

УДК 62-416:691-116

*И.В. Яцун, Ю.И. Ветошкин  
(I.V. Yatsun, Y.I. Vetoshkin)  
УГЛТУ, Екатеринбург*

**ПОЛУЧЕНИЕ ЛИСТОВОГО ПРОКАТА ИЗ ЛЕГКОПЛАВКОГО СПЛАВА ВУДА  
ДЛЯ АРМИРОВАНИЯ РЕНТГЕНОЗАЩИТНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ДРЕВЕСИНЫ  
(RECEIVING SHEET HIRE FROM WOOD'S FUSIBLE ALLOY FOR REINFORCING  
OF THE X-RAY PROTECTIVE MATERIAL ON THE BASIS OF WOOD)**

*Рассмотрен технологический регламент получения листового проката из легкоплавкого сплава Вуда в лабораторных и полупромышленных условиях, выполняющего роль защитного и связующего слоя в конструкции рентгенозащитного материала на основе древесины.*

*The production schedules of receiving sheet hire from Wood's fusible alloy in the laboratory and semi-industrial conditions, carrying out a role of a protective and binding layer in a design of a X-ray protective material on the basis of wood are considered.*

На кафедре механической обработки древесины Уральского государственного лесотехнического университета уже много лет ведутся разработки по созданию слоистых материалов на основе древесины, способных ослабить поток ионизирующего излучения (в частности рентгеновского). Один из разработанных материалов (ФАНОТРЕН А) представляет собой конструкцию, в которой слои лущеного березового шпона (матрица) чередуются со слоями фольги из легкоплавкого сплава Вуда. Особенность предложенной конструкции в том, что фольга является одновременно связующим и защитным слоем.

Проведенные литературные исследования позволяют сделать вывод о том, что в настоящее время нет методики получения листового проката легкоплавкого сплава Вуда, поэтому в статье дается подробное описание технологии получения фольги толщиной  $0,3 \pm 0,02$  мм для армирования слоистого рентгенозащитного материала на основе древесины.

**Постановка задачи.** Структура сплава  $\text{BiPbSn}$  определяется тройной диаграммой состояния. Проекция линии ликвидуса показывает, что кристаллизация сплава в диапазоне рассматриваемых концентраций осуществляется в три стадии. По мере охлаждения из жидкости (при свободном равновесном охлаждении) начинают выделяться кристаллы Sn по реакции  $\text{L} \rightarrow \text{Sn} + \text{Le}$ , на второй стадии происходит двойная эвтектика  $\text{L} \rightarrow \varepsilon(\text{Sn} + \text{Pb}) + \text{Le}$  и на третьей – тройная эвтектика  $\text{L} \rightarrow \varepsilon^*(\text{Sn} + \text{Pb} + \text{Bi})$ .

Такая схема кристаллизации предполагает получение твердого состояния, отличающегося двумя негативными свойствами:

– наличием грубой неравновесной структуры, состоящей из нескольких фаз, различающихся по свойствам;

– крупнозернистой структурой с величиной зерна 10–15 мм и диаметром 3–4 мм.

Гомогенизирующий отжиг мог бы решить проблему большого зерна, скорее всего, оно бы увеличилось за счет роста малоугловых границ.

Как показал эксперимент, деформация слитка с такой структурой в холодном состоянии приводит к его разрушению независимо от условий прокатки (скорости прокатки, степени деформации, диаметра валков и т.д.).

Попытки горячей прокатки также привели к положительному результату. Слиток превращался в кашеобразную массу и рассыпался. Существуют еще технологические причины, не позволяющие нагреть слиток до температуры прокатки.

Исследования показали, что сплав Вуда будет подвергаться холодной деформации при условии, что структура сплава должна представлять собой тонкую механическую смесь, состоящую преимущественно из четвертой эвтектики с мелкозернистой структурой (величина зерна 50–100 мм).

**Получение слитка.** Получение необходимой структуры слитка обеспечивается температурой нагрева расплава и охлаждением его со скоростью не ниже критической  $V_{кр}$ :

$$V_{кр} = \frac{\Delta T}{\tau_1 + \tau_2},$$

где  $\Delta T$  – оптимальная температура нагрева расплава, определенная экспериментальным путем (150–160 °С);

$\tau_1$  – время охлаждения до полной кристаллизации слитка, с;

$\tau_2$  – время охлаждения до конечной кристаллизации слитка, с.

**Техническое исполнение эксперимента.** Сплав в виде гранул засыпается в металлический ковш с ручной подачей и помещается в печь, разогретую до 300–500 °С.

Разливка металла осуществляется через воронку в разборную металлическую изложницу, предварительно разогретую до 40–50 °С, которая быстро погружается в емкость с холодной водой для охлаждения.

Полученные слитки подвергались прокатке на одноклетьевом четырехвалковом стане с диаметром валков 40 мм (в лабораторных условиях) и на одноклетьевом двухвалковом реверсивном стане с диаметром валков 260 мм шириной 260 мм (в полупромышленных условиях).

В результате были получены листы размером 1100×150 мм и толщиной 0,3 мм.

Отличительной особенностью листового проката из сплава Вуда является невысокая скорость прокатки и малая степень деформации, что объясняется заметным увеличением сопротивления деформации при увеличении скорости деформации выше критической.

Основные условия прокатки были получены экспериментальным путем:

1) скорость прокатки  $V_{np}$  150–200 мм/с (но не более 300 мм/с);

2) степень деформации  $\varepsilon$  4–5 % (с некоторым изменением при уменьшении толщины прокатного листа до 3 %);

3) схема прокатки: через 2–3 рабочих прохода с обжатием, 1–2 свободных прохода без обжатия  $\varepsilon = 0$  (для рихтовки «волны» и релаксации напряжений).

**Расчетные характеристики условий прокатки при полупромышленном способе получения фольги.** Расчет основных показателей, обеспечивающих получение высококачественного проката, производится в соответствии с [1, 2]:

а) определение полного давления на валец:

$$P = P_{cp} F,$$

где  $P$  – полное давление на валец, кг;

$P_{cp}$  – удельное (среднее) давление на валец, кг/мм<sup>2</sup>;

$F$  – горизонтальная проекция контактной площади соприкосновения металла с одним валком, мм<sup>2</sup>:

$$F = \frac{b_0 + b_1}{2} \sqrt{0,5 D_b \Delta h},$$

где  $b_0, b_1$  – соответственно ширина полосы без уширения и с уширением, мм;

$D_b$  – диаметр валка, мм;

$\Delta h$  – величина обжима, %.

$$F = \frac{150 + 160}{2} \sqrt{0,5 \cdot 260 \cdot 0,5} \approx 1300 \text{ мм}^2.$$

Величина  $P_{cp}$  рассчитывается по таблице [1], учитывающей превышение среднего удельного давления над пределом текучести в зависимости от коэффициента трения  $K_f$ , размеров деформации  $\delta$  и величины обжатия  $\varepsilon = 5\%$ .

$$\delta = \mu \frac{2 \sqrt{0,5 D_b \Delta h}}{0,5}.$$

По таблице [1] при  $\delta = 10\varepsilon = 0,5$  превышение среднего давления над пределом текучести  $\sigma_{0,2} = K_f = 1,0$  составляет около 1,4.

$$P_{cp} = 1,4 \cdot 1,15 \cdot K_f \approx 2 \text{ кг/мм}^2,$$

отсюда

$$P_{cp} = 2 \cdot 1300 = 2600 \text{ кг};$$

б) определение скорости деформации:

$$V_{деф} = 2 V_{окр} \frac{\sqrt{2 \Delta h / D_b}}{h_0 + h_1},$$

где  $V_{окр}$  – окружная скорость валков;  $V_{окр} = 200$  мм/мин;

$$V_{деф} = 2 \cdot 200 \frac{\sqrt{2 \cdot 0,5 / 260}}{23,5} \approx 1 \text{ с}^{-1}.$$

в) определение момента двигателя:

$$M_{ов} = M_{np} + M_{mp} + M_{дин},$$

где  $M_{np}$  – момент прокатки, т.е. полезный момент, затрачиваемый на деформацию металла:

$$M_{np} = Pa,$$

где  $a$  – длина рычага, см:

$$M_{np} = 2600 \cdot 26 = 6,76 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$M_{mp}$  – момент сил трения:

$$M_{mp} = Pd\mu,$$

где  $d$  – диаметр шейки валка, равный 150 мм;

$\mu$  – коэффициент трения, равный 0,07:

$$M_{mp} = 2 \cdot 2600 \cdot 15 \cdot 0,07 = 0,55 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$M_{дин}$  – динамический момент, возникающий при неравномерном вращении валков (инерционные усилия):

$$M_{дин} = \frac{GD^2}{3,75},$$

где  $G$  – вес вращающегося тела, равный 130 кг;

$$M_{дин} = \frac{130 \cdot 26^2}{3,75} = 23,43 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

отсюда имеем

$$M_{ов} \approx 30 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

#### Библиографический список

1. Шпагин А.И. Справочник по машиностроительным материалам. М.: Машгиз, 1959. Т. 2. С. 320–355.
2. Смирягин А.П., Шпагин А.И. Оловянистые бронзы, баббиты, припои и их заменители. М.: Металлургия, 1949. 494 с.