

УДК 669.35; 669.045.5; 669-1; 621.73

О причинах некоторых дефектов материала прутков и лент из сплава НММц 38-2В для деталей электровакуумных приборов

П.А. Головкин

АО «Плутон»

On the causes of certain defects in the rod and belt materials of the Ni-38%Cu-2%Mn alloy with components of the electrovacuum devices

P.A. Golovkin

Pluton JSC

На основе анализа возможных примесей установлена связь между химической чистотой никелемедного сплава НММц 38-2В и характерными дефектами получаемых из него прутков и лент. Показано, что причиной появления пор и расслоений в готовых прутках и лентах может стать наличие в нем малорастворимых в никеле и меди, но при этом легкоплавких примесей висмута, селена и теллура. Эти примеси не только ухудшают вакуумную плотность получаемого материала, но и вследствие склонности к сублимации могут вызвать загрязнение рабочей зоны электровакуумных приборов и их выход из строя. Отмечены недостатки действующей нормативной документации на прутки и ленты из сплава НММц 38-2В в части требований к химической чистоте материала, которые могут быть критичными для изготовления деталей рабочей зоны электровакуумных приборов. Описаны некоторые технологические приемы, направленные на очищение материала слитка от вредных примесей, в частности на необходимую минимальную продолжительность выдержки исходного расплава для вывода из него в шлак связанных в процессе раскисления и модифицирования нежелательных примесей.

EDN: YDQAYF, <https://elibrary/ymqayf>

Ключевые слова: электровакуумные приборы, никелемедный сплав, рабочая зона, вакуумная плавка, легкоплавкие примеси, вакуумная плотность

Based on analyzing the possible impurities, the paper establishes connection between the Ni-38%Cu-2%Mn nickel-copper alloy chemical purity and characteristic defects in rods and belts produced from it. It shows that the cause of pores and delaminations appearing in the finished rods and belts could be the impurities of bismuth, selenium and tellurium, which are poorly soluble in nickel and copper and at the same time fusible. These impurities not only worsen the resulting material vacuum density, but also, due to their tendency to sublimation, could cause contamination of the electric vacuum device working area and its failure. The paper shows disadvantages in the current regulatory documentation for rods and belts made of the Ni-38%Cu-2%Mn alloy in terms of requirements to the material chemical purity, which could become critical in manufacture of parts for the electrovacuum devices working area. Certain technological methods are described aimed at purifying the ingot material from harmful impurities, in particular at the required minimum duration of initial melt exposure to remove undesirable impurities bound in deoxidation and modification from it into the slag.

EDN: YDQAYF, <https://elibrary/ydqayf>

Keywords: electrovacuum devices, nickel-copper alloy, working area, vacuum melting, fusible impurities, defects, vacuum density

В производстве электровакуумных приборов (ЭВП) находят применение материалы, редко используемые для изготовления других изделий. Среди них можно выделить прутки и ленты из немагнитного сплава вакуумной плавки типа монель НММЦ 38-2В, требования к которым определены техническими условиями (ТУ) [1–3]. Химический состав никелемедного сплава НММЦ 38-2В приведен в табл. 1.

Такие сплавы принято считать сложными и уникальными, однако это не всегда так. Благодаря более чем 32%-ному содержанию меди трехкомпонентный сплав обеспечивает немагнитность металлического материала уже при комнатной температуре [4], а добавка марганца улучшает его обрабатываемость резанием. Тем не менее в нагартованном состоянии ее можно оценить как хорошую, а в отожженном — как удовлетворительную.

Химический состав сплава НММЦ 38-2В, не дающий возможности термического упрочнения, делает его металлургически достаточно технологичным. Однако и при изготовлении этого сплава есть опасность допустить ошибки, которые могут проявить себя в виде дефектов материала готовых прутков и лент.

Важно, что НММЦ 38-2В не включен в список серийных никелевых и медно-никелевых сплавов, для которых ГОСТ 492–2006 [5] определяет химический состав, поэтому для него многие требования не прописаны. Так, ГОСТ 492–2006 для близкого по назначению сплава НМЖМц28-2,5-1,5 устанавливает предельно допустимое содержание свинца, серы и сурь-

мы, чего не регламентируют ТУ на сплав НММЦ 38-2В.

Чтобы обеспечить срок эксплуатации ЭВП не менее 15 лет, в рабочей зоне необходимо поддерживать глубину вакуума не более $6,5 \cdot 10^{-5}$ Па [6]. Это требует достижения вакуумной плотности получаемых деталей, которые, как правило, имеют небольшие размеры и толщину. Примеры заготовок и деталей, выполненных из монелевых прутков и лент, приведены на рис. 1.

Заданной надежности ЭВП нельзя достичь без специальных мер по уменьшению содержания в материале их деталей и узлов различных примесей, которые могут вызвать нарушение вакуумной плотности ЭВП как напрямую, так и посредством остаточного газовыделения и сублимации в рабочую зону ЭВП [6].

Цель работы — найти простые и действенные способы улучшения химической чистоты и вакуумной плотности материала прутков и лент из сплава НММЦ 38-2В.

Легкоплавкие малорастворимые примеси в сплаве НММЦ 38-2В как причина некоторых дефектов материала получаемых из него прутков и лент. Важность мер по обеспечению глубины вакуума рабочей зоны готовых ЭВП обусловлена сложностью достижения заданной химической чистоты расплава никеля [7] как основы сплава НММЦ 38-2В. Эта отчасти объясняется тем, что диффузионная подвижность в нем вредных примесей много больше, чем у вводимых в расплав рафинирующих элементов [7].

Таблица 1

Химический состав никелемедного сплава НММЦ 38-2В

Элемент	Содержание, % масс.	Элемент	Содержание, % масс.
Медь	36,000...39,000	Фосфор	≤ 0,005
Марганец	1,400...2,200	Мышьяк	≤ 0,002
Углерод	0,070...0,150	Кислород	≤ 0,005
Кремний	≤ 0,060	Водород	≤ 0,002
Магний	≤ 0,030	Азот	≤ 0,005
Цинк	≤ 0,002	Примеси	≤ 0,170
Висмут	≤ 0,002	Никель	Остальное

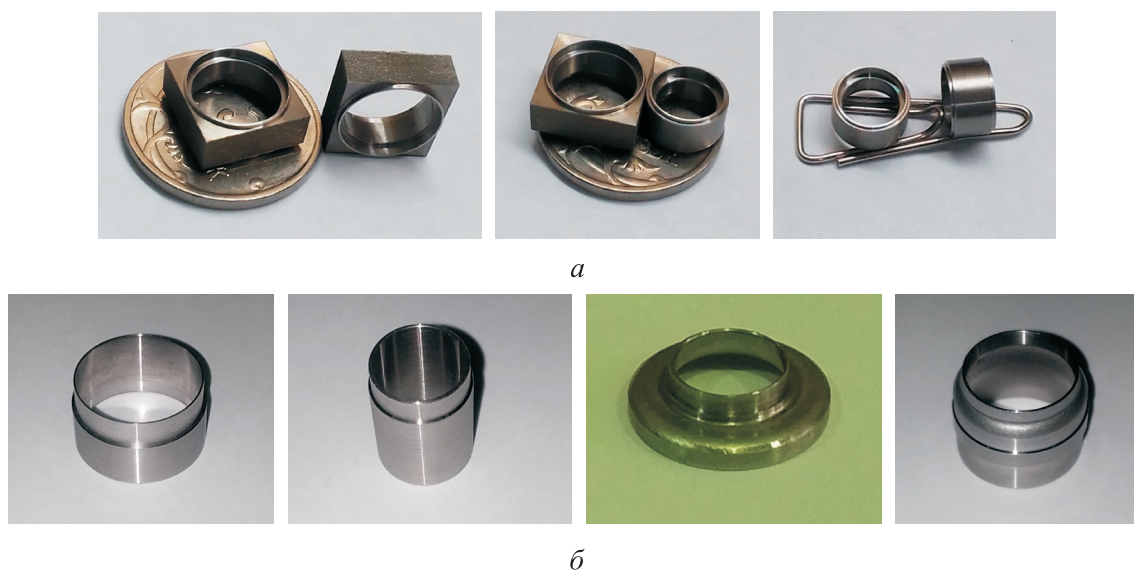


Рис. 1. Примеры заготовок и деталей, выполненных из монелевых прутков (а) и лент (б)

Так, коэффициент диффузии серы примерно в 10 раз больше, чем у составляющего основу мишметалла церия [8], что затрудняет ее выведение в шлак [9]. Существует сложность выведения из расплава сурьмы и олова [7]. Все изложенное в полной мере относится и к меди — главному легирующему компоненту сплава.

Следует отметить, что прописанный в ТУ [1–3] химический состав сплава не определяет допустимое содержание целого ряда слаборастворимых в никеле и меди веществ. Многие из них также отличает небольшая температура плавления, сравнимая с температурой материала на поверхности деталей работающих ЭВП, которая может достигать 250 °С и более [6]. Допускаемое требованиями ТУ [1–3] общее количество примесей в сплаве НММЦ 38-2В ограничено их суммарным значением ($\leq 0,17$ % масс.).

Значения температур плавления и кипения примесей сплава НММЦ 38-2В, а также температуры насыщения пара при глубине вакуума $6,5 \cdot 10^{-5}$ Па [10] приведены в табл. 2.

Сопоставление данных, указанных в табл. 2, показывает, что по значениям температур плавления и насыщения пара при глубине вакуума $6,5 \cdot 10^{-5}$ Па наибольшую опасность ухудшения вакуумной чистоты рабочей зоны ЭВП представляют кадмий, селен и теллур, а также сурьма и висмут. Перечисленные химические вещества имеют низкие температуры плавления и высокую способность к сублимации [11]. При этом кадмий, сурьма, селен и теллур не включены в перечень примесей, предельное содержание которых отдельно ограничено в требованиях к химическому составу сплава [1–3].

Таблица 2

Свойства примесей сплава НММЦ 38-2В при глубине вакуума $6,5 \cdot 10^{-5}$ Па

Химический элемент	Температура плавления, °С	Температура кипения, °С	Температура насыщения пара, К
Сера	119,3	444,6	271,4
Свинец	327,4	1749,0	655,6
Олово	231,0	2630,0	1015,0
Кадмий	321,0	666,5	365,5
Сурьма	630,5	1634,0	572,3
Висмут	327,5	1564,0	543,4
Селен	221,0	685,0	371,8
Теллур	722,0	990,0	466,3

Располагаясь по границам и у тройных стыков зерен, висмут, теллур и селен образуют с основным материалом твердого раствора и с другими примесями еще более низкоплавкие эвтектики. Так, температура плавления соединения BiPb составляет 124°C [12], а эвтектика SeTe плавится при температуре 220°C [13]. Летучесть примесей селена тем больше, чем меньше в материале содержание связывающего их сульфида меди [14], оказывающего крайне негативное влияние на работу ЭВП вещества. Это значит, что чем чище материал деталей и узлов по примесям серы, тем агрессивнее становятся легкоплавкие малорастворимые примеси.

Это противоречие затрудняет получение необходимого качества материала деталей рабочей зоны ЭВП, так как испарение и сублимация серы и легкоплавких металлических фаз могут привести к отравлению их катодов [6]. Находясь в металлическом материале даже в количестве $0,002\dots 0,003\%$ масс., при среднем балле зерна 5 по принятой классификации [15], т. е. при среднем диаметре зерна $60\dots 80\text{ мкм}$, малорастворимые примесные фазы способны образовывать до десяти атомных слоев по границам зерен [7], что сильно ослабляет их металлические связи. Так, содержащие до $0,002\dots 0,005\%$ масс. висмута никелевые сплавы легко разрушаются при горячей обработке давлением [7].

Находящиеся в материале слитка легкоплавкие примеси селена и теллура, вытесняемые на границы и к тройным стыкам зерен, закипают при его горячей обработке. Образующиеся при этом газовые поры выявляются в процессе входного контроля. Такая пористость не является наследием перешедшей из исходного слитка газовой или усадочной пористости, и по природе возникновения ее правомерно назвать пористостью горячей обработки. Качественные и пораженные порами и расслоениями (газового происхождения) структуры прутка в продольном и поперечном направлениях приведены на рис. 2.

Возникая при горячей обработке заготовок, поры и расслоения не исчезают бесследно при дальнейших технологических переходах, а остаются в материале холоднокатаных полос и лент, что показано на примерах продольных шлифов холоднокатаной ленты толщиной $0,8\text{ мм}$ на рис. 3 а и б. С учетом протяженности, достигающей сотен микрометров, такие расслоения могут вызвать прямое нарушение вакуумной плотности ЭВП. Вскрывающиеся при механической обработке и термических воздействиях поры и расслоения также могут привести к остаточному газовыделению и сублимации вещества примесей в рабочую зону приборов. Последнее особенно опасно, так как эти явления могут быть не выявлены при изготовлении и

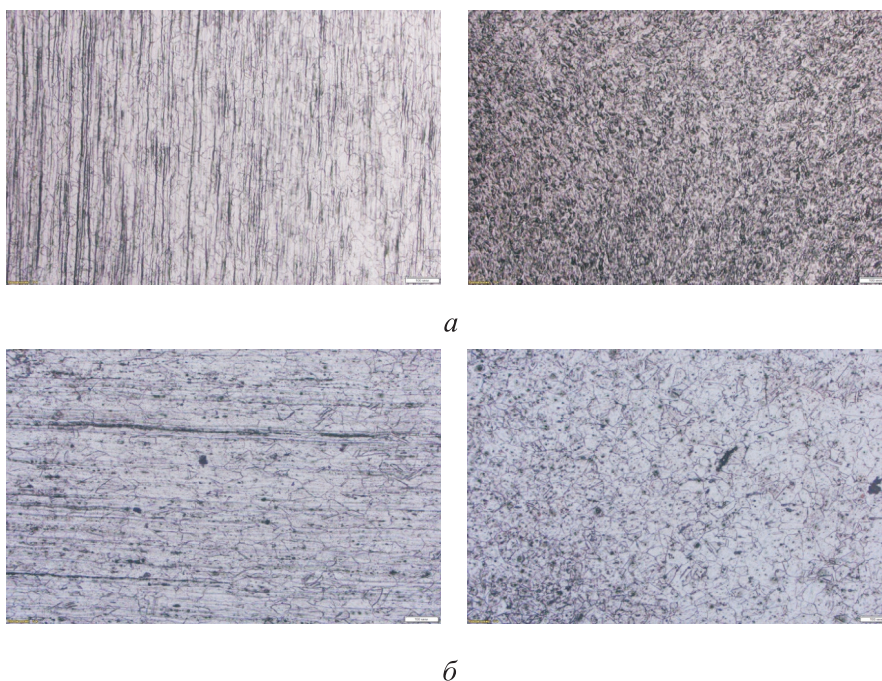


Рис. 2. Качественные (а) и пораженные порами и расслоениями (б) структуры прутка в продольном (слева) и поперечном (справа) направлениях при увеличении $\times 100$

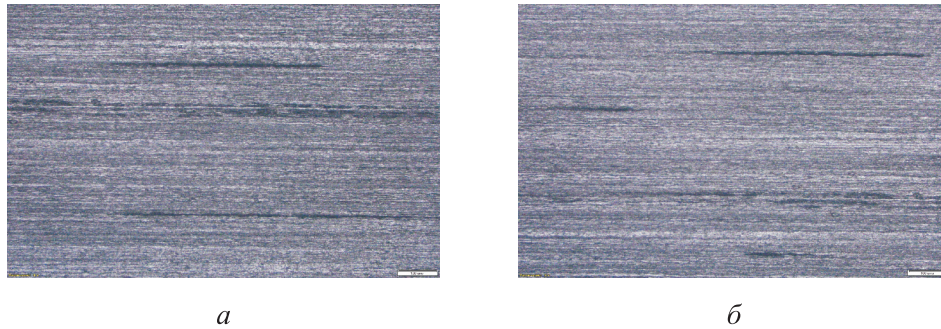


Рис. 3. Структуры перешедшей в материал холоднокатаной ленты, вызванной легкоплавкими примесями пористости горячей обработки после травления при увеличении $\times 100$

испытаниях ЭВП и привести к его выходу из строя при хранении и эксплуатации в составе более сложных изделий.

Для предотвращения образования легкоплавких эвтектик составляющие их элементы надо связать в соединения, которые обладали бы более высокой температурой плавления, чемготавливаемый расплав, и хорошо растворялись бы в металлическом материале. Эту задачу решают введением в расплав смеси модификаторов, известной как мишметалл или ферроцерий и содержащей в направлении уменьшения количества лантан, неодим и железо [8].

В результате химического взаимодействия компонентов мишметалла, например с висмутом и сурьмой, образуются соединения Ce_4Bi и La_3Sb с температурами плавления 1630 и

1690 °С соответственно [7], которые превышают температуру плавления никеля (основы сплава), равную 1452 °С [10]. Вступая в реакцию с остаточным кислородом, сохранившимся в расплаве после его раскисления углеродом, мишметалл связывает его в шлак и выводит на поверхность зеркала расплава [16], отделяя от металлического материала. Модифицировать и частично раскислить расплав также можно подачей в него добавок циркония, скандия, титана и других химических элементов.

Вследствие различной диффузионной способности составляющих мишметалла наиболее равномерное распределение по высоте слитка наблюдается у гафния и церия, в то время как лантан и иттрий по большей мере оседают в его донной части [9]. Скорость перемещения в рас-

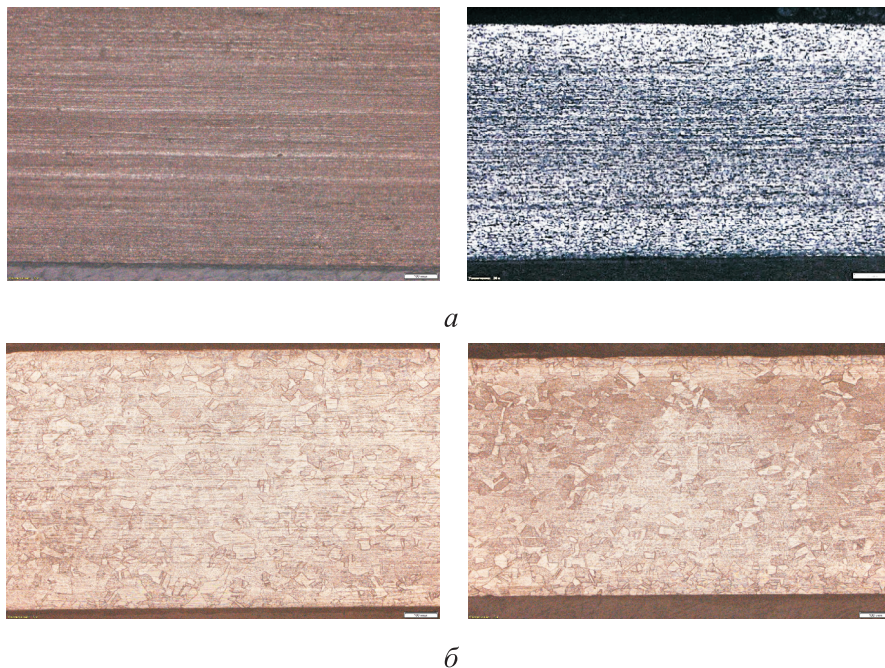


Рис. 4. Структуры холодно- (а) и горячекатаных (б) качественных лент в продольном (слева) и поперечном (справа) направлениях проката с увеличением $\times 100$

плаве связанных примесей без учета его конвекции описывается формулой Стокса, и для включений радиусом около 1 мкм скорость их всплывания в стали составит около $(2...5) \cdot 10^{-7}$ м/с [17]. Тогда, принимая вязкость расплава равной таковой для стали, необходимое время для его очищения в тигле для рассчитанной на плавку 200 кг шихты печи, составит около 8 мин. На практике с учетом тепловой конвекции расплава время, необходимое для выхода в шлак связанных примесей для такой садки, обычно составляет около 6 мин.

Образовавшиеся поры и расслоения нельзя удалить полностью из металлического материала, так как, несмотря на возможность лечения отдельных дефектов методом высокотемпературного газостатирования [18], цепочки остатков их хрупких оболочек способны нарушить его вакуумную плотность. Чтобы исключить образование растянутых пор, необходимо правильно выполнить раскисление, дегазацию и модифицирование расплава перед его сливом в изложницу. Только при последовательном решении этой задачи можно получить качественные заготовки для изготовления листов и лент. Примеры структур холодно- и горячекатаных качественных лент в продольном и поперечном направлениях проката приведены на рис. 4.

В части минимального остаточного газовыделения и сублимации [11] вредных примесей следует еще раз отметить важность рафинирования расплава входящими в состав мишметалла [8] элементами. Имея высокие температуры плавления и электроотрицательность [10], они образуют множественные центры кристаллизации и рекристаллизации, способствуя измельчению зерна в процессе гомогенизирующего отжига и последующейковки слитка. Тогда

многократное повышение общей площади границ уменьшает концентрацию на них примесей и их подвижность [11].

Выводы

1. Технические условия на прутки и ленты никелемедного сплава вакуумной выплавки НММц 38-2В в части требований к химическому составу не предусматривают отдельное содержание таких примесей, как сера, свинец, олово, кадмий, сурьма, висмут, селен и теллур, ограничивая лишь их общее содержание. Ввиду повышенной летучести эти химические элементы и их соединения могут представлять угрозу для чистоты рабочей зоны, а значит, и работоспособности ЭВП.

2. Эффективно связать и вывести в шлак из состава приготавливаемого расплава указанные и не указанные в ТУ на прутки и ленты примеси можно путем добавки в него присадок мишметалла. Однако качественно провести очистку расплава можно лишь при условии необходимой продолжительности этих операций, достаточной для естественного выхода связанных примесей в шлак. Для типовой индукционной вакуумной печи, рассчитанной на 200 кг загружаемой шихты, время этих операций обычно составляет около 6 мин.

3. Неправильно проведенные дегазация и модифицирование расплава могут привести к возникновению пористости горячей обработки при обособлении и закипании малорастворимых легкоплавких примесей в процессековки слитка и последующего его передела в готовые прутки и ленты, сделав их непригодными для изготовления деталей рабочей зоны ЭВП.

Литература

- [1] Яе0.021.076ТУ (ТУ 11-83). *Прутки из немагнитного сплава марки НММц 38-2В вакуумной плавки*. Москва, ОЗТМиТС, 1983. 6 с.
- [2] СИ0.021.039ТУ (ТУ 11-82). *Прутки и полосы из немагнитной монели вакуумной плавки марки НММц 38-2В*. Ред. 2-69 с 01.01.1983. Москва, Завод Плутон, 1983. 12 с.
- [3] Яе0.021.070ТУ. *Лента из сплава марки НММц 38-2В вакуумной плавки*. Технические условия. Москва, ОЗТМиТС, 1986. 10 с.
- [4] Герцрикен С.Д., Дехтяр И.Я. *Диффузия в металлах и сплавах в твердой фазе*. Москва, Физматгиз, 1960. 564 с.
- [5] ГОСТ 492–2006. *Никель, сплавы никелевые и медно-никелевые, обрабатываемые давлением. Марки*. Москва, Стандартинформ, 2011. 14 с.
- [6] Ли И.П., Панфилов Ю.В. *Технология производства электровакуумных приборов: термовакуумная обработка*. Москва, Изд-во МГТУ им. М.Э. Баумана, 2022. 119 с.

- [7] Филиппов К.С. Исследование объемных и поверхностных свойств расплавов никеля, содержащих вредные примеси висмут и сурьму по параметрам плотности и поверхностного натяжения. В: *Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН. 80 лет*. Москва, ИМЕТ РАН, 2018, с. 476–489.
- [8] ТУ 48-4-280–91. *Мишметалл МЦ50ЖЗ и МЦ50ЖБ*. Технические условия. Первомайский, ИХМЗ, 1991. 56 с.
- [9] Каблов Д.Е., Сидоров В.В., Пучков Ю.А. Особенности диффузионного поведения примесей и рафинирующих добавок в никеле и монокристаллических жаропрочных сплавах. *Авиационные материалы и технологии*, 2016, № 1, с. 24–31.
- [10] Григорьева И.С., Мейлихова Е.З., ред. *Физические величины*. Москва, Энергоатомиздат, 1991. 1231 с.
- [11] Бокштейн С.З., Бронфин М.Б. *Процесс сублимации и влияние вакуума на механические свойства металлов*. Москва, Машиностроение, 1973. 34 с.
- [12] Ватрушин Л.С., Осинцев В.Г., Козырев А.С. *Бескислородная медь*. Москва, Металлургия, 1982. 192 с.
- [13] Лебедь А.Б., Набойченко С.С., Шунин В.А. *Производство селена и теллура на ОАО «Уралэлектромедь»*. Екатеринбург. Изд-во Уральского ун-та, 2015. 112 с.
- [14] Чижиков Д.М., Счастливый В.П. *Селен и селениды*. Москва, Наука, 1964. 320 с.
- [15] ГОСТ 21073.1–75. *Металлы цветные. Определение величины зерна методом сравнения со шкалой микроструктур*. Москва, Изд-во стандартов, 2002. 6 с.
- [16] Головкин П.А. Повышение качества лент из немагнитного сплава типа монель вакуумной выплавки НММц 38-2В. *Металлообработка*, 2021, № 4, с. 34–46, doi: <https://doi.org/10.25960/mo.2021.4.34>
- [17] Павлов В.А., Лозовая Е.Ю., Бабенко А.А. *Спецэлектрометаллургия сталей и сплавов*. Екатеринбург, Изд-во Уральского университета, 2018. 168 с.
- [18] Головкин П.А., Логачев А.В. Повышение качества прутков из сплава вакуумной плавки НММц 38-2В методом горячего изостатического прессования. *Заготовительные производства в машиностроении*, 2022, т. 20, № 7, с. 328–332, <https://doi.org/10.36652/1684-1107-2022-20-7-328-332>

References

- [1] Yae0.021.076TU (TU 11-83). *Prutki iz nemagnitnogo splava marki NMMts 38-2V vakuumnoy plavki* [Bars from non-magnetic alloy of NMMz 38-2V grade of vacuum melting]. Moscow, OZTMiTS Publ., 1983. 6 p. (In Russ.).
- [2] SI0.021.039TU (TU 11-82). *Prutki i polosy iz nemagnitnoy moneli vakuumnoy plavki marki NMMts 38-2V* [Bars and strips from non-magnetic vacuum melting monel of NMMts 38-2V grade. In replacement of SI0.021.039TU, ed. 2-69 from 01.01.1983.]. Ed. 2-69 of 01.01.1983. Moscow, Zavod Pluton Publ., 1983. 12 p. (In Russ.).
- [3] Yae0.021.070TU. *Lenta iz splava marki NMMts 38-2V vakuumnoy plavki. Tekhnicheskie usloviya* [Tape from NMMts 38-2V alloy of vacuum melting. Technical conditions.]. Moscow, OZTMiTS Publ., 1986. 10 p. (In Russ.).
- [4] Gertsriken S.D., Dekhtyar I.Ya. *Diffuziya v metallakh i splavakh v tverdoy faze* [Diffusion in metals and alloys in solid phase]. Moscow, Fizmatgiz Publ., 1960. 564 p. (In Russ.).
- [5] GOST 492–2006. *Nikel, splavy nikelevye i medno-nikelevye, obrabatyvaemye davleniem. Marki* [State standard 492-2006. Nickel, nickel and copper-nickel alloys treated by pressure. Grades]. Moscow, Standartinform Publ., 2011. 14 p. (In Russ.).
- [6] Li I.P., Panfilov Yu.V. *Tekhnologiya proizvodstva elektrovakuumnykh priborov: termovakuumnaya obrabotka* [Technologiya proizvodstva elektrovakuumnykh instrumentov: termovacuuum processing]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2022. 119 p. (In Russ.).
- [7] Filippov K.S. *Issledovanie obemnykh i poverkhnostnykh svoystv rasplavov nikelya, soderzhashchikh vrednye primesi vismut i surmu po parametram plotnosti i poverkhnostnogo natyazheniya* [Investigation of volumetric and surface properties of nickel melts containing harmful impurities bismuth and antimony by density and surface tension parameters.]. V: *Institut metallurgii i materialovedeniya im. A.A. Baykova RAN. 80 let* [In: Institute of

- Metallurgy and Materials Science named after A.A. Baikov RAS. 80 years.]. Moscow, IMET RAN Publ., 2018, pp. 476–489. (In Russ.).
- [8] TU 48-4-280–91. *Mishmetall MTs50Zh3 i MTs50Zh6. Tekhnicheskie usloviya* [Mischmetal MC50Zh3 and MC50Zh6. Technical conditions]. Pervomayskiy, IKhMZ Publ., 1991. 56 p. (In Russ.).
- [9] Kablov D.E., Sidorov V.V., Puchkov Yu.A. Diffusion behavior features of impurities and microalloying additives in nickel and single crystal superalloys. *Aviatsionnye materialy i tekhnologii* [Aviation Materials and Technologies], 2016, no. 1, pp. 24–31. (In Russ.).
- [10] Grigoryeva I.S., Meylikhova E.Z., ed. *Fizicheskie velichiny* [Physical quantities]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1991. 1231 p. (In Russ.).
- [11] Bokshsteyn S.Z., Bronfin M.B. *Protsess sublimatsii i vliyanie vakuuma na mekhanicheskie svoystva metallov* [Process of sublimation and influence of vacuum on mechanical properties of metals]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1973. 34 p. (In Russ.).
- [12] Vatrushin L.S., Osintsev V.G., Kozyrev A.S. *Beskislородnaya мед* [Oxygen-free copper.]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1982. 192 p. (In Russ.).
- [13] Lebed A.B., Naboychenko S.S., Shunin V.A. *Proizvodstvo seleni i tellura na OAO «Uralektromed»* [Production of selenium and tellurium at JSC "Uralelectromed"]. Ekaterinburg, Izd-vo Uralskogo un-ta Publ., 2015. 112 p. (In Russ.).
- [14] Chizhikov D.M., Schastlivyy V.P. *Selen i selenidy* [Selenium and selenides]. Moscow, Nauka Publ., 1964. 320 p. (In Russ.).
- [15] GOST 21073.1–75. *Metally tsvetnye. Opredelenie velichiny zerna metodom sravneniya so shkaloy mikrostruktur* [State standard 21073.1-75 Non-ferrous metals. Determination of grain size by comparison with microstructure scale]. Moscow, Izd-vo standartov Publ., 2002. 6 p. (In Russ.).
- [16] Golovkin P.A. Improving the quality of non-magnetic alloy tapes monel type of vacuum melting NMMts 38-2V. *Metalloobrabotka* [Metalworking], 2021, no. 4, pp. 34–46, doi: <https://doi.org/10.25960/mo.2021.4.34> (In Russ.).
- [17] Pavlov V.A., Lozovaya E.Yu., Babenko A.A. *Spetsiektrometallurgiya staley i splavov* [Special electrometallurgy of steels and alloys]. Ekaterinburg, Izd-vo Uralskogo un-ta Publ., 2018. 168 p. (In Russ.).
- [18] Golovkin P.A., Logachev A.V. Improving in quality of vacuum melted NMMTs38-2V alloy bars by hot gasostatic pressing. *Zagotovitelnye proizvodstva v mashinostroenii* [Blanking Productions in Mechanical Engineering], 2022, vol. 20, no. 7, pp. 328–332. <https://doi.org/10.36652/1684-1107-2022-20-7-328-332> (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 23.10.2023

Информация об авторе

ГОЛОВКИН Павел Александрович — кандидат технических наук, начальник лаборатории входного контроля материалов. АО «Плутон» (105120, Москва, Российская Федерация, ул. Нижняя Сыромятническая, д. 11, e-mail: p.golovkin@pluton.msk.ru).

Information about the author

GOLOVKIN Pavel Aleksandrovich — Candidate of Science (Eng.), Head of Materials Input Control Laboratory. JSC "Pluton" (105120, Moscow, Russian Federation, Nizhnaya Syromyatnicheskaya St. Bldg. 11, e-mail: p.golovkin@pluton.msk.ru).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Головкин П.А. О причинах некоторых дефектов материала прутков и лент из сплава НММц 38-2В для деталей электровакуумных приборов. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2024, № 5, с. 30–37.

Please cite this article in English as:

Golovkin P.A. On the causes of certain defects in the rod and belt materials of the Ni-38%Cu-2%Mn alloy with components of the electrovacuum devices. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2024, no. 5, pp. 30–37.