**К ВОПРОСУ О РАЗРУШЕНИИ ЛЕГКОСПЛАВНЫХ
БУРИЛЬНЫХ ТРУБ****TO THE ISSUE OF LIGHT ALLOY DRILL PIPE DESTRUCTION****А. И. Сафрайдер**
Alina I. Safraider

Уфимский государственный
нефтяной технический
университет,
г. Уфа, Российская Федерация

Ufa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian Federation

С. Н. Ценева
Sofia N. Tseneva

Балтийский государственный
технический университет
«ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова,
г. Санкт-Петербург,
Российская Федерация

Baltic State Technical University
«VOENMEH» named after D.F. Ustinov,
St. Petersburg, Russian Federation

Р. А. Исмаков
Rustem A. Ismakov

Уфимский государственный
нефтяной технический
университет,
г. Уфа, Российская Федерация

Ufa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian Federation

Н. К. Ценев
Nikolay K. Tsenev

Уфимский государственный
нефтяной технический университет,
г. Уфа, Российская Федерация
Санкт-Петербургский
политехнический университет
Петра Великого,
г. Санкт-Петербург,
Российская Федерация

Ufa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian Federation
St. Petersburg Polytechnic
University of Peter the Great,
St. Petersburg, Russian Federation

А. Х. Аглиуллин
Akhtyam Kh. Agliullin

Уфимский государственный
нефтяной технический
университет,
г. Уфа, Российская Федерация

Ufa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian Federation

Практически повсеместное усложнение условий бурения привело к увеличению глубины бурения, а именно глубоких горизонтальных скважин с большими отходами от вертикали. Актуальным становится применение комбинированного бурения. Большую роль приобретает общий вес применяемой буровой колонны (БК), так как в зависимости от веса возрастают трение и изнашивание колонны о стенки скважины, а также общего напряженно-деформированного состояния БК. Важным аспектом в данном вопросе является обеспечение надёжной работы буровой колонны, которая используется в условиях экстремальных температур и нагрузок. Последнее влияет существенно на технико-экономические показатели скважины при проводке. Вместе с тем накладываются определенные ограничения на выбор материалов бурового оборудования и коэффициента запаса прочности на растяжение/сжатие БК. Решение по проблеме оптимизации процесса проводки сводится к использованию не только высокооборотных способов бурения и модернизации породоразрушающего инструмента, но включению алюминиевых буровых труб в состав комбинированной буровой колонны. Легкосплавные буровые трубы и материал алюминиевых сплавов, из которых они изготовлены, имеют ряд преимуществ по физико-механическим и прочностным свойствам, которые отличают их от стальных буровых труб марки S-135 и G. Почти в 3 раза удельный

Ключевые слова

легкосплавные буровые трубы,
равноканально угловое
прессование, интенсивная
пластическая деформация,
алюминиевые сплавы,
предел прочности,
предел текучести

вес и модуль упругости превосходит у алюминиевых сплавов, удельная прочность — в 1,5–2,0 раза. Эффективность применения алюминиевых бурильных труб напрямую зависит от свойств алюминиевых сплавов и позволяет исключить коррозионную активность в агрессивных средах в процессе бурения, также обеспечить лучшую выносящую способность шлама на поверхность за счет минимальных гидравлических потерь в циркуляционной системе скважины. В данной работе рассмотрена возможность повышения механических свойств легкосплавных бурильных труб методом интенсивной пластической деформации.

The almost ubiquitous complication of drilling conditions led to increase drilling depth, namely longest measured depth extended-reach drilling wells. The use of combination drilling becomes more relevant. The total weight of the used drill string acquires an important role, since depending on the weight friction and wear of the string against the borehole wall, as well as the general stress-strain state of the drill string increase. An important aspect in this issue is to ensure reliable operation of the drill string, which is used in extreme conditions of temperatures and loads. The latter significantly affects the technical and economic parameters of the drilling well. At the same time, certain restrictions are imposed on the material selection for drilling equipment and the safety factor for tensile/compression of drill string. The solution to the problem of optimizing the drilling process is reduced to the use of not only high-speed drilling methods and rock-cutting tools modernization, but the aluminum drill pipes inclusion in the composition of the combination drill string. Light-alloy drill pipes and the material of aluminum alloys from which they are made have a number of advantages in physical, mechanical and strength properties that distinguish them from steel drill pipes, S-135 and G marks. Almost 3 times the specific gravity and modulus of elasticity of aluminum alloys exceeds and the specific strength is 1.5–2 times. The efficiency of using aluminum drill pipes directly depends on the properties of aluminum alloys and makes it possible to exclude corrosive activity in aggressive environments during the drilling process, also to ensure the best outgoing capacity of the sludge to the surface due to minimal hydraulic losses in the well circulation system. In this paper, the possibility of increasing the mechanical properties of LADPs by the method of severe plastic deformation is considered.

Key words

light alloy drill pipes,
equal channel angular pressing,
severe plastic deformation,
aluminum alloys, tensile strength,
yield strength

При проводке наклонных и горизонтальных скважин с высокой интенсивностью искривления малая жёсткость алюминиевых бурильных труб позволяет использовать их. Важно отметить, что алюминиевые сплавы характеризуются стабильностью механических свойств при низких температурах, высокой технологичностью в процессе обработки давлением и резания [1–3].

Легкосплавные бурильные трубы (ЛБТ) изготавливаются методом горячего прессования из дюралюминия Д16Т, относящегося к системе Al-Cu-Mg, затем подвергаются закалке и естественному старению (Т) для получения заданных эксплуатационных свойств. При повышенных требованиях к прочности и коррозионной стойкости труб применяется сплав 1953Т1, относящийся к системе Al-Zn-Mg, который так же подвергается закалке и искусственному старению (Т1). Для особых случаев изготавливаются трубные заготовки из сплава АК4-1Т1. Согласно анализу научных публика-

ций, посвященных изучению существующих сплавов, выявлено, что наиболее часто применяемые сплавы Д16Т и 1953Т1 также подвержены различному роду усталостных напряжений [4, 5]. В сравнении с дюралюминием сплав 1953Т1 может использоваться для изготовления труб, при этом более чувствителен к повышенным температурам, при температуре 110 °С пластичность намного ниже. Это позволяет считать его более технологичным сплавом и рекомендовать для изготовления бурильных труб, предназначенных для сложных условий эксплуатации. В целом, упомянутые сплавы достаточно устойчивы на технологический нагрев в процессе изготовления из них сборных конструкций бурильной трубы и стального замкового соединения, используемых в последующем при строительстве скважин на нефтяных и газовых месторождениях. Однако результаты исследований коррозионного воздействия агрессивных сред нефтяных скважин на сплавы 1953Т1 и Д16Т показы-

вают значительное снижение их физико-механических характеристик. К примеру, на скважине № 148 месторождения в Западной Сибири при бурении под эксплуатационную колонну произошло резкое снижение давления на стояке (с 11,0 до 7,5 МПа, при расходе промывочной жидкости 35 л/с). После подъёма инструмента был обнаружен слом алюминиевой буровой трубы — ЛБТПН-147х13П (сплав Д16Т) по утолщённой законцовке тела трубы в зоне торца стального ниппеля замка ЗЛКА-178, расположенного непосредственно над компоновкой низа буровой колонны (КНБК). Согласно прочностным расчётам, силовые факторы эквивалентных напряжений не превышали 95 МПа. Для сплава Д16Т предел текучести равен 325 МПа, т.е. имелся запас прочности более чем в 3 раза. На момент аварии, теоретически, растягивающие усилия и крутящие моменты не могли вызвать разрушение.

Дополнительно ООО «Акватик-Буровые трубы» были проведены испытания подобных труб на роторном стенде при переменной нагрузке, вызванной статическим изгибом по трехточечной схеме при одновременном вращении трубы, и усталостные испытания полноразмерных трубных заготовок из такого же сплава.

Испытаниям подвергались трубное и замковое резьбовые соединения, тело буровой трубы. Изгибающая нагрузка прикладывалась к стальному замку, расположенному по центру фрагмента резьбового соединения. Анализ результатов испытаний показал, что для аварийной и всех трёх испытанных полноразмерных образцов алюминиевых труб характерно наличие усталостного и хрупкого распространения трещины под углом 45° к образующей трубы.

Под хрупким разрушением понимается внутрикристаллическое разрушение под действием нормальных напряжений, которые не превышают предел текучести материала, а также характеризуется отсутствием пластической макродеформацией. Разрушение обусловлено внезапностью появления с большей скоростью распространения при малых энергетических затратах.

Это согласуется с данными разрушения (см. выше) и тезисом, что первоначальным источником усталостного разрушения буровых труб являются местные знакопеременные напряжения, наибольшие значения которых достигаются в зонах так называемой повышенной концентрации напряжений.

С целью определения наиболее напряженных зон в трубном соединении ЛБТПН 147х13 в ЦКТИ «Вибросейсм» была разработана расчётная модель, включающая в себя соединение алюминиевой трубы со стальным элементом замка [6].

Основным расчётным параметром при приложении к трубному соединению переменного изгибающего момента был принят коэффициент концентрации напряжений (ККН), используемый для оценки усталостной долговечности соединения в процессе эксплуатации. Расчёты выполнялись с помощью метода конечных элементов (МКЭ), что позволило оценить и сопоставить уровни концентрации напряжений в различных зонах трубного соединения.

На рисунке 1 приведено распределение напряжений в материале алюминиевой трубы вдоль стабилизирующего пояса в трубном соединении ЛБТПН 147х13.

По результатам, представленным на рисунке 1, можно сделать вывод о том, что наибольшая концентрация напряжений (красный фон) сосредоточена именно в зоне торца замка, то есть там, где отмечается источник разрушения алюминиевых труб при испытаниях на стенде.

Известно [7], что во избежание преждевременного усталостного разрушения труб, при составлении компоновки буровой колонны желательно избегать резких переходов по жёсткости и, как следствие, высокой концентрации местных напряжений.

На практике при строительстве скважин основными задачами являются совершенствование подходов и принципов составления рациональных компоновок буровой колонны, выбор соответствующего бурового инструмента, с учетом наработки комплекта труб в конкретных условиях приложения знакопеременных нагрузок, а также уровень и амплитудно-частотные характеристики силовых факторов (нагрузок, моментов) для конкретных геолого-технических условий бурения. Одним из способов борьбы с процессами хрупкого и усталостного разрушения является управление структурой. Известно [8–10], что структура (размер зерна, фазовый состав, распределение примесей и дисперсных частиц) определяет механические свойства и развитие процессов разрушения. Так, субмикроструктурные (СМК) с размером зерна от 0,1 до 1 мкм и нанокристаллические (НК) с размером меньше 100 нм материалы позволяют

Рисунок 1. Распределение напряжений трубного соединения ЛБТПН 147 х 13, полученное расчётом МКЭ, при приложении к трубе знакопеременного изгибающего момента

получить высокопрочное состояние [11, 12], а, управляя состоянием границ зёрен, можно управлять и процессами разрушения [13–15]. Все эти результаты указывают на возможность разработки новых перспективных технологий получения структуры алюминиевых сплавов, применяемых для изготовления ЛБТ с повышенными механическими свойствами и устойчивыми к процессам усталостного и хрупкого разрушения.

В связи с этим на примере модельного алюминиевого сплава 1421 (Al-Mg-Li-Zr-Sc) рассмотрим возможность повышения физико-механических свойств и предложим реализовать такую возможность для заводов, выпускающих ЛБТ.

Задачами данной работы являются изучить:

1. Методами интенсивной пластической деформации (ИПД) получить СМК структуру в сплаве 1421;
2. Провести сравнение параметров физико-механических свойств алюминиевого сплава до и после ИПД.

Одним из методов получения СМК структуры является равноканально-угловое прессование (РКУП). Суть способа заключается в том, что при определённой температуре образец сплава продавливается через пересекающиеся каналы одинакового сечения под углом $2\varphi = 90-150^\circ$. Многократное повторение этого процесса позволяет получать СМК структуру в исследуемых сплавах. Плоскость пересечения каналов совпадает с биссектрисой угла Φ между ними. Если внешний угол $\psi = 0$ и трение на стенках каналов достаточно мало, а сечение заготовки соответствует сечению каналов, то объёмы I и II, перемещающиеся в прямолинейных плоскостях, деформируются упруго, а пластическая область сконцентрирована вблизи плоскости $O-O'$. Причиной многократного повторения РКУП является неоднородное распределение уровня напряжений и скоростей деформации (рисунок 2).

Для проведения лабораторных исследований и испытаний были использованы образцы сплава 1421 (Al-Mg-Li-Zr-Sc) № 1 до обработки и № 2 после обработки РКУП.

Рисунок 2. Распределение уровня напряжений в разрезе при РКУ-прессовании: области одинаковых напряжений (а); распределение уровня напряжений в плоскости пересечения каналов (б)

Микроструктура перед РКУ-прессованием

Структуру сплава до РКУП исследовали при помощи растрового электронного микроскопа. Исходная структура сплава представлена на рисунке 6. Видны вытянутые крупные (168 мкм в продольном и 19 мкм в поперечном направлениях) субзёрна, в теле и по границам которых размерами 0,5–1,0 мкм распределены частицы Al_3Zr , окружённые облаком частиц δ' -фазы.

Микроструктура после РКУ прессования

После РКУ-прессования при температуре 325 °С до истинной степени деформации ($\epsilon \sim 8$) формируется полностью рекристаллизованная структура со средним размером зёрен 0,3 мкм. Большинство границ зёрен выглядят в виде слегка размытого полосчатого контраста, свидетельствующего о достаточно высоких внутренних остаточных напряжениях.

Рисунок 3. Исходная структура сплава 1421

Отжиг при температуре 370 °С в течение 40 мин приводит к появлению чёткого полосчатого контраста на границах зёрен. При этом средний размер зерна слегка увеличился. Это говорит о более устойчивой структуре с меньшим количеством дефектов кристаллической решётки (внутренние остаточные напряжения понизились).

С целью определения основных параметров физико-механических свойств алюминиевого сплава до и после обработки по результатам лабораторных испытаний были получены следующие данные (таблица 1): изменение предела прочности, изменение предела текучести, изменение относительного удлинения после разрыва исходного образца и образца после РКУП. Видно, что предел прочности образца после РКУ вырос на 3,7 %, предел текучести вырос на 10,7 %, а относительное удлинение образца после деформации на растяжение увеличилось на 36,4 %.

Это связано с существенным уменьшением размера зёрен в результате РКУ-прессования. Ультрамелкозернистые материалы, полученные методом интенсивной пластической деформации, обладают целым рядом особенностей механического поведения: среди которых высокая прочность, необычное усталостное поведение, повышенные сверхпластические свойства. РКУП способствует существенному повышению пластичности исходного алюминиевого сплава 1421. Относительное удлин-

а)

б)

Рисунок 4. Структура сплава 1421 после РКУ прессования (а) и отжига (б)

Таблица 1. Результаты лабораторных испытаний по основным параметрам свойств алюминиевого сплава до и после обработки методом РКУП

№ образца алюминиевого сплава	Относительное удлинение после разрыва δ , %	Предел прочности σ_B , МПа	Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа
№ 1 до обработки	11	465	335
№ 2 после обработки	15	482	371

ние возрастает от 20 % до 37 %, предел прочности при этом сохраняется на уровне 380 МПа. Последующая термообработка может привести к повышению предела прочности до 480 МПа.

Вывод

Формирование СМК структуры данным методом оказывает весьма положительное влияние на усталостное поведение металлов и сплавов. Таким образом, обработка РКУП способствует повышению показателей механических свойств алюминиевого сплава.

СПИСОК ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гельфгат М.Я., Басович Д.В., Буяновский И.Н., Вахрушев А.В. Алюминий вместо стали: исключение баклинга при горизонтальном бурении // Нефть и газ. 2007. № 6. С. 42–48.

2. Дворников А.А., Ишкинин Р.Т., Басович В.С., Буяновский И.Н. Эффективность применения легкосплавных буровых труб ЛБТПН 90×9П при бурении боковых стволов малого диаметра в сложных геологических условиях Западно-Сибирских нефтегазовых месторождений // Бурение и нефть. 2014. № 11. С. 56–59.

3. Басович В.С., Буяновский И.Н., Сапунжи В.В. Перспективы применения легкосплавных буровых труб с наружным спиральным оребрением для бурения горизонтальных скважин и боковых стволов // Бурение и нефть. 2014. № 5. С. 42–46.

4. Швецов О.В. Повышение эксплуатационной надежности буровых труб из алюминиевых сплавов Д16Т и 1953Т1 // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2017. Т. 23. № 1. С. 236–246. DOI: 10.18721/JEST.230124.

5. Басович В.С., Буяновский И.Н., Петункин И.В. Перспективы применения алюминиевых буровых труб при бурении горизонтальных скважин большой протяженности // Бурение и нефть. 2015. № 6. С. 80–85.

6. Жидков А.В. Применение системы ANSYS к решению задач геометрического и конечно-элементного моделирования. Нижний Новгород: НГУ им. Н.И. Лобачевского, 2006. 115 с.

7. Технология бурения нефтяных и газовых скважин: в 5 т. / Под общ. ред. Овчинникова В.П. Тюмень: ТИУ, 2017. Т. 3. 342 с.

8. Tsenev N.K. Grain Boundaries Structure and Mechanical properties of Aluminum Alloys // Materials Science Forum «Intergranular and Interface Boundaries in Materials», 1996. Vol. 207–209.

9. Valiev R.Z., Salimonenko D.A., Tsenev N.K., Berbon P.B., Langdon T.G. Observations of High Strain Rate Superplasticity in Commercial Aluminum Alloys with Ultrafine Grain Sizes // Scripta Materialia. 1997. Vol. 37. pp. 1945–1950.

10. Furukawa M., Berbon P., Horita Z., Nemoto M., Tsenev N.K., Valiev R.Z., Langdon T.G. Structural Evolution, Ageing Behavior and Mechanical Properties of an Al-Mg-Li-Zr Alloy with Ultra-Fine Grain Size. Interface Science and Materials Interconnection // The Japan Institute of Metals, 1996. pp. 479–482.

Хорошо известно, что ЛБТ изготавливаются методом прямого гидравлического прессования. Применяя при изготовлении ЛБТ РКУП, можно получить СМК структуру с размерами зерна меньше 1 мкм, а в сочетании с термообработкой можно управлять и эксплуатационными свойствами: повысить прочность, износостойкость, коррозионную стойкость, сопротивление продольным и поперечным деформациям. Сочетание указанных свойств открывает путь к увеличению ресурса и надёжной работы ЛБТ в рамках буровой технологии.

11. Furukawa M., Berbon P., Horita Z., Nemoto M., Tsenev N.K., Valiev R.Z., Langdon T.G. Production of Ultrafine-Grained Metallic Materials Using an Intense Plastic Straining Technique // Materials Science Forum. Switzerland, Trans. Tech. Publications. 1997. Vol. 233–234. pp. 177–184.

12. Hiroyuki Miyamoto. Corrosion of Ultrane Grained Materials by Severe Plastic Deformation, an Overview // The Japan Institute of Metals and Materials. 2016. Vol. 57. No. 5. pp. 559–572.

13. Валиев Р.З., Исламгалиев Р.К. Структура и механическое поведение ультрамелкозернистых металлов и сплавов, подвергнутых интенсивной пластической деформации // Физика металлов и металловедение. 1998. Т. 85. №. 3. С. 161–177.

14. Кайбышев О.А., Валиев Р.З., Ценев Н.К. Влияние состояния границ зерен на сверхпластическое течение // Доклады АН СССР. 1984. Т. 278. № 1. С. 93–97.

15. Валиев Р.З., Кайбышев О.А., Корзников Г.Ф., Ценев Н.К. Структура границ зерен и сверхпластичность алюминиевых сплавов // Физика металлов и металловедение. 1986. Т. 62. № 1. С. 180–186.

REFERENCES

1. Gel'fgat M.Ya., Basovich D.V., Buyanovskii I.N., Vakhrushev A.V. Alyuminii vmesto stali: isklyuchenie baklinga pri gorizonta'nom burenii. [Aluminum Instead of Steel: Elimination of Bakling during Horizontal Drilling]. *Burenie i neft — Drilling and Oil*, 2007, No. 6, pp. 42–48. [in Russian].

2. Dvornikov A.A., Ishkin R.T., Basovich V.S., Buyanovskiy I.N. Effektivnost primeneniya legkospavnykh burilnykh trub LBTPN 90x9P pri burenii bokovukh stvolov malogo diametra v slozhnykh geologotekhnicheskikh usloviyakh zapadno-sibirskikh neftegazovykh mestorogdenii. [Effectiveness of Application of Light Alloy Drill Pipes of Improved Dependability Laidp 90x9p for Drilling of Slim Side Holes in Complicated Geological and Technical Conditions of West Siberian Oil and Gas Fields]. *Burenie i neft — Drilling and Oil*, 2014, No. 11, pp. 56–59. [in Russian].

3. Basovich V.S., Buyanovskiy I.N., Sapunzhi V.V. Perspektivy primeneniya legkospavnykh burilnykh trub s naruzhnyim orebreniem dlya burenii gorizontanykh skvazhin i bokovykh stvolov [Use Perspectives of Light-Alloy Drill Pipes with Outer Spiral Flinining for Drilling if Horizontal Wells and Offshoots (Rat Holes)]. *Burenie i neft — Drilling and Oil*, 2014, No. 5, pp. 42–46. [in Russian].

4. Shvetsov O.V. Povyshenie ekspluatatsionnoi nadezhnosti buril'nykh trub iz alyuminiyevykh splavov D16T i 1953T1 [Improving the Operational Reliability of Drill Pipes Made of Aluminum Alloys D16t and 1953t1]. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU — Scientific and technical statements SPbGPU*, 2017, Vol. 23, No. 1, pp. 236–246. DOI: 10.18721/JEST.230124. [in Russian].

5. Basovich V.S., Buyanovskiy I.N., Petunkin I.V. Perspektivy primeneniya alyuminiyevykh buril'nykh trub pri bureniya gorizontanykh skvazhin bolshoi protyazhenosti [Prospects Aluminum Drill Pipe Application while Drilling Horizontal Wells Great Length]. *Burenie i nef't — Drilling and Oil*, 2015, No. 6, pp. 80–85. [in Russian].

6. Zhidkov A.V. *Primenenie sistemy ANSYS k resheniyu zadach geometricheskogo i konechno-elementnogo modelirovaniya* [Application of the ANSYS System to Solving Problems of Geometric and Finite Element Modeling]. Nizhny Novgorod, NGU im. N.I. Lobachevskogo Publ., 2006. 115 p. [in Russian].

7. *Tekhnologiya bureniya nef'tyanykh i gazovykh skvazhin: v 5 t.* [Oil and Gas Well Drilling Technology: in 5 vol.] Edited by V.P. Ovchinnikova. Tyumen', 2017, Vol. 3, pp. 49–125. [in Russian].

8. Tsenev N.K. Grain Boundaries Structure and Mechanical Properties of Aluminium Alloys. Materials Science Forum «Intergranular and Interface Boundaries in Materials», 1996, Vol. 207–209.

9. Valiev R.Z., Salimonenko D.A., Tsenev N.K., Berbon P.B., Langdon T.G. Observations of High Strain Rate Superplasticity in Commercial Aluminum Alloys with Ultrafine Grain Sizes. *Scripta Materialia*, 1997, Vol. 37, pp. 1945–1950.

10. Furukawa M., Berbon P., Horita Z., Nemoto M., Tsenev N.K., Valiev R.Z., Langdon T.G. Structural Evolution,

Ageing Behavior and Mechanical Properties of an Al-Mg-Li-Zr Alloy with Ultra-Fine Grain Size. Interface Science and Materials Interconnection. *The Japan Institute of Metals*, 1996, pp. 479–482.

11. Furukawa M., Berbon P., Horita Z., Nemoto M., Tsenev N.K., Valiev R.Z., Langdon T.G. Production of Ultrafine-Grained Metallic Materials Using an Intense Plastic Straining Technique. Materials Science Forum. Switzerland, Trans. Tech. Publications, 1997, Vol. 233–234, pp. 177–184.

12. Hiroyuki Miyamoto. Corrosion of Ultrane Grained Materials by Severe Plastic Deformation, an Overview. *The Japan Institute of Metals and Materials*, 2016. Vol. 57, No. 5, pp. 559–572.

13. Valiev R.Z., Islamgaliev R.K. Struktura i mekhanicheskoe povedenie ul'tramelkozernistykh metallov i splavov podvergnutykh intensivnoi plasticheskoi deformatsiei [Structure and Mechanical Behavior of Ultrafine-Grained Metals and Alloys Subjected to Severe Plastic Deformation]. *Fizika metallov i metallovedenie — Metal Physics and Metallography*, 1998, Vol. 85, Issue 3, pp. 161–177. [in Russian].

14. Kaibyshev O.A., Valiev R.Z., Tsenev N.K. Vliyaniye sostoyaniya granits zeren na sverkhplasticheskoe techenie [The Influence of the State of the Grain Boundaries on the Superplastic Flow]. *Doklady AN SSSR — Doklady Akademii nauk USSR*, 1984, Vol. 278, No. 1, pp. 93–97. [in Russian].

15. Valiev R.Z., Kaibyshev O.A., Korznikova G.F., Tsenev N.K. Struktura granits zeren i sverkhplastichnost' alyuminiyevykh splavov [The Structure of the Grain Boundaries and the Superplasticity of Aluminum Alloys]. *Fizika metallov i metallovedenie — Metal Physics and Metallography*, 1986, Vol. 62, No. 1, pp. 180–186. [in Russian].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ABOUT THE AUTHORS

Сафрайдер Алина Ильдаровна, аспирант кафедры «Бурение нефтяных и газовых скважин», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Alina I. Safraider, Post-graduate Student of Oil and Gas Well Drilling Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: shakirova_ali@mail.ru

Исмаков Рустэм Адипович, д-р техн. наук, профессор, проректор по научной и инновационной работе, УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Rustem A. Ismakov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Vice-Rector for Research and Innovation, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: ismakovrustem@gmail.com

Аглиуллин Ахтям Халимович, д-р техн. наук, профессор кафедры «Бурение нефтяных и газовых скважин», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Akhlyam Kh. Agliullin, Doctor of Engineering Sciences, Professor of Oil and Gas Well Drilling Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: dir@et.center

Ценева София Николаевна, аспирант кафедры «Двигатели и энергоустановки летательных аппаратов», Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Sofia N. Tseneva, Post-graduate Student of Engines and Power Plants of Aircraft Department, Baltic State Technical University «VOENMEH» named after D.F. Ustinov, Saint-Petersburg, Russian Federation

e-mail: sofijko@yandex.ru

Ценев Николай Кузьмич, канд. физ.-мат. наук, профессор кафедры «Бурение нефтяных и газовых скважин», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация, профессор Центра новых материалов, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Nikolay K. Tsenev, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Professor of Oil and Gas Well Drilling Department, UGNTU, Ufa, Russian Federation, Professor of Center of New Materials, Saint-Petersburg Polytechnic University of Peter the Great, Saint-Petersburg, Russian Federation

e-mail: nktsenev@yandex.ru