



УДК 669.187.526:51.001.57

## ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ПЕРЕПЛАВ ОТХОДОВ ЧЕКАНОЧНОГО ИНСТРУМЕНТА

В. О. Мушегян

Создана технология утилизации лома инструментов чеканочного монетного производства способом электронно-лучевой плавки с промежуточной емкостью. Определены технологические параметры процесса переплава, обеспечивающие марочный состав стали 5ХВ2С в получаемой заготовке. Технология может быть реализована на предприятиях Украины.

Technology has been developed for utilization of scrap of tools of money coining production using the method of electron beam melting with an intermediate crucible. The technological parameters of remelting process are determined guaranteeing the grade composition of steel 5KhV2S in the produced billet. The technology can be realized at the enterprises of Ukraine.

*Ключевые слова: штамповая сталь; отходы; электронно-лучевой переплав; структура; хладноломкость*

В 1994 г. в связи с введением национальной валюты создали Банкнотно-монетный двор Национального банка Украины (НБУ). В апреле 1998 г. открыли Монетный двор, который является составной частью комплекса Банкнотно-монетного двора НБУ. Его основная задача заключается в обеспечении потребностей государства в памятных и юбилейных монетах из дорогостоящих и цветных металлов, монетах массового оборота, государственных наградах и знаках; отечественных организаций — в изготовлении ведомственных наград и памятных медалей; зарубежных стран — в выполнении заказов на чеканку монет как из дорогостоящих металлов, так и массового оборота [1].

С целью обеспечения инструментами многочисленного штампового оборудования для чеканки монет за рубежом закупили инструментальную сталь типа 5ХВ2С (табл. 1, рис. 1). По мере износа инструмента накопились значительные запасы лома указанной штамповой стали, поэтому в настоящее

время актуальной является задача его переработки в заготовки для производства новых штампов, качество которых не уступало бы качеству исходных. При этом следует сохранить химический состав и структуру исходной стали.

Сталь рабочего инструмента должна отличаться высокой твердостью, износостойкостью и прочностью, повышенным сопротивлением пластическим деформациям, достаточной вязкостью (особенно для инструментов, испытывающих динамические нагрузки).

Необходимость в удовлетворительном уровне ударной вязкости обусловлена склонностью штамповых сталей к хрупкому разрушению. При комнатной температуре вязкость образцов с гладким надрезом  $KCU$  составляет 1...4 Дж/см<sup>2</sup> [2].

Работа разрушения надрезанного ударного образца  $a_n$  состоит из двух частей: затрачиваемой на пластическое и упругое деформирование образца до возникновения на дне надреза трещины (работа зарождения трещины  $a_3$ ) и расходуемой на распространение этой трещины по сечению образца (работа развития трещины  $a_p$ ).

Таблица 1. Химический состав стали 5ХВ2С

Образец	Массовая доля элементов, %							
	W	V	Si	Cu	Mo	Mn	Ni	Cr
Марочный	1,80... 2,30	< 0,30	0,80... 1,10	< 0,30	< 0,30	0,15... 0,45	< 0,35	0,90... 1,20
Исходный	1,96	0,16	0,54	0,30	0,25	0,25	0,21	0,97
ЭЛПЕ	1,95	0,14	0,87	0,02	0,05	0,19	0,21	0,96



Рис. 1. Заготовки чеканочного инструмента из стали 5XB2C: а – стандартная; б – полученная способом электронно-лучевого переплава с промежуточной емкостью (ЭЛПЕ)

Установлено [3], что  $a_p$  – характеризует работу, затрачиваемую на окончательное разрушение при вязком изломе. При хрупком разрушении высокопрочных сталей, какими являются инструментальные стали, работа развития трещины  $a_p$  очень мала. Для таких сталей вязкость характеризуется только работой зарождения трещины  $a_3$ .

Одним из наиболее прогрессивных способов плавки является ЭЛПЕ. Благодаря вакуумной защитной атмосфере и длительному воздействию концентрированного нагрева электронным лучом в промежуточной емкости металл рафинируется от вредных примесей, а также от неметаллических включений, которые являются концентраторами напряжений и зародышами для развития трещин [4]. Удаление примесей и неметаллических включений способствует росту пластичности металла, в частности значительному повышению ударной вязкости [5].

Отрицательным фактором ЭЛПЕ является испарение в условиях вакуума легирующих элементов, особенно с высокой упругостью пара при температуре расплава. Для стали 5XB2C таким элементом является марганец, содержание которого должно быть выдержано в пределах 0,15... 0,45 мас. %.

Настоящее исследование заключалось в проведении серии экспериментальных плавки с целью определения технологических параметров ЭЛПЕ, обеспечивающих удовлетворительное качество ме-

талла заготовок штамповой стали при сохранении ее марочного состава.

Плавки проводили в НТЦ «Патон-Армения» МНТК «ИЭС им. Е. О. Патона» на электронно-лучевой установке ВМ-1 [6] по следующей технологии. Лом чеканочного инструмента помещали в загрузочное устройство установки, печь вакуумировали. Плавку осуществляли четырьмя пушками: первая и вторая пушки плавят лом в промежуточную емкость, третьей пушкой нагревают расплав металла в промежуточной емкости, который затем сливают в кристаллизатор.

В кристаллизаторе с помощью четвертой пушки осуществляли нагрев слитка для создания благоприятной его структуры и бездефектной поверхности.

Получены цилиндрические слитки диаметром 60 мм и длиной 650 мм, из которых затем изготовили заготовки чеканочного инструмента (рис. 1, б). Опробованы различные технологические режимы плавки (табл. 2): от медленного переплава (режим 1) до переплава с высокой производительностью (режим 3). Содержание марганца возрастает при увеличении производительности плавки (рис. 2). Это объясняется уменьшением времени нахождения жидкой стали в промежуточной емкости, а следовательно, уменьшением испарения марганца из расплава. При скорости плавки 200 кг/ч массовая доля марганца в слитке соответствовала марочному составу стали 5XB2C (табл. 1).

Металл заготовок чеканочного инструмента подвергали металлографическим исследованиям. Микроструктуру выявляли в 4%-м растворе  $HNO_3$ , а затем изучали на оптическом микроскопе «Neophot-32» (рис. 3). Микротвердость измеряли на микротвердомере М-400 фирмы «Лесо» при нагрузке 100 г. Микроструктура образца исходного металла (рис. 3, а, б) является мелкодисперсным мартенситом и составляет  $HV\ 6810$  МПа по всему сечению.

Таблица 2. Технологические режимы электронно-лучевой плавки стали 5XB2C на установке ВМ-1

№ режима	Скорость плавки, кг/ч	Мощность пушек, кВт		
		1+2-я	3-я	4-я
1	100	100	60	35
2	145	150	40	20
3	200	180	30	15

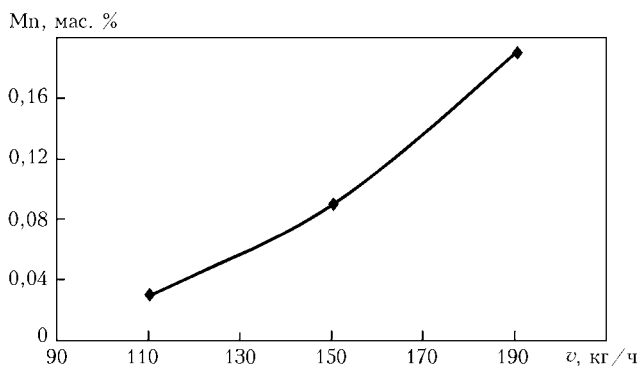


Рис. 2. Зависимость содержания марганца от режима плавки (табл. 2);  $v$  – скорость плавки

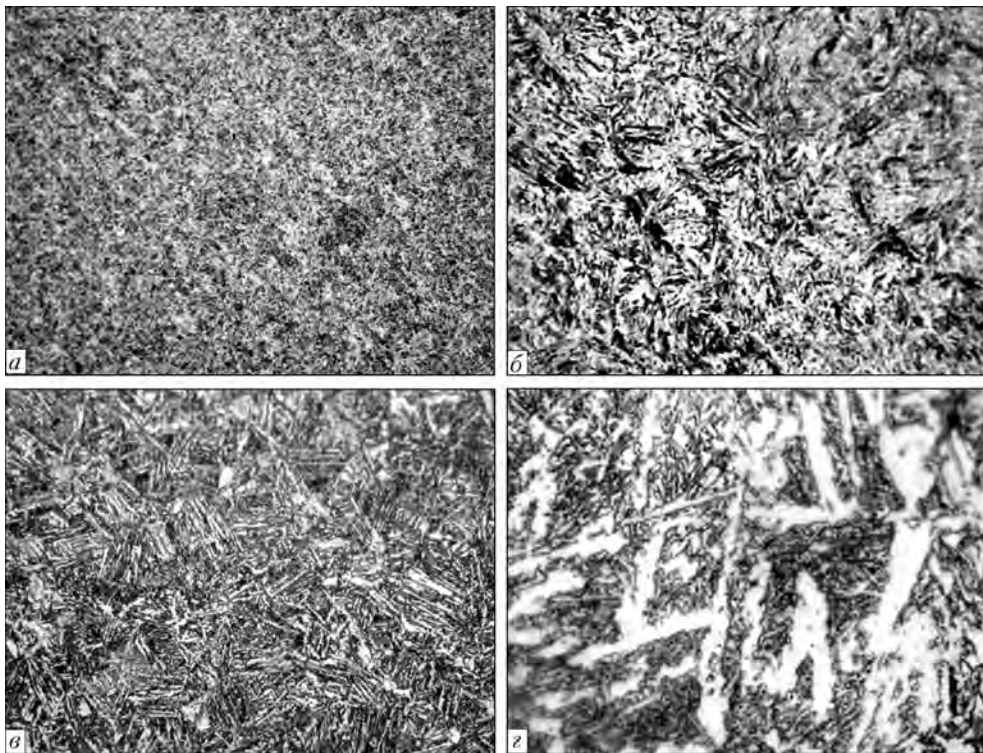


Рис. 3. Микроструктура стали 5ХВ2С: исходная (*a* –  $\times 100$ , *b* –  $\times 1000$ ); после ЭЛПЕ (*c* –  $\times 100$ , *d* –  $\times 1000$ )

Скорость охлаждения при закалке была достаточной для образования мелкодисперсного мартенсита. Такая структура способствует высокой прочности и низкой пластичности. Микроструктура образца металла ЭЛПЕ (рис. 3, *c*, *d*) является трооститной, что способствует уменьшению прочности и большей пластической деформации. Микротвердость составляет  $HV$  4010 МПа по краю образца, а ближе к центру зафиксировано снижение микротвердости до  $HV$  3830 МПа.

Металл заготовки, полученной из слитка ЭЛПЕ, характеризуется пластичностью, что позволяет изготовить из него инструмент необходимой формы.

### Выводы

1. Создана технология переплава отходов чеканочного инструмента для штамповки монет с помощью электронно-лучевой плавки с промежуточной емкостью, позволяющая обеспечить необходимые химический состав и свойства металла заготовки.

2. Показано, что данная технология позволяет осуществлять переработку использованных штампов Монетного двора Украины силами отечественных предприятий.

1. <http://www.rada.com.ua/rus/catalog/8322/>.
2. Есмушненко А. Т. Исследование влияния структуры, термической обработки и состава штамповой стали на хладноустойчивость // Ползунов. вестник. – 2009. – № 1-2. – С. 242–249.
3. Гуляев А. П. Металловедение. – М.: Металлургия, 1977. – 664 с.
4. Электронно-лучевая плавка / Б. Е. Патон, Н. П. Тригуб, Д. А. Козлитин, С. В. Ахонин и др. – Киев: Наук. думка, 1997. – 265 с.
5. Электронно-лучевая плавка титана / Б. Е. Патон, Н. П. Тригуб, С. В. Ахонин, Г. В. Жук. – Киев: Наук. думка, 2006. – 248 с.
6. Мушегян В. О. Электронно-лучевая установка для плавки молибдена // Современ. электрометаллургия. – 2010. – № 1. – С. 34–36.

ГП НТЦ «Патон-Армения»  
ИЭС им. Е. О. Патона НАН Украины  
Поступила 24.05.2011