

## **О ПРИЧИНАХ НЕКОТОРЫХ ДЕФЕКТОВ В ПРУТКАХ ИЗ ПЛАВА МН19-ВП**

**П.А. Головкин, к.т.н.**

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

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

## **ON THE CAUSES OF SOME DEFECTS IN OF Cu-19%Ni VACUUM MELTING ALLOY RODS**

**P.A. Golovkin, Ph. D.**

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

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

### **Аннотация**

В статье исследованы некоторые дефекты материала медноникелевого сплава МН19-ВП типа мельхиор и рассмотрена природа их возникновения. Показано, что действующие ТУ на поставку указанных прутков недостаточно учитывают требования, предъявляемые к ним при целевом использовании для изготовления деталей электровакуумных приборов. Предложены технологические меры для недопущения в материале прутков критичных дефектов.

### **Annotation**

The article investigates some material defects of copper-nickel alloy vacuum melting Cu-19%Ni of “melchior” type (Russian abbreviation “МН-19ВП”) and considers the nature of their occurrence. It is shown that the existing technical specifications for the supply of these bars do not sufficiently take into account the requirements imposed on them for their intended use in the manufacture of parts of electric-vacuum devices. Technological measures to prevent critical defects in rod material are proposed.

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

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

### **Общие положения. Требования к качественному материалу прутков.**

Одним из применяемых при изготовлении деталей электровакуумных приборов материалов являются прутки из немагнитного сплава типа мельхиор МН19-ВП, требования к которым определены ТУ Яе0.021.153 [1]. Химический состав сплава также прописан в указанных ТУ и приведён в таблице 1.

По сравнению с изготавливаемым по требованиям ГОСТ 492 [2] сплавом МН19, сплав вакуумной плавки отличается меньшим допустимым содержанием примесей, что является необходимым условием для его применения в составе электровакуумных приборов. Однако заявленная химическая чистота ещё не является гарантией качества изготавливаемого металлического материала, который может иметь различные приемлемые, либо не допустимые, с учётом целевого его использования, пороки.

Таблица 1.

Химический состав сплава МН19-ВП, %<sub>масс.</sub>

Медь	Никель	Марганец	Углерод	Кремний	Магний	Цинк	Свинец	Марганец
Основа	18...20	≤0,001	≤0,05	≤0,01	≤0,05	–	≤0,001	≤0,001
Висмут	Фосфор	Мышьяк	Кислород	Водород	Азот	Сера	Кадмий	Σ примесей
≤0,001	≤0,01	≤0,001	≤0,003	≤0,0006	–	≤0,005	–	≤0,2

Согласно ТУ Яе0.021.153, прутки могут быть прессованными, либо тянутыми [1]. Что касается этого положения ТУ, то следует отметить, что в настоящее время ввиду небольшого количества потребляемых прутков из сплава МН19-ВП, значительная их часть изготавливается путём свободнойковки в обжимках, то есть прутки являются коваными. Это формально не соответствует ТУ, но не влияет на их качество.

Что касается требований к их материалу, то прутки должны быть макроплотными [1]. 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.

Однако такая проверка не достаточна для материалов деталей электровакуумных приборов. В частности, при обнаружении в материале дефектов, недостаточная разрешённая кратность применяемых оптических устройств не позволяет однозначно определить их природу. Следствием этого является невозможность доказательства самого факта брака материала, и опыт показывает, что для однозначного определения его возможных пороков, кратность увеличения должна составлять не менее  $100\times$ .

Также в прутках допускается суммарное количество включений до 3 балла включительно [1] по шкале ГОСТ 1778 [4], что само по себе очень много для применяемых в составе электровакуумных приборов материалов. В этой связи следует отметить, что в утверждённой в 1983 году исходной версии ТУ [1], вплоть до введения изменения 2001 года, предельное общее содержание неметаллических включений не должно было превышать 1 балла по ГОСТ 1778 [4].

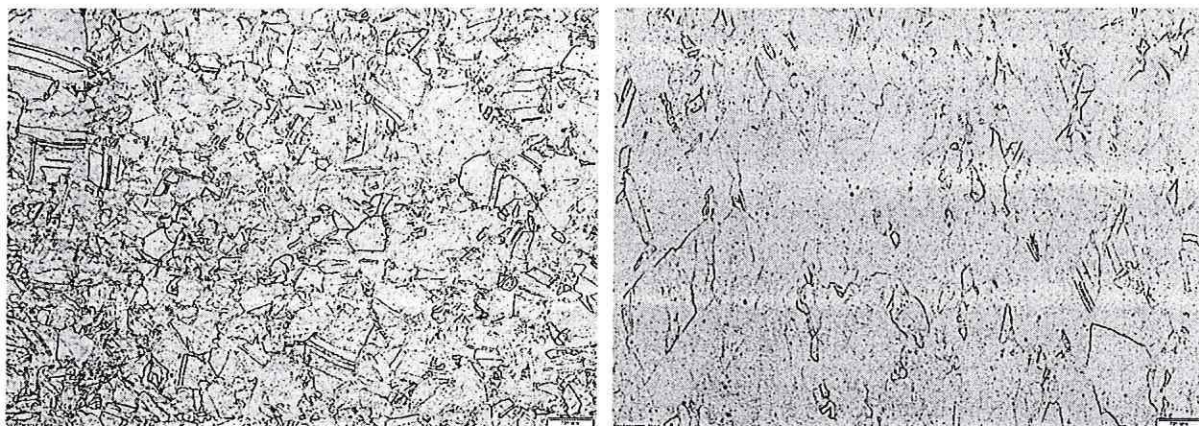


Рис. 1 Качественная структура материала ковального прутка в состоянии значительного (слева) и незначительного (справа) самоотпуска на воздухе, 100<sup>×</sup>.

Явно, что такое ограничение в большей степени отвечало требованиям производства электровакуумной техники, и его изменение стало уступкой производителям недостаточно качественного материала, и послужило уже их интересам.

С учётом того, что по ТУ [1] прутки из сплава МН19-ВП могут поставляться как в твёрдом, так и в отожжённом состоянии, при изготовлении путёмковки, структура их материала может допустимо отличаться различной степенью самоотпуска. На рисунке 1 показаны структуры материала кованых прутков, претерпевших более и менее значительный самоотпуск при охлаждении на воздухе послековки.

В первом случае материал отличается наличием большого количества образующихся в рекристаллизованных зёрнах двойников отжига, во втором – они почти отсутствуют. Такое различие материала вызвано скоростью его охлаждения: более толстые прутки остывают медленнее, и оттого самоотпуск в нём выше. С учётом того, что температуры рекристаллизации сплавов МН19 и МН19-ВП лежат в границах 500...600 °С [5], при остывании большой массы материала, она может протекать достаточно полно, особенно при укладке рядом или друг на друга большого числа горячих прутков.

Для изготовления деталей электровакуумных приборов могут быть применимы и те, и другие прутки, и их механическая обрабатываемость различается мало, хотя материал с двойниками отжига даёт лучшую точность получаемых размеров.

### **Основные дефекты в материале прутков и причины их возникновения**

Действующее ТУ Яе0.021.153 ТУ допускает в прутках из сплава МН19-ВП неметаллических включений, таких как показаны на фотографиях рисунка 2.

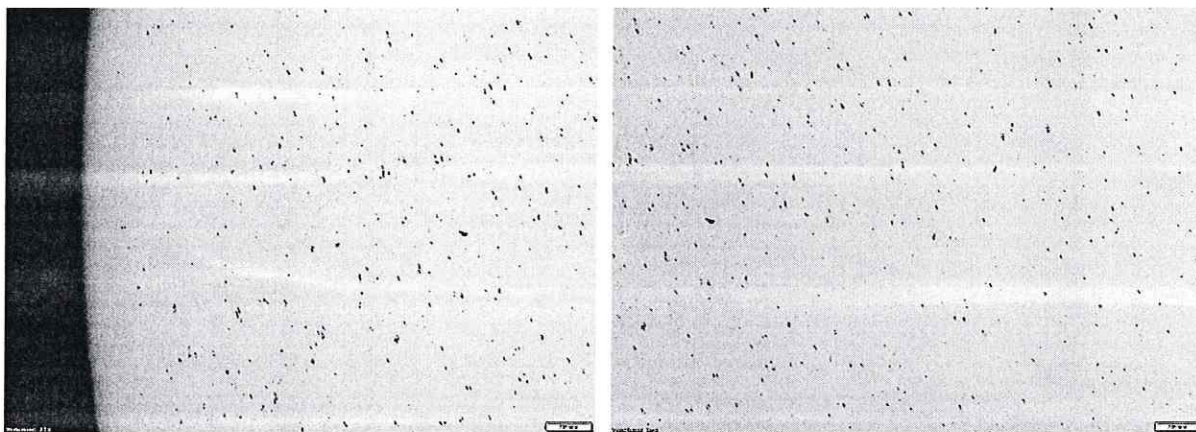


Рис. 2 Неметаллические включения в поперечном шлифе без травления, 100<sup>×</sup>.

Наличие таких включений не является браковочным признаком по ТУ Яе0.021.153 [1], если при проверке по методике ГОСТ 1778 не превышает допустимого балла 3 [4], однако свидетельствует о неправильно проведённой очистке исходного расплава при приготовлении слитка. Примеры материала с неприемлемыми включениями на продольных шлифах прутков приведены на фотографиях рисунка 3.

Известная сложность выведения примесей из расплава при его приготовлении в индукционных печах, открытых, или вакуумных, по сравнению, например, с электрошлаковым переплавом [6], делает необходимым для его очистки, проведение операции подстуживания. Длительность её определяется составом расплава, глубиной вакуума в печи, размером связанных включений, массой садки, и другими обстоятельствами. Снижая задействованную мощность индукционных нагревателей, уменьшают температуру расплава, и тем – растворимость в нём примесей, а кроме того, обеспечивают возможность естественного их всплытия и выхода из расплава в виде шлака.

Однако, некоторые поставщики пытаются снизить затраты электроэнергии также общие затраты времени, уменьшая продолжительность раскисления и дегазации, включая подстуживание, и модифицирования расплава. Другой причиной стремления к такой экономии времени является стремление уменьшить безвозвратные потери от испарения расплавленного материала в вакуумной печи, которые тем больше, чем больше разность давления насыщенного пара и пара над веществом [7], и которые при вакуумной плавке могут быть весьма существенны. Как следствие, примеси не могут быть выведены из расплава в той необходимой полноте, которая была заложена с учётом способа выплавки, при определении их предельно допустимого содержания в ТУ на сплав МН19-ВП.

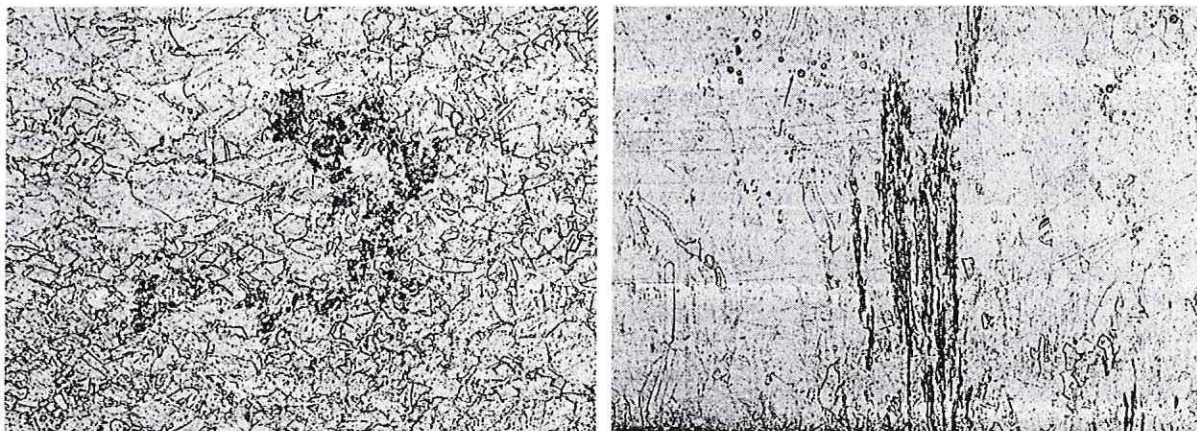


Рис. 3 Скопления неметаллических включений в материале поперечного (слева) и продольного (справа) металлографического шлифа после травления,  $100\times$ .

Это значит, что даже при использовании качественных исходных компонентов, получаемый материал не может быть использован для изготовления электровакуумных приборов, как это заявлено в ТУ Яе0.021.153 [1], и для чего он был доработан относительно базового сплава МН19 по ГОСТ 492 [2].

При очистке расплава от примесей вводимыми для этого веществами, образующиеся связанные включения под действием разности относительной плотности, всплывают на зеркало расплава в виде шлака. Без учёта конвекции расплава, скорость перемещения связанных примесей описывается формулой Стокса, и для включений радиусом около 1 мкм скорость их всплытия в стали составит около  $(2...5)\times 10^{-7}$  м/с [6]. Принимая вязкость расплава равной таковой для расплава стали, необходимое время для его очищения в тигле для рассчитанной на плавку 200 кг металла печи, составит около 8 минут. С учётом теплового перемещения расплава в тигле и межфазных процессов на зеркале расплава, продолжительность очистки обычно несколько меньше, и составляет около 6...7 минут. Для печей с меньшей загрузкой время очистки расплава также сообразно уменьшается.

Если же отведённого на очистку расплава времени недостаточно, то даже при введении в расплав необходимых раскислителей и модификаторов, находящиеся в нём примеси перейдут в материал слитка, и далее – в прутки и готовые детали, которые могут стать не пригодными для электровакуумных приборов. Более подробно природа и причины появления разнообразных пороков материала прутков из сплавов системы легирования Cu-Ni, рассмотрены автором на примере близкого по назначению сплава МН45-ВП [8, 9], и их описание в настоящей статье было бы излишним.

Практика показывает, что при соблюдении в процессе приготовления расплава направленных на его очистку необходимых технологических решений, получение прутков с содержанием неметаллических включений не только в пределах балла 3, но и не выше балла 1 по шкале ГОСТ 1778, не является чем-то очень сложным или затратным.

Таким образом, сопоставление различных пороков материала прутков и особенностей его структуры, которые согласно действующим нормативными документам не признаны браковочными признаками, помогают выявить природу и причины появления в материале дефектов, не допустимых для деталей электровакуумных приборов. Применительно сплава МН19-ВП, критичной для его качества является продолжительность очистки исходного расплава, поскольку остающиеся в нём примеси уже не смогут быть выведены из металлического материала.

При этом вид передела слитка в прутки, будь то прессование, волочение, или ковка, уже не носит такого решающего значения, как правильность приготовления исходного расплава, и хороший материал может быть получен любым из этих способов.

### **Выводы**

1. Распространённым дефектом в материале прутков из предназначенного для изготовления деталей электровакуумных приборов сплава МН19-ВП типа мельхиор, является превышающее допустимое значение количество неметаллических включений.

2. Причиной повышенного содержания неметаллических включений может быть недостаточное время выдержки расплава процессе его раскисления и модифицирования, из-за чего связанные примеси не успевают выйти из него и перейти в шлак. В этом случае даже применение качественных исходных компонентов не сможет обеспечить необходимое качество слитка.

3. Для полноценной очистки расплава от связанных примесей необходимо обеспечить минимальное время его выдержки при подстуживании, исходя из формулы Стокса с поправкой на состав и величину садки, размеры тигля, и другие технологические показатели.

4. При соблюдении необходимых режимов очистки расплава и использовании качественных исходных компонентов расплава, не представляет сложности получить материал прутков из сплава МН19-ВП с содержанием неметаллических включений не только в пределах 3 балла по ГОСТ 1778, но и не выше балла 1 по указанному ГОСТ, как это было указано в ранних редакциях ТУ Яе0.021.153.

### 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. ГОСТ 492-2006 Никель, сплавы никелевые и медно-никелевые, обрабатываемые давлением. Марки / –М.: Стандартинформ, 2011. -14 с.
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. -15 с.; прил.; изм.
5. 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.
6. В.А. Павлов, Е.Ю. Лозовая, А.А. Бабенко / Спецэлектрометаллургия сталей и сплавов: учебное пособие / –Екатеринбург: издательство Уральского университета, 2018. -168 с.
7. Р.А. Аграчева, И.П. Гофман / Основы теории металлургических процессов / – М.: Металлургия, 1965. -276 с.
8. Головкин П. А. / О дополнительных требованиях к пруткам из сплава МН45-ВП для изготовления деталей электровакуумных приборов / –М.: Металлы (статья в редакции).
9. Головкин П. А. / О технологических причинах появления бугорков на металлографических шлифах прутков из сплава МН45-ВП / –М.: Металлы (статья в редакции).