

УДК 669.35; 669.045.5; 669-1; 621.73

doi: 10.18698/0536-1044-2023-3-25-33

# Обоснование способа производства прутков из сплава НММц 38-2В для изготовления деталей рабочей зоны электровакуумных приборов

П.А. Головкин

АО «Плутон»

## Justification of the Method for Production of the 2NiCuMn 38-2V Alloy Bars to Manufacture Parts for the Electrovacuum Devices Working Area

P.A. Golovkin

Pluton JSC

Рассмотрены критические особенности химического состава материала прутков из сплава НММц 38-2В, которые могут повлиять на чистоту вакуума рабочей зоны электровакуумных приборов. С учетом особенностей технологии изготовления электровакуумных приборов, показано, что использование только холоднотянутых прутков для изготовления деталей их рабочей зоны является технически необоснованным. Отмечено, что вместо холоднотянутых прутков можно применять прутки, полученные методом горячей ротационнойковки.

**Ключевые слова:** электровакуумные приборы, вакуумная плавка, легкоплавкие примеси, холодное волочение, ротационная ковка прутков, границы зерен

The paper considers critical features of the chemical composition of the 2NiCuMn 38-2V alloy bars material, which could affect vacuum purity of the electrovacuum devices working area. Taking into consideration peculiarities of the electrovacuum devices manufacture technology, it is shown that the use of cold-drawn bars in manufacturing parts of their working area is technically unreasonable. It is noted that instead of the cold-drawn bars, bars obtained by hot rotational forging could be used.

**Keywords:** electrovacuum devices, vacuum melting, fusible impurities, cold drawing, rotary forging of bars, grain boundaries

**Общие положения и особенности сплава НММц 38-2В.** Производство электровакуумных приборов (ЭВП) различного назначения представляет собой специализированную подотрасль со многими отличительными особенностями. В части требований к конструкции ЭВП следует отметить, что для их надежной эксплуатации необходимо сохранять в рабочей зоне глубину вакуума не более  $6,5 \cdot 10^{-5}$  Па, причем этот показатель должен оставаться неизменным не менее 15 лет [1]. Поэтому в производстве ЭВП находят применение материалы, редко

используемые для изготовления других изделий.

Среди них можно выделить прутки из немагнитного сплава вакуумной плавки типа монель НММц 38-2В, химический состав материала и требования к которым определены техническими условиями [2, 3]. Сплав НММц 38-2В не входит в определяющий состав серийных никелевых и медно-никелевых сплавов [4], поэтому для него не прописаны многие обычные требования. В частности, не указаны значения предельно допустимого содержания некоторых

Таблица 1

Химический состав 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

примесей, хотя задано их предельное суммарное содержание (табл. 1) [2, 3]. С учетом условий применения получаемых деталей эта особенность технических условий может быть критичной.

Цель работы — обоснование технически оправданного способа изготовления прутков из сплава НММц 38-2В.

Так как сплав термически не упрочнен, прутки диаметром до 40 мм поступают к потребителю в холоднотянутом состоянии без отжига [2, 3], сохраняя ориентированную в направлении протяжки структуру и соответствующее полученному наклепу упрочнение.

В нагартованном при холодном волочении состоянии материал прутка имеет твердость 180...200 НВ, которая после отжига снижается до 120...125 НВ [5], затрудняя изготовление точных деталей при механической обработке. Примеры качественной структуры материала холоднотянутого прутка приведены на рис. 1.

Так как температура материала на поверхности деталей рабочей зоны ЭВП может превышать 250 °С [1], примеси с малой температурой насыщения пара представляют опасность для их работы. Температуры плавления и кипения, присущие никелемедной основе сплава примесей, приведены в табл. 2.

Там же указаны значения равновесного давления паров веществ исходя из рабочей глубины вакуума в ЭВП  $6,5 \cdot 10^{-5}$  Па, и температуры насыщения пара при давлении 1 кПа [6].

Эти показатели позволяют оценить степень летучести примесей в сплаве и их склонность к испарению или сублимации при глубине вакуума готового ЭВП. Из табл. 2 следует, что такие примеси, как олово, селен, висмут и кадмий, имеют температуры плавления, близкие к температуре разогрева материала поверхностного слоя деталей вакуумной зоны ЭВП.

Важно, что эта температура тем выше, чем ближе к катодной части ЭВП расположены де-



а



б

Рис. 1. Микроструктуры продольного (а) и поперечного (б) шлифов из холоднотянутого прутка после травления при увеличении  $\times 100$

Таблица 2

## Значения основных температур вредных примесей сплава НММц 38-2В

Элемент	Температура, °С		Температура насыщения пара, К	
	плавления	кипения	при глубине вакуума $10^{-5}$ Па	при давлении 1 кПа
Сера	119,3	444,6	271,4	508,3
Свинец	327,4	1749,0	655,6	1418,0
Олово	231,0	2630,0	1015,0	2119,0
Кадмий	321,0	666,5	365,6	747,4
Сурьма	630,5	1634,0	572,3	1195,0
Висмут	327,5	1564,0	543,4	1185,0
Селен	221,0	685,0	371,8	691,1
Теллур	722,0	990,0	466,3	889,1

тали, а значит, испарение или сублимация [7] из металлического материала вредных примесей, для работы ЭВП опаснее. Поэтому целесообразно рассмотреть возможность ограничения остаточного газовыделения и сублимации летучих компонентов в их рабочую зону.

Располагаясь преимущественно по границам зерен, эти примеси образуют между собой еще более низкоплавкие эвтектики, испарение и сублимация которых также могут способствовать ускоренному выходу ЭВП из строя. Так, температура плавления соединения  $\text{BiPb}$  составляет  $124^\circ\text{C}$  [8], а соединение  $\text{SeTe}$  плавится при  $220^\circ\text{C}$  [9].

Важно, что активность диффузии и сублимации этих веществ тем выше, чем ниже в материале содержание связывающего их сульфида меди [10] — крайне вредного для качества работы ЭВП. Чем чище материал деталей по примесям серы, тем сильнее вредное влияние легкоплавких примесей малорастворимых в никеле и меди металлов.

Что касается серы — одной из самых опасных неметаллических примесей в сплаве, то ее коэффициент диффузии в никеле примерно в 10 раз больше такового показателя, применяемого для рафинирования исходного расплава церия [11], что сильно затрудняет химическое связывание серы и ее выведение в шлак.

Кроме того, имеется сложность выведения из расплава сурьмы [12], также склонного к испарению и сублимации вещества. Изложенное в полной мере относится и к меди — главному легирующему компоненту сплава, для которой характерны те же примеси, что и для никеля [13].

Для близкого по назначению сплава НМЖМц 28-2,5-1,5 типа железистый монель государственный стандарт [4] отдельно указывает допустимое содержание примесей мышьяка, висмута, фосфора, свинца, серы и сурьмы, но не предусматривает обязательного проведения вакуумной плавки.

Чтобы повысить чистоту вакуума готовых ЭВП, следует не только обеспечивать вакуумную плотность материала деталей их рабочей зоны, но и принимать специальные технологические меры для ограничения возможного остаточного газовыделения, испарения и сублимации примесей из материала этих деталей. Это означает, что особое внимание должно быть уделено процессу получения исходных прутков для изготовления деталей рабочей зоны ЭВП.

**Учет особенностей применения деталей из сплава НММц 38-2В при изготовлении исходных прутков.** С точки зрения обеспечения вакуумной плотности материала прутков и получаемых из них деталей следует отметить, что содержание в никеле  $0,002...0,003\%$  масс висмута при среднем балле зерна 5 по принятой классификации [14], т. е. при среднем поперечнике зерна  $60...80\ \mu\text{м}$ , приводит к образованию по границам зерен около десяти атомных слоев, отчего ослабление межзеренных связей провоцирует разрушение никелевых сплавов при горячей обработке давлением [12].

Чтобы предупредить возникновение легкоплавких прослоек, необходимо связать составляющие их элементы в более тугоплавкие соединения, либо вывести в шлак. Эту задачу решают введением в расплав смеси редкозе-

мельных и щелочно-земельных металлов на основе церия и лантана, известной как мишметалл [15]. В результате их химического взаимодействия, например, с висмутом и сурьмой, появляются соединения  $Ce_4Bi$  и  $La_3Sb$  с более высокими температурами плавления (1630 и 1690 °С соответственно) [12], чем у сплава. Вступая в реакцию с остаточным кислородом, элементы мишметалла связывают его в шлак и выводят на поверхность зеркала расплава, выступая в роли дополнительных раскислителей [16].

Отожженные при температуре 900 °С в течение 12 ч и очищенные от поверхностных дефектов слитки разрезают на пригодные дляковки заготовки с отношением сторон около 2/1. Схемаковки должна обеспечивать качественную проработку материала путем многократного перемещения в заготовке очага деформации. Ковку следует начинать с нагрева до температуры 1050...1000 °С и по мере разбиения исходной литой структуры понижать ее на 30...40 °С на переход, завершив проходом с нагрева до температуры не более 950...900 °С [17]. Полученные поковки станут заготовками для выполнения холоднотянутых прутков.

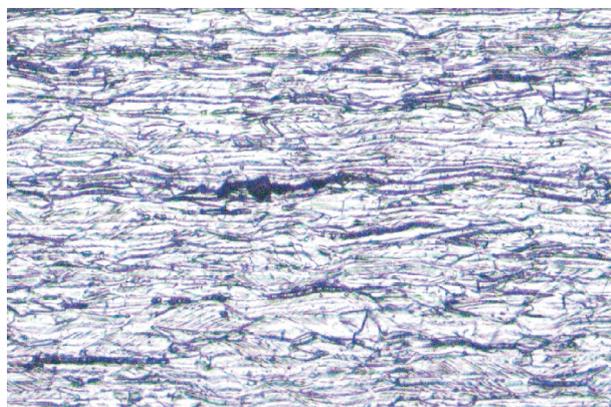
Перегрев материала при горячей пластической деформации может привести к закипанию в нем легкоплавких примесей, основная часть которых приведена в табл. 1 и 2, активно выделяемых на границах и к тройным стыкам зерен. Образовавшиеся при этом газовые поры выявляются в процессе входного контроля. Они имеют характерную твердую корочку и не могут быть залечены в процессе последующей деформации при холодной протяжке прутка, пе-

реходя в материал готовых деталей, поэтому такой материал бракуют.

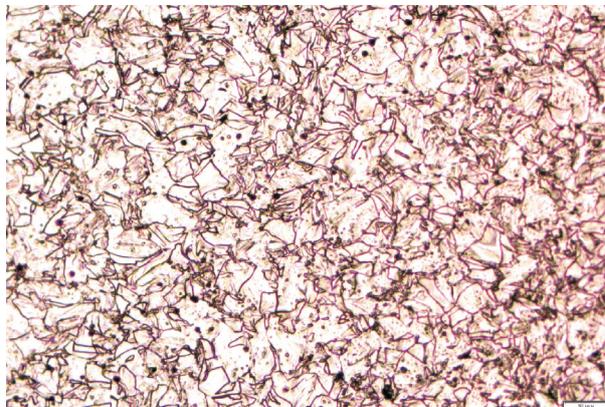
Следует отметить, что в государственном стандарте [18], описывающем виды дефектов заготовок из меди и их сплавов, отсутствует определение дефекта типа пор. В то время как в распространяющемся на сварку плавлением стандарте [19] этот дефект описан. Микроструктуры материала холоднотянутого прутка в продольном и поперечном направлениях с дефектами в виде газовых пор после металлографического травления показаны на рис. 2.

В части достижения минимального остаточного газовыделения и сублимации [7] примесей следует отметить важность рафинирования исходного расплава входящими в состав мишметалла [15] редкоземельными элементами. Имея высокие температуры плавления и электроотрицательность [6], они образуют в материале множественные центры рекристаллизации, способствуя измельчению его зерна. Как результат, многократный рост площади границ уменьшает концентрацию зернограницных примесей и их подвижность, поскольку скорость зернограницной диффузии примерно в 1000 раз выше, чем в материале зерна [20].

Пайка-сборка как типовой способ соединения между собой деталей ЭВП вызывает в их материале рост зерна и связанные с ним перемещения примесных фаз. Так, температуры плавления припоев на основе золота и меди достигают 1000 °С и более [6], что существенно превышает рекомендованный интервал концаковки заготовок для получения исходного холоднотянутого прутка [16, 17].



а



б

Рис. 2. Микроструктуры продольного (а) и поперечного (б) шлифов из холоднотянутого прутка с газовыми порами после металлографического травления при увеличении  $\times 100$

Следовательно, при использовании пайки для сборки корпусных деталей вакуумной зоны ЭВП с точки зрения обеспечения минимальной сублимации и остаточного газовыделения в рабочую зону ЭВП применение только холодно-тянутых прутков для изготовления этих деталей является необоснованной догмой.

В то же время способ изготовления прутков путем холодного волочения отличается высокой трудоемкостью. Кроме того, что он требует применения промежуточных отжигов и соответствующего термического оборудования, необходимо использовать специальную дорогостоящую оснастку для холодной протяжки заготовок по схеме круг — овал — круг.

Так как волочение по схеме круг — круг не обеспечивает необходимой равномерности деформационной проработки материала прутка, применение такой оснастки может привести к формированию в центральной части готовых прутков, трещин и рыхлот. Кроме того, необходимость выполнения специальных технологических припусков на конце заготовки, с помощью которых ее закрепляют в механизме подачи, предназначенном для протяжки цепного стана, дополнительно увеличивает часть уходящего в отходы металлического материала.

Так как диффузия в металлическом материале удваивается с ростом температуры на каждые  $10...15\text{ }^{\circ}\text{C}$  [20], даже разница  $100...150\text{ }^{\circ}\text{C}$  между рекомендованными температурами горячей деформации заготовки из сплава НММц 38-2В и температурой пайки, позволит сократить ее активность в  $2^6...2^{10}$  раз, снизив зернограничное выделение примесей. Поэтому для сохранения положительных свойств нагартованного материала целесообразно использовать

припой, температура плавления которых меньше, чем температура его исходной горячей обработки.

Тогда ограничение рекристаллизационных процессов в материале деталей, полученных из прутков, может сыграть важную роль в снижении остаточного газовыделения и сублимации вредных примесей в рабочей зоне ЭВП. Однако с учетом многолетнего положительного опыта применения при производстве ЭВП отработанных конструктивных и технологических решений их пересмотр не представляется обоснованным.

На основании изложенного можно заключить, что единственным преимуществом холодно-тянутых прутков перед получаемыми другими способами является большая твердость материала. Однако приемлемого уровня твердости материала прутков можно достигнуть и другими способами изготовления, а значит, фактор твердости не может быть решающим при выборе способа получения прутков для изготовления деталей рабочей зоны ЭВП.

Технологичность и экономическая целесообразность также могут существенно влиять на выбор способа изготовления прутков. Тогда наиболее оправданным представляется использование прутков, полученных методом горячей ротационнойковки [5], либо поперечно-винтовой прокатки.

Хорошо отработанные процессы ротационнойковки прутков из сплава НММц 38-2В обеспечивают получение бездефектной вакуумно-плотной структуры с изначально мелким зерном, сравнимым с размером такового в материале прутков, изготовленных холодным

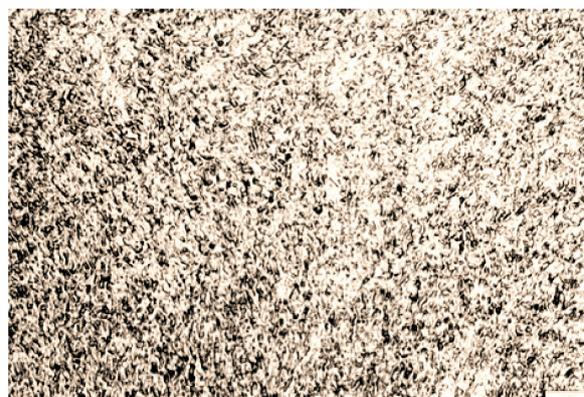
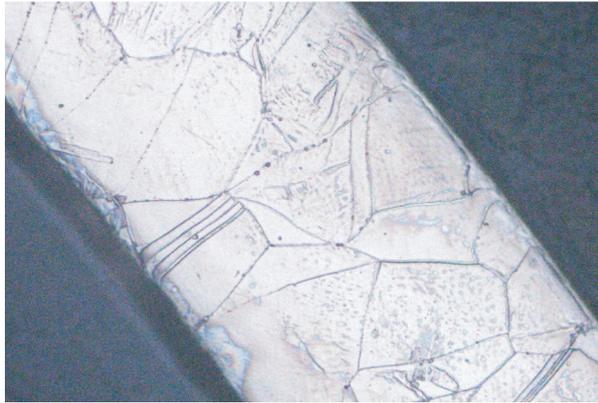
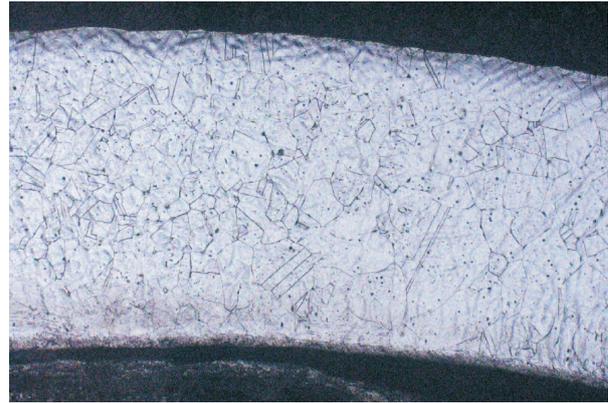
*a**б*

Рис. 3. Микроструктуры продольного (*a*) и поперечного (*б*) шлифов из полученных ротационнойковкой прутков после травления при увеличении  $\times 100$



а



б

Рис. 4. Примеры поперечных шлифов тонкостенных деталей, изготовленных из сплава НММц 38-2В, модифицированного марганцем и титаном (а) и ниобием и цирконием (б), после пайки-сборки при увеличении  $\times 100$

волочением [5]. При этом температура нагрева под ковку на заключительных технологических переходах не превышает  $820...830\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а твердость материала готовых прутков составляет  $170...175\text{ НВ}$  [5].

Таким образом, наибольшее влияние на структуру и твердость материала прутков оказывает не способ их непосредственного изготовления, а процесс получения и химический состав исходного расплава и слитка. В частности, модифицирование расплава ниобием делает материал готового прутка более твердым на  $15...20\text{ НВ}$ , чем модифицирование титаном и марганцем, а введение после ниобия циркония увеличивает эту разницу до  $25...35\text{ НВ}$  [17].

Пример качественной структуры полученного методом горячей ротационной ковки прутка показан на рис. 3. Видно, что в материале преобладает мелкое зерно, не превышающее в поперечнике  $30...50\text{ мкм}$ , а наличие в структуре признаков состояния самоотпуска двойников свидетельствует о минимальном уровне остаточных внутренних напряжений. Следовательно, баланс между достаточной твердостью и стабильностью материала прутков вполне достижим.

Добавление ниобия, особенно циркония, измельчает структуру материала получаемых прутков и готовых деталей, препятствуя росту их зерна при пайке-сборке. Примеры поперечных шлифов тонкостенных деталей, одна из которых изготовлена из материала, модифицированного марганцем и титаном, а другая — последовательно ниобием и цирконием, показаны на рис. 4.

В первом случае размер зерна достигает  $300...350\text{ мкм}$ , во втором — не превышает  $50\text{ мкм}$ . Это означает, что при прочих равных условиях могут быть обеспечены меньшие значения неизбежного остаточного газовыделения и сублимации примесей в рабочую зону ЭВП.

## Выводы

1. Применение для изготовления деталей из сплава НММц 38-2В холоднотянутых прутков, обеспечивающих направленную мелкозернистую структуру, позволяет уменьшить остаточное газовыделение и сублимацию вредных примесей в рабочую зону ЭВП.

2. Если для пайки-сборки использовать припои, температура плавления которых превышает температуру горячей деформации исходного слитка, то вследствие роста зерна и развития межзеренных прослоек в материале деталей теряются все преимущества применения не отожженных холоднотянутых прутков в части обеспечения вакуумной чистоты рабочей зоны готовых ЭВП. Как следствие, выполнение деталей только из холоднотянутых прутков, представляется технически необоснованным.

3. Для изготовления деталей рабочей зоны ЭВП целесообразно использовать прутки, полученные высокопроизводительной ротационной ковкой. Их твердость ( $170...175\text{ НВ}$ ) сравнима с таковой для холоднотянутых прутков и обеспечивает необходимый уровень технологичности при механической обработке точных деталей.

## Литература

- [1] Коваленко В.Ф. *Теплофизические процессы и электровакуумные приборы*. Москва, Советское радио, 1975. 216 с.
- [2] Яе0.021.076ТУ (ТУ 11-83). *Прутки из немагнитного сплава марки НММц38-2В вакуумной плавки*. Москва, п/я ОЗТМиТС, 1983. 6 с.
- [3] СИ0.021.039ТУ (ТУ 11-82). *Прутки и полосы из немагнитной монели вакуумной плавки марки НММц 38-2В*. Москва, п/я «Завод «Плутон», 1983. 12 с.
- [4] ГОСТ 492–2006. *Никель, сплавы никелевые и медно-никелевые, обрабатываемые давлением. Марки*. Москва, Стандартинформ, 2011. 14 с.
- [5] Головкин П.А. Получение прутков из сплава НММц 38-2В методом ротационнойковки. *Сборка в машиностроении, приборостроении*, 2021, № 5, с. 221–226.
- [6] Григорьев И.С., Мейлихова Е.З., ред. *Физические величины*. Москва, Энергоатомиздат, 1991. 1231 с.
- [7] Бокштейн С.З., Бронфин М.Б. *Процесс сублимации и влияние вакуума на механические свойства металлов*. Москва, Машиностроение, 1973. 34 с.
- [8] Ватрушин Л.С., Осинцев В.Г., Козырев А.С. *Бескислородная медь*. Москва, Металлургия, 1982. 192 с.
- [9] Лебедь А.Б., Набойченко С.С., Шунин В.А. *Производство селена и теллура на ОАО «Уралэлектромедь»*. Екатеринбург, Изд-во Уральского университета, 2015. 112 с.
- [10] Чижиков Д.М., Счастливый В.П. *Селен и селениды*. Москва, Наука, 1964. 320 с.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] Головкин П.А. *Повышение качества деталей из бескислородной меди для электровакуумных приборов СВЧ-диапазона. Технология машиностроения*, 2020, № 5, с. 34–41.
- [14] ГОСТ 21073.0–75. *Металлы цветные. Определение величины зерна. Общие требования*. Москва, Изд-во стандартов, 2002. 8 с.
- [15] ТУ 48-4-280-91. *Мишметалл МЦ50Ж3 и МЦ50Ж6*. Первомайский, ИХМЗ, 1991. 56 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] Головкин П.А. Повышение качества прутков из немагнитного сплава типа монель вакуумной выплавки НММц 38-2В. *Сборка в машиностроении, приборостроении*, 2021, № 4, с. 151–154.
- [18] ГОСТ 32597–2013. *Медь и медные сплавы. Виды дефектов заготовок и полуфабрикатов*. Москва, Стандартинформ, 2020. 32 с.
- [19] ГОСТ 30242–97. *Дефекты соединений при сварке металлов плавлением. Классификация, обозначение и определения*. Москва, Изд-во стандартов, 2001. 11 с.
- [20] Бокштейн Б.С., Капецкий Ч.В., Швиндлерман Л.С. *Термодинамика и кинетика границ зерен в металлах*. Москва, Металлургия, 1986. 224 с.

## References

- [1] Kovalenko V.F. *Thermophysical processes and electrovacuum devices*. Moscow, Sovetskoe radio Publ., 1975. 216 p. (In Russ.).
- [2] Yae0.021.076TU (TU 11-83). *Prutki iz nemagnitnogo splava marki NMMts38-2V vakuumnoy plavki* [Yae0.021.076TU (TU 11-83). Rods from NMMts38-2V non-magnetic vacuum-melted alloy]. Moscow, p/ya OZTMiTS Publ., 1983. 6 p. (In Russ.).
- [3] SI0.021.039TU (TU 11-82). *Prutki i polosy iz nemagnitnoy moneli vakuumnoy plavki marki NMMts 38-2V* [SI0.021.039TU (TU 11-82). Rods and stripes from NMMts 38-2V non-

- magnetic vacuum-melted alloy]. Moscow, p/ya «Zavod «Pluton» publ., 1983. 12 p. (In Russ.).
- [4] GOST 492–2006. *Nikel, splavy nikelevye i medno-nikelevye, obrabatyvaemye davleniem. Marki* [State standard GOST 492–2006. Nickel, nickel and copper-nickel alloys treated by pressure. Grades] Moscow, Standartinform Publ., 2011. 14 p. (In Russ.).
- [5] Golovkin P.A. Obtaining bars from NiCuMn 38-2W alloy by rotary forging. *Sbornik v mashinostroenii, priborostroenii*, 2021, no. 5, pp. 221–226. (In Russ.).
- [6] Grigoryev I.S., Meylikhova E.Z., eds. *Fizicheskie velichiny* [Physical quantities]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1991. 1231 p. (In Russ.).
- [7] Bokshcheyn S.Z., Bronfin M.B. *Protsess sublimatsii i vliyaniye vakuuma na mekhanicheskie svoystva metallov* [Sublimation process and effect of vacuum on mechanical properties of metals]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1973. 34 p. (In Russ.).
- [8] Vatrushin L.S., Osintsev V.G., Kozyrev A.S. *Beskislородnaya med* [Deoxidized copper]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1982. 192 p. (In Russ.).
- [9] Lebed A.B., Naboychenko S.S., Shunin V.A. *Proizvodstvo selena i tellura na OAO «Uralelektromed»* [Selenium and tellurium production at OAO «Uralelektromed»]. Ekaterinburg, Izd-vo Uralskogo universiteta Publ., 2015. 112 p. (In Russ.).
- [10] Chizhikov D.M., Schastlivyy V.P. *Selen i selenidy* [Selenium and selenides]. Moscow, Nauka Publ., 1964. 320 p. (In Russ.).
- [11] Kablov D.E., Sidorov V.V., Puchkov Yu.A. Diffusion behavior features of impurities and microalloying additives in nickel and single crystal superalloys. *Aviatsionnyye materialy i tekhnologii* [Aviation Materials and Technologies], 2016, no. 1, pp. 24–31. (In Russ.).
- [12] Filippov K.S. Issledovanie obemnykh i poverkhnostnykh svoystv rasplavov nikelya, sodержashchikh vrednyye primesi vismut i surmu po parametram plotnosti i poverkhnostnogo natyazheniya [Study on spatial and surface properties of nickel melts including bismuth and stibious contaminants on density and surface tension parameters]. V: *Institut metallurgii i materialovedeniya im. A.A. Baykova RAN. 80 let* [In: Metallurgy and Material Science Institute n.a. A.A. Baykov RAS. 80 years]. Moscow, IMET RAN Publ., 2018, pp. 476–489. (In Russ.).
- [13] Golovkin P.A. Improvement of quality of the parts of electronic-vacuum devices of microwave range made of oxygenfree copper. *Tekhnologiya mashinostroeniya*, 2020, no. 5, pp. 34–41. (In Russ.).
- [14] GOST 21073.0–75. *Metally tsvetnye. Opredeleniye velichiny zerna. Obshchie trebovaniya* [State standard GOST 21073.0–75. Non-ferrous metals. Determination of grain size. General requirements]. Moscow, Izd-vo standartov Publ., 2002. 8 p. (In Russ.).
- [15] TU 48-4-280-91. *Mishmetall MTs50Zh3 i MTs50Zh6* [Technical conditions TU 48-4-280-91. MTs50Zh3 and MTs50Zh6 misch metals]. Pervomayskiy, IKhMZ Publ., 1991. 56 p. (In Russ.).
- [16] Golovkin P.A. Improving the quality of non-magnetic alloy tapes monel type of vacuum melting NMMTS 38-2V. *Metalloobrabotka*, 2021, no. 4, pp. 34–46, doi: <https://doi.org/10.25960/mo.2021.4.34> (in Russ.).
- [17] Golovkin P.A. Improvement in quality of bars made from vacuum melted nonmagnetic NMMTS 38-2V alloy of monel type. *Sbornik v mashinostroenii, priborostroenii*, 2021, no. 4, pp. 151–154. (In Russ.).
- [18] GOST 32597–2013. *Med i mednye splavy. Vidy defektov zagotovok i polufabrikatov* [State standard GOST 32597–2013. Copper and copper alloys. Defects of stocks and semifinished products]. Moscow, Standartinform Publ., 2020. 32 p. (In Russ.).
- [19] GOST 30242–97. *Defekty soedineniy pri svarke metallov plavlениem. Klassifikatsiya, oboznachenie i opredeleniya* [State standard GOST 30242–97. Imperfections in metallic fusion welds. Classification, designation and definitions]. Moscow, Izd-vo standartov Publ., 2001. 11 p. (In Russ.).
- [20] Bokshcheyn B.S., Kapetskiy Ch.V., Shvindlerman L.S. *Termodinamika i kinetika granits zeren v metallakh* [Thermodynamics and kinetics of grain boundaries in metals]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1986. 224 p. (In Russ.).

## 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 incoming materials control laboratory. JSC Pluton (105120, Moscow, Russian Federation, Nizhnyaya Syromyatnicheskaya St., Bldg. 11, e-mail: p.golovkin@pluton.msk.ru).

### Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Головкин П.А. Обоснование способа производства прутков из сплава НММц 38-2В для изготовления деталей рабочей зоны электровакуумных приборов. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2023, № 3, с. 25–33, doi: 10.18698/0536-1044-2023-3-25-33

### Please cite this article in English as:

Golovkin P.A. Justification of the Method for Production of the 2NiCuMn 38-2V Alloy Bars to Manufacture Parts for the Electrovacuum Devices Working Area. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2023, no. 3, pp. 25–33, doi: 10.18698/0536-1044-2023-3-25-33



**Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана  
предлагает читателям учебное пособие В.Я. Хартова**

### **«Микроконтроллеры AVR в проектах и упражнениях»**

Содержит материалы для изучения микроконтроллеров на примере семейства AVR. Рассмотрены необходимые инструментальные средства проектирования и ряд учебных проектов для изучения функциональных возможностей микроконтроллеров. Тематика пособия охватывает практически все аспекты построения микроконтроллерных систем, поддержана многочисленными примерами, приведены контрольные вопросы и упражнения. Материалы пособия могут быть использованы в качестве основы для обучения, при проведении лабораторных занятий и семинаров в аудитории и дистанционно, при самостоятельной работе, выполнении курсовых и выпускных квалификационных работ.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки «Информатика и вычислительная техника», «Прикладная информатика».

### **По вопросам приобретения обращайтесь:**

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.  
Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;  
press@bmstu.ru; <https://bmstu.press>