

## ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ПРУТКОВ И ПРОВОЛОКИ ИЗ НОВОГО ПРИПОЙНОГО СПЛАВА НА ОСНОВЕ СЕРЕБРА

Виноградов О.О., Архипов Ю.А., Лопатина Е.С.

Научный руководитель – д.т.н., профессор Сидельников С.Б.  
Сибирский федеральный университет

На предыдущих этапах исследований была создана модельная установка и проведены расчеты для модельного материала при разработке новой технологии получения деформированных полуфабрикатов из сплавов на основе серебра. В настоящей статье приведены результаты дальнейших исследований, включающих определение температурных параметров процесса совмещенного литья, прокатки и прессования (СЛИПП), а также экспериментов по получению прутков из нового сплава ПСр-40 на опытно-промышленной установке.

Для производства пресс-изделий из цветных металлов и сплавов предложено запатентованное устройство для непрерывного литья, прокатки и прессования металла. На его базе была создана опытно-промышленная установка СЛИПП-200, включающая деформирующий узел с диаметром прокатных валков 200 мм, поджимное гидравлическое устройство и блок тензометрических измерений энергосиловых параметров процесса.

Применение данного устройства актуально, например, для получения припойной проволоки из сплавов на основе серебра. Однако для проектирования технологических режимов обработки необходимо знать закономерности распределения температуры полуфабриката и тепловые условия процесса. С этой целью моделировали процесс СЛИПП с помощью разработанной ранее программы «СЛИПП» с использованием системы программирования DELPHI (рис. 1).

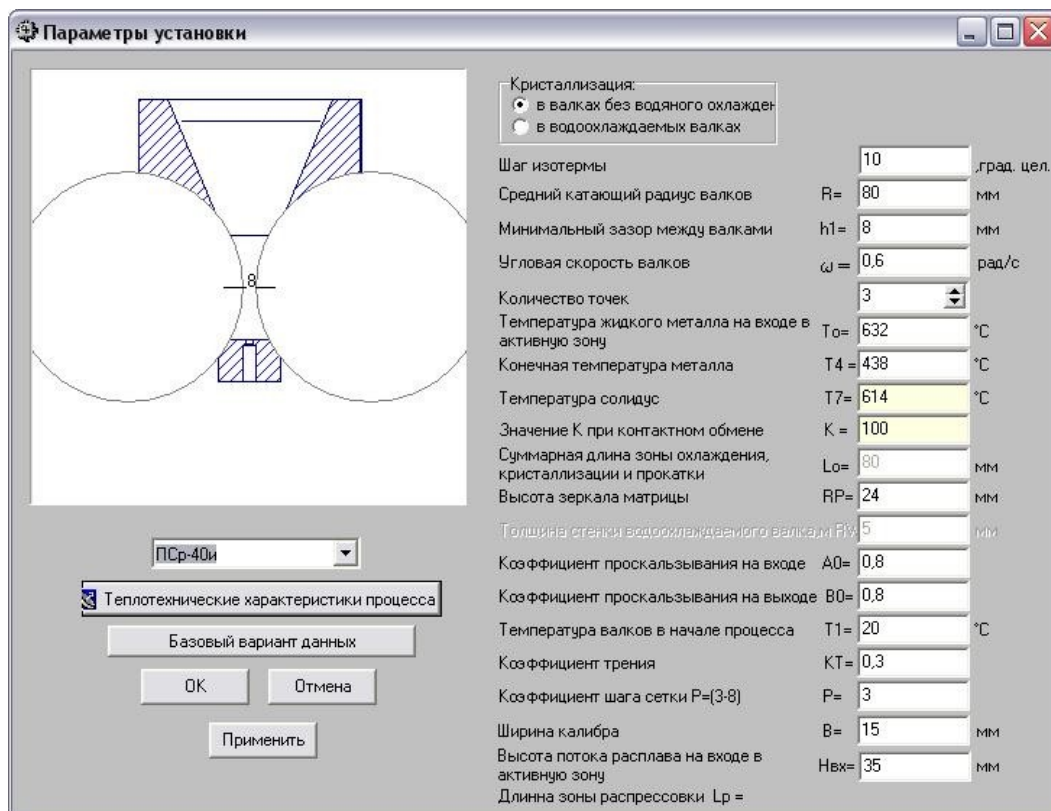


Рис. 1. Окно программы с исходными данными для расчета

В качестве значимых параметров были выбраны следующие:  $h_1$  – минимальный зазор между валками;  $h_p$  – высота зеркала матрицы;  $h_{вх}$  – высота входа расплава в активную зону, которая может быть рассчитана по известным геометрическим соотношениям;  $\omega$  – угловая скорость валков;  $R$  – средний радиус валков. При этом температура расплава на входе в активную зону была строго фиксированной и равнялась  $T_0 = 632^\circ\text{C}$ . Температура валков в начале процесса составляла  $T_{в} = 20^\circ\text{C}$ . Кроме того, задавались соответствующие теплотехнические характеристики для серебра (см. рис. 2) и значение коэффициента  $K$  при контактном обмене ( $K=100$ ). Значение  $K$  используется в качестве дополнительного корректирующего коэффициента, учитывающего процессы теплопередачи иными механизмами (конвекцией, испарением, кипением жидкости и др.).

Результаты расчета для различных условий ведения процесса (водоохлаждаемые и неводоохлаждаемые валки) представляли в виде графиков зависимости температуры металла от времени протекания процесса по длине зоны очага кристаллизации-деформации (рис. 3) в трех характерных местах (сечениях): в центре полуфабриката, на поверхности контакта металла с валками и на оси, равноудаленной от них. Распределение температуры носит нелинейный характер, при этом как видно из графиков на поверхности контакта значение температуры значительно ниже, чем в центральных слоях, что обусловлено отбором тепла валками. Температура валков по сечению (см. рис. 3 б) соответствует общепринятым представлениям, при этом на поверхности контакта с металлом она достигает  $480^\circ\text{C}$ , а в центральной области соответствует комнатной. Характерной особенностью полученных зависимостей является незначительное уменьшение температуры на контакте с водоохлаждаемыми валками, всего на  $80 - 100^\circ\text{C}$ . По всей видимости, данное явление обуславливается теплофизическими свойствами исследуемого сплава. Проведенные теоретические расчеты изменения температуры в процессе литья, прокатки и прессования показали, что этот процесс может быть осуществлен с минимальными энергозатратами.

Для реализации такого процесса необходимо создание экспериментальной установки на базе предложенного устройства и проектирование инструментального узла с целью получения заготовки для производства припойной проволоки.

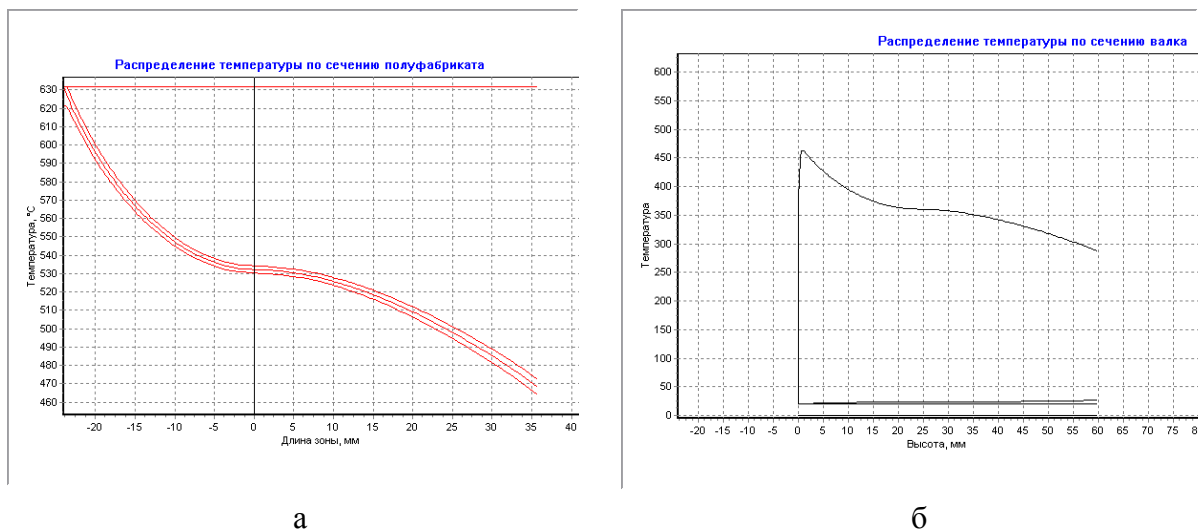


Рис. 2. Зависимости распределения температуры металла по длине зоны очага кристаллизации-деформации (а) и температуры валков на контакте и в центре (б)

С использованием результатов компьютерного моделирования, представленных выше, для получения проволоки была спроектирована и изготовлена эксперименталь-

ная установка. Опробование процессов совмещенной обработки проводилось на сплаве ПСР-40 с помощью способа совмещенного литья, прокатки и прессования на опытно-промышленной установке СЛИПП-200. Результаты исследований в виде опытных образцов пресс-изделий приведены на рис. 3.



Рис. 3. Вид недоката и пресс-изделия из сплава ПСР-40

Для формирования требований технического задания на проектирование опытно-промышленной установки провели исследование энергосиловых параметров, для чего с помощью месдоз и фиксирующей аппаратуры на установке СЛИПП-200 измеряли усилия, действующие на валки и матрицу при реализации процесса заливки металла непосредственно в валки и последующей его кристаллизации-деформации с получением пресс-изделий диаметром 7 и 9 мм. С помощью самописца были построены осциллограммы и зафиксированы следующие значения силовых параметров:

- для прутка диаметром 7 мм максимальное усилие на валках составило 195,31 кН, а максимальное усилие на матрице – 258,35 кН;
- для прутка диаметром 9 мм максимальное усилие на валках составило 94,96 кН, а максимальное усилие на матрице – 163,96 кН.

Для исследования механических свойств полученных полуфабрикатов из прутка диаметром 9 мм были изготовлены образцы для проведения испытаний методом растяжения из нового сплава ПСр-40. Образцы имели длину рабочей зоны 30 мм и диаметр 6 мм. Один из образцов был подвергнут отжигу при температуре 500 °С, второй остался упрочненным. Испытания проводили на универсальной машине LFM 400, а их целью было определение временного сопротивления разрыву, предела текучести, относительного удлинения и относительного сужения при разрушении образца. В результате проведения испытаний были определены механические свойства деформированного и отожженного образцов (табл. 1).

Табл. 1. Механические свойства прутков из сплава ПСР-40

Параметр	Состояние образца	
	после деформации	после отжига
Временное сопротивление разрыву, МПа	579,7	392,2
Предел текучести, МПа	141,9	33,2
Относительное удлинение, %	4,1	16,5

Для металлографических исследований были подготовлены микрошлифы из полученных образцов, причем материал прутка диаметром 9 мм исследовался как в деформированном, так и в отожженном состоянии. Срез образцов подвергался шлифовке, полировке и травлению. Исследование проводилось с помощью микроскопа, имеюще-

го кратность увеличения 800 и 1600. В результате исследования было выяснено, что соотношение между серебром и медью 40:35 соответствует несколько заэвтектическому положению сплава на двойной диаграмме Ag-Cu. Поэтому структура припоя в литом состоянии содержит достаточно пластичные избыточные кристаллы твердого раствора компонентов системы на основе меди и эвтектику между твердыми растворами на основе меди и серебра. Цинк и индий находятся в составе указанных твердых растворов, не образуя самостоятельных интерметаллидных фаз. Однако, в системе Cu-In возможно выделение вторичных выделений интерметаллида  $\delta$ -фазы, что может привести к достижению достаточной прочности припойного сплава.

Для проведения пластической деформации сплав подвергался отжигу при температуре 400 – 450 °С с выдержкой порядка 1 часа. Условия горячей деформации определялись этими же температурными интервалами. Это тем более важно, так как превышение этого температурного интервала может привести к эффекту пережога, как при термической обработке, так и при горячей пластической деформации. Далее проводилось волочение с целью получения проволоки диаметром 1,2 – 2,0 мм.

Таким образом, было проведено компьютерное моделирование и экспериментальное опробование процесса совмещенного литья, прокатки и прессования, результаты которого позволили утверждать, что для получения пресс-изделий небольшого поперечного сечения из серебра и его сплавов можно применять схему совмещенной обработки с использованием в качестве исходного материала расплава металла. Выявлены закономерности распределения температуры вдоль очага деформации-кристаллизации и влияние на нее охлаждения инструмента. На экспериментальной установке СЛИПП-200 получены образцы пресс-изделий разного диаметра, замерены энергосиловые параметры процесса, определены механические свойства и проведены металлографические исследования свойств образцов из нового припойного сплава на основе серебра ПСр-40.