

Раздел IV. Цветные сплавы

Р. К. Мысик, Ю. Н. Логинов, С. В. Брусницын, А. В. Сулицин (ГОУ ВПО «Уральский государственный технический университет»)

Особенности литья и реологических свойств литых прутковых заготовок из бериллиевой бронзы

Бериллиевые бронзы представляют собой дисперсионно-твердеющие сплавы, обладающие высокими механическими свойствами (прочностью, пластичностью, упругостью). Кроме того, они обладают высокой коррозионной стойкостью, жаропрочностью, криогенной прочностью, циклической прочностью, не магнитны, не дают искры при ударах.

Растворимость бериллия в меди составляет при 879°C 3% (масс.), при эвтектической температуре 578°C - 1,4% (масс.), при 300°C - 0,2% (масс.), т.е. с понижением температуры растворимость Be в Cu резко падает. Кристаллизуются бронзы с образованием α -твердого раствора, далее при понижении температуры α -твердый раствор распадается с выделением β -фазы, состав которой является переменным в широких пределах. При температуре 578°C β -фаза распадается на α -твердый раствор и γ -твердый раствор. Фаза γ является упорядоченным раствором на основе химического соединения CuBe. При дальнейшем охлаждении в результате резкого снижения растворимости Be в Cu происходит дальнейшее выделение частиц γ из α и упрочнение α -твердого раствора. Эти превращения дают возможность управлять свойствами бериллиевых бронз (переменная растворимость Be в Cu дает возможность применять различные режимы термообработки).

При этом структура сплавов в литом состоянии имеет решающее значение. Упрочнителем бериллиевых бронз является γ -фаза, размер и равномерность распределения которой в значительной степени определяют прочностные характеристики сплавов.

Установлено, что наиболее высоких свойств удается достичь при использовании закалки и старения, причем, чем дисперснее γ -фаза в литом состоянии и меньше размер зерна, тем эти свойства выше. Именно поэтому предпочтительно получать литые заготовки из бериллиевой бронзы небольшого сечения. Как термически тонкие тела, такие заготовки подвергаются более интенсивному охлаждению, чем слитки крупных сечений. Поэтому создаются условия для создания большого количества центров кристаллизации, что сдерживает рост зерна.

Выполнен сравнительный анализ уровня механических свойств слитков

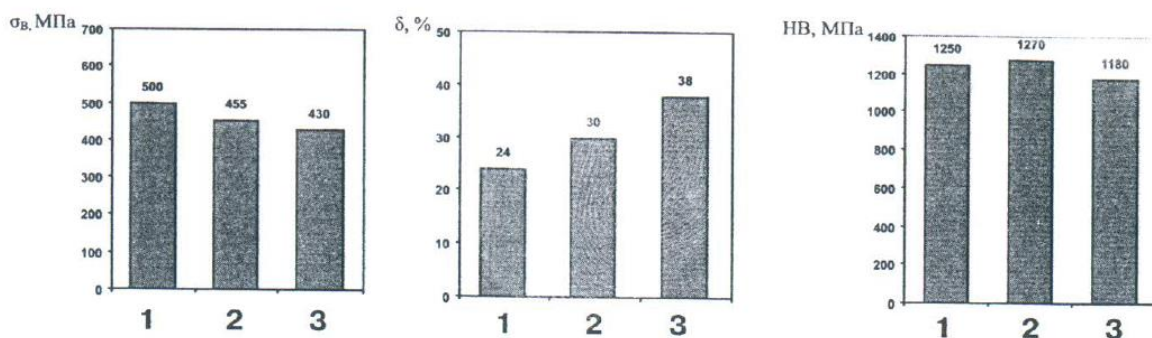


Рис. 1. Уровень механических свойств слитка БрБ2 диам. 200 мм в сравнении с механическими свойствами литой заготовки из БрБ2 диам.13 мм: 1 - слиток диам. 200 мм; 2 - литая заготовка диам. 13 мм, отлитая без вторичного охлаждения; 3 - литая заготовка диам. 13 мм, отлитая с вторичным охлаждением

бериллиевой бронзы марки БрБ2 диаметром 200 мм, отлитых методом вертикального непрерывного литья в прямоточный кристаллизатор скольжения с выходом воды на слиток, и прутковой заготовки диаметром 13 мм, отлитой на установке горизонтального непрерывного литья.

Способ горизонтального непрерывного литья заключается в вытягивании из расплава заготовок через многоручьевые водоохлаждаемые кристаллизаторы, смонтированные в переднюю стенку плавильной печи, внутреннее пространство которой разделено на две части (плавильную и раздаточную) огнеупорной перегородкой с каналом для перетока расплава из плавильной части в раздаточную.

Литье прутковой заготовки производилось как с применением вторичного водяного охлаждения с непосредственным выходом воды на заготовку, так и без него.

Уровень механических свойств образцов, вырезанных из слитка бериллиевой бронзы марки БрБ2 диаметром 200 мм в сравнении с механическими свойствами прутковой заготовки из БрБ2 диаметром 13 мм, отлитой методом горизонтального непрерывного литья с применением вторичного охлаждения и без него приведен на рис. 1.

Установлено, что наиболее благоприятными механическими свойствами с точки зрения дальнейшей пластической обработки в холодном состоянии обладает прутковая заготовка, отлитая с применением вторичного охлаждения с непосредственным выходом воды на заготовку.

Для оценки деформируемости полученного материала применяли следующую методику. Литой пруток диаметром 13 мм разрезали на мерные длины, из них изготавливали цилиндрические заготовки высотой около 20 мм торцеванием на токарном станке. Полученные образцы подвергали осадке на шлифованных бойках с применением смазки контактных поверхностей чешуйчатым графитом в смеси с машинным маслом. Тем самым обеспечивали условия создания одноосного напряженного состояния при дальнейшей деформации.

Испытания проводили на вертикальном гидравлическом прессе, развивающем максимальное усилие 500 кН. При первичном нагружении выше 40 кН достигали пластического состояния металла, извлекали образец, измеря-

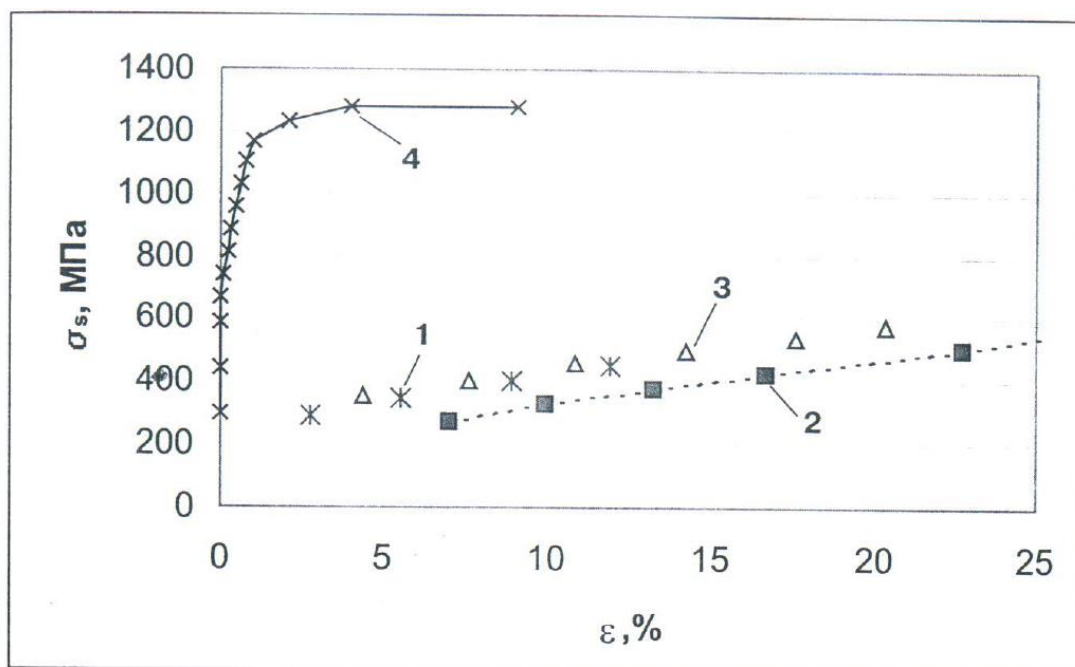


Рис. 2. Зависимость сопротивления деформации от относительного обжатия для бериллиевой бронзы БрБ2, литой прутки диам. 13 мм: 1 - исходное литое состояние; 2 - состояние после закалки, выдержка 1 час при температуре 790°C, охлаждение в воду; 3 - отжиг; 4 - состояние после закалки и старения

ли его высоту, возобновляли слой смазки, нагружали усилием, большим первоначального на 10 кН, цикл повторяли. При обработке результатов опытов принимали, что напряжение достижения пластического состояния является сопротивлением деформации σ_s . Если допустить справедливость гипотезы единой кривой, то полученные значения σ_s можно считать равными условному пределу текучести материала. Как величина σ_s , так и величина $\sigma_{0,2}$ зависят от вида материала и вида его термомеханической обработки. Следует отметить, что бериллиевые бронзы допускают большое количество вариантов термомеханической обработки, в данной работе приведены лишь небольшое количество таких вариантов, осуществленных на испытываемых образцах.

• *Литое состояние без дополнительной термомеханической обработки.* Графики зависимости сопротивления деформации σ_s от относительного обжатия при осадке приведены на рис. 2. Выявлено, что для литого состояния характерно неравномерное распределение механических характеристик по длине отлитого прутка. Из графика следует также, что литой металл может быть подвергнут высокой степени деформационного упрочнения.

• *Литое состояние с закалкой.* Закаленное состояние обеспечивали нагревом образцов в силитовой печи до температуры 790°C, выдержкой 1 час при этой температуре и охлаждением в воду. Нижняя штриховая линия на графике рис. 2 показывает, что напряжения пластического течения для литой бронзы в состоянии закалки уменьшились на 20-40% в зависимости от относительного обжатия. Этот факт, в частности говорит о том, что если за

калка за счет быстрого охлаждения при литье и осуществилась, то она прошла не полностью.

- *Литое состояние с отжигом.* Отожженное состояние обеспечивали нагревом образцов в силитовой печи до температуры 790°C, выдержкой 1 час при этой температуре и охлаждением образцов на воздухе. Как видно из графика, полученные свойства практически совпали со свойствами, характерными для литого состояния. Отсюда можно сделать вывод о том, что после литья достигается скорее отожженное состояние, чем закаленное.

- *Литое состояние с закалкой и старением.* Предварительно закаленные образцы по режиму, описанному выше подвергали старению при температуре 320°C в течение 5 часов. В результате сопротивление деформации возросло в ненагартованном состоянии до 700 МПа против 200 МПа.

- *Литое состояние с закалкой, старением и деформационной обработкой.* Как видно из графика, термоупрочненная литая бронза упрочняется от 700 МПа до 1270 МПа, т.е. почти в два раза при применении даже небольшого относительного обжатия 5%.

Результаты выполненного эксперимента позволили сделать выводы.

Во-первых, уровень механических свойств определяется способом литья и размером литой заготовки. Влияние масштабного фактора на механические свойства можно объяснить следующим образом. Чем больше объем слитка, тем больше вероятность существования структурных факторов, оказывающих влияние на свойства сплава. В частности, уменьшение размера зерна и γ -фазы способствует повышению пластичности и некоторому увеличению предела прочности на разрыв.

Во-вторых, для оценки деформируемости сплава может быть использована методика осадки образцов на шлифованных бойках. Следует отметить, что при литье заготовки с использованием вторичного охлаждения происходит частичная закалка сплава, что подтверждается экспериментальными данными при изучении зависимости сопротивления деформации от относительного обжатия заготовки в литом, закаленном и отожженном состояниях.