

## ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК ИЗ МЕДНЫХ СПЛАВОВ

*Р.К. Мысик, С.В. Брусницын, А.В. Сулицин, М.О. Ивкин, А.В. Карпинский*

Рассмотрены проблемы производства литых заготовок из медных сплавов, содержащих легкоокисляющиеся и легкоиспаряющиеся элементы (Cr, Zr, Cd, Zn, Si и др.). Проанализированы возможные способы ввода легирующих элементов в расплав. Изучены кинетика растворения хрома в расплаве меди и его распределение по сечению и длине слитка при полунепрерывном литье. Кроме того, представлены результаты исследования влияния покровных флюсов в кристаллизаторе при полунепрерывном литье на структуру и свойства сложнолегированных латуней. Полученные в ходе исследования данные положены в основу разработки технологии плавки и полунепрерывного литья медных сплавов.

*Ключевые слова:* медный сплав, легирование, полунепрерывное литье, кинетика растворения, структура, механические свойства.

В промышленности применяется ряд низколегированных медных сплавов, в состав которых входят легкоиспаряющиеся и легкоокисляющиеся элементы, например, кадмий, хром, цирконий, алюминий, бериллий и др.

Хромовые бронзы относятся к числу наиболее распространенных низколегированных медных сплавов. Наибольшее применение в промышленности нашли хромовые и хромциркониевые бронзы. В металлургии хромовые бронзы находят применение для изготовления кристаллизаторов установок непрерывной разливки сплавов, барабанов-кристаллизаторов при производстве аморфной ленты из стали и кобальтовых сплавов. В электро-технике двойная хромовая бронза используется для изготовления коллекторных пластин для высоконагруженных двигателей и контактных колес, проводников электрического тока и т. д. В машиностроении эти бронзы используются для изготовления шестерен, тормозных колодок автомобилей и самолетов, элементов мощных двигателей внутреннего сгорания. Весьма перспективно применение хромовых бронз в качестве материала кокилей при литье легких сплавов, пресс-форм и штампов в производстве пластмасс, керамики и др.

Высокие требования к изделиям из этих сплавов предъявляются по твердости, электро- и теплопроводности, которые в свою очередь определяются химическим составом и равномерностью распределения упрочняющих фаз. Хромовые и хромциркониевые бронзы, как и все низколегированные сплавы, имеют ряд особенностей. Во-первых, корреляция между их физическими, механическими и эксплуатационными свойствами определяется свойствами основы сплавов, т. е. меди. Во-вторых, хромовые бронзы являются дисперсионно твердеющими сплавами и имеют оптимальное сочетание физических, механических и эксплуатационных свойств после термической и термомеханической обработки (ТМО). При этом термическая обработка включает закалку, которая

фиксирует пересыщенный  $\alpha$ -твердый раствор, и старение, в результате которого происходит его распад с выделением дисперсных частиц фаз-упрочнителей.

Следует отметить, что сравнительно высокие пластические свойства хромовых бронз в широком температурном интервале обеспечивают хорошую их технологичность на всех стадиях горячей и холодной обработки давлением. Главное отличие хромовых бронз от других низколегированных медных сплавов состоит в том, что в их состав входят легирующие элементы с большим сродством к кислороду (Cr, Zr, Ti, V и др.). Кроме того, при легировании цирконием и титаном очень малы допуски по химическому составу ( $\pm 0,03 \dots 0,04$  %), а также достаточно строго ограничено содержание примесей.

Как показал многолетний опыт работы с этими сплавами, для их плавки можно использовать почти все типы плавильных печей – дуговые, индукционные тигельные и каналные, пламенные шахтные и отражательные. Для защиты расплава от окисления применяют древесный уголь, сажу, различные флюсы, газы, вакуум [1]. При этом одним из важнейших вопросов технологии остается способ легирования сплава ранее приведенными легирующими элементами, а также подготовка расплава к легированию.

Легирование меди хромом и цирконием можно осуществлять двумя способами – лигатурами медь–хром и медь–цирконий и чистыми металлами. Выплавку лигатуры медь–хром рекомендуется вести в вакуумных печах во избежание насыщения ее кислородом и уменьшения потерь хрома [2]. Однако при выплавке лигатуры расплав необходимо перегревать до температуры 1600 °С и выдерживать его в печи длительное время до полного растворения хрома. Это приводит к взаимодействию хрома с графитом тигля и графито-шамотной прибыльной надставкой, вымыванию из тигля частиц графита и увлечению их в расплав. В результате в

полуфабрикатах из сплавов Cu–Cr визуально наблюдаются включения темного цвета. Установлено [3], что макровключения представляют собой графит с примесями Fe, S, Si, Al, O.

Поскольку содержание хрома в лигатуре невелико (не превышает, как правило, 6...7%), то доля лигатуры в составе шихты значительна и иногда достигает 22...25%. Более того, неоднородность лигатуры по составу затрудняет шихтовку сплава. Получение однородных меднохромовых лигатур с более высоким содержанием хрома оказывается затруднительным ввиду наличия в системе Cu–Cr расслоения в жидком состоянии. В работе [4] представлена технология получения полуфабриката из сплава Cu–Cr с содержанием хрома 18...22% и равномерным распределением его по сечению слитка, предусматривающая быстрый нагрев и расплавление шихты, перегрев расплава до температуры 1873...1973 К, введение Cr и разливку при температуре 1723...1773 К в водоохлаждаемую изложницу. Опыт работы показал, что усвоение хрома происходит практически полностью.

Справедливости ради следует отметить, что температурно-временной режим плавки с использованием лигатуры медь–хром несколько ниже, чем с использованием чистого хрома. Однако эта разница невелика и не искупает недостатков применения лигатуры.

Трудности шихтовки при использовании лигатуры связаны с неизбежными поплавоочными колебаниями состава лигатуры, возможными ошибками при химическом анализе, ликвацией легирующего компонента по высоте и поперечному сечению слитка. Степень ликвации хрома достигает 150...220%. Даже при резке на куски лигатуру сложно усреднить.

Преимущества легирования чистыми металлами заключаются в следующем. Во-первых, ввиду многократного уменьшения массы вводимой навески чистых металлов их удобнее присаживать в металл. Во-вторых, в результате исключения стадии выплавки и подготовки лигатуры заметно уменьшаются сквозные потери легирующих элементов и резко упрощается технологическая схема производства.

Что касается циркония, который легко растворяется в медном расплаве и имеет низкую упругость паров, применение лигатуры может оправдываться только опасностью окисления. При легировании же чистыми металлами взамен лигатур заметно повышается стабильность состава выплавляемых сплавов.

К изделиям из низколегированных медных сплавов предъявляются высокие требования по твердости, качеству поверхности, теплопроводности и электропроводности. Ранее выполненные эксперименты [5, 6] показали, что скорость растворения хрома зависит от содержания примесей в сплаве, которые находятся в хrome или лигатуре медь–хром и в меди (в частности, кислород, алю-

миний, кремний, фосфор), состава покровного флюса и исходного размера кусков хрома.

Кинетику растворения металлического хрома в жидкой меди изучали путем отбора из расплава проб через определенные промежутки времени. В эксперименте изменяли размер кусков хрома и температуру расплава при легировании. Химический анализ осуществляли на приборе Spectrolab S. Размер кусков хрома и температура расплава оказывают существенное влияние на скорость растворения хрома. Установлено, что при размере кусков металлического хрома 10...20 мм степень его растворения через 30 мин после ввода составляет 70...80%. Причем, повышение температуры расплава меди с 1300 до 1350 °C приводит к увеличению скорости растворения хрома и наоборот. Это исследование позволило назначить термовременной режим плавки хромовой бронзы. Результаты исследования находятся в соответствии с ранее выполненными экспериментами [5, 6].

Как отмечалось ранее, существенное влияние на скорость растворения хрома в меди оказывают примеси, содержащиеся в хrome или лигатуре. Установлено, что для повышения степени усвоения хрома медью лигатура должна содержать высокоактивные раскислители, например, Ti, Al. По всей вероятности, решающее значение имеет количество раскислителя. Если количество вводимого элемента с высоким сродством к кислороду меньше, чем необходимо для связывания растворенного в жидкой меди кислорода, то оно оказывает только раскисляющее действие. Если его количество больше необходимого для связывания кислорода, то элемент будет проявлять не только раскисляющее действие, но и легирующее и модифицирующее, оказывая влияние на фазовый состав сплава и на дисперсность выделяющихся фаз.

В связи с этим был проведен эксперимент, в котором раскисление расплава меди проводилось лигатурой Mg–Zr (содержание циркония составляло 20%). При выплавке сплава последовательность операций раскисления, ввода легирующих компонентов может повлиять на эффект функционального воздействия этих компонентов. В связи с тем, что процессы изменения макростроения расплава хромовой бронзы не изучали, действие магния и циркония оценивали только по структуре и свойствам сплава. Оценивая именно это конкретное воздействие, можно считать магний раскислителем и модификатором, а цирконий, кроме этой функции, выполняет еще роль микролегирующего элемента. Чтобы усилить роль микролегирующего действия циркония, необходимо глубоко раскислить расплав. В противном случае происходит загрязнение сплава оксидом циркония.

Известно, что элементы с большим сродством к кислороду оказывают влияние на процессы, происходящие в расплаве и в период его кристаллизации. К этим процессам следует прежде всего отнести изменение макростроения жидкого сплава,

которое, в свою очередь, определяет дисперсность кристаллизующихся фаз.

В промышленных условиях выполнены сравнительные исследования качества слитков, распределение хрома и циркония по длине и поперечному сечению слитков при легировании расплава лигатурой медь–хром, полученной методами вакуумной и открытой плавки, а также чистым хромом. Плавка производилась в индукционной канальной печи, отливка слитков диаметром 190 мм – на установке полунепрерывного литья. Контролировались следующие параметры: температура расплава в печи, скорость литья, давление охлаждающей воды в кристаллизаторе. В качестве покрова расплава в печи применяли октаборат натрия, криолит и сажу в определенном соотношении, полагая, что первый выполнит роль поверхностного раскислителя, второй окажет рафинирующее действие в отношении примесей, а сажа снизит потери тепла с поверхности расплава [7]. Температура расплава в печи составляла 1280...1300 °С. Качество слитка оценивали по наличию поверхностных дефектов (трещин, засоров, неслитин и др.), распределению хрома по длине и поперечному сечению слитка, плотности металла.

Опыты показали, что при использовании лигатуры с содержанием хрома 4 % как вакуумной, так и открытой плавкой на поверхности готовых изделий (прутков) обнаружены темные включения, иногда строчечные. Есть основание предполагать, что это могут быть нерастворившиеся частицы хрома, а также неметаллические включения. Твердость на торце и боковой поверхности прутков отличается иногда на 8–10 единиц по Бринеллю.

Использование лигатуры медь–хром, полученной открытой плавкой в высокочастотной печи, привело к значительным потерям хрома. Кроме того, оксид хрома на поверхности кусков лигатуры снижает скорость растворения хрома в меди и приводит к большим потерям хрома со шлаком.

Конечно, угар легирующих элементов, время их растворения в расплаве, количество шлаковых включений очень трудно прогнозировать из-за отсутствия данных о содержании кислорода в расплаве. Установлено [4], что повышение содержания кислорода в меди от 0,001 до 0,01 % уменьшает количество растворенного хрома с 60 до 40 % (отн.), а снижение концентрации кислорода в меди менее 0,001 % уже не оказывает заметного влияния на скорость и полноту растворения хрома. Поэтому раскисление расплава перед легированием, т. е. подготовка его к легированию в значительной степени решает эту проблему. Следует только иметь в виду, что при раскислении меди специально вводимыми раскислителями остаток элемента-раскислителя может уменьшить электропроводность сплава, а также увеличить его горячеломкость. Довольно эффективно использование литья, магния, бора и церия.

В данной работе в качестве раскислителя использовали лигатуру магний–цирконий (содержание циркония 20 %) и магний. Хром вводился в расплав в медной фольге через 2...3 мин после раскисления при температуре расплава 1280 °С. Через 25...30 мин, когда температура расплава достигала 1300...1350 °С, его перемешивали и начинали разливку на установке полунепрерывного литья в кристаллизатор высотой 400 мм. Скорость литья составляла 5,2 м/ч, давление воды в кристаллизаторе 0,2 атм, покров в кристаллизаторе – сажа, покров расплава в печи – октаборат натрия и криолит с добавлением сажи. Результаты химического анализа показали, что наиболее интенсивное растворение хрома было отмечено в первые 30 мин. Причем чем меньше размер кусков хрома, тем выше интенсивность его растворения [8, 9].

Известно, что скорость растворения хрома лимитируется диффузией и может быть описана уравнением Шукарева – Нэрнста [2]:

$$g = \frac{D_{Cr}^{Cu}}{\delta} (c_0 - c) S,$$

где  $D_{Cr}^{Cu}$  – коэффициент диффузии хрома в меди;  $\delta$  – толщина диффузионного слоя;  $c_0$  – предельная растворимость хрома в диффузионном слое;  $c$  – концентрация хрома в расплаве;  $S$  – площадь поверхности растворения.

Проведенные эксперименты подтверждают ранее высказанные теоретические предпосылки. Для большинства металлов коэффициент диффузии в жидком металле-основе находится в пределах  $(1...5) \cdot 10^{-5}$  см<sup>2</sup>/с.

Превышение температуры жидкого металла вызывает довольно быстрый рост коэффициента диффузии по закону:

$$D = D_0 e^{-\frac{Q}{RT}},$$

где  $D_0$  – постоянная величина;  $T$  – температура;  $R$  – газовая постоянная;  $Q$  – энергия активации.

Однако несмотря на то, что в жидких металлах коэффициент диффузии больше примерно в 1000 раз, практически невозможно добиться необходимого усреднения состава сплава только за счет диффузии.

Простые расчеты показывают, что расстояние  $x$ , на котором находится слой с заданной концентрацией хрома в меди, определяемое по уравнению

$$x = m\sqrt{D \cdot \tau},$$

где  $m$  – коэффициент пропорциональности, равный 1,03 [3];  $D$  – коэффициент диффузии ( $5 \cdot 10^{-5}$  см<sup>2</sup>/с);  $\tau$  – время, с, составляет:

$\tau$ , с	950	1800	3600	4500
$x$ , см	0,212	0,309	0,424	0,474

В жидких металлах кроме диффузионного имеет место и конвективный массоперенос, который, в свою очередь, определяется кинематической вязкостью расплава, температурным коэффициентом объемного расширения, перепадом тем-

ператур, типом печи, в которой плавится металл и т. д. И тем не менее при плавке не удастся достичь необходимого усреднения расплава только за счет диффузии и конвекции. Требуется прибегать к механическому перемешиванию расплава перед разливкой.

Для анализа равномерности распределения хрома по поперечному сечению и длине слитка отбирали темплеты. Темплеты вырезались по схеме, представленной на рис. 1.

Результаты анализа содержания хрома в опытных слитках представлены в таблице.

Анализ результатов проведенных промышленных экспериментов показал, что при использовании металлического хрома обеспечивается равномерное его распределение по поперечному сечению и длине слитка.

Высокий уровень механических и эксплуатационных свойств сплавов, используемых для производства изделий различного назначения, продиктован возрастающими требованиями к ресурсу работы и надежности узлов и агрегатов. В сложнoleгированных сплавах на основе меди за счет высокой степени легирования формируется структура, обеспечивающая необходимый уровень не только механических, но и эксплуатационных свойств, таких как износостойкость, коррозионная стойкость, жаропрочность, высокая электропроводность. К этим сплавам можно отне-

сти сложнoleгированные износостойкие латуни (ЛМцАЖКС 70-7-5-2-2-1, ЛМцКНС 58-3-1,5-1,5-1 и ЛМцАЖН 59-3-2-0,5-0,5 и др.), которые широко используются в автомобилестроении, газовой и нефтяной промышленности. Однако создание новых ресурсосберегающих технологий и совершенствование традиционных способов литья часто базируется на эмпирических данных, аналогичных схемах, оправдавших себя при производстве литых заготовок из тех или иных сплавов. Поиск рациональных технологий, как правило, связан с проведением большого количества плавок с огромными затратами средств и времени. Известные закономерности кристаллизации слитков двойных латуней не могут в полной мере использоваться при разработке и совершенствовании технологии получения слитков сложнoleгированных медных сплавов в силу различия их свойств и вытекающих из этого особенностей литья заготовок. Прежде всего, это наличие в составе сплава интерметаллидообразующих элементов, а также элементов, имеющих высокое сродство к кислороду. Кроме того, использование сажи в качестве защитного покрова расплава в кристаллизаторе при полупрерывном литье слитков сложнoleгированных медных сплавов приводит к снижению технологического выхода годного из-за брака слитков по сажевым засорам и горячим трещинам. Развитие автомобильной, нефтяной, газовой и других от-

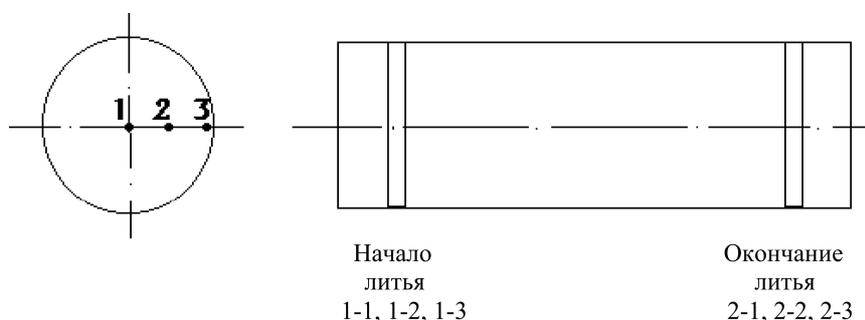


Рис. 1. Схема отбора темплетов от слитка хромовой бронзы и нумерации проб для анализа химического состава

Содержание хрома в опытных слитках

Номер опыта	Номер пробы	Содержание хрома, мас. %	Номер опыта	Номер пробы	Содержание хрома, мас. %
1	1-1	0,93	3	1-1	0,93
	1-2	0,93		1-2	0,94
	1-3	0,92		1-3	0,94
	2-1	0,91		2-1	0,92
	2-2	0,89		2-2	0,93
	2-3	0,88		2-3	0,93
2	1-1	0,94	4	1-1	0,85
	1-2	0,94		1-2	0,83
	1-3	0,94		1-3	0,84
	2-1	0,86		2-1	0,81
	2-2	0,86		2-2	0,81
	2-3	0,86		2-3	0,80

раслей промышленности предопределило использование сплавов, обеспечивающих высокий уровень механических и эксплуатационных свойств, для производства изделий различного назначения. На примере сложнолегированных латуней можно рассмотреть большую группу сплавов, работающих в условиях интенсивного износа. Изделия, получаемые из них, должны обеспечивать высокую надежность узлов и агрегатов и длительный ресурс работы.

Относительно недавно технологическая схема изготовления полуфабрикатов из сложнолегированных латуней включала в себя отливку слитка способом наполнительного литья, резку его на мерные заготовки, операцию прессования для получения трубной заготовки и штамповки. Существенными недостатками такой схемы являются низкий технологический выход годного вследствие удаления литниковой и донной частей слитка и невысокая производительность. Были сделаны попытки получения изделий из сложнолегированных латуней литьем под давлением. При этом в условиях высоких скоростей охлаждения в структуре сплавов формировались избыточные фазы очень мелких размеров, которые не обеспечивали требуемого уровня износостойкости. Применение современного, высокопроизводительного способа полунепрерывного литья слитков для получения прессованных заготовок под штамповку изделий является весьма перспективным.

При освоении технологии полунепрерывного литья сложнолегированных латуней столкнулись с рядом трудностей. Готовые изделия не обеспечивали установленного нормативными документами ресурса эксплуатации. Примером таких изделий являются блокирующие кольца синхронизаторов коробки переключения передач автомобиля. Для получения требуемого уровня свойств необходимо обеспечить стабильность химического состава и формирование необходимой структуры. Структура сложнолегированных латуней помимо основных матричных  $\alpha$ - и  $(\alpha+\beta')$ -фаз характеризуется наличием интерметаллидов различной морфологии (рис. 2).

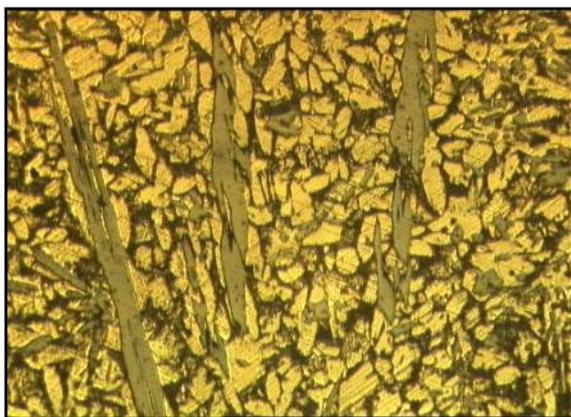


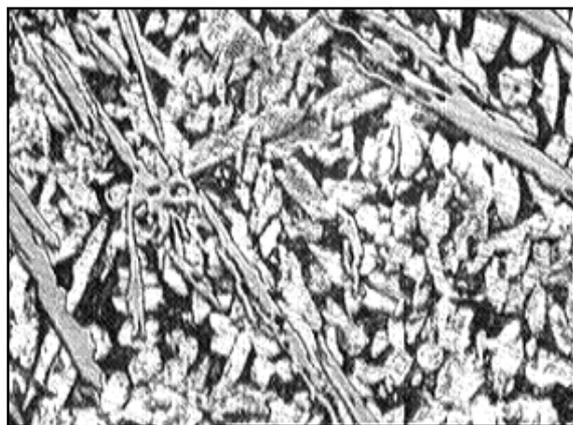
Рис. 2. Микроструктура сплава ЛМцАЖКС 70-7-5-2-2-1

Интерметаллиды обеспечивают высокую износостойкость сложнолегированных латуней. Анализ работы блокирующих колец синхронизаторов, изготовленных из сплава ЛМцАЖКС 70-7-5-2-2-1 (далее ЛМцАЖКС), показал, что вследствие наличия в структуре сплава крупных интерметаллидов может происходить их выкрашивание в процессе эксплуатации изделий или образование дефектов (несплошности, трещины) в процессе штамповки заготовок.

Для обеспечения требуемого уровня механических и эксплуатационных свойств деталей, применяемых в автомобилестроении, к структуре сплава ЛМцАЖКС в литом состоянии предъявляются следующие требования: содержание  $\alpha$ -фазы не должно превышать 60 об. %, интерметаллиды должны быть равномерно распределены по сечению слитка, размеры игольчатых интерметаллидов должны быть в пределах 40...120 мкм, размеры округлых интерметаллидов не должны превышать 60 мкм, объемная доля интерметаллидов не должна быть меньше 8...12 %. Одним из возможных путей управления структурой и свойствами литых заготовок в условиях полунепрерывного литья является обеспечение интенсивного теплоотвода в зоне первичного охлаждения за счет применения покровных флюсов в кристаллизаторе взамен сажи [10–12].

Имеется широкий спектр составов флюсов различного назначения. Известно, что выбирать состав флюса следует индивидуально для каждого сплава или группы сплавов. Подбор флюсов для защиты расплава сложнолегированных латуней затруднен по причине присутствия в составе этих сплавов легкоокисляемых элементов. В процессе взаимодействия флюса и расплава происходит изменение химического состава флюса и, как следствие, изменение его характеристик. При подборе составов покровных флюсов исходили из того, что наиболее легкоокисляемыми элементами, входящими в состав сплавов помимо цинка, являются алюминий и кремний. Окисление этих элементов и переход их во флюс не происходит, если, во-первых, отсутствует кислород в расплаве и, во-вторых, если концентрации элементов в расплаве и флюсе близки к равновесным. Это обеспечивается наличием в составе флюсовой композиции оксидов элементов, присутствующих в сплаве.

Одним из основных параметров непрерывной разливки сплавов является кинетика нарастания твердой корочки в слитке. Экспериментально установлены форма и глубина лунки жидкого металла при полунепрерывном литье слитков сплава ЛМцАЖКС диаметром 200 мм с использованием в качестве защитного покрова сажи и флюса [13, 14]. Установлено, что лунки отличаются как по форме, так и по глубине. Глубина лунки при разливке с использованием сажи значительно превосходит глубину лунки при разливке под флюсом и составляет 570 и 430 мм соответственно. Значи-



а)



б)

Рис. 3. Микроструктура сплава ЛМцАЖКС, отлитого при использовании в качестве покрова сажи (а) и октабората натрия (б) ( $\times 200$ )

тельное уменьшение глубины лунки жидкого металла позволяет увеличить скорость литья и производительность установок полунепрерывного литья.

Металлографический анализ структуры сплава ЛМцАЖКС показал, что при разливке под флюсом крупные частицы интерметаллидов отсутствуют. В структуре слитков, отлитых под сажей, формируются игольчатые интерметаллиды размером до 600...700 мкм, округлые размером до 20...30 мкм, объемная доля  $\alpha$ -фазы находится в пределах 60...70 об. %. Наблюдаются скопления интерметаллидов в виде крупных конгломератов, при этом распределение интерметаллидов по сечению слитка неравномерное. При разливке под флюсом происходит уменьшение размеров интерметаллидов. Формируются интерметаллиды игольчатой формы размером до 120 мкм, округлой формы – размером 5...15 мкм. Интерметаллиды распределены равномерно, крупные конгломераты отсутствуют. Объемная доля  $\alpha$ -фазы снижается до 50...55 об. % (рис. 3).

Известно, что структура сплава в литом состоянии определяет уровень механических свойств готовых изделий, полученных методами обработки металлов давлением. От прессованных труб диаметром 60...75 мм из сплава ЛМцАЖКС, полученных из слитков, отлитых под флюсом и сажей, отбирались образцы для определения механических свойств сплава. На основании полученных данных установлено, что временное сопротивление разрушению при растяжении  $\sigma_b$  при отливке под сажей составляет 560...580 МПа, при использовании флюса – 570...590 МПа; относительное удлинение  $\delta$  при отливке под сажей составляет 8...10 %, при использовании флюса – 10...12 %; твердость НВ при отливке под сажей составляет 180...190, при использовании флюса – 185...195. Результаты механических испытаний свидетельствуют о том, что применение флюса в качестве покрова расплава в кристаллизаторе

обеспечивает требуемый уровень механических свойств сплава ЛМцАЖКС, причем механические свойства находятся на том же уровне, что и в случае разливки сплава под сажей.

При производстве сложнолегированных латуней остро стоит проблема вовлечения отходов, образующихся при получении полуфабрикатов, в переплав. Увеличение доли отходов в структуре шихтовых материалов обеспечит снижение себестоимости готовой продукции из этих сплавов. Однако в связи с тем, что отходы могут содержать нежелательные примеси, необходимо ограничить их долю в составе шихтовых материалов. Кроме того, в них содержатся тугоплавкие интерметаллиды, присутствие которых приведет к формированию в структуре сложнолегированных латуней крупных интерметаллидов и конгломератов вследствие проявления металлургической наследственности сплавов. Проведены промышленные эксперименты с использованием различной доли отходов в составе шихтовых материалов. Установлено, что доля отходов не должна превышать 50 % от массы навески шихты. При этом гарантируется формирование структуры с регламентированным размером и распределением интерметаллидов в структуре сплава ЛМцАЖКС.

Полученные в ходе работы результаты положены в основу разработки технологии полунепрерывного литья сложнолегированных латуней, обеспечивающей получение качественных слитков с регламентированной структурой, предназначенных для получения прессованных заготовок под штамповку изделий ответственного назначения. При этом повышается производительность литейных установок, снижается доля брака при производстве изделий, повышается технологический выход годного и снижается себестоимость готовой продукции. Кроме того, полученные результаты могут быть использованы при разработке перспективных ресурсосберегающих технологий плавки и литья медных сплавов.

### Литература

1. Николаев, А.К. Сплавы для электродов контактной сварки / А.К. Николаев, В.М. Розенберг. – М.: Металлургия, 1978. – 96 с.
2. Шурыгин, П.М. Диффузия металлов в жидкой меди / П.М. Шурыгин, В.Д. Шантарин // Физика металлов и металловедение. – 1963. – Т. 16, № 5. – С. 731–736.
3. Производство отливок из сплавов цветных металлов / А.В. Курдюмов и др. – М.: МИСИС, 2011. – 616 с.
4. Получение сплава меди, содержащего до 25 % хрома, методом открытой индукционной плавки / Л. И. Гофеншефер и др. // Цветные металлы. – 1981. – № 9. – С. 90–91.
5. Nagata K., Nishikawa S. Aging and Reversion Phenomena of Cu–Cr Alloys // Reports of the Institute of Industrial Science, University of Tokyo. – 1975. – Vol. 24, no. 4. – P. 115–168.
6. Головешко, В.П. Плавка и литье цветных металлов и сплавов / В.П. Головешко, В.И. Соколов // Науч. тр. Гипроцветметобработка. – М.: Металлургия, 1969. – № 32. – С. 105–112.
7. Пат. № 2182604 Российская Федерация. Флюс для плавки сплавов на медной основе, содержащих легкоокисляемые компоненты / Д.Ф. Ракипов, В.Ф. Мысик, И.А. Вайс, С.В. Брусницын, Ю.Ю. Юрьев, А.Н. Чирков; заявитель и патентообладатель ООО «НИИцветмет». – № 2001102897/02; заявл. 30.01.2001; опубл. 20.05.2002, Бюл. № 14.
8. Перспективы применения хромовых и хромциркониевых бронз / Р.К. Мысик, Ю.Н. Логинов, С.В. Брусницын, И.Е. Фурман // Цветные металлы. – 2004. – № 2. – С. 38–40.
9. Способы легирования хромовых и хромциркониевых бронз / Р.К. Мысик, Ю.Ю. Юрьев, И.А. Вайс, С.В. Брусницын // Процессы литья. – 2002. – № 1. – С. 89–94.
10. Брусницын, С.В. Особенности использования покровных флюсов при литье сложнолегированных латуней / С.В. Брусницын, А.В. Сулицин, А.Г. Титова // Литейщик России. – 2006. – № 11. – С. 11–14.
11. Пат. № 2356967 Российская Федерация, (51) МПК С22С 1/06. Флюс для защитного покрытия расплава латуни / С.В. Брусницын, Р.К. Мысик, Ю.Н. Логинов, А.Г. Титова, А.В. Сулицин, И.А. Груздева; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «УГТУ–УПИ». – № 2007145008/02; заявл. 03.12.2007; опубл. 27.05.2009, Бюл. № 15.
12. Пат. № 2440868 Российская Федерация, (51) МПК С22С 1/06. Флюс для защитного покрытия расплава латуни / А.В. Сулицин, Р.К. Мысик, Ю.Н. Логинов, С.В. Брусницын, А.И. Голоднов, С.Л. Смирнов; заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВПО «УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина». – № 2010145897/02; заявл. 10.11.2010; опубл. 27.01.2012, Бюл. № 3.
13. Исследование теплообменных процессов полунепрерывного литья сложнолегированной латуни ЛМцАЖКС 70-7-5-2-2-1 / Р.К. Мысик, А.А. Еремин, Д.А. Котов и др. // Литейщик России. – 2005. – № 9. – С. 10–12.
14. Исследование процесса кристаллизации сложнолегированной латуни ЛМцАЖКС 70-7-5-2-2-1 при полунепрерывном литье / Р.К. Мысик, А.А. Еремин, С.В. Брусницын, А.Г. Титова // Процессы литья. – 2005. – № 3. – С. 43–46.

**Мысик Раиса Константиновна**, д-р техн. наук, профессор кафедры литейного производства и упрочняющих технологий, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина (г. Екатеринбург); kafedralp@mail.ru.

**Брусницын Сергей Викторович**, д-р техн. наук, профессор кафедры литейного производства и упрочняющих технологий, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина (г. Екатеринбург); kafedralp@mail.ru.

**Сулицин Андрей Владимирович**, канд. техн. наук, доцент кафедры литейного производства и упрочняющих технологий, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина (г. Екатеринбург); kafedralp@mail.ru.

**Ивкин Максим Олегович**, аспирант кафедры литейного производства и упрочняющих технологий, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина (г. Екатеринбург); kafedralp@mail.ru.

**Карпинский Андрей Владимирович**, канд. техн. наук, доцент кафедры металлургии и литейного производства, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск); karpinskiy1@mail.ru.

Поступила в редакцию 17 февраля 2014 г.

## FEATURES OF COPPER ALLOYS CAST BARS PRODUCTION

**R.K. Mysik**, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russian Federation, *kafedralp@mail.ru*,

**S.V. Brusnitsyn**, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russian Federation, *kafedralp@mail.ru*,

**A.V. Sulitsin**, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russian Federation, *kafedralp@mail.ru*,

**M.O. Ivkin**, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Yekaterinburg, Russian Federation, *kafedralp@mail.ru*,

**A.V. Karpinskiy**, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, *karpinskiy1@mail.ru*

The problems of production of copper alloys containing easily oxidized and volatile elements (Cr, Zr, Cd, Zn, Si etc.) cast bars are considered. The possible methods for adding alloying elements to the melt are analyzed. The kinetics of chromium dissolution in the molten copper and its distribution over the cross section and length of the ingot during a semicontinuous casting is studied. In addition the effect of flux coating in the crystallizer at semicontinuous casting on the structure and properties of complex-brasses is researched. The obtained data are a basis for the development of technology of melting and semicontinuous casting of copper alloys.

*Keywords: copper alloy, alloying, semicontinuous casting, dissolution kinetic, structure, mechanical properties.*

### References

1. Nikolaev A.K., Rozenberg V.M. *Splavy dlya elektrodov kontaktной svarki* [Alloys for Contact Welding Electrodes]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1978. 96 p.
2. Shurygin P.M., Shantarin V.D. [Diffusion of Metals in Molten Copper]. *Fizika metallov i metallovedenie* [The Physics of Metals and Metallography], 1963, vol. 16, no. 5, pp. 731–736. (in Russ.)
3. Kurdyumov A.V. et al. *Proizvodstvo otlivok iz splavov tsvetnykh metallov* [Production of Nonferrous Metals Castings]. Moscow, MISIS Publ., 2011. 616 p.
4. Gofenshefer L.I. et al. [Preparation of Copper Alloy Containing up to 25% Chromium by Open Induction Melting]. *Tsvetnye metally* [Non-Ferrous Metals], 1981, no. 9, pp. 90–91. (in Russ.)
5. Nagata K., Nishikawa S. Aging and Reversion Phenomena of Cu–Cr Alloys. *Reports of the Institute of Industrial Science, University of Tokyo*, 1975, vol. 24, no. 4, pp. 115–168.
6. Goloveshko V.P., Sokolov V.I. [Melting and Casting of Nonferrous Metals and Alloys]. *Nauchnye trudy Giprocvetmetobrabotka* [Scientific works of Giprocvetmetobrabotka]. No. 32. Moscow, Metallurgiya Publ., 1969, pp. 105–112. (in Russ.)
7. Rakipov D.F. et al. *Flyus dlya plavki splavov na mednoy osnove, sodержashchikh legkookislyaemye komponenty* [Flux for Melting Copper Based Alloys Containing Readily Oxidizable Components]. Patent RF, no. 2182604, 2002.
8. Mysik R.K., Loginov Yu.N., Brusnitsyn S.V., Furman I.E. [Perspectives of Chromium and Chrome-Zirconium Bronzes Application]. *Tsvetnye metally* [Non-Ferrous Metals], 2004, no. 2, pp. 38–40. (in Russ.)
9. Mysik R.K., Yuriev Yu.Yu., Vais I.A., Brusnitsyn S.V. [Methods of Chromium and Chrome-Zirconium Bronzes Alloying]. *Protsessy lit'ya* [Casting Processes], 2002, no. 1, pp. 89–94. (in Russ.)
10. Brusnitsyn S.V., Sulitsin A.V., Titova A.G. [Features of Application of Cover Fluxes for Complex-Brass Casting]. *Liteyshchik Rossii* [Russian Foundryman], 2006, no. 11, pp. 11–14. (in Russ.)
11. Brusnitsyn S.V. et al. *Flyus dlya zashchitnogo pokrytiya rasplava latuni* [Flux for Protective Cover of Brass Melt]. Patent RF, no. 2356967, 2009.

---

12. Sulitsin A.V. et al. *Flyus dlya zashchitnogo pokrytiya rasplava latuni* [Flux for Protective Cover of Brass Melt]. Patent RF, no. 2440868, 2012.

13. Mysik R.K., Eremin A.A., Kotov D.A., Brusnitsyn S.V., Titova A.G. [Investigation of Heat Exchange Processes During Semicontinuous Casting of Complex-Brass]. *Liteyshchik Rossii* [Russian Foundryman], 2005, no. 9, pp. 10–12. (in Russ.)

14. Mysik R.K., Eremin A.A., Brusnitsyn S.V., Titova A.G. [Investigation of Complex-Brass Solidification Process at Semicontinuous Casting]. *Protsessy lit'ya* [Casting Processes], 2005, no. 3, pp. 43–46. (in Russ.)

***Received 17 February 2014***