

DOI: 10.15593/2409-5125/2022.1.10

УДК 691.7

В.А. Рязанова, А.И. Габитов, В.В. Соколова, А.С. Салов

Уфимский государственный нефтяной технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ЗОНЫ ТЕРМИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

В настоящее время при изготовлении металлических строительных конструкций широкое распространение получила термическая резка металла. Данная технология обработки материала позволяет значительно уменьшить время изготовления изделий, увеличить объемы производства и снизить объем ручного труда. Кроме этого, в связи с использованием современных станков с числовым программным управлением процесс вырезания заготовок существенно интенсифицируется, повышается точность их изготовления, появляется возможность формирования деталей любой сложности. Целью работы является анализ технологии применения термической резки металла при изготовлении болтовых и монтажных отверстий. Проведены комплексные теоретические и экспериментальные исследования в Научно-образовательном центре инновационных технологий Архитектурно-строительного института Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет», на основе которых предложены практические рекомендации. Рассмотрено применение термической резки металла при изготовлении отверстий под болтовые и монтажные соединения элементов металлических строительных конструкций. Представлены результаты полученных данных влияния силы тока на формирование структуры зоны термического влияния. Макроструктурный анализ показал, что структура в зоне воздействия повышенных температур претерпела изменения. В результате теплового нагрева вблизи кромки образуется зона термического влияния, которая состоит из двух характерных участков: внешнего литого и примыкающего к нему внутреннего участка, представляющего собой характерную структуру металла для зоны перегрева с различным ростом зерна по мере уменьшения температуры нагрева в направлении основного металла. Значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в том, что разработаны оптимальные режимы плазменной резки металла для выполнения болтовых монтажных соединений.

Ключевые слова: термическая резка металла, зона термического влияния, микротвердость металла, металлографический анализ.

Плазменная резка металла в промышленном варианте появилась в середине 50-х гг. XX столетия как альтернатива механической резке при разделке заготовок из легированной стали и цветных металлов. Первое применение лазерной резки относится к 1917 г. и связано с именем Альберта Эйнштейна, впервые описавшего физику принудительного испускания и предположившего возможность создания генераторов – усилителей когерентного света [1].

Процессы тепловой резки сопровождаются выплавлением металла из полостей реза. В связи с быстрым перемещением точечного источника нагрева относительно поверхности разрезаемого металла наблюдается большой перепад температур (от температуры плавления до исходной) на сравнительно узком участке, прилегающем к поверхности реза [2; 3]. В результате в кромках металла происходят металлургические процессы, сопровождающиеся изменением структурных составляющих и механических свойств металла. Скорости нагрева и охлаждения металла на глубине до 0,1 мм от кромки реза могут достигать весьма высоких значений – 1000–2000 °С.

Наряду с качественным характером изменений металла, в зоне термического влияния (ЗТВ) имеют существенное значение общая протяженность ЗТВ, глубина отдельных переходных зон: литого участка, укрупненного зерна, полной и неполной перекристаллизации.

Характер и размеры зоны термического влияния зависят от состава и толщины разрезаемого металла, рабочего тока и скорости резки. Перекристаллизация в кромках металла с изменением фазового состава структуры вызывает напряжения, которые могут в отдельных случаях привести к образованию трещин в поверхностных слоях зоны термического влияния.

От продолжительности влияния высокой температуры на кромку реза зависят протяженность зоны термического влияния, а также возможность структурных изменений. Величина зоны термического влияния зависит также от состава и состояния поставки металла. Если у кромки плазменного реза нержавеющей стали Х18Н ЮТ толщиной 50 мм общая глубина зоны термического влияния по большей части не превышает 1,5–2 мм, то для аналогичной стали толщиной 20 мм протяженность зоны термического влияния, как правило, не более 0,2 мм, а для стали толщиной 10 мм глубина зоны еще меньше. С уменьшением толщины стали за счет увеличения скорости резки уменьшилось тепловложение в кромки реза, а следовательно, уменьшилась и глубина зоны термического влияния. На алюминиевых сплавах в зависимости от толщины листа, состава и предшествующей термообработки глубина зоны термического влияния изменяется от 0,2 до 3 мм и более [4].

Таким образом, для того чтобы изучить изменение структуры металла, необходимо провести металлографический анализ, также методом расчета замера зерен определить глубину зоны термического влияния [5].

Для выбора оптимального режима плазменной резки будем рассчитывать параметр термического цикла в зоне термического влияния. Материалом исследования выбрана конструкционная сталь для сварных металлических строительных конструкций – 09Г2С.

Сталь 09Г2С – это одна из наиболее востребованных сталей, применяемая в строительстве. Она используется при изготовлении металлопроката и металлоконструкций. Температурный диапазон рабочей среды варьируется от $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+425\text{ }^{\circ}\text{C}$, поэтому при разработке металлоконструкций данной марке уделяется особое внимание [6].

Данная марка стали относится к низколегированным (легированная кремнемарганцовистая), в которой количество легирующих добавок составляет не более 2,5 %.

Материалы и методы. Исследования микротвердости проводили в Научно-образовательном центре инновационных технологий (НОЦИТ) Архитектурно-строительного института Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (АСИ ФГБОУ ВО «УГНТУ»). В испытательной лаборатории НОЦИТ соблюдены все требования, необходимые для выполнения измерений в закрепленной за лабораторией области деятельности, что подтверждается свидетельством об оценке состояния измерений в лаборатории № ЦСМ РБ.ОСИ.СТ.03357, выданном Федеральным бюджетным учреждением «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Республике Башкортостан» (ФБУ «ЦСМ РБ»).

Для проведения исследования методом сверления выполнялись отверстия диаметром 20 мм, на шайбе 60×60 мм (рис. 1).

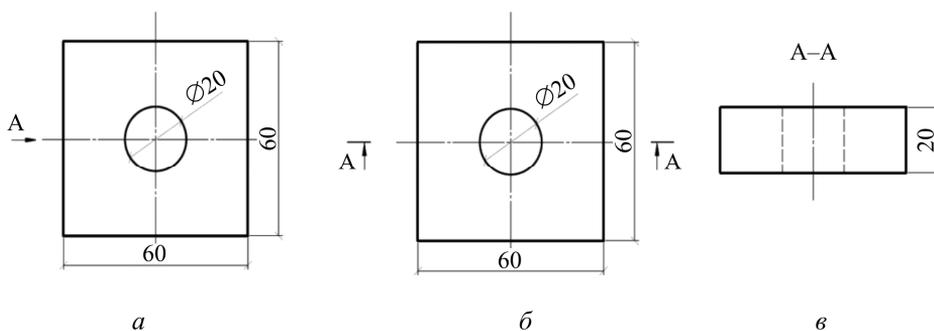


Рис. 1. Шайба из низкоуглеродистой стали 09Г2С:
a – главный вид; *б* – вид слева; *в* – разрез А–А

При выполнении отверстий в металле сверлением важными факторами являются количество оборотов сверла и усилие на подачу, прилагаемое к сверлу, направленное по его оси [3; 7], обеспечивающее заглубление сверла при одном обороте (мм/об). В данной статье рассматриваются об-

разцы, получаемые методом сверления пластины толщиной 20 мм при скорости резания 25 м/мин. Для проведения исследования плазменной резкой были изготовлены шайбы 60 × 60 мм с круглым отверстием 20 мм при силе тока 200 и 260 А (рис. 1). Основными задаваемыми параметрами, определяющими протекание процесса плазменной резки, являются сила тока и толщина листового металлопроката, а также компенсация ширины реза (табл. 1). Применялись два режима плазменной резки – 200 и 260 А.

Таблица 1

Основные технологические режимы проведения воздушно-плазменной и кислородно-плазменной резки низкоуглеродистой стали

Сила тока I , А	Толщина, мм								
	1,5	3	6	10	12	20	25	32	38
260	–	–	–	2,54	2,79	3,43	3,81	4,32	4,45
200	–	–	–	2,18	2,26	2,95	–	–	–
130	–	–	1,803	2,032	2,10	2,642	–	–	–
80	–	1,372	1,727	1,905	–	–	–	–	–
50	1,516	1,74	1,854	–	–	–	–	–	–
30	1,346	1,448	–	–	–	–	–	–	–

Для определения изменения поверхностного слоя образца на кромке после термического воздействия необходимо определить микротвердость металла [8–10]. Метод измерения микротвердости при металлографических исследованиях позволяет получить результаты, недостижимые при микроскопических испытаниях.

Измерение микротвердости осуществляли на полуавтоматическом микротвердомере Duramin путем вдавливания алмазной пирамидки с квадратным основанием и углом при вершине 136° с нагрузкой 100 г в течение 10 с и шагом 0,5 мм. Замер диагоналей отпечатка производили при 40-кратном увеличении [3].

Значение микротвердости рассчитывается прибором автоматически согласно формуле

$$HV = \frac{1,854 \cdot P}{d^2}, \quad (1)$$

где P – вес прикладываемой на пирамиду нагрузки, кг; d – размер диагонали отпечатка, мм.

В состоянии поставки среднее значение микротвердости образцов составляет 276,7 HV, а после термического воздействия 333,1 HV (рис. 2).

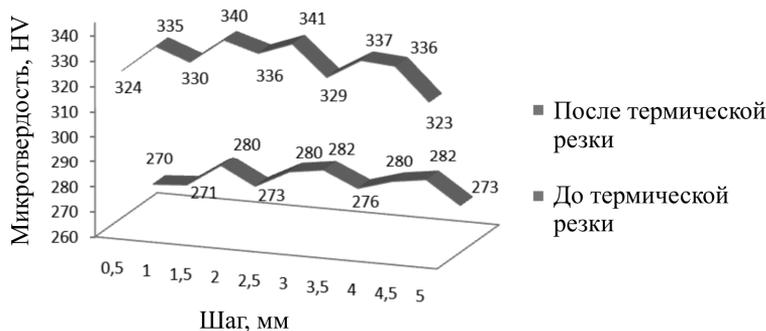


Рис. 2. Результаты измерения микротвердости

Таким образом, измерения микротвердости и участков с мартенситной структурой, возникших на месте зерен перлита в стали после воздействия плазменной резки, показали, что их твердость почти на 20 % выше, чем твердость стали до воздействия термической обработки.

Металлографический анализ проводили с целью изучения влияния химического состава и различных видов обработки на структуру металла.

На оптическом микроскопе OLYMPUS GX-51 с помощью встроенного цифрового фотоаппарата производили фотографические съемки.

Для проведения высококвалифицированного микроанализа использовали растровый электронный микроскоп модели JSM-6490LV.

Металлографический анализ проводили на специально подготовленных шлифах при помощи оптической микроскопии.

В качестве образцов из квадратных шайб вырезаны пластины.

Подготовка образцов для металлографических исследований включала в себя шлифование, полирование и травление. Шлифование образцов производилось на шкурках с постепенным уменьшением зернистости (от P240 до P4000) до удаления слоя металла, поврежденного резкой [11; 12].

После того как образцы были отшлифованы, производилась полировка до полного удаления следов механической обработки с помощью алмазной пасты, нанесенной на мягкую ткань.

После полировки образцы были тщательно промыты спиртом. Далее подготовленные шлифы подвергли травлению для выявления их структуры. Реактив выбран по ГОСТ 5639-82: этиловый спирт 96 см³ с азотной кислотой 4 см³ [13; 14].

Согласно ГОСТ 8233-56 «Эталонные микроструктуры» структура образца представляет собой зернистый феррит с включениями пластинчатого перлита в соотношении 80/20.

На рис. 3 представлен образец исходного материала в состоянии поставки.

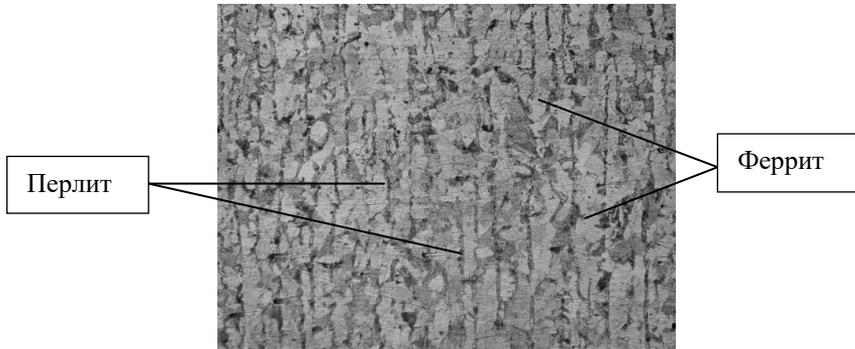


Рис. 3. Структура стали 092ГC в состоянии поставки

Как видно из рис. 4, край образца, полученного сверлением, не претерпевает никаких изменений структуры. Трещин на краях отверстий не наблюдается.

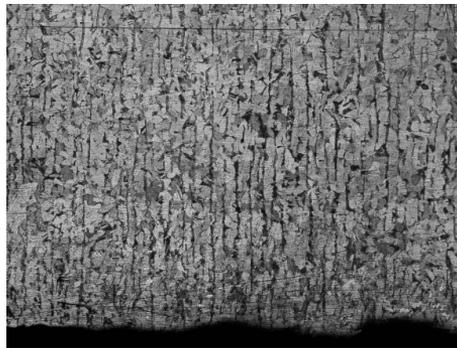


Рис. 4. Структура образца после сверления

Результаты и их обсуждение. Проведенные макроструктурные исследования после термического воздействия на детали показали, что у краев двух образцов, полученных резкой при силе тока 200 и 260 А, произошли изменения структуры, в то время как основной металл не испытал никаких изменений. Произошло формирование зоны термического влияния. Такие видимые дефекты, как поры и несплошности, отсутствуют.

Макроструктурный анализ показал, что структура в зоне воздействия повышенных температур претерпела изменения. Влияние плазменной дуги на кромки реза показывает, что в результате теплового нагрева вблизи кромки образуется зона термического влияния, которая состоит из двух

характерных участков: внешнего литого и примыкающего к нему внутреннего участка, представляющих собой характерную структуру металла для зоны перегрева с различным ростом зерна по мере уменьшения температуры нагрева в направлении основного металла. Трещин на кромках отверстий не наблюдалось.

Проведенные микроструктурные исследования после термического воздействия на детали показали, что у краев двух образцов, полученных резкой при силе тока 200 и 260 А, произошли изменения структуры, в то время как основной металл не испытал никаких изменений.

Ключевым фактором при формировании структуры и свойств зоны термического влияния является скорость охлаждения [9; 15]. Одним из основных параметров технологического режима, которые оказывают существенное влияние на скорость охлаждения, является сила тока [14; 16].

Параметры термического цикла металла в зоне термического влияния (скорость охлаждения) рассчитывали по формуле (2), используя методику Н.Н. Рыкалина, рассматривая случай действия мощного быстродвижущегося точечного источника теплоты в тонкой пластине [15; 17]:

$$w_{\text{охл}} = -2\pi\lambda c_p \frac{(T - T_{\text{н}})^2}{\left[\frac{q}{v\delta}\right]^3}, \quad (2)$$

где $w_{\text{охл}}$ – скорость охлаждения, °C/с; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(см·°C); c_p – объемная теплоемкость, Дж/(см³·°C); v – скорость резки, см/с; δ – толщина материала, см; T – температура рассматриваемая, °C; $T_{\text{н}}$ – температура начальная, °C; q – эффективная мощность, Вт.

Из результатов расчета видно (табл. 2), что при резке проката толщиной 20 мм на токе 200 и 260 А скорость охлаждения изменяется от 87,1 до 98,8 °C/с.

Таблица 2

Режимы плазменной резки

I , А	v , см/с	λ , Вт/(см·°C)	КПД, %	c_p , Дж/(см ³ ·°C)	δ , см	T , °C	$T_{\text{н}}$, °C	q , Вт	$w_{\text{охл}}$, °C/с
200	2,6	0,42	0,8	5	2	1300	20	26046	87,1
260	3,6							32110	98,8

Таким образом, скорость охлаждения влияет на формирование структуры. Чем меньше скорость резки, тем больше вводится тепла. В связи с теплонасыщением участков металла тепло медленнее отводится от кром-

ки реза, т.е. скорости охлаждения снижаются, что приводит к перегреву металла и росту зерна [18].

По результатам полученных данных можно сделать вывод, что при большей силе тока охлаждение происходит быстрее, следовательно, зона термического влияния меньше.

Косвенным дополнением металлографического анализа является определение размера зерен [12; 19].

Для определения глубины зоны термического влияния необходимо определить средний размер зерен в измененной структуре металла.

Расчет размера зерен производится при помощи программы GrainSize.

В данную программу загружается фотография, снятая микроскопом, настраивается масштаб с помощью шкалы нониуса. Далее вводятся данные измерений.

Для каждого случая измеряли более 500 зерен, что дает ошибку менее 5 % с доверительной вероятностью 0,9 [14; 15].

Данной программой была определена глубина зоны термического влияния на кромке металла для образцов, выполненных методом плазменной резки при силе тока 200 и 260 А (табл. 3).

Таблица 3

Глубина зоны термического влияния

№ измерения, мкм	Режим плазменной резки	
	200 А	260 А
a_{cp1}	120	90
a_{cp2}	110	120
a_{cp3}	140	120

Средний размер зоны термического влияния для образцов, выполненных методом плазменной резки при силе тока 200 А, составил 110–140 мкм, а для образцов при силе тока 260 А средний размер зерен составил 90–120 мкм.

Таким образом, режим резки при 260 А является оптимальным, так как охлаждение металла происходит быстрее, что способствует возникновению меньшей толщины зоны термического влияния.

Выводы. В ходе исследования структуры металла после термического воздействия получены следующие результаты:

– из-за теплового нагрева вблизи кромки образовалась зона термического влияния, которая состоит из внешнего литого участка и примыкаю-

щего к нему внутреннего участка, представляющие собой характерную структуру металла для зоны перегрева с различным ростом зерна по мере уменьшения температуры нагрева в направлении основного металла;

– из расчета скорости охлаждения определено, что при меньшей силе тока охлаждение происходит медленнее, что приводит к перегреву металла и росту зерна;

– из-за влияния плазменной дуги на кромки среза появляется мартенсит в виде среднеигольчатых скоплений;

– при расчете глубины зоны термического влияния подобран оптимальный режим плазменной резки металла для выполнения болтовых монтажных соединений.

Библиографический список

1. Manufacture of construction materials by energy-saving technology through the example of the Bashkir region / A.I. Gabitov, V.A. Ryazanova, A.S. Salov, A.M. Gaisin, A.A. Timofeev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Vol. 907, iss. 1, 25 August 2020. – Article № 012049.

2. Исторические этапы развития теории и практики применения стали в строительной индустрии / Е.А. Удалова, А.С. Салов, А.А. Парфенова, Э.И. Ганеева, Б.Н., Габитов В.В. Ямилова // История науки и техники. – 2020. – № 2. – С. 30–38.

3. Outlook in Making Criteria for Assessing Progressive Collapse of Buildings and Facilities / A.I. Gabitov, E.A. Udalova, A.S. Salov, A.R. Chernova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 753, iss. 2, 5 March 2020. – Article № 022085.

4. Основы лазерной и газоплазменной обработки конструкционных сталей / Н.Н. Сергеев, И.В. Минаев, И.В. Тихонова [и др.]. – М.: Металлургия, 2020. – 284 с.

5. Зуева И.И. Исследование напряженно-деформированного состояния структурных конструкций с соединениями на болтах нормальной точности // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2017. – № 1. – С. 170–183. DOI: 10.15593/2409-5125/2017.01.15

6. Сергеев Н.Н., Гвоздев А.Е. Технология металлов и сплавов. – М.: Металлургия, 2020. – 480 с.

7. Салтыков С.А. Стереометрическая металлография. – М.: Металлургия, 1976. – 272 с.

8. Белов В.А., Турилина В.Ю., Рогачев С.О. Металловедение сварки конструкционных сталей: учебно-методическое пособие. – М., 2019. – 134 с.

9. Gabitov A.I. Application of Petrochemical Heterocyclic Compounds as Corrosion Inhibitors // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – Vol. 272, iss. 2, 21 June 2019. – Article № 022082.

10. Сон М.П. Влияние механических характеристик болтов на НДС и работу фланцевых соединений балок с колоннами // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2019. – № 1. – С. 142–152. DOI: 10.15593/2409-5125/2019.01.09

11. Бигеев В.А., Столяров А.М., Валиахметов А.Х. Металлургические технологии в высокопроизводительном электросталеплавильном цехе: учеб. пособие. – М.: Инфра-Инженерия, 2020. – 320 с.

12. Gabitov A.I. Calculation of Quantum Chemical Values of Corrosion Inhibitors Molecules by Heterocyclic Compounds // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – Vol. 459, iss. 2, 14 April 2020. – Article № 022064.

13. Mukhametzyanov Z.R. Modeling of construction technology of objects on the basis of technological interaction of works // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2018. – Vol. 451. – Article № 012077. DOI: 10.1088/1757-899X/451/1/012077

14. Gabitov A.I. Petrochemical Compound-Based Corrosion Inhibitors // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – Vol. 272, iss. 2, 21 June 2019. – Article № 022081.
15. Габитов А.И., Рахманкулов Д.Л. Современные ингибиторы коррозии на основе гетероциклических соединений // Строительные материалы. – 2003. – № 10. – С. 38–39.
16. Гуреева М.А., Овчинников В.В., Манаков И.Н. Металловедение: макро- и микроструктуры литейных алюминиевых сплавов. – 2019. – 254 с.
17. Технология и оборудование сварки плавлением и термической резки: учебник / А.И. Акулов, В.П. Алехин, С.И. Ермаков [и др.]; под ред. А.И. Акулова. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Машиностроение, 2003. – 560 с.
18. Влияние теплового режима совместного электродугового и алюмотермического воздействия на формирование структуры и свойств наплавляемого металла / Е.Е. Абашкин, С.Г. Жилин, О.Н. Комаров, А.В. Ткачева // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2018. – Т. 20, № 2. – С. 62–74. DOI: 10.15593/2224-9877/2018.2.08
19. Исследование влияния температуры нагрева при закалке на механические свойства низколегированной высокопрочной стали / В.М. Салганик, П.П. Полецков, Г.А. Бережная [и др.] // Производство проката. – 2015. – 37 с.

References

1. Gabitov A.I., Ryazanova V.A., Salov A.S., Gaisin A.M., Timofeev A.A. Manufacture of construction materials by energy-saving technology through the example of the Bashkir region // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Volume 907, Issue 1, 25 August 2020, Article No. 012049.
2. Udalova E.A., Salov A.S., Parfenova A.A., Ganeeva E.I., Gabitov B.N., Yamilova V.V. Historical stages of the development of theory and practice of using steel in the building industry. *History of Science and Engineering*, 2020, № 2, pp. 30-38.
3. Gabitov A.I., Udalova E.A., Salov A.S., Chernova A.R. Outlook in Making Criteria for Assessing Progressive Collapse of Buildings and Facilities. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, vol. 753, issue 2, 5 March 2020, Article No. 022085.
4. Sergeev N.N., Minaev I.V., I. Tikhonova V. et al. Fundamentals of laser and gas-plasma processing of structural steels: printed book. M.: Metallurgy, 2020, p. 284.
5. Zueva I.I. Issledovanie napriazhenno-deformirovannogo sostoianiia strukturnykh konstruktssii s soedineniiami na boltakh normal'noi tochnosti [Research stress-strain state structural design with the compound bolted normal accuracy]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaia ekologiia. Urbanistika*, 2017, no. 1, pp. 170-183. DOI: 10.15593/2409-5125/2017.01.15
6. Sergeev N.N., Gvozdev A.E. Technology of metals and alloys. M.: Metallurgy, 2020, p. 480.
7. Saltykov S.A. Stereometric metallography. M.: Metallurgy, 1976, p. 272.
8. Belov V.A., Turilina V.Yu., Rogachev S.O. Metallurgical science of welding of structural steels. M.: Teaching guide, 2019, p. 134.
9. Gabitov A.I. Application of Petrochemical Heterocyclic Compounds as Corrosion Inhibitors. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, vol. 272, issue 2, 21 June 2019, Article No. 022082.
10. Son M.P. Vliianie mekhanicheskikh kharakteristik boltov na NDS i rabotu flantsyevykh soedinenii bala s kolonnami [Influence of mechanical characteristics of bolts on stress-strain state and behavior of flange connections of beams with columns]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaia ekologiia. Urbanistika*, 2019, no. 1, pp. 142-152. DOI: 10.15593/2409-5125/2019.01.09
11. Bigeev V.A., Stolyarov A.M., Valiakhmetov A.Kh. Metallurgical technologies in a high-performance arc furnace shop. M.: Infra-Inzheneria, 2020, p. 320.
12. Gabitov A.I. Calculation of Quantum Chemical Values of Corrosion Inhibitors Molecules by Heterocyclic Compounds. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, vol. 459, issue 2, 14 April 2020, Article No. 022064.

13. Mukhametzyanov Z.R. Modeling of construction technology of objects on the basis of technological interaction of works. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2018, vol. 451, Article № 012077. DOI: 10.1088/1757-899X/451/1/012077

14. Gabitov A.I. Petrochemical Compound-Based Corrosion Inhibitors. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, vol. 272, issue 2, 21 June 2019, Article No. 022081.

15. Gabitov A.I., Rakhmankulov D.L. Modern corrosion inhibitors on the heterocyclic compounds basis. *Stroitel'nye Materialy*, 2003, issue 10, pp. 38-39.

16. Gureeva M.A., Ovchinnikov V.V., Manakov I.N. Metallurgical science: macro- and microstructures of casting aluminum alloys. 2019, pp. 254.

17. Akulov A.I., Alekhin V.P., Ermakov S.I. et al. Technology and equipment for fusion welding and thermal cutting: textbook / ed. by A.I. Akulova. 2nd ed., rev. and corr. M.: Mechanical Engineering, 2003. P. 560.

18. Abashkin E.E., Zhilin S.G., Komarov O.N., Tkacheva A.V. Influence of the thermal mode at joint arc and aluminothermic impact on formation of structure and properties of built-up metal. *Bulletin Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Mechanical engineering, materials science*, 2018, vol. 20, no. 2, pp. 62-74. DOI: 10.15593/2224-9877/2018.2.08

19. Salganik V.M., Poletskov P.P., Berezhnaya G.A. et al. Study of the influence of heating temperature under hardening for mechanical properties of high-strength low-alloy steel. *Production of rolled products*, 2015, p. 37.

V. Ryazanova, A. Gabitov, V. Sokolova, A. Salov

STUDY OF THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF THE HEAT-AFFECTED AREA OF WELDED JOINTS

Currently, in the manufacture of metal structures, thermal cutting of metal has become widespread. This material processing technology can significantly reduce the manufacturing time of products, increase production volumes and reduce the amount of manual labor. In addition, due to the usage of modern machines with numerical control, the process of cutting blanks is significantly intensified, the accuracy of their manufacture is increased, and it becomes possible to form parts of any complexity. The aim of the work was to analyze the technology of using thermal cutting of metal in the manufacture of bolt and mounting holes. Comprehensive theoretical and experimental studies were carried out at the Scientific and Educational Center for Innovative Technologies of the Institute of Architecture and Construction of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Ufa State Oil Technical University", on the basis of which practical recommendations were proposed. The application of thermal cutting of metal in the manufacture of holes for bolted and field connections of elements of metal structures is considered. The results of the obtained data on the influence of current strength on the formation of the structure of the heat-affected zone are presented. The significance of the obtained results for the construction industry lies in the fact that the optimal modes of plasma cutting of metal have been developed to perform bolted field connections.

Keywords: thermal cutting of metal, zone of thermal influence, microhardness of metal, metallographic analysis.

Рязанова Виктория Альбертовна (Уфа, Россия) – кандидат технических наук, доцент, Уфимский государственный нефтяной технический университет, e-mail: vryazanova@hotmail.com

Габитов Азат Исмагилович (Уфа, Россия) – доктор технических наук, профессор, Уфимский государственный нефтяной технический университет, e-mail: azat7@ufanet.ru

Соколова Виктория Владимировна (Уфа, Россия) – кандидат филологических наук, доцент, Уфимский государственный нефтяной технический университет, e-mail: vsokolova21@yandex.ru

Салов Александр Сергеевич (Уфа, Россия) – кандидат технических наук, доцент, Уфимский государственный нефтяной технический университет, e-mail: salov@list.ru

Victoria Ryazanova (Ufa, Russian Federation) – PhD of Engineering Science, Assistant Professor, Ufa State Petroleum Technological University, e-mail: vryazanova@hotmail.com

Azat Gabitov (Ufa, Russian Federation) – Doctor of Engineering Science, Professor, Ufa State Petroleum Technological University, e-mail: azat7@ufanet.ru

Victoria Sokolova (Ufa, Russian Federation) – PhD of Philological Science, Assistant Professor, Ufa State Petroleum Technological University, e-mail: vsokolova21@yandex.ru

Alexander Salov (Ufa, Russian Federation) – PhD of Engineering Science, Assistant Professor, Ufa State Petroleum Technological University, e-mail: salov@list.ru

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад авторов. Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Поступила: 01.02.2022

Одобрена: 28.02.2022

Принята к публикации: 04.03.2022

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом: Исследование структуры и свойств зоны термического влияния сварных соединений / В.А. Рязанова, А.И. Габитов, В.В. Соколова, А.С. Салов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2022. – № 1. – С. 110–121. DOI: 10.15593/2409-5125/2022.1.10

Please cite this article in English as: Ryazanova V., Gabitov A., Sokolova V., Salov A. Study of the structure and properties of the heat-affected area of welded joints. *PNRPU Bulletin. Applied ecology. Urban development*, 2022, no. 1, pp. 110-121. DOI: 10.15593/2409-5125/2022.1.10