

**О ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ТРЕБОВАНИЯХ К ПРУТКАМ ИЗ СПЛАВА МН45-ВП
ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫХ ПРИБОРОВ**

П.А. Головкин, к.т.н.

АО «Плутон», 105120, Россия, г. Москва, ул. Нижняя Сыромятническая, д.11.

p.golovkin@pluton.msk.ru; тел.: (495) 730-36-19

**ADDITIONAL REQUIREMENTS FOR Cu-45%Ni VACUUM MELTING ALLOY RODS
FOR THE MANUFACTURE OF VACUUM TUBE COMPONENTS**

P.A. Golovkin, Ph. D.

Pluton JSC, 11 Nizhnyaya Syromyatnicheskaya St., Moscow, 105120, Russia.

p.golovkin@pluton.msk.ru ; tel.: (495) 730-36-19

Аннотация

На основании анализа типичных дефектов, и с учётом применения для изготовления деталей рабочей зоны электровакуумных приборов, обосновываются требования к материалу прутков из медноникелевого сплава вакуумной плавки МН45-ВП типа константан, отсутствующие в действующих документах на их поставку.

Annotation

On the basis of the analysis of typical defects, and taking into account the application for the manufacture of parts of the working area of electric-vacuum devices, the requirements to the material of rods from copper-nickel vacuum-melting alloy of vacuum melting Cu-45%Ni such as “constantan” (Russian abbreviation “МН45-ВП”), which are absent in the current documents for their delivery, are substantiated.

Ключевые слова: электровакуумные приборы, сплав, прутки, дополнительные требования, дефекты, химический состав, структура, зерно, включения, флокены.

Key words: vacuum devices, alloy, rods, additional requirements, defects, chemical composition, structure, grain, inclusions, flocks.

Общие положения

Немагнитный медноникелевый сплав вакуумной плавки типа константан МН45-ВП, химический состав и требования к пруткам из которого определены ТУ Яе0.021.153 [1], используется, в частности, для изготовления деталей электровакуумных приборов, где востребованы такие его свойства, как вакуумная плотность и неизменность размеров точных деталей. Химический состав сплава приведён в таблице 1.

Таблица 1.

Химический состав сплава МН45-ВП, %_{масс.}

Медь	Никель	Марганец	Углерод	Кремний	Магний	Цинк	Свинец	Марганец
Основа	44...46	≤0,05	≤0,05	≤0,06	≤0,06	≤0,002	–	≤0,05
Висмут	Фосфор	Мышьяк	Кислород	Водород	Азот	Сера	Кадмий	Σ примесей
≤0,002	≤0,01	≤0,002	≤0,005	≤0,002	≤0,002	≤0,005	≤0,002	≤0,13

Следует отметить, что ТУ Яе0.021.153 [1] не предъявляют требований к структуре и свойствам материала прутков, и к допустимости в нём дефектов, которые могут представлять опасность для деталей рабочей зоны электровакуумных приборов [2]. Так, согласно ТУ [1], прутки должны быть макроплотными, то есть, не должны содержать видимых при 16 кратном увеличении после травления на выявление макроструктуры, на проточенных с шероховатостью поверхности поперечных шлифов не выше R_a 3,2 мкм по ГОСТ 2789 [3], расслоений, пор и раковин. И только.

Как показывает практика, такая проверка макроплотности совершенно не достаточна для материалов, служащих для изготовления деталей электровакуумных приборов, и даже в случае обнаружения какого-либо порока в материале, не позволяет однозначно их идентифицировать. Соответственно, оценка на уровне «вижу – не вижу», не позволяет обоснованно предъявлять претензии к поставщикам не качественного материала, и как следствие – принимать меры по недопущению имеющего место брака.

Такое положение делает необходимой разработку дополнительных требований к материалу прутков из сплава МН45-ВП, соответствие которым обеспечивало бы его необходимое для применения в составе электровакуумных приборов, качество. А для этого необходимо сначала описать основные пороки в материале прутков из сплава МН45-ВП и установить их природу.

Основные пороки в материале прутков из сплава МН45-ВП и их природа

Перед тем, как обратить внимание на всё многообразие возможных дефектов в материале прутков из сплава МН45-ВП, следует определиться с тем, какая его структура является качественной и удовлетворяет необходимым требованиям. В этой связи следует указать, что ТУ [1] предусматривают изготовление только лишь прессованных, либо холоднотянутых прутков, в то время, как с учётом небольших потребных количеств, прутки часто получают ковкой, обеспечивая необходимое для изготовления точных деталей электровакуумных приборов их качество и сумму свойств.

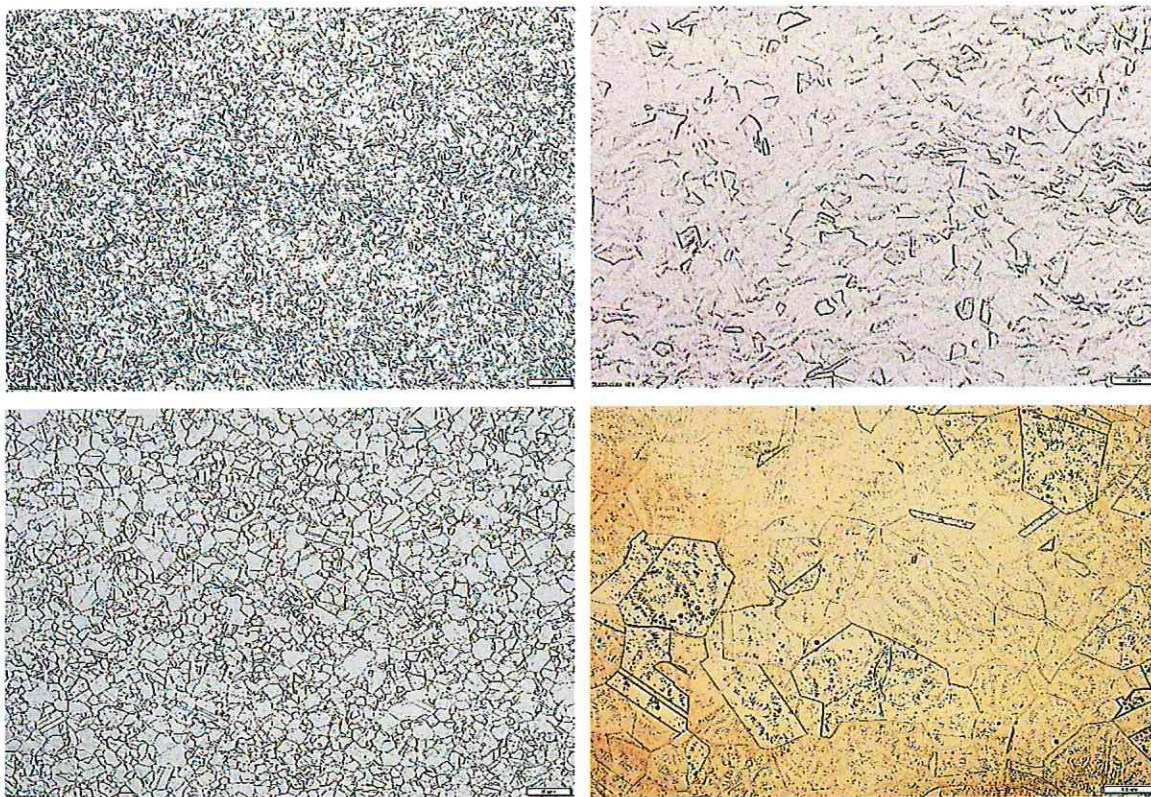


Рис. 1. Качественная структура поперечного шлифа кованого прутка в состоянии без термообработки (вверху) и в отожжённом состоянии, 50[×] (слева) и 100[×] (справа).

На рисунке 1 показаны типовые структуры кованых прутков в состоянии без термообработки, и в отожжённом состоянии. В первом случае структура материала представлена округлыми в поперечнике деформированными зёрнами, во втором – содержит гранёные рекристаллизованные зёрна с характерными двойниками отжига и следами старых границ деформированные при ковке заготовки зёрен.

Одним из опасных для вакуумной чистоты рабочей зоны приборов дефектов материала является наличие в нём твёрдых неметаллических включений (определение по ГОСТ 1778, [4]), примеры которых в поперечном шлифе прутка показаны на рисунке 2.

Следует указать, что здесь и далее используются термины и определения, а также методики оценки качества материала, предназначенные для описания и исследования стали, поскольку необходимый специальный аппарат для работы с цветными металлами и сплавами как единое целое, в настоящее время отсутствует. Так, используемый для них термин «пора» раскрывается только в ГОСТ 30242-97 «Дефекты соединений при сварке металлов плавлением», и потому заменён применяемым для сталей словом «флокен», определение которого раскрывается в ГОСТ 10243 [5].

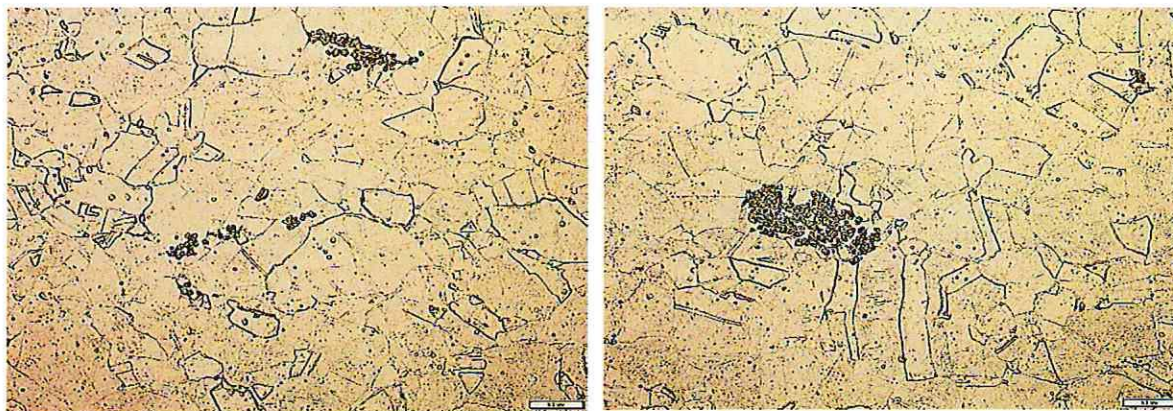


Рис. 2. Твёрдые неметаллические включения в поперечном шлифе прутка, 100[×].

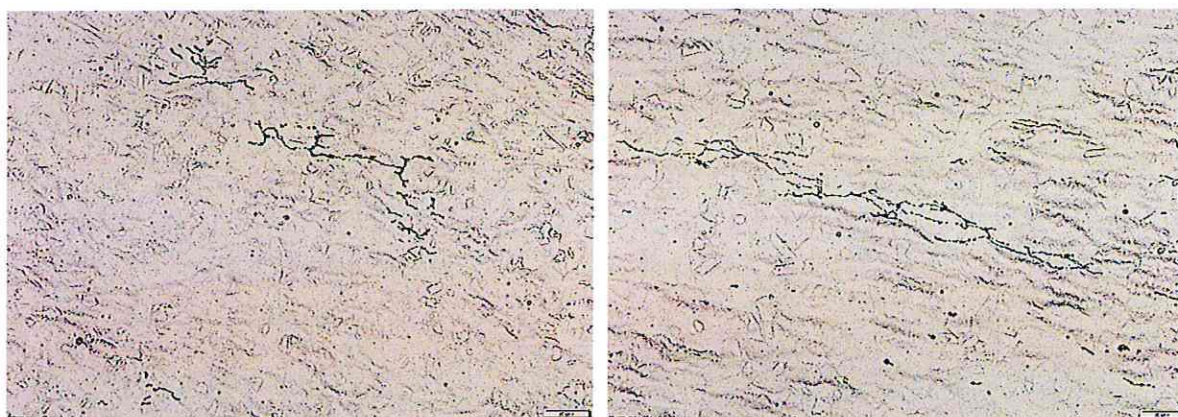


Рис. 3. Пластичные неметаллические включения в поперечном шлифе прутка, 100[×].

Помимо проведения анализа на отсутствие в материале прутков неметаллических включений на продольных шлифах по методике ГОСТ 1778 [4], неметаллические включения могут быть обнаружены при анализе поперечных металлографических шлифов, как без травления, так и после его проведения.

Следует отметить, что в соответствии с ТУ Яе0.021.153 [1], которые определяют также требования к пруткам их сплава МН19-ВП типа мельхиор, в их материале не допускается присутствие неметаллических включений (определение по ГОСТ 10243, [5]) выше балла 2 по ГОСТ 1778 [4]. Однако на сплав МН45-ВП это ограничение не распространяется. Более того, в сплаве МН45-ВП ТУ [1] разрешает повышенное относительно сплава МН19-ВП содержание таких опасных для работы приборов примесей, как висмут, мышьяк, цинк, водород и кислород, а предельное содержание свинца не указано вовсе [1]. Возможно, поэтому практика показывает более частое наличие в прутках из сплава МН45-ВП разного рода дефектов, чем в сплаве МН19-ВП.

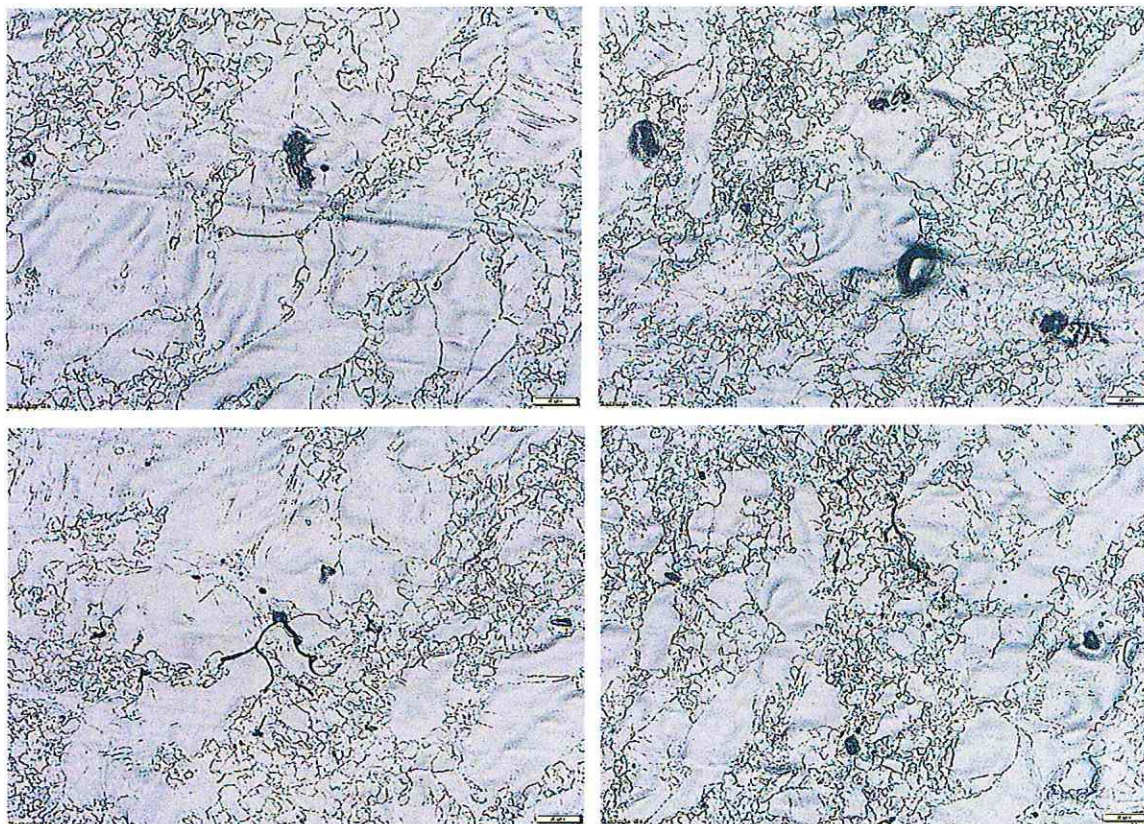


Рис. 4. Твёрдые (вверху) и пластичные (внизу) неметаллические включения и флокены на фоне разнорзернистой структуры прутка, 100[×]

Твёрдые неметаллические включения обычно плотно включены в матрицу окружающего материала в виде отдельных частиц, как это видно на фотографиях рисунка 2, однако часто сопровождаются наличием флокенов. В то же время, пластичные включения, определение которых дано в ГОСТ 1778 [4], обычно располагаются в виде непрерывных вытянутых в направлении деформации прослоек по границам зёрен.

Поскольку электровакуумные приборы часто отличаются небольшими размерами и включают в себя тонкостенные детали, то ввиду своей протяжённости, это очень опасный дефект для их вакуумной плотности. По сравнению с твёрдыми включениями, они даже более опасны, поскольку последние погружены в образующую между ними прослойки матрицу твёрдого раствора. Пример ластичных неметаллических включений в поперечном шлифе прутка приведён на рисунке 3. Вообще, микроструктура материала прутков должна быть однородной, без признаков разнорзернистости. Последняя сама по себе ещё не показывает на непригодность материала для изготовления деталей электровакуумных приборов, но обычно соседствуют с недопустимыми дефектами – включениями и флокенами, как это показано на фотографиях рисунка 4.

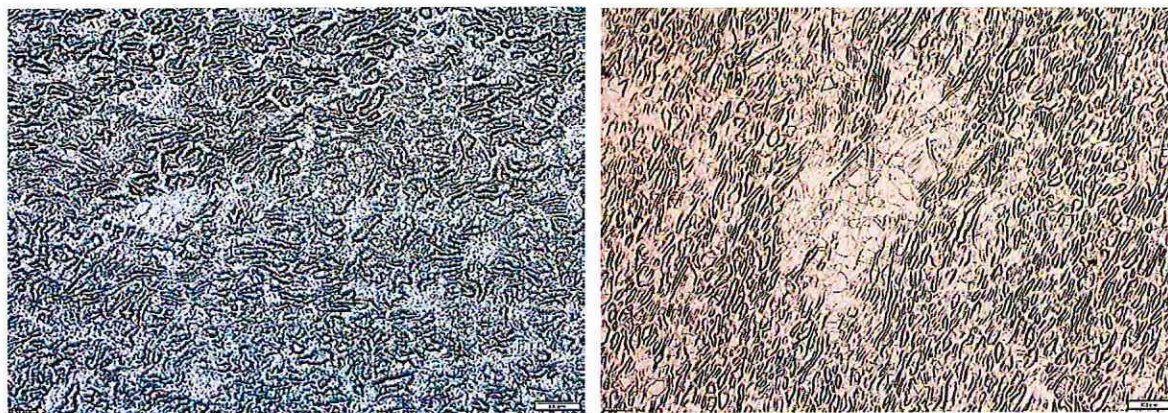


Рис. 5. Ликвация в материале поперечных шлифов прутка, 100[×]

Обычно такая структура свойственна материалу, исходный расплав для приготовления которого не был необходимым образом раскислен и дегазирован, а последующая ковка или горячая прокатка проводилась при повышенных температурах, вызвавших ликвацию и кипение примесных фаз. Производственный опыт показывает, что разнотернистость металлического материала более чем на 2 балла по оценке ГОСТ 5639 [6] свидетельствует о высокой степени вероятности его недостаточного качества, даже если недопустимые дефекты на металлографическом шлифе не обнаружены.

Отказ производителя от проведения гомогенизационного отжига слитка перед ковкой и / или прокаткой часто приводит к наличию на поверхности металлографических шлифов выявляемых при травлении пятен, вызванных различной химической активностью тех или иных составляющих сплава, как это показано на рисунке 5.

Такая структура материала сама по себе не является недопустимой, однако свидетельствует о его высокой химической неоднородности. Эта неоднородность может вызвать в нём активные диффузионные процессы при дальнейших технологических воздействиях, например, при термической обработке деталей или сборке – пайке получаемых узлов [7] и откачке прибора [8]. Более того, ввиду значительного и возможно многократного разогрева деталей при работе готового прибора [9], указанные диффузионные процессы могут привести к потере геометрической точности деталей уже в составе прибора, и к изменению вследствие этого его служебных характеристик, когда установить причину такого изменения очень сложно.

Далее, следует ещё раз обратить внимание на то, что согласно ТУ Яе0.021.153 требования к химической чистоте сплава МН45-ВП в части содержания примесей куда более свободные, чем к сплаву МН19-ВП, что может служить соблазном для изготовления сплава из низкосортных исходных материалов.

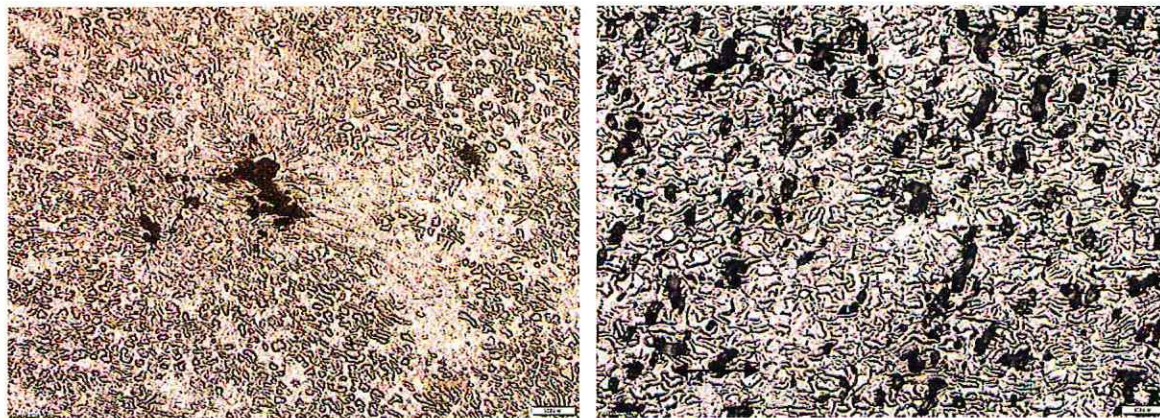


Рис. 6. Одиночные и множественные флокены в поперечном шлифе прутка, 100[×]

Большая часть содержащихся в таких материалах примесей может быть выведена из расплава при его раскислении, подстуживании и дегазации, либо связана при модифицировании, что, однако, выходит за пределы тематики настоящей статьи.

Однако, если изготовитель стремится снизить производственные расходы ещё и путём частичного, либо полного, отказа от проведения указанных операций, либо попытается уменьшить отделяемые от него дефектные части и т.д., то получаемый материал может быть насыщен, в том числе, как одиночными, так групповыми флокенами, образованными кипением при ковке или прокатке находящихся в нём легкоплавких фаз и их соединений, как это показано на фотографиях рисунка 6.

Такое явление подробно исследовано применительно к пруткам из близкого по назначению и системе легирования немагнитному сплаву типа «монель» НММц 38-2В, производимым в соответствии с техническими условиями Яе0.021.076ТУ и СИ0.021.039ТУ [10, 11], и описано в статьях [12, 13].

В числе распространённых дефектов прутков следует отметить также наличие разного рода трещин, однако их описание и выявление причин возникновения, неоправданно увеличили бы объём настоящей статьи.

Предлагаемые основные требования к материалу прутков из сплава МН45-ВП

На основании проведённого исследования основных пороков материала поставляемых по ТУ Яе0.021.153 [1] прутков из сплава МН45-ВП, можно перечислить основные требования, соответствие которым обеспечит необходимый для изготовления точных тонкостенных вакуумно-плотных деталей уровень качества материала.

В первую очередь, материал не должен иметь неметаллических включений и флокенов, различимых на поперечных или продольных шлифах прутков без их травления или после травления при увеличении $100\times$. Микроструктура материала прутков не должна быть разнотернистой и показывать следы ликвации, для чего следует, в частности, проводить перед ковкой и прокаткой гомогенизацию исходных слитков.

Практика изготовления деталей и узлов с использованием сплава МН45-ВП показывает, что применяемые прутки могут быть не только прессованными и холоднотянутыми, как это предписано в ТУ Яе0.021.153 [1], но и кованными, в состоянии поставки как без термической обработки, так и после отжига.

Что касается максимально допустимого балла неметаллических включений, указанных в ТУ Яе0.021.153 [1] касательно сплава МН19-ВП, то производственная практика показывает, что при правильно проведённом раскислении, дегазации, и модифицировании исходного расплава, качество получаемого слитка вполне позволяет изготавливать прутки, вообще не показывающие на своих продольных шлифах этих включений при их исследовании по методике ГОСТ 1778-70 [4].

Технологическое сопровождение изготовления материалов из сплавов МН45-ВП и МН19-ВП показывает, что какого-либо принципиального различия в технологии их изготовления нет. Поэтому, что касается химического состава сплава МН45-ВП, то имеет смысл уравнивать предельно допустимое в нём содержание примесей с таковыми для близкого по назначению и системе легирования сплава МН19-ВП, а также установить предельно допустимое содержание в материале свинца, в настоящее время в ТУ Яе0.021.153 [1] для константана отсутствующее.

Также очевидно, что материал прутков не должен иметь трещин в виде пресс-остатков, утяжин, или расслоений, а также раковин, что, однако, не указано в действующих ТУ.

Список источников

1. Яе0.021.153 ТУ Прутки из медно-никелевых сплавов вакуумной плавки / взамен ТУ 11-19 с 01.01.1984 / –М.: п/я 4315, ОЗТМиТС, 1983. -16 с.; изм.
2. А.С. Гладков, В.М. Амосов, Ч.В. Копецкий, А.М. Левин / Металлы и сплавы для электровакуумных приборов (серия «Электронное материаловедение») / под общей ред. А.И. Шокина / –М.: Энергия, 1969. -600 с., ил.
3. ГОСТ 2789-73 / Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики/ – М.: Стандартинформ, 2018. -7 с.; изм.

4. ГОСТ 1778-70 / Сталь. Металлографические методы определения неметаллических включений / –М.: Стандартинформ, 2011. -32 с.; изм.
5. ГОСТ 10243-75 / Сталь. Методы испытаний и оценки макроструктуры / Издательство стандартов, 1975. -48 с.; ил.
6. ГОСТ 5639-82 Стали и сплавы. Методы выявления и определения величины зерна / –М.: ИПК Издательство стандартов, 2003. -20 с.; ил., изм.
7. А.С. Гладков, О.П. Подвигина, О.Г. Чернов / Пайка деталей электровакуумных приборов / –М.: Энергия, 1967. -288 с., илл.
8. Н.В. Черепнин / Основы очистки, обезгаживания и откачки в вакуумной технике / –М.: Советское радио, 1967. -408 с.
9. В.Ф. Коваленко / Теплофизические процессы и электровакуумные приборы / –М.: Советское радио, 1975. -216 с.
10. Яе0.021.076ТУ (ТУ 11-83) Прутки из немагнитного сплава марки НММц38-2В вакуумной плавки / Взамен ТУ 11-77 с 15.04.1983г. / –М.: п/я ОЗТМиТС, 1983. -6 с.
11. СИ0.021.039ТУ (ТУ 11-82) Прутки и полосы из немагнитной монели вакуумной плавки марки НММц 38-2В / Взамен СИ0.021.039ТУ, ред. 2-69 с 01.01.1983. / –М.: п/я «Завод «Плутон», 1983. -12 с.
12. Головкин П.А. / Повышение качества прутков из немагнитного сплава типа монель вакуумной выплавки НММц 38-2В / –М.: Сборка в машиностроении, приборостроении. № 4, 2021. С. 151...154.
13. Головкин П.А. / Получение прутков из сплава НММц 38-2В методом ротационнойковки / –М.: Сборка в машиностроении, приборостроении. № 5, 2021. С. 221...226.