



УДК 669.187.526:51.001.57

НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ МОЛИБДЕНОВОГО ПРУТКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ПЛАВКИ

В.О. МушегянНТЦ «Патон-Армения» ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины. 03680, г. Киев, ул. Боженко, 11.
E-mail: paton.armenia@gmail.com

Разработана сквозная технология получения молибденового проката (прутков) из прессованных порошковых брикетов первичной переработки. Технология включает электронно-лучевую плавку с промежуточной емкостью, применение периферийного обогрева в кристаллизаторе, а также стан шаговой прокатки. В процессе плавки поддерживали глубину жидкой ванны в кристаллизаторе в пределах 4...6 мм. Получены слитки диаметром 70 мм, переработанные в прокатную заготовку диаметром 62 мм и прокат диаметром 18 мм. Исследованы химический состав, структура и свойства полученных молибденовых прутков. Определены размеры зерна исходной заготовки и прутка (размер зерен прокатанного молибдена меньше в 3...4 раза). Достигнут высокий уровень механических свойств материалов прутков: временное сопротивление при растяжении — более 700 МПа, относительное удлинение — свыше 20 %. Показано, что качество прутков соответствует требованиям стандартов для горячекатаных прутков молибдена марок МЧ и МЧВП. Библиогр. 7, табл. 2, ил. 4.

Ключевые слова: молибден; брикеты; примеси; электронно-лучевой переплав; рафинирование; прокат; технологические условия; шаговая прокатка

Основные технологические этапы производства молибденового проката сформировались в середине XX века [1]. С тех пор они мало изменились. Большую часть компактного молибдена для нужд электротехнической промышленности в настоящее время производят способом прессования молибденового порошка. Молибденовые полуфабрикаты содержат значительную долю примесей. Достичь удовлетворительных механических свойств в порошковом молибдене можно только благодаря мелкой фракции порошка и разветкой поверхности границ

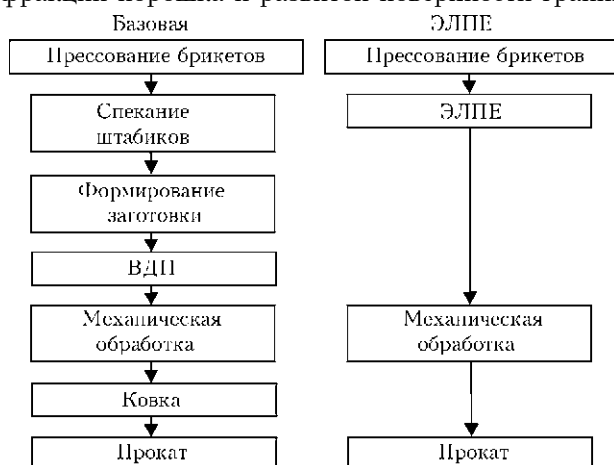


Рис. 1 Технологическая последовательность получения проката молибдена

между частицами. Таким образом, удельная плотность включений на границах остается относительно небольшой, и порошковый молибден сохраняет достаточную стойкость к образованию трещин.

Для получения более чистого молибдена применяют в основном вакуумно-дуговой (ВДП) [2], реже — электронно-лучевой (ЭЛП) переплав [3]. При этом в качестве исходной заготовки используют молибденовые штабики (ТУ 48-19-69-80), что позволяет достичь в слитках улучшенного уровня чистоты — в соответствии с маркой, утвержденной для особо чистого молибдена вакуумной плавки — МЧВП (ТУ 48-19-247-87).

Для перехода на новый качественный уровень технологии получения полуфабрикатов молибдена автор предложил использовать технологическую цепочку, представленную на рис. 1. В качестве исходного сырья вместо молибденовых штабиков высокой чистоты выбраны прессованные брикеты молибденового порошка относительно невысокой чистоты (ТУ РА28-54-529-61-661-2007).

Применение загрязненной исходной шихты стало возможным благодаря созданной при непосредственном участии автора электронно-лучевой установки для плавки тугоплавких металлов и сплавов [4], позволяющей создавать достаточную плотность энергии электронного луча в зоне плавки и обеспечивать отвод газовых примесей из зоны плавки. С другой стороны, применение данного технологического приема электронно-лучевой плавки с промежу-

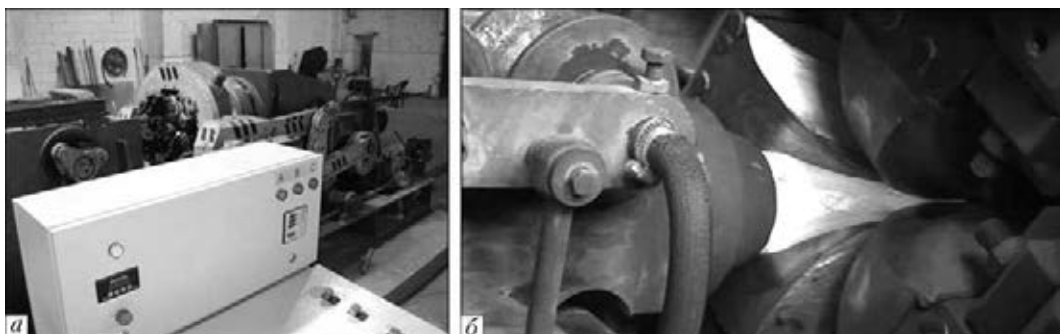


Рис. 2. Стан СШ175 (а) и процесс прокатки (б)

точной емкостью с периферийным обогревом поверхности слитка в процессе кристаллизации позволяет получить слитки с измельченной гомогенной структурой и исключить ковку перед прокаткой слитка в пруток. Процесс, аналогичный ковке, происходит уже во время деформации слитка на стане шаговой прокатки [5]. Применение малогабаритных станов шаговой прокатки позволяет получить наибольший эффект при производстве малотоннажных партий проката, обеспечивающих выход готового проката за один проход в одной клети. Этому условию удовлетворяет стан шаговой прокатки с приводом валков через шарнирно-рычажную систему.

Слитки диаметром 70 мм получены в электронно-лучевой установке МВ-1 по оригинальной технологии, представленной в работе [6]. В качестве исходного сырья здесь использовали молибден металлический в виде спеченных брикетов (ТУ РА28-54-529-61-661-2007) производства завода ОАО «Чистое железо» (Ереван). Применяли оптимальный режим плавки, полученный в результате математического моделирования процесса формирования слитка с использованием электронно-лучевого периферийного обогрева [7]. Применение указанного режима позволило поддерживать глубину жидкой ванны металла в кристаллизаторе на уровне 4...6 мм. Полученные слитки при помощи механической обработки на токарном станке переработаны в прокатную заготовку диаметром 62 мм.

После механической обработки слитки прокатывали в пруток на стане шаговой прокатки СШ175 за один проход до диаметра 18 мм (рис. 2).

Стан СШ175 предназначен для получения небольших партий проката широкого сортамента. Он относится к станам с качающимися валками. Его достоинства заключаются в компактности, универсальности, простоте конструкции.

В прокатной клети осуществляется шаговая деформация заготовки с высокими обжатиями, что позволяет за один проход и с одного нагрева получать готовый продукт. В клети, в зависимости от формы поперечного сечения получаемого профиля, может быть установлено два, три или четыре рабочих валка. При прокатке клеть совершает возвратно-поступательное, а валки, связанные шарнирно штангами с рамой стана, — качательное движение.

Технологический процесс получения заготовок на стане СШ175 происходит следующим образом. Нагретую заготовку подают к стану и устанавливают по оси прокатки перед толкателем задающего устройства. Включается привод механизма подачи, и заготовка ускоренно подается в прокатную клеть. При проходе заготовки к валкам прокатной клети привод механизма подачи переводится в режим подачи, включается электродвигатель главного привода стана, начинается процесс шаговой прокатки.

При прокатке валками переменного радиуса в каждом шаге деформации на заготовке образуется переходный участок (конус деформации) от исходной заготовки к готовому профилю. После каждого шага деформации (во время образования зазора между валками), превышающего высоту исходной заготовки, ее перемещают на ход подачи и кантуют на угол 45, 60 и/или 90° (в зависимости от формы поперечного сечения получаемого профиля). После прокатки исходной заготовки главный привод стана отключается, а каретка с толкателем возвращаются механизмом подачи в исходное положение.

Стан работает в полуавтоматическом режиме, при котором оператор дает команду только на начало прокатки. Механизмы стана могут работать в ручном (настроечном) режиме управления. Стан мобилен в эксплуатации — переход на прокатку различных профилей осуществляется путем изменения зазора между валками или замены комплекта сменных вкладышей. Небольшой габарит стана позволяет размещать его в действующих заводских цехах, используя существующие нагревательные устройства и оборудование для отделки металла (правильные машины, ножницы и т.д.), что значительно снижает капитальные затраты на организацию производства заготовок.

Прокат разрезали на мерные куски длиной 1...2 м (рис. 3), затем всесторонне исследовали: получены микро- и макроструктуры образцов проката, определены их механические свойства. Прокат отличается достаточно гладкой поверхностью, колебания диаметра прутков как в партии, так и вдоль заготовки значительно ниже требуемых ГОСТ 17432-72 «Материалы порошковые. Прутки и поковки из сплава марки М-МП. Технические условия» и ТУ 48-19-247-87 «Прутки молибденовые диаметром от 16 до 125 мм. Технические условия», погрешность составляет ± 1 мм.

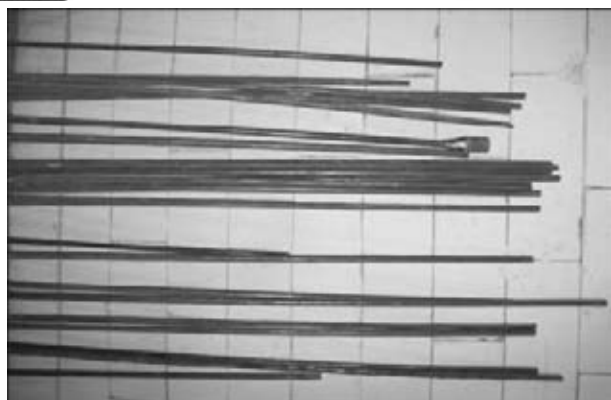


Рис. 3. Прокат молибдена диаметром 18 мм

Анализ химического состава прутков показал, что содержание основных примесей не превышает указанного в стандартах как для порошкового молибдена, так и для молибдена вакуумной плавки (табл. 1).

Структура проката молибдена исследована на образцах, извлеченных в сечении, соответствующему как началу прокатки, так и готовому прокату (рис. 4).

Структуры исходного и деформированного образцов как на макро-, так и на микроуровне отлича-

Таблица 1. Химический состав молибденовых прутков

Стандарт	Марка сплава	Массовая доля примесей, %, не более			
		Fe	C	O	N
ЭЛПЕ	МЧВП	0,007	0,002	0,0005	0,002
ТУ 48-19-247-87	МЧ	0,010	0,010	0,008	–
	МЧВП	0,010	0,030	0,005	0,002
ТУ 48-19-203-85	МЧ	0,014	–	–	–
	МЧВП	0,014	0,03	0,005	0,005

ются только размерами — размер зерен прокатанного молибдена меньше в 3...4 раза. На микроструктуре видны четкие границы зерен, мелкие включения расположены как внутри зерен, так и по их границам.

Механические свойства полученных молибденовых прутков превышают значения соответствующих требований стандартов и по прочности, и по пластическим свойствам (табл. 2).

Проведенные исследования опытно-промышленной партии проката молибдена показали, что применение технологической последовательности

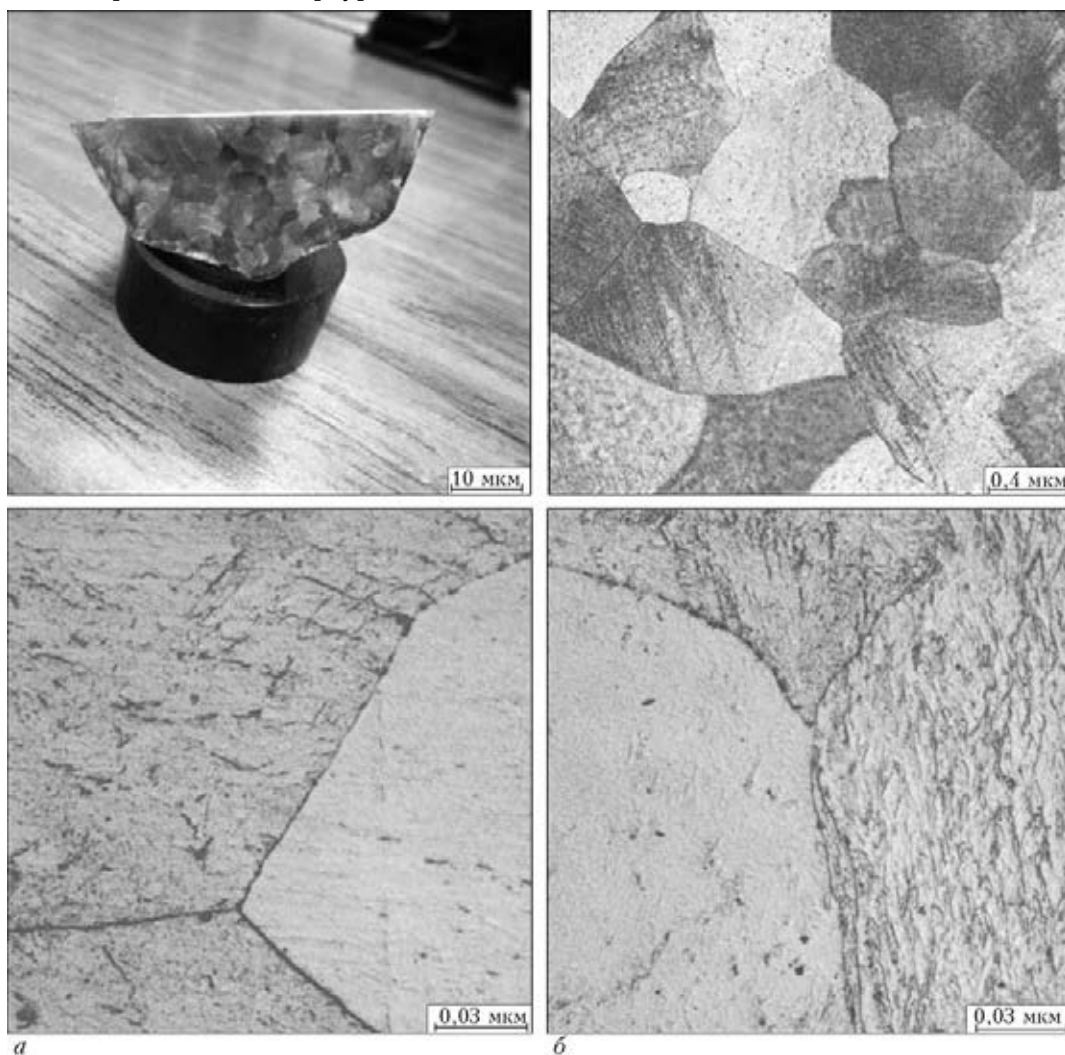


Рис. 4. Макро- и микроструктура молибденовых заготовок (а) и проката (б)



Таблица 2. Механические свойства молибденовых прутков

Стандарт	Марка сплава	Состояние прутков	Диаметр, мм	Механические свойства	
				Временное сопротивление при растяжении, МПа, не менее	Относительное удлинение, %, не менее
ЭЛПЕ	МЧВП	Горячекатаные Необточенные	18	720	23
ГОСТ 17432-72	М-МП	Горячекатаные	14,5...24,0	640	20
ТУ 48-19-203-85	МЧ	Горячекатаные Необточенные	13,00 (из штабиков 25×25 или 32×32)	539	8,0

первичная шихта–слитки ЭЛПЕ–прутки стана шаговой прокатки позволяют получить полуфабрикаты необходимого сортамента и качества, полностью отвечающие требованиям соответствующих стандартов.

1. Зеликман А.Н. Молибден. — М.: Металлургия, 1970. — 440 с.
2. Дуговые вакуумные печи и электронные плавильные установки / М.Я. Смелянский, В.А. Бояршинов, К.Д. Гуттерман и др. — М.: Металлургиздат, 1962. — 190 с.

3. Патон Б.Е., Тригуб Н.П., Ахонин С.В. Электронно-лучевая плавка тугоплавких и высокорекреационных металлов. — Киев: Наук. думка, 2008. — 306 с.
4. Мушегян В.О. Электронно-лучевая установка для плавки молибдена // Современ. электрометаллургия. — 2010. — № 1. — С. 44–47.
5. Финкельштейн Я.С. Справочник по прокатному и трубному производству. — М.: Металлургия, 1975. — 400 с.
6. Мушегян В.О. Электронно-лучевая плавка с промежуточной емкостью — эффективный способ повышения механических свойств молибдена // Электрометаллургия. — 2010. — № 9. — С. 28–31.
7. Мушегян В.О. Оптимизация технологии электронно-лучевой плавки молибдена методом математического моделирования // Современ. электрометаллургия. — 2011. — № 4. — С. 9–11.

The end-to-end technology has been developed for manufacture of molybdenum rolled metal (rods) of pressed powdered briquettes of primary recycling. The technology includes the electron beam cold hearth melting, application of periphery heating in the mould, and also a stepping rolling mill. During melting the depth of molten pool in the mould was maintained within the 4...6 mm ranges. Ingots of 70 mm diameter were produced and processed into a rolled billet of 62 mm diameter and rolled metal of 18 mm diameter. Chemical composition, structure and properties of produced molybdenum rods were investigated. Sizes of grain of initial billets and rod (size of grain of rolled molybdenum is 3..4 times smaller) were determined. A high level of mechanical properties of rods materials was attained: ultimate tensile strength is more than 700 MPa, elongation is higher than 20 %. It is shown that the quality of rods corresponds to the requirements of standards for hot-rolled rods of molybdenum of grades MCh and MChVP. Ref. 7, Tables 2, Figs. 4.

Key words: molybdenum; briquettes; impurities; electron beam remelting; refining; rolled metal; technological conditions; stepped rolling

Поступила 10.04.2013

ВНИМАНИЮ АВТОРОВ!

В соответствии с письмом от 15.03.13 № 1/11-5497 за подписью первого заместителя министра образования и науки, молодежи и спорта Сулимы Е.Н., сообщаем, что журнал «Современная электрометаллургия» входит:

- в перечень научных изданий Украины в области технических наук и на этом основании опубликованные в нем статьи включаются в необходимое количество публикаций по теме диссертации;
- в состав международных наукометрических баз и на этом основании опубликованные в нем статьи могут приравниваться к публикациям в научных периодических изданиях других государств.