газа и фокусным расстоянием. В результате проведенных комплексных исследований установлено, что применение газолазерной резки при изготовлении деталей из металлических сплавов системы «железо – углерод» открывает возможность совмещения в одной операции и получения и упрочнения детали без использования дополнительной термической и химико-термической обработки, что защищено патентами на изобретения, имеющими мировую новизну и международный приоритет.

В настоящее время широко применяются в промышленности процессы газолазерной резки (ГЛР) металлических листов из углеродистых сталей различного назначения. При этом одной из актуальных задач современного металловедения является задача исследования структуры и свойств металлических сплавов, при воздействии на них лазерным излучением. Поэтому выявление особенностей изменения структуры и свойств углеродистых сталей при газолазерной резке, позволяет установить закономерности поведения металлических сплавов в экстремальных условиях и разрабатывать на этой основе новые ресурсосберегающие способы обработки.

Работы в области исследований лазерной обработки металлических сплавов ведутся в научных и высших образовательных учреждениях, таких как Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН, МГУ им. М.В. Ломоносова, МВТУ им. Н.Э. Баумана, МАИ, МПУ, ТулГУ, ННТУ, МИСИС Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, БТНТА, Тольяттинский политехнический университет и других организациях. Этим направлением занимались представители ведущих научных школ ученые Н.Н. Рыкалин, М.Х. Шоршоров, А.А. Углов, Ю.В. Цветков, А.Г. Колмаков, А.Г. Григорьянц, Р.В. Артюнян, В.С. Коваленко, И.Н. Шиганов, М.А. Криштал, Г.И. Сильман, А.А. Жуков, Р.А. Латыпов, В.А. Судник, А.А. Шатульский, В.Ф. Безъязычный, Г.Н. Гаврилов и другие. Однако до сих пор некоторые вопросы, связанные с особенностями формирования структуры и свойств металлических сплавов на железной основе в процессах газолазерной резки остаются открытыми. Целесообразность решения этих вопросов определила выбор темы, формулировку цели, постановку задач и основные направления исследования.

В результате проведенных исследований получены следующие результаты.

Установлено комплексное влияние параметров газолазерной резки: мощности (W) излучения в пределах изменения от 750 до 1200 Вт, скорости резки (V) в пределах изменения от 700 до 1400 мм/мин; давления вспомогательного газа (P) в пределах изменения от 0,1...0,8...2,0 атм, фокусного расстояния (F) в пределах изменения от 297 до 301 мм положения фокального

пятна вдоль оси оптической головки на показатели качества поверхности реза: отсутствие гра- та, протяженность (L) зоны газолазерного термического влияния (ЗГЛТВ), ортогональность поверхности лазерного реза (α) листов различной толщины (H) из сталей марок 20, 35, 45, У7, У8А и шероховатость (Rz) поверхности реза.

Разработаны адекватные математические нелинейные регрессионные модели протяженно- сти зоны газолазерного термического влияния (L) с коэффициентом детерминации, составля- ющим 99,2%; ортогональности поверхности реза (α) с коэффициентом детерминации равным 98,2%; шероховатости поверхности газолазерного реза (Rz) с коэффициентом детерминации 99,58%. Средняя относительная ошибка аппроксимации разработанных моделей не превышает 10%. Математические модели Rz , α и L связывают показатели качества поверхности газола- зерной резки с параметрами лазерной обработки, содержанием углерода в стали и толщиной стального листа.

Показано, что увеличение содержания углерода в стали и увеличение мощности лазера приводит к значительному, почти равномерному росту ЗГЛТВ в области поверхности газола- зерного реза. Увеличение толщины металла приводит к минимальному равномерному росту ЗГЛТВ. Количественные оценки показали, что абсолютный прирост протяженности ЗГЛТВ составляет 70 мкм. Увеличение давления струи вспомогательного газа приводит к равномер- ному уменьшению глубины ЗГЛТВ. Выявлено, что увеличение содержания углерода в стали приводит к неравномерному изменению угла отклонения реза от 90° с переходом от отрица- тельных значений к положительным. Максимальное уменьшение угла наблюдается в интер- вале содержания углерода от 0,2 до 0,4%.

Созданы новые способы обработки, обеспечивающие формирование упрочненного поверх- ностного слоя в зоне газолазерной резки стальных деталей, которые в одной операции сов- мещают процессы изготовления и упрочнения, что защищено патентами на изобретения №2695715 и №2707374, зарегистрированными в Государственном реестре изобретений Россий- ской Федерации 25.07.2019 г. и 26.11.2019 г. соответственно. Полученные результаты опубли- кованы в отечественных и зарубежных изданиях [1]-[15].

СПИСОК ЦИТИРОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. И. В. Минаев, А. Н. Сергеев, А. Н. Кубанова, Н. Н. Добровольский, А. Е. Гвоздев, С. Н. Ку- тепов. История развития лазера и особенности его применения // Чебышевский сборник. 2019. Т.20. Вып. 4. С. 387-402.
2. Н. Н. Сергеев, И. В. Минаев, И. В. Тихонова, С. Н. Кутепов, М. Ю. Комарова, Е. С. Аляв- дина, А. Е. Гвоздев, А. А. Калинин. Основы лазерной и газоплазменной обработки сталей: монография; под ред. проф. Н. Н. Сергеева // Тула: Изд-во ТулГУ, 2017. 337 с. - ISBN 978-5-7679-4440-8.
3. A. E. Gvozdev, I. V. Minaev, N. N. Sergeev, A. G. Kolmakov, D. A. Provotorov, I. V. Tikhonova. Grain size effect of austenite on the kinetics of pearlite transformation in low- and medium- carbon low-alloy steels // Inorganic Materials: Applied Research. 2015. Т. 6. №1. С. 41-44.
4. A. E. Gvozdev, I. V. Golyshev, I. V. Minaev, N. N. Sergeev, I. V. Tikhonova, D. M. Khonelidze, A. G. Kolmakov. Multiparametric optimization of laser cutting of steel sheets // Inorganic Materials: Applied Research. 2015. Т. 6. №4. С. 305-310.
5. A. E. Gvozdev, N. N. Sergeev, I. V. Minaev, I. V. Tikhonova, A. N. Sergeev, D. M. Khonelidze, D. V. Maliy, I. V. Golyshev, A. G. Kolmakov, D. A. Provotorov. Temperature distribution and structure in the heat affected zone for steel sheets after laser cutting // Inorganic Materials: Applied Research. 2017. Т. 8. №1. С. 148-152.

6. N. N. Sergeev, I. V. Minaev, A. E. Gvozdev, A. E. Cheglov, L. A. Tsyganov, E. S. Alyavdina, O. M. Gubanov, A. D. Breki. Decarburization and the influence of lazer cutting on steel structure. // Steel in Translation. 2018. T.48. №5. С. 313-319.
7. N. N. Sergeev, I. V. Minaev, A. E. Gvozdev, A. E. Cheglov, L. A. Tsyganov, E. S. Alyavdina, O. M. Gubanov, A. D. Breki. Decarburization and the influence of lazer cutting on steel structure // Steel in Translation. 2018. T.48. №5. С. 313-319.
8. И. В. Минаев, А. Е. Гвоздев, А. Г. Колмаков, М. Л. Хейфец, С. Н. Кутепов. Особенности лазерной резки в синтезе технологий изготовления и упрочнения деталей из сталей // Актуальные вопросы машиноведения. 2020. Т. 9. С. 254-260.
9. Патент на полезную модель № 151792 Российская Федерация, МПК51 В23К26 (2014.01) В23К26/14 (2014.01). Оптическая головка для лазерной резки листового металла толщиной 12 мм и выше непрерывным волоконным лазером мощностью до 4 кВт / И. В. Минаев, И. В. Голышев, Н. Н. Сергеев, А. Е. Гвоздев; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью Научно-производственное предприятие «ТЕЛАР». — № 2014140571/02; заявл. 08.10.14; опубл. 20.04.15. Бюл. № 11. — 3 с.
10. Свидетельство РФ №2018663400 о государственной регистрации программы на ЭВМ. Программный комплекс для расчета характеристик нестационарных тепловых полей и адиабатических эффектов в процессах обработки металлических, порошковых, аморфных, неметаллических и наноконпозиционных систем и материалов конструкционного, инструментального и триботехнического назначения / А. Е. Гвоздев, А. Д. Бреки, Е. В. Цой, Г. М. Журавлев, Д. С. Клементьев, С. Н. Кутепов, Д. В. Малий, А. А. Калинин, И. В. Минаев, А. Н. Сергеев; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО «ТПУ им. Л. Н. Толстого». — № 2018660543; заявл. 02.10.2018; опубл. 26.10.2018. Дата государственной регистрации в реестре программ для ЭВМ в Роспатенте 26.10.2018.
11. Патент на полезную модель № 122325 Российская Федерация, МПК В23К26/08 (2006.01). Установка для лазерной обработки крупногабаритных длинномерных изделий / И. В. Минаев, И. Л. Грашкин; заявитель и патентообладатель: общество с ограниченной ответственностью Научно-производственное предприятие «ТЕЛАР» (RU). — № 2012121385/02; заявл. 24.05.2012; опубл. 27.11.2012. Бюл. № 33. — 2 с.
12. Свидетельство РФ №2017616180 о государственной регистрации программы на ЭВМ. Программный комплекс для моделирования ресурсосберегающих производств обработки и фрикционного взаимодействия металлических систем / А. Д. Бреки, А. Е. Гвоздев, Ю. С. Дорохин, Д. С. Клементьев, С. Н. Кутепов, О. В. Кузовлева, Д. В. Малий, П. Н. Медведев, И. В. Минаев, Д. В. Провоторов, Н. Е. Проскуряков, А. Н. Сергеев, Д. М. Хонелидзе; заявитель и правообладатель: Гвоздев А. Е. Заявка № 2017613672. Дата государственной регистрации в реестре программ для ЭВМ в Роспатенте 02.06.2017.
13. Патент на изобретение № 2697515 Российская Федерация, МПК51 В23К26/38 (2014.01). Способ формирования упрочненного приповерхностного слоя в зоне лазерной резки деталей / И. В. Минаев, Н. Н. Сергеев, И. В. Тихонова, А. Е. Гвоздев, А. Н., Сергеев, Е. С. Алявдина; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью Научно-производственное предприятие «ТЕЛАР». — № 2018140047; заявл. 14.11.2018; опубл. 25.07.2019. Бюл. № 21. — 3 с.
14. Патент на изобретение № 2721521 Российская Федерация, МПК В21D 37/02 (2006.01). Сборный штамп для вытяжки сложнопрофильных тонкостенных изделий / И. В. Минаев, А. Е. Гвоздев, И. В. Голышев, С. И. Полосин; заявитель и патентообладатель: Общество

с ограниченной ответственностью «МЕТАЛЛИКА71» — № 2019130980; заявл. 17.05.2019; опубл. 19.05.2020. Бюл. № 26. — 3 с.

15. Патент на изобретение № 2707374 Российская Федерация, МПК51 В23К26 (2014.01) В23К26/14 (2014.01) С21D1/09 (2006.01). Способ формирования упрочненного поверхностного слоя в зоне лазерной резки деталей из легированных конструкционных сталей / Н. Н. Сергеев, И. В. Минаев, И. В. Тихонова, А. Е. Гвоздев, А. Н. Сергеев, А. Г. Колмаков, С. Н. Кутепов, Д. В. Малий, И. В. Голышев; заявитель и патентообладатель ООО «МЕТАЛЛИКА71» — № 2019115250; заявл. 17.05.2019; опубл. 26.11.2019. Бюл. № 33. — 3 с.

REFERENCES

1. I. V. Minaev, A. N. Sergeev, A. N. Kubanova, N. N. Dobrovolsky, A. E. Gvozdev, S. N. Kutepov, 2019, "History of laser development and features of its application", Chebyshev collection, tom 20, iss. 4, pp. 387-402.
2. N. N. Sergeev, I. V. Minaev, I. V. Tikhonova, S. N. Kutepov, M. Yu. Komarova, E. S. Alyavdina, A. E. Gvozdev, A. A. Kalinin, 2017, "Fundamentals of laser and gas-plasma processing of steels: monograph; ed. prof. N. N. Sergeeva", Tula: Publishing house of Tula State University, 337 p. ISBN 978-5-7679-4440-8.
3. A. E. Gvozdev, I. V. Minaev, N. N. Sergeev, A. G. Kolmakov, D. A. Provotorov, I. V. Tikhonova, 2015, "Grain size effect of austenite on the kinetics of pearlite transformation in low- and medium-carbon low-alloy steels", Inorganic Materials: Applied Research, tom 6, no. 1. pp. 41-44.
4. A. E. Gvozdev, I. V. Golyshev, I. V. Minaev, N. N. Sergeev, I. V. Tikhonova, D. M. Khonelidze, A. G. Kolmakov, 2015, "Multiparametric optimization of laser cutting of steel sheets", Inorganic Materials: Applied Research, tom 6, no. 4, pp. 305-310.
5. A. E. Gvozdev, N. N. Sergeev, I. V. Minaev, I. V. Tikhonova, A. N. Sergeev, D. M. Khonelidze, D. V. Maliy, I. V. Golyshev, A. G. Kolmakov, D. A. Provotorov, 2017, "Temperature distribution and structure in the heat affected zone for steel sheets after lazer cutting", Inorganic Materials: Applied Research, tom 8, no. 1, pp. 148-152.
6. N. N. Sergeev, I. V. Minaev, A. E. Gvozdev, A. E. Cheglov, L. A. Tsyganov, E. pp. Alyavdina, O. M. Gubanov, A. D. Breki, 2018, "Decarburization and the influence of lazer cutting on steel structure.", Steel in Translation, tom 48, no. 5. pp. 313-319.
7. N. N. Sergeev, I. V. Minaev, A. E. Gvozdev, A. E. Cheglov, L. A. Tsyganov, E. pp. Alyavdina, O. M. Gubanov, A. D. Breki, 2018, "Decarburization and the influence of lazer cutting on steel structure", Steel in Translation, tom 48, no. 5, pp. 313-319.
8. I. V. Minaev, A. E. Gvozdev, A. G. Kolmakov, M. L. Heifets, S. N. Kutepov, 2020, "Features of laser cutting in the synthesis of technologies for the manufacture and hardening of steel parts", Actual problems of mechanical engineering, vol. 9, pp. 254-260.
9. Utility model patent No. 151792 Russian Federation, MPK51 V23K26 (2014.01) V23K26/14 (2014.01). Optical head for laser cutting of sheet metal with a thickness of 12 mm and more with a continuous fiber laser with a power of up to 4 kW/I. V. Minaev, I. V. Golyshev, N. N. Sergeev, A. E. Gvozdev; applicant and patentee Limited Liability Company Research and Production Enterprise "TELAR". No. 2014140571/02; declared 10/08/14; publ. 04/20/15. Bul. No. 11. 3 p.

10. Certificate of the Russian Federation No. 2018663400 on the state registration of a computer program. A software package for calculating the characteristics of non-stationary thermal fields and adiabatic effects in the processing of metal, powder, amorphous, non-metallic and nanocomposite systems and materials for structural, instrumental and tribotechnical purposes/A. E. Gvozdev, A. D. Brecky, E. V. Tsoi, G. M. Zhuravlev, D. pp. Klement'ev, S. N. Kutepov, D. V. Maliy, A. A. Kalinin, I. V. Minaev, A. N. Sergeev; applicant and copyright holder FGBOU VO "TGPU im. L. N. Tolstoy ". No. 2018660543; declared 10/02/2018; publ. 26.10.2018. The date of state registration in the register of computer programs in Rospatent is 10/26/2018.
11. Utility model patent No. 122325 Russian Federation, MPK V23K26/08 (2006.01). Installation for laser processing of large-sized long products/I. V. Minaev, I. L. Grashkin; applicant and patentee: Limited Liability Company Research and Production Enterprise "TELAR"(RU). No. 2012121385/02; declared 05.24.2012; publ. 11/27/2012. Bul. No. 33. 2 p.
12. Certificate of the Russian Federation No. 2017616180 on the state registration of a computer program. A software package for modeling resource-saving processing industries and frictional interaction of metal systems/A. D. Brecky, A. E. Gvozdev, Yu. pp. Dorokhin, D. pp. Klement'ev, S. N. Kutepov, O. V. Kuzovleva, D. V. Maliy, P. N. Medvedev, I. V. Minaev, D. V. Provotorov, N. E. Proskuryakov, A. N. Sergeev, D. M. Khonelidze; applicant and copyright holder: Gvozdev A. E. Application No. 2017613672. Date of state registration in the register of computer programs in Rospatent 06/02/2017.
13. Patent for invention No. 2697515 Russian Federation, MPK51 B23K26/38 (2014.01). Method of forming a hardened near-surface layer in the zone of laser cutting of parts/I. V. Minaev, N. N. Sergeev, I. V. Tikhonova, A. E. Gvozdev, A. N., Sergeev, E. pp. Alyavdina; applicant and patentee Limited Liability Company Research and Production Enterprise "TELAR". No. 2018140047; declared 11/14/2018; publ. 07/25/2019. Bul. No. 21. 3 p.
14. Patent for invention No. 2721521 Russian Federation, IPC B21D 37/02 (2006.01). Combined strand for drawing complex-profile thin-walled products / I. V. Minaev, A. E. Gvozdev, I. V. Golyshev, S. I. Polosin; applicant and patentee: Limited Liability Company METALLIKA71 No. 2019130980; declared 05/17/2019; publ. 05/19/2020. Bul. No. 26. 3 p.
15. Patent for invention No. 2707374 Russian Federation, MPK51 B23K26 (2014.01) B23K26/14 (2014.01) C21D1/09 (2006.01). Method of forming a hardened surface layer in the zone of laser cutting of parts from alloyed structural steels / N. N. Sergeev, I. V. Minaev, I. V. Tikhonova, A. E. Gvozdev, A. N. Sergeev, A. G. Kolmakov, S. N. Kutepov, D. V. Maliy, I. V. Golyshev; applicant and patent holder METALLIKA71 LLC No. 2019115250; declared 05/17/2019; publ. 11/26/2019. Bul. No. 33. 3 p.

Получено 3.09.2021 г.

Принято в печать 21.12.2021 г.