

лем – важный этап при разработке нормативных документов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2015. № 2. С. 79–84.

73. Рубин Г.Ш., Полякова М.А. Развитие научных основ стандартизации // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. № 1(45). С. 97–101.

74. Данилова Ю.В. Совершенствование процедуры разработки стандартов на металлоизделие формализацией согласования позиций заинтересованных сторон: дис. ... канд. техн. наук. Магнитогорск, 2016.

75. Рубин Г.Ш., Касаткина Е.Г. S-образная математическая модель единичной оценки качества // качество в обработке материалов. 2014. № 2. С. 74–81.

76. Колокольцев В.М. Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. История. Развитие // Вестник Магнитогорского государст-

венного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 1(45). С. 5–6.

77. Колокольцев В.М., Разинкина Е.М., Глухова А.Ю. Подготовка квалифицированных кадров в условиях университетского комплекса // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. Т. 12. № 1–2. С. 615–618.

78. Колокольцев В.М. Новые тренды в развитии технического образования // Аккредитация в образовании. 2011. № 7(51). С. 52–54.

79. Колокольцев В.М., Разинкина Е.М. Университетский комплекс: интеграция и непрерывность // Высшее образование в России. 2011. № 5. С. 3–10.

80. Мезин И.Ю., Чукин М.В. Анализ вариантов формирования свойств исходной заготовки при производстве высокопрочной стальной арматуры для железобетонных шпал // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2011. № 4. С. 30–34.

УДК 621.771.252.01; ББК 34.621С

Сычков А.Б., Шекшеев М.А., Малашкин С.О., Камалова Г.Я., Жигарев М. А., Столяров А.Ю.

### ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРОКАТА В БУНТАХ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ В ИЗДЕЛИЯ, ИЗГОТОВЛЯЕМЫЕ МЕТОДОМ ХОЛОДНОЙ ОБЪЕМНОЙ ШТАМПОВКИ

**Аннотация.** В статье рассмотрено влияние химического состава стали и режимов термической обработки проката в бунтах на линии двустадийного охлаждения типа Stelmog на формирование микроструктуры и свойств металлопроката. Проведено исследование проката в бунтах и катанки из стали, предназначенной для переработки в высокопрочный крепеж методом холодной объемной штамповки (ХОШ).

Вышеуказанный сортмент бунтового проката микролегирован бором в различном количестве в зависимости от соотношения в стали бора и азота (B/N). Для стали под ХОШ  $B = N_{\text{общ}} + 0,003 \%$ . При этом обеспечивается и взаимное связывание бора и азота в нитрид, что позволяет пластифицировать сталь. Излишний бор в несвязанном, свободном состоянии повышает закаляемость стали и упрочняет ее, а также несвязанный азот обуславливает упрочнение твердого раствора кристаллической решетки феррита. В итоге обеспечивается требуемый НД и потребителями комплекс наилучших структур и свойств проволоночной металлопродукции – высокопрочного крепежа.

**Ключевые слова:** химический состав, микролегирование, бор, катанка, бунтовой прокат, линия двустадийного охлаждения Stelmog, термическая обработка, скорость охлаждения, структура, свойства, технологическая пластичность.

#### Введение

Современный электрометаллургический комплекс для производства сортового проката включает в себя следующее оборудование: 120–250 тонные дуговые сталеплавильные печи (ДСП), оснащенные альтернативными источниками энергии (газокислородными горелками по периметру и донными продувочными фурмами типа "Danarc"); установки для внепечной обработки стали ковш-печь (УКП); вакууматоры типа VD/VOD и RH; 5–8 ручьевые машины непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) с обеспечением полной защиты разливаемых струй металла от вторичного окисления атмосферным воздухом и электромагнитного перемешивания стали (ЭМП) в промежуточном ковше, кристаллизаторе и/или по длине металлургической

линии МНЛЗ. Прокатный передел представляет из себя современные мелкосортные или проволоночные станы, в состав которых входят: одна-две нагревательные печи с шагающим подом (ПШП) или шагающими балками (ПШБ), термостат, гидросбив печной окалины, черновая 6–10-ти клетевая, промежуточная 4–6-ти клетевая, чистовая сортовая 4–6-ти клетевая группы и 8–10-ти клетевой проволоночный блок, в ряде случаев с 2–4-мя дополнительными TWIN-BLOCK (для осуществления, например прокатки в условиях низких температур). Используются клетки «дуо» для продольной прокатки, которые могут быть с горизонтальным и/или вертикальным расположением рабочих валков с кантующими устройствами (кантующие проводки, валки), или под углом  $45^\circ$  (нескручивающие прово-

лочные блоки). Максимальные рабочие скорости сортовой группы составляют до 20 м/с, проволочной – 90-110 м/с. В конце сортовой и проволочной линий находятся установки для упрочняющей или разупрочняющей поточной термомеханической обработки проката в мерных длинах и бунтовой продукции катанки и арматуры в бунтах. В частности в потоке проволочного стана, располагают линии двухстадийного (водяного и воздушного) охлаждения типа Stelmor различной конструкции. На таком современном оборудовании производят в том числе высококачественный прокат в бунтах и катанку для переработки в высокопрочный крепеж методом холодной объемной штамповки. Особенности структурообразования и формирования механических свойств в зависимости от металлургического качества стали и режимов термической обработки катанки и проката в бунтах вышеуказанного назначения приводятся ниже.

### Материалы и методы исследования

Объектом исследования является катанка и прокат в бунтах диаметром 5,5–14,0 мм из низкоуглеродистой нелегированной стали типа 1005-1022 по ASTM A 510/ASTM 510M, 20Г2Р по ТС/ТО 02-2003, микролегированных бором.

Катанку прокатывали на мелкосортно-проволочном стане из НЛЗ малого сечения 125x125 мм с последующей термической обработкой на линии двухстадийного охлаждения Stelmor стана 320/150.

Поточную термообработку катанки проводили сначала на проектной проволочной линии стана с «короткой» линией Stelmor (рис. 1), а позже - на реконструированной линии с «длинным» Stelmor (рис. 2).

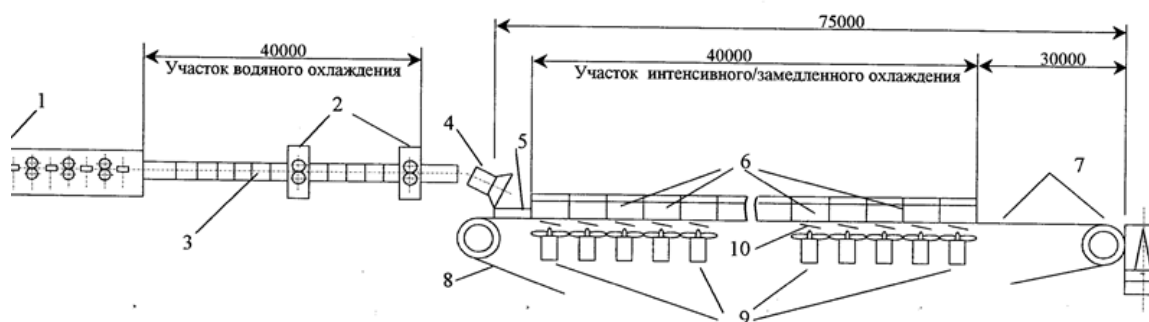


Рис. 1. Схема участка водо-воздушного охлаждения катанки - «короткий» Stelmor до реконструкции:

- 1 - десятиклетевой проволочный блок; 2 - трайб-аппараты; 3 - трасса водяного охлаждения;
- 4 - виткообразователь 5 - приемный стол; 6 - секции под теплоизолирующими крышками;
- 7 - секции окончательного охлаждения; 8 - сетчатый транспортер; 9 - вентиляторы (до 15 штук, мощность 15 кВт); 10 - регулирующие заслонки; 11 - шахта виткосборника

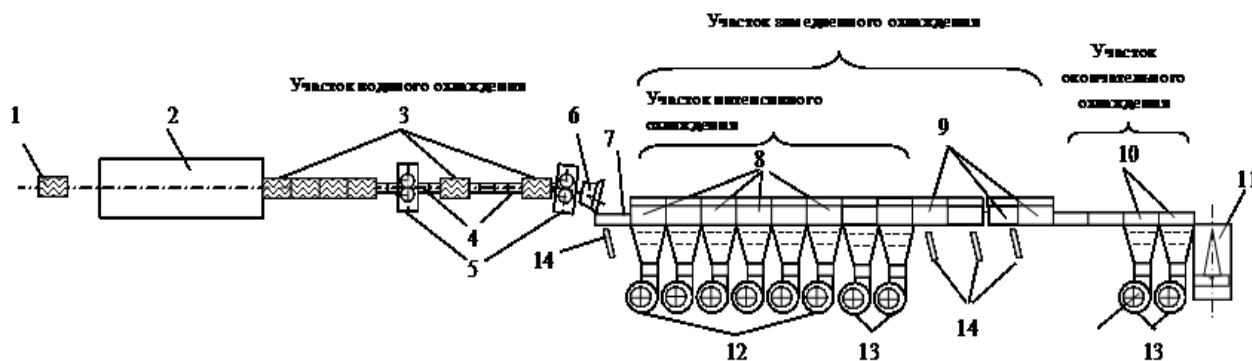


Рис. 2. Схема расположения технологического оборудования на участке двухстадийного охлаждения - линии длинный Stelmor после реконструкции:

- 1 - секция предварительного водяного охлаждения; 2 - десятиклетевой проволочный блок; 3 - участок водяного охлаждения; 4 - холостые проводки (участки выравнивания температуры проката);
- 5 - трайберы; 6 - виткообразователь; 7 - приемный стол; 8 - секции интенсивного охлаждения; 9 - секции замедленного охлаждения; 10 - секции окончательного охлаждения; 11 - шахта виткосборника;
- 12 - ВБСО с мощностью N = 160 кВт; 13 - БСО с мощностью N = 55 кВт; 14 - пирометры

Проектная короткая линия имела общую длину 75 м, 15 вентиляторов мощностью по 15 кВт под цепным транспортером витков, участок под теплоизолирующими крышками длиной 40 м. Скорость транспортирования витков катанки цепным транспортером составляла 0,1–1,5 м/с. На такой линии можно было обеспечить скорость охлаждения витков катанки, разложенных виткообразователем на цепном транспортере витков, в диапазоне 1,7–10°С/с. Для обеспечения скоростей охлаждения металла в диапазоне от 0,15–0,30 до 25–30°С/с, необходимых для формирования эффективной структуры проката широкого марочного состава с целью обеспечения безотжигового волочения с высокой степенью деформации, была проведена модернизация линии Stelmor. После реконструкции линия «длинный» Stelmor состоит из роликового каскадного транспортера витков длиной 147 м, 6 вентиляторов – блоков струйного охлаждения мощностью 160 кВт, 4 вентиляторов мощностью 75 кВт, участка под теплоизолирующими крышками длиной 120 м. Скорость роликового транспортера изменяется в диапазоне 0,09–1,5 м/с.

Выполнение исследований, связанных с разработкой химического состава и термической обработки (ТО) катанки повышенной деформируемости, обусловило необходимость и целесообразность проведения на различных стадиях технологического процесса производства химических анализов стали, катанки и проволоки, механических и технологических испытаний, изучения макро- и микро-

структуры, состава неметаллических включений, определении массы окалины на поверхности катанки, а также распределения основных упрочняющих элементов и постоянных примесей по сечению катанки. При проведении исследований использовался принцип комплексного подхода, включающий выполнение на одном и том же объекте различных видов анализов и испытаний.

Металлографические исследования проводились методами оптической и электронной (просвечивающей и растровой) микроскопии. Распределение химических элементов по сечению катанки и проволоки, а также химический состав неметаллических включений определялись на энергодисперсионном и волновом рентгеновских спектрометрах. Измерение микротвёрдости структурных составляющих производили на микротвердомерах при различных нагрузках.

Катанка испытывалась на разрывных машинах на растяжение. Исследование механических и технологических свойств проволоки проводили на образцах, отобранных на характерных (после сухого и мокрого волочения) профилеразмерах.

Исследования сварочно-технологических свойств проволоки на соответствие требованиям НД производились в условиях производителя. Сварка осуществлялась полуавтоматом фирмы MILLER (США) модели BLU PAK 35. Режим сварки пластин в газовой смеси FAGON (аргон – 80 %, углекислый газ – 20 %) приведен в табл. 1.

**Таблица 1**

**Режим заварки контрольных пластин**

Диаметр проволоки, мм	Сварочный ток, А	Напряжение, В	Скорость подачи проволоки, м/мин	Межваликовая температура, °С
0,8	70-190	18-26	2,0-14,0	120-150
1,0	95-260	17-29	3,0-14,0	120-150

### **Теория, технико-технологические разработки, результаты и их обсуждение**

Внедрение новых прогрессивных методов холодной объемной штамповки (ХОШ) при производстве высокопрочных крепежных изделий из углеродистых и низколегированных сталей стало возможным, благодаря разработке и внедрению новых технологических процессов производства проката для ХОШ, сматываемого в бунты. Как правило, для производства такого качественного металлопроката в мировой практике применяют непрерывно-литую заготовку (НЛЗ) крупного сечения со стороной 200–400 мм с последующей деформацией с достаточно большой степенью для полной выработки литой структуры.

Поэтому, например, для получения высококачественного проката на Белорусском металлургическом заводе (БМЗ) и Оскольском электрометаллургическом комбинате (ОЭМК, Россия) НЛЗ сечением 250x300 мм и 300x400 мм прокатывают на обжимном стане на заготовки более мелкого сечения - 125x125 мм и 130x130 мм. Затем контролируют качество катаных заготовок в линии де-

фектоскопии, после чего удаляют обнаруженные и отмеченные дефекты на обдирочно-шлифовальных станках или огневым способом.

Особенностью технологии производства проката на некоторых заводах является разливка стали в НЛЗ малого сечения (125x125 мм). Опыт производства и переработка проката для ХОШ из такого металла показал [1], что благодаря меньшему размеру сечения НЛЗ по сравнению с обычно применяемыми, улучшаются условия кристаллизации стали, устраняются сегрегация химических элементов по длине заготовки и усадочные явления. Однако при этом прокатка сопровождается меньшей степенью деформации металла, вследствие чего в готовом прокате наблюдаются остатки литой структуры [2]. Следует отметить, что в мировой практике нет опыта производства проката для холодной высадки из НЛЗ малого сечения при отсутствии в составе оборудования средств контроля поверхностных дефектов заготовки и абразивной зачистки этих дефектов. Основным требованием к горячекатаному прокату для ХОШ является способность выдерживать осадку в холодном состоя-

нии на величину деформации 66 или 75%. Согласно ГОСТ 10702-78 - на осажённых образцах не должно быть надрывов и трещин, но по согласованию изготовителя с потребителем допускается наличие поверхностных механических рисок глубиной не более 0,1 мм для проката диаметром до 20 мм и не более 0,2 мм для проката диаметром 20 мм и выше.

В международной практике качество поверхности осажённых образцов оценивается по специальной шкале [3], которой предусмотрено пять классов дефектов: 0; 1; 2; 3 и 4. Причем для ХОШ допускается класс дефекта не более 1, а средневзвешенное значение этого показателя (так называемого коэффициента осаживания F) должно быть в пределах 0,3–0,7 в зависимости от того, будет ли применяться при последующем переделе холодная или горячая высадка. Таким образом, без указанных выше согласований к качеству поверхности проката, требования отечественных НД соответствуют 0-му классу дефектов по эталонной шкале.

Статистическими исследованиями показано, что в 86% случаев прокат в бунтах диаметром 5,5–14,0 мм из низкоуглеродистой стали типа 1005-1022 по ASTM A510/A510M и 20Г2Р по ТС/ТО 02-2003, произведенный по текущим заказам, соответствует требованиям осадки для группы 66 – основному требованию к прокату для ХОШ.

Традиционная технология производства бор-содержащей стали и проката под ХОШ заключается в следующем. Сталь с содержанием бора 0,001–0,005% в свободном эффективном состоянии разливается или в слитки весом более 8 т или крупные НЛЗ сечением более 300х300 мм. Соответственно этому деформационная проработка таких слитков достаточно интенсивна с частичным разрушением литой дендритной структуры и ее гомогенизацией. Указанное содержание в стали эффективного бора обеспечивает повышенную прокаливаемость стали. Для связывания азота для обеспечения наличия в стали свободного бора (исключения образования нитрида бора - BN) в сталь предварительно добавляют другие азотосвязывающие элементы типа титана, алюминия – преимущественно алюминия – в количестве, обеспечивающего 100% нейтрализацию азота [4-8].

Учитывая перечисленные выше аспекты, нами разработана и внедрена технология производства бунтового проката для ХОШ из стали 20Г2Р диаметром 5,5–14 мм из незачищенной НЛЗ малого сечения (125х125 мм), что не имеет аналогов в мировой практике. Например, в условиях ОАО "Криворожсталь", где из слитка весом 9–12 т изготавливают катаную заготовку сечением 150х150 мм, которую затем зачищают от поверхностных дефектов и прокатывают в катанку, выход качественной заготовки из спокойной стали составляет только 77–85%.

Эта пионерская сквозная технология [4, 9] производства катанки под ХОШ, заключается в следующем. Сталь марки 20Г2Р изготавливают без

микродобавок алюминия, который в традиционной технологии связывает азот в нитрид AlN, а добавляемый бор в количестве 0,001–0,005% в глубоко-раскисленную сталь остается в свободном – эффективном состоянии и тем самым увеличивает прокаливаемость проката для ХОШ [6]. Для этой цели (повышения прокаливаемости) по новой технологии применяют отдачу бора с повышенным содержанием – 0,006–0,012% при выполнении условия  $V = N_{\text{общ.}} + 0,003 (N_{\text{общ.}} - \text{общий азот})$ . При этом бор выполняет одновременно две функции: первая - связывает азот в нитрид бора BN, вторая - остаток несвязанного бора обуславливает высокую прокаливаемость стали. С другой стороны, связанный в нитрид бора азот выводится из твердого раствора внедрения, тем самым, понижая деформацию кристаллической решетки феррита, повышает пластичность металла и делает сталь нестареющей [8, 9]. Высокая пластичность катанки из стали 20Г2Р обусловлена и разупрочняющей термомеханической обработкой на линии Stelmor [10], заключающейся в высокотемпературном виткообразовании (аустенитизации металла) при 940–960°C, затем длительной квазиизотермической выдержке под теплоизолирующими крышками без применения вентиляторного воздуха со скоростью охлаждения 0,25–0,15°C/с (скорость транспортера витков катанки по роликовому транспортеру 0,09–0,12 м/с). При этом обеспечиваются следующие механические свойства катанки:  $\sigma_b \leq 580 \text{ Н/мм}^2$ ,  $\Psi \geq 60 \%$ . Катанка имеет достаточно крупную ферритно-перлитную структуру с частично сфероидизированным перлитом с размером зерен № 7-8 по ГОСТ 5639-82.

Переработка проката в бунтах диаметром 5,5–14 мм из стали 20Г2Р, произведенной по вышеописанной технологии, дала положительные результаты при изготовлении деталей высокопрочного крепежа класса 8.8 с группой осадки 66 (предпочтительно) и даже 75.

### Заключение

В статье рассмотрено влияние химического состава стали и режимов термической обработки (температуры аустенитизации металла, скорости охлаждения проката на обеих стадиях) проката в бунтах на линии двустадийного охлаждения типа Stelmor на формирование микроструктуры и свойств металлопроката под ХОШ.

Разработана пионерская сквозная технология производства катанки под ХОШ, заключающаяся в повышении прокаливаемости проката путем применения отдачи бора с повышенным содержанием – 0,006–0,012% .

### Список литературы

1. Оценка соответствия качества катанки Молдавского металлургического завода требованиям к прокату для холодной высадки/В.В. Парусов, А.Б. Сычков, М.А. Жигарев и др. - Сб. Фундаментальные и прикладные

проблемы черной металлургии. – Днепропетровск: "ВІЗІОН". – 2003. – Вып. 6. – С. 211-214.

2. Совершенствование технологии производства арматурной проволоки из непрерывнолитой заготовки/В.В. Парусов, В.А. Олейник, А.Б. Сычков и др. - Сталь.-1992. - № 11. - С. 63-67.

3. Шифферль Х.А. Катанка из непрерывнолитой заготовки. - Черные металлы. -1986. - № 7 - С. 53-58.

4. Особенности влияния бора на качественные характеристики стали для холодной высадки/В.В. Парусов, А.Б. Сычков, И.В. Деревянченко и др. - Сб. Строительство, материаловедение, машиностроение. - Днепропетровск: ПГАСиА. – 2005. – Вып. 32. – С. 62-68.

5. Парусов В.В., Парусов О.В., Сычков А.Б. Прокат из борсодержащих сталей для высокопрочных крепежных изделий. – Днепропетровск: АРТ-ПРЕСС, 2010. 160 с.

6. Лякишев Н.П., Плинер Ю.Л., Лаппо С.И. Борсодержащие стали и сплавы. – М.: Металлургия, 1986. – 192 с.

7. Development and introduction of a technology for making bor-bearing steel/NA Bogdanov, AB Sychkov, IV Derevyanchenko, VV Parusov, AM Nesterenko, RV Starov a etc. – Metallurgist. February 1999. Vol. 43. Issue 2. P. 71-75.

8. Новое применение бора в металлургии/В.В. Парусов, А.Б. Сычков, И.В. Деревянченко, М.А. Жигарев. – Магнитогорск: Вестник МГТУ. – 2005. - № 1(9). – С. 15-17.

9. Новая технология производства проката для холодной объемной штамповки из борсодержащей стали/В.В. Парусов, В.Г. Черниченко, А.Б. Сычков, И.В. Деревянченко и др. - Сб. Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. - Днепропетровск: "ВІЗІОН".- 2004. - Вып. 7. - С. 300-311.

10. Разупрочняющая термомеханическая обработка проката из углеродистой стали/В.В. Парусов, А.Б. Сычков, В.А. Луценко и др. - Металлургическая и горно-рудная промышленность. - 2003.- № 6. - С. 54-56.

УДК 621.774.38

Космацкий Я.И.<sup>1</sup>, Филяева Е.А.<sup>2</sup>, Фокин Н.В.<sup>1</sup>, Яковлева К.Ю.<sup>1</sup>

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ВОЗМОЖНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НОВОГО ВИДА БЕСШОВНЫХ ТРУБ TREX ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА Ti-3Al-2.5V

**Аннотация.** Работа посвящена определению технологической возможности производства труб из сплава Ti-3Al-2.5V за счет реализации технологии TREX, включающей в себя горячее прессование передельных труб и последующую холодную прокатку.

**Ключевые слова:** титановый сплав Ti-3Al-2.5V, TREX, псевдо- $\alpha$ -сплав, горячее прессование, холодная прокатка

С целью определения технологической возможности изготовления труб по технологии TREX был проведен комплекс исследований, подтверждающий положительный результат реализации. Технология TREX (Tube Rolling Extrusion) заключается в горячем прессовании передельных труб и последующей холодной прокатке. Сквозная схема производства труб TREX представлена на **рис. 1**.

Работа с титановыми сплавами предусматривает необходимость учитывать особенности, которые в зависимости от структуры имеют каждый отдельный сплав. Сплав Ti-3Al-2.5V относится к псевдо- $\alpha$ -сплавам, которые представляют собой  $\alpha$ -твердый раствор с небольшим количеством  $\beta$ -фазы (от 2 до 8%), сохраняя при этом многие достоинства и  $\alpha$ - и  $\alpha+\beta$  сплавов. Сплавы такого типа практически не чувствительны к упрочняющей термической обработке. Благодаря тому, что в структуре сплава присутствует  $\beta$ -фаза они имеют удовлетво-

рительную технологическую пластичность в горячем и холодном состоянии, близкую к пластичности  $\alpha+\beta$ -сплавов. Псевдо- $\alpha$ -сплавы при одинаковой пластичности с  $\alpha$ -сплавами имеют временное сопротивление на 10–20% выше. Это объясняется измельчением микроструктуры и неоднородностью внутренней структуры при образовании двухфазной смеси  $\alpha$ - и  $\beta$ -фаз [1].

Псевдо- $\alpha$ -сплавы закаляются с образованием титанового мартенсита, представляющего собой твердый раствор легирующих элементов в  $\alpha$ -титане. Мартенсит в псевдо- $\alpha$ -сплавах имеет слабую степень пересыщения, упрочнение сплава при этом незначительно.

<sup>1</sup> ОАО «РосНИТИ»

<sup>2</sup> ООО «ТМК НТЦ»