

Предварительная термическая обработка нержавеющей стали перед кручением под высоким давлением

¹ВОЛОКИТИН Андрей Валерьевич, PhD, старший преподаватель, dyusha.vav@mail.ru,

^{1*}ВОЛОКИТИНА Ирина Евгеньевна, PhD, доцент, irinka.vav@mail.ru,

¹ПАНИН Евгений Александрович, PhD, доцент, cooper802@mail.ru,

¹Рудненский индустриальный институт, Казахстан, 111500, Рудный, ул. 50 лет Октября, 38,

*автор-корреспондент.

Аннотация. Целью данной работы является исследование влияния предварительной термической обработки на микроструктуру и механические свойства нержавеющей аустенитной стали. Термическая обработка проводилась в пяти различных условиях. Первые четыре включали термообработку материала при четырех различных температурах в диапазоне от 750°C до 900°C с шагом 50°C. Время выдержки – 30 мин, охлаждение в воде. Кроме того, была проведена пятая двухэтапная термическая обработка, которая проводилась при температуре 500°C с выдержкой 15 мин и потом нагрев до 800°C с выдержкой 30 мин и с последующим медленным охлаждением образцов на воздухе. Двухэтапная термическая обработка показала микроструктуру с крупными однородными, равноосными зернами. Охлаждение на воздухе и нагрев при двух температурах в течение длительного времени позволило обеспечить диффузию и формирование стабильной микроструктуры аустенита в соответствии с фазовой диаграммой. Основываясь на этих выводах, двухэтапная термообработка была выбрана в качестве наиболее подходящей предварительной термической обработки для термообработки колец.

Ключевые слова: микроструктура, предварительная термическая обработка, кручение под высоким давлением, механические свойства.

Введение

Аустенитная нержавеющая сталь широко используется в качестве конструкционного материала в медицинских целях, а также в качестве стандартного конструкционного материала в машиностроении и на объектах атомной энергетики, благодаря своим превосходным механическим свойствам, таким как высокая прочность, хорошая пластичность, высокая вязкость при разрушении, отличной коррозионной стойкости и низкой скорости поглощения нейтронного излучения [1-3].

На момент открытия аустенитных нержавеющих сталей они были подвержены межкристаллитной коррозии, также называемой сенсibilизацией, вызванной истощением хрома в областях, прилегающих к границам зерен, из-за осаждения карбида $M_{23}C_6$, известного раньше как Cr_4C . Поэтому были приняты два подхода к решению этой проблемы: снижение содержания углерода и добавление легирующих элементов, которые имели большее сродство с углеродом по сравнению с Cr, таких как Ti и Nb.

Аустенитные нержавеющие стали обычно представляют собой превосходное сочетание кор-

розионной стойкости, пластичности, ударной вязкости и свариваемости. Однако для обычных типов их уровень прочности, особенно в отожженном состоянии, относительно низок, примерно от 200 до 250 МПа. Интенсивная пластическая деформация (ИПД) часто используется для измельчения микроструктуры и, как правило, также приводит к улучшению механических свойств [4-6]. Кручение под высоким давлением (КВД) является одним из наиболее эффективных методов ИПД для получения ультрамелкозернистых или нанокристаллических микроструктур [7]. Результаты работ [8-11] показали, что размер зерна аустенитных нержавеющих сталей может быть измельчен до нанокристаллического с помощью КВД. При КВД происходит также фазовое превращение от кубической гранецентрированной (ГЦК) γ -аустенита \rightarrow ϵ -мартенсит \rightarrow объемно-центрированной кубической (ОЦК) α' -мартенсит. Хотя структура α' -мартенсита тверже, чем γ -аустенита, высокая доля α' -мартенситной фазы в сталях может привести к более легкой коррозии и межкристаллитному охрупчиванию, поэтому существует потребность в получении ультрамел-

козернистой и нано-микроструктуры в аустенитных нержавеющей сталях при сохранении аустенитной структуры.

Хорошо известно, что начальная микроструктура влияет на процесс измельчения микроструктуры во время ИПД [12], поскольку более однородная исходная микроструктура приведет к более однородной микроструктуре после деформирования методом КВД и, следовательно, к лучшим механическим свойствам. Поэтому кольца до деформирования подвергались предварительной термической обработке.

Исходя из вышесказанного, цель данного исследования заключалась в исследовании влияния предварительной термической обработки нержавеющей аустенитной стали на микроструктуру и механические свойства.

Материал и методика исследования

Основной целью термической обработки являлось снятие внутренних напряжений, измельчение размера зерна и улучшение механических свойств, таких как прочность и твердость. Проведенные термические обработки были использованы в качестве основы для выбора наиболее подходящей предварительной термической обработки для последующего деформирования методом кручения под высоким давлением. Термическая обработка проводилась в пяти различных условиях. Первые четыре включали термообработку материала при четырех различных температурах в диапазоне от 750°C до 900°C с шагом 50°C. Время выдержки – 30 мин, охлаждение в воде. Кроме того, была проведена пятая двухэтапная термическая обработка, которая проводилась при температуре 500°C с выдержкой 15 мин и потом нагрев до 800°C с выдержкой 30 мин и с последующим медленным охлаждением образцов на воздухе.

Заготовка имела кольцевую форму диаметром 76 мм, шириной 3,5 мм и толщиной 3 мм. В качестве материала заготовки была выбрана нержавеющая сталь аустенитного класса 08X18H10T.

Металлографический анализ всех исследованных образцов в поперечном и продольном сечениях проводили с помощью оптического микроскопа фирмы Leica. Все образцы были протестированы в средней плоскости, чтобы избежать влияния периферийных областей. Подготовка образцов для металлографического анализа проводилась на установке электролитической пробоподготовки Struers. После завершения процессов шлифования и полировки, образцы были аккуратно промыты в воде и обезжиривающей жидкости. Очистка поверхности была необходима для удаления любых загрязнений, которые могли остаться в результате полировки и шлифования образца. После проводилось травление образцов, чтобы выявить границы зерен микроструктуры. Травление проводили с использованием травителя для нержавеющей стали, состоящего из 30 мл

азотной кислоты (HNO_3), 10 мл воды и 20 мл соляной кислоты (HCl). Травитель оставляли на поверхности примерно на 20 секунд при комнатной температуре.

Механические испытания на одноосное растяжение проводили при комнатной температуре на машине Instron 5882 со скоростью деформации 1,0 мм/мин. Деформация образца измерялась тензометром фирмы Instron. Испытания на растяжение проводили на плоских образцах, вырезанных из кольца (размеры рабочей части 3,0x3,0x6,0 мм) в соответствии с рекомендациями ГОСТ 1497-84. По результатам испытаний механических свойств на растяжение определялись характеристики прочности и пластичности: предел текучести ($\sigma_{0,2}$), предел прочности (σ_B) и максимальное удлинение до разрушения (δ).

Твердость по методу Виккерса определялась с использованием автоматического твердомера DM-8.

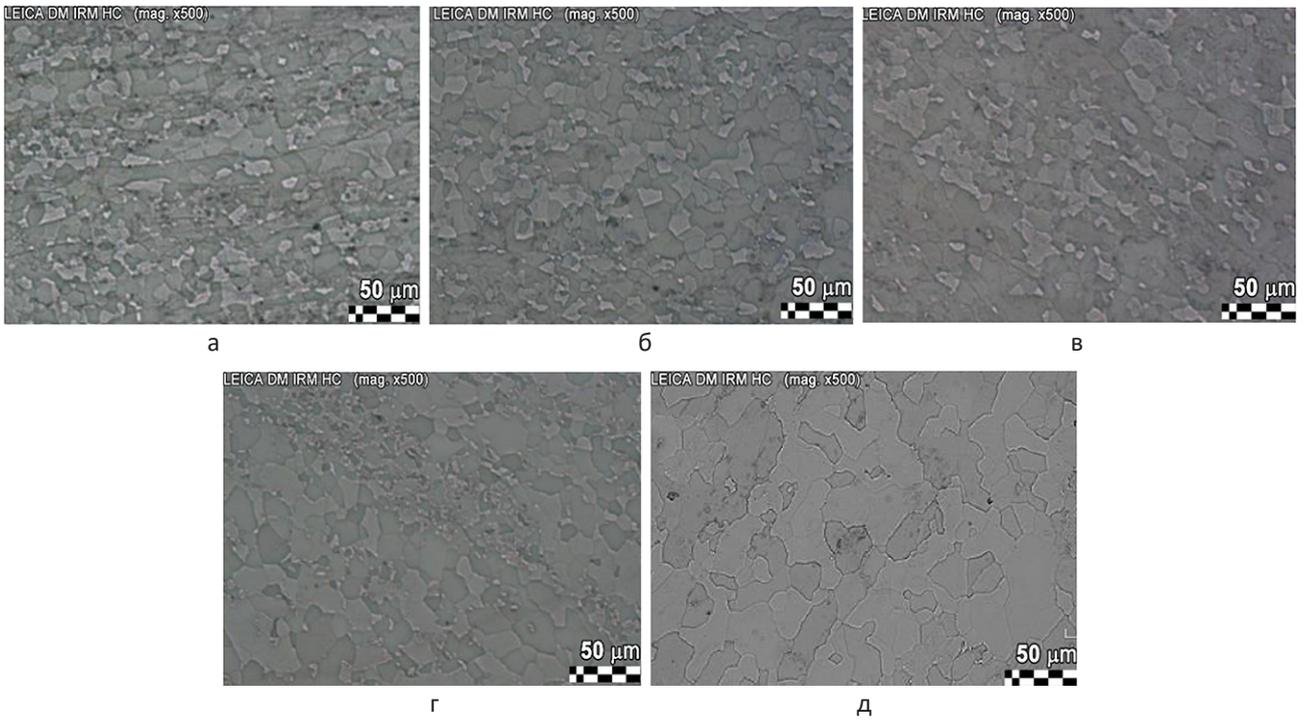
Результаты и их обсуждение

Полученная микроструктура нержавеющей стали аустенитного класса 08X18H10T после предварительной термической обработки показана на рисунке 1.

Результаты предварительной термической обработки, проведенной при 750°C, 800°C и 850°C, показали микроструктуру, состоящую из равномерно распределенных зерен размером 20-25 мкм, как показано на рисунке 1 а-в. Разнозернистость, показанная на этих фотографиях, была вызвана недостаточным временем для протекания процессов восстановления, таких как перекристаллизация. Предварительная термическая обработка при температуре 900°C привела к образованию зернистой структуры с карбидными включениями и неоднородным распределением зерен, как показано на рисунке 1г. Размер зерен варьировался от 10 до 30 мкм. Двухэтапная термическая обработка (рисунок 1д) показала микроструктуру с крупными однородными, равноосными зёрнами размером ≈ 40 мкм.

Дальнейшие механические испытания были проведены на термообработанных образцах с целью определения механических свойств. Образцы были испытаны на прочность при растяжении и твердость по Виккерсу с помощью испытаний на растяжение и на твердость. Проведенные исследования послужили подтверждением обоснованности выбора процедуры термообработки колец перед проведением экспериментов по деформированию методом КВД.

Анализ механических свойств после механических испытаний на растяжение показали изменение всех свойств после применения различных термических обработок. Различия в пределе текучести наблюдались для всего термообработанного материала, предел текучести варьировался от 250 до 335 МПа, а значения предела прочности при растяжении варьировались от 438 до 586 МПа.



а – 750°C, б – 800°C, в – 850°C, г – 900°C, д – 500+800°C

Рисунок 1 – Микроструктура нержавеющей стали аустенитного класса 08X18H10Т после предварительной термической обработки

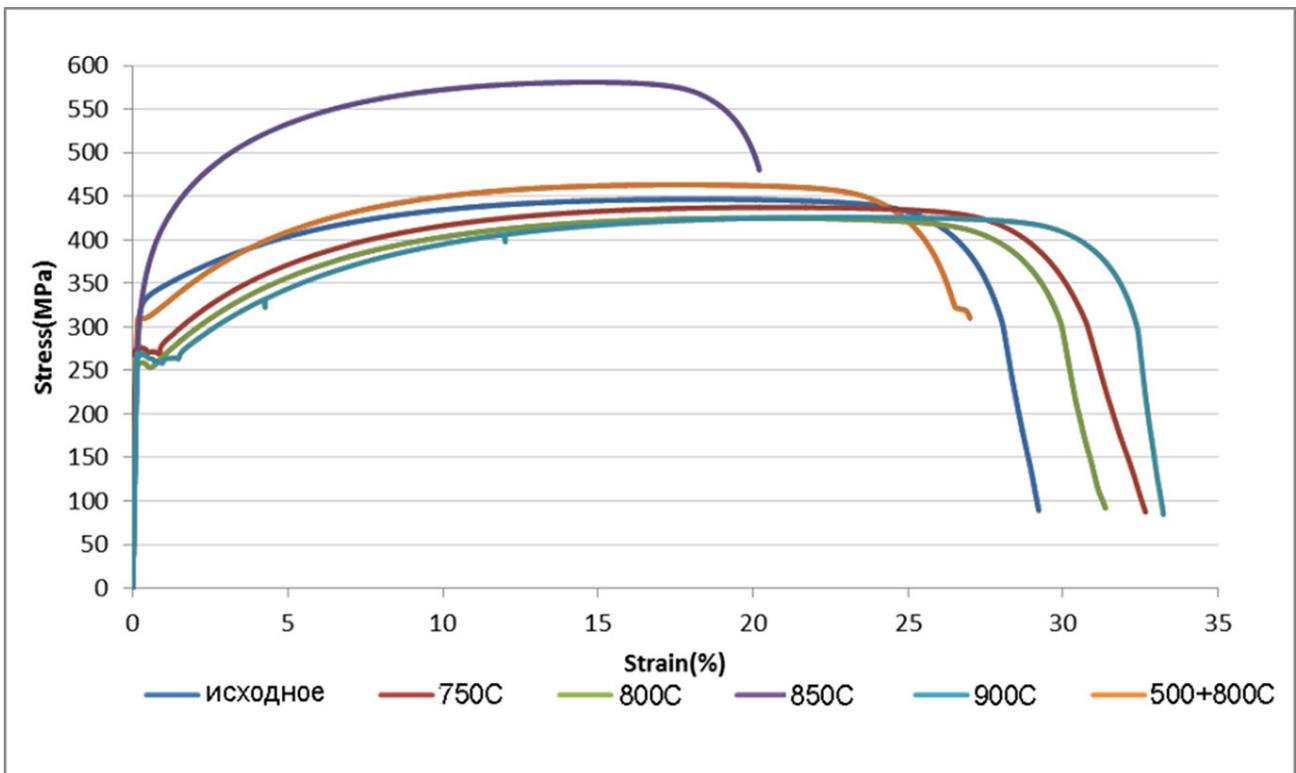


Рисунок 2 – Диаграммы растяжения нержавеющей стали 08X18H10Т после предварительной термической обработки

Наблюдалось возникновение полос Людерса при температурах от 800°C до 850°C. Двухэтапная термическая обработка позволила получить предел текучести выше, чем при температурах 750-800°C, а предел прочности ниже, чем при температурах 850-900°C, которые были желательны для условий высокого нагружения при КВД. Кроме того, на рисунке 3 показано изменение твердости нержавеющей стали 08X18H10T в зависимости от предварительной термической обработки.

Как видно из рисунка 3, по мере повышения температуры термообработки твердость увеличивалась с ростом температуры. Это можно объяснить более быстрой диффузией при более высоких температурах, что приводило к увеличению твердости материала.

Выводы

Результаты исследования показали, что двухэтапная термическая обработка показала наиболее подходящие результаты микроструктуры и механических свойств для дальнейшей обработки методом КВД. После такой термической обработки были получены крупные однородные, равноосные зерна. Двухэтапная термическая обработка позволила получить предел текучести выше, чем при температурах 750-800°C, а предел прочности ниже, чем при температурах 850-900°C, которые были желательны для условий высокого нагружения при КВД. Основываясь на этих выводах, двухэтапная термообработка была выбрана в качестве наиболее подходящей термообработки для термообработки колец.

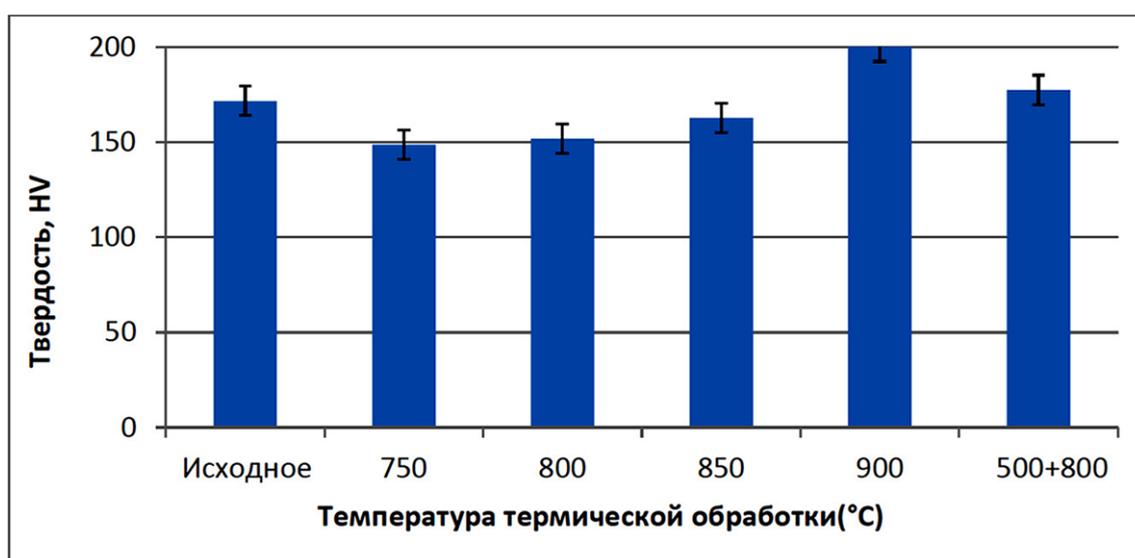


Рисунок 3 – Изменение твердости нержавеющей стали 08X18H10T в зависимости от предварительной термической обработки

Данное исследование финансировалось Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (Грант № AP08856353).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kim W., Yoon S., Ryu W., Lee C. Application of Minimum Commitment Method for Predicting Long-Term Creep Life of Type 316LN Stainless Steel 8 // J. Kor. Inst. Met. Mater. 2008. 46. pp. 118-124.
2. Добаткин С.В., Терентьев В.Ф., Скродцки В., Рыбальченко О.В., Панкова М.Н., Просвирнин Д.В., Золотарев Е.В. Структура и усталостная прочность стали 08X18H10T после равноканального углового прессования и нагрева // Металлы. 2012. № 6. С. 45-55.
3. Kim Y., Kim Y., Kim D., Kim S., Nam W., Choe H. Effects of Hydrogen Diffusion on the Mechanical Properties of Austenite 316L Steel at Ambient Temperature // Materials Transactions. 2011, 52, pp. 507-513.
4. Чукин М.В., Емалеева Д.Г. Влияние термической обработки на эволюцию структуры и свойств стальной проволоки в процессе РКУПротяжки // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2008. № 2. С. 70-71.
5. Зиновьев А.В., Кошмин А.Н., Часников А.Я. Влияние параметров процесса непрерывного прессования на формирование микроструктуры и механические свойства прутков круглого сечения из сплава М1 // Metallurg. 2019. № 4. С. 16-23.
6. Nayzabekov A.B., Volokitina I.E. Effect of the Initial Structural State of Cr-Mo High-Temperature Steel on Mechanical Properties after Equal-Channel Angular Pressing // Physics of Metals and Metallography. 2019. V. 120(2), pp. 177-183.
7. Zhilyaev A.P., Langdon T.G. Using high-pressure torsion for metal processing: Fundamentals and applications // Progress in Materials Science, 2008, 53 pp. 893-979.

8. Gubicza J., El-Tahawy M., Huang Y., Choi H., Choe H., Lábár J.L., Langdon T.G. Microstructure, phase composition and hardness evolution in 316L stainless steel processed by high-pressure torsion // *Materials Science and Engineering: A*. 2016. 657 pp. 215-223.
9. Scheriau S., Zhang Z., Kleber S., Pippan R. Deformation mechanisms of a modified 316L austenitic steel subjected to high pressure torsion, *Materials Science and Engineering: A*. 2011. 528. pp. 2776-2786.
10. Mine Y., Horita Z., Murakami Y. Effect of hydrogen on martensite formation in austenitic stainless steels in high-pressure torsion // *Acta Mater.* 2009. 57. pp. 2993-3002.
11. Scheriau S., Zhang Z., Kleber S., Pippan R. Deformation mechanisms of a modified 316L austenitic steel subjected to high pressure torsion, *Materials Science and Engineering: A*. 2011. 528. pp. 2776-2786.
12. Волокитина И.Е., Курапов Г.Г. Влияние исходного структурного состояния на формирование структуры и механических свойств стали при РКУП // *МиТОМ*. 2018. № 8. С. 858-864.

Жоғары қысымды бұралу алдында тот баспайтын болатты алдын-ала термиялық өңдеу

¹**ВОЛОКИТИН Андрей Валерьевич**, PhD, аға оқытушы, dyusha.vav@mail.ru,

^{1*}**ВОЛОКИТИНА Ирина Евгеньевна**, PhD, доцент, irinka.vav@mail.ru,

¹**ПАНИН Евгений Александрович**, PhD, доцент, cooper802@mail.ru,

¹Рудный индустриалды институты, Қазақстан, 111500, Рудный, Қазанға 50 жыл көшесі, 38,

*автор-корреспондент.

Аңдатпа. Бұл жұмыстың мақсаты алдын-ала термиялық өңдеудің тот баспайтын аустениттік болаттың микроқұрылымы мен механикалық қасиеттеріне әсерін зерттеу болып табылады. Термиялық өңдеу бес түрлі жағдайда жүргізілді. Алғашқы төртеуі материалды 750°C-тан 900°C-қа дейінгі төрт түрлі температурада 50°C қадаммен термиялық өңдеуді қамтыды. Сонымен қатар, бесінші екі сатылы термиялық өңдеу жүргізілді, ол 500°C температурада 15 минут ұсталумен, содан кейін 800°C дейін 30 минут ұсталумен және үлгілерді ауада баяу салқындатумен жүргізілді. Екі сатылы термиялық өңдеу үлкен біртекті, эквивалентті дәндері бар микроқұрылымды көрсетті. Ауада салқындату және екі температурада ұзақ уақыт қыздыру фазалық диаграммаға сәйкес аустениттің диффузиясы мен тұрақты микроқұрылымын қалыптастыруға мүмкіндік берді. Осы тұжырымдарға сүйене отырып, екі сатылы термиялық өңдеу сақиналарды термиялық өңдеу үшін ең қолайлы алдын-ала термиялық өңдеу ретінде таңдалды.

Кілт сөздер: микроқұрылым, алдын ала термиялық өңдеу, жоғары қысымды бұралу, механикалық қасиеттері.

Pre-Heat Treatment of Stainless Steel Before Torsion Under High Pressure

¹**VOLOKITIN Andrey**, PhD, Senior Lecturer, dyusha.vav@mail.ru,

^{1*}**VOLOKITINA Irina**, PhD, Associate Professor, irinka.vav@mail.ru,

¹**PANIN Evgeny**, PhD, Associate Professor, cooper802@mail.ru,

¹Rudny Industrial Institute, Kazakhstan, 111500, Rudny, 50 years of October Street, 38,

*corresponding author.

Abstract. The purpose of this work is to study the effect of pre-heat treatment on the microstructure and mechanical properties of stainless austenitic steel. The heat treatment was carried out under five different conditions. The first four involved heat treatment of the material at four different temperatures ranging from 750°C to 900°C in 50°C increments. The holding time is 30 minutes, cooling in water. In addition, the fifth two-stage heat treatment was carried out, which was carried out at a temperature of 500°C with an exposure of 15 minutes and then heated to 800°C with an exposure of 30 minutes and followed by slow cooling of the samples in air. Two-stage heat treatment showed a microstructure with large homogeneous, equiaxed grains. Cooling in air and heating at two temperatures for a long time allowed for the diffusion and formation of a stable microstructure of austenite in accordance with the phase diagram. Based on these findings, two-stage heat treatment was chosen as the most suitable pre-heat treatment for heat treatment of rings.

Keywords: microstructure, preliminary heat treatment, torsion under high pressure, mechanical properties.

REFERENCES

1. Kim W., Yoon S., Ryu W., Lee C. Application of Minimum Commitment Method for Predicting Long-Term Creep Life of Type 316LN Stainless Steel 8 // J. Kor. Inst. Met. Mater. 2008. 46. pp. 118-124.
2. Dobatkin S.V., Terent'ev V.F., Skrotcki V., Rybal'chenko O.V., Pankova M.N., Prosvirnin D.V., Zolotarev E.V. Struktura i ustalostnaja prochnost' stali 08H18N10T posle ravnokanal'nogo uglovogo pressovanija i nagreva // Metally. 2012. No. 6. pp. 45-55.
3. Kim Y., Kim Y., Kim D., Kim S., Nam W., Choe H. Effects of Hydrogen Diffusion on the Mechanical Properties of Austenite 316L Steel at Ambient Temperature // Materials Transactions. 2011, 52, pp. 507-513.
4. Chukin M.V., Emaleeva D.G. Vlijanie termicheskoj obrabotki na jevoljuciju struktury i svojstv stal'noj provoloki v processe RKUProtjazhki // Vestnik MGTU im. G.I. Nosova. 2008. No. 2. pp. 70-71.
5. Zinov'ev A.V., Koshmin A.N., Chasnikov A.Ja. Vlijanie parametrov processa nepreryvnogo pressovanija na formirovanie mikrostruktury i mehanicheskie svojstva prutkov kruglogo sechenija iz splava M1 // Metallurg. 2019. No. 4. pp. 16-23.
6. Nayzabekov A.B., Volokitina I.E. Effect of the Initial Structural State of Cr-Mo High-Temperature Steel on Mechanical Properties after Equal-Channel Angular Pressing // Physics of Metals and Metallography. 2019. V. 120(2), pp. 177-183.
7. Zhilyaev A.P., Langdon T.G. Using high-pressure torsion for metal processing: Fundamentals and applications // Progress in Materials Science, 2008, 53. pp. 893-979.
8. Gubicza J., El-Tahawy M., Huang Y., Choi H., Choe H., Lábár J.L., Langdon T.G. Microstructure, phase composition and hardness evolution in 316L stainless steel processed by high-pressure torsion // Materials Science and Engineering: A. 2016. 657. pp. 215-223.
9. Scheriau S., Zhang Z., Kleber S., Pippan R. Deformation mechanisms of a modified 316L austenitic steel subjected to high pressure torsion, Materials Science and Engineering: A. 2011. 528. pp. 2776-2786.
10. Mine Y., Horita Z., Murakami Y. Effect of hydrogen on martensite formation in austenitic stainless steels in high-pressure torsion // Acta Mater. 2009. 57. pp. 2993-3002.
11. Scheriau S., Zhang Z., Kleber S., Pippan R. Deformation mechanisms of a modified 316L austenitic steel subjected to high pressure torsion, Materials Science and Engineering: A. 2011. 528. pp. 2776-2786.
12. Volokitina I.E., Kurapov G.G. Vlijanie ishodnogo strukturnogo sostojanija na formirovanie struktury i mehanicheskih svojstv stali pri RKUP // MiTOM. 2018. No. 8. pp. 858-864.