



The main directions of development of the new casting technology of silumins of inverted structure are shown.

Е. И. МАРУКОВИЧ, В. Ю. СТЕЦЕНКО, ИТМ НАН Беларуси

УДК 669.715

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СИЛУМИНОВ С ИНВЕРТИРОВАННОЙ СТРУКТУРОЙ

Литые силумины, особенно заэвтектические, являются хрупкими материалами с относительно низкими физико-механическими свойствами. Они определяются микроструктурой этих сплавов, содержащих эвтектику. Она представляет собой сильноразветвленную механическую смесь дендритов пластичной α -фазы и хрупкой β_{Si} -фазы (кремния). Хотя ее в эвтектике (по массе) всего 10,5 %, но благодаря дендритной кристаллизации хрупкая фаза, разрастаясь, образует сплошной скелет, который и определяет хрупкость литейного сплава. Модифицирование не устраняет дендритной кристаллизации β_{Si} -фазы, а только приводит к ее частичному разобшению. В результате относительное удлинение доэвтектического силумина возрастает до 8 %, а заэвтектического Al+20% Si – до 1,6 % [1, 2]. Но этого для пластической деформации явно не хватает, поэтому в алюминиевых деформируемых сплавах содержание кремния не превышает для дуралюминов 0,7 %, а для ковочных сплавов 1,2 % [3], иными словами, повысить механические свойства обычных силуминов пластической деформацией невозможно. Низкие технологические свойства алюминиево-кремниевых сплавов объясняются отсутствием инверсии фаз, т. е. разобщенности кристаллов β_{Si} -фазы.

В ИТМ НАН Беларуси разработан способ литья силуминов с инвертированной структурой [4]. Суть метода заключается в том, что в литейную форму заливают расплав, полученный смешением заэвтектического сплава, находящегося в двухфазном состоянии, и жидкого алюминия. Обычно в качестве заэвтектического сплава использовали Al+40% Si. В двухфазном состоянии вблизи температуры солидуса структура такого силумина состоит из дендритов первичной β_{Si} -фазы и жидкости близэвтектического состава (рис. 1). При воздействии на эту систему расплавом алюминия происходит разбавление жидкости и разрушение первичных кремниевых дендритов по многочисленным дефектам несплошности, которые β_{Si} -фаза имеет при первичной кристалли-

зации. В результате эти дендриты распадаются на более мелкие бездефектные кристаллы, которые, частично оплавляясь, приобретают компактную, округлую форму (рис. 2). При разбавлении жидкости близэвтектического состава расплавом алюминия она кристаллизуется как доэвтектический сплав. В результате вместо обычной эвтектики получается инвертированная, где эвтектические зерна изолированы друг от друга зернами α -фазы. Эвтектические пластины кремния по сравнению с обычными толще, короче и более изолированно расположены относительно друг друга. Кроме того, в инвертированной структуре доэвтектического силумина всегда присутствуют кристаллы первичного кремния, что уменьшает количество алюминиево-кремниевой эвтектики.

Таким образом, силумины с инвертированными структурами представляют собой сплавы с избыточным или повышенным содержанием дисперсных кристаллов первичного кремния и разряженной (разбавленной α -фазой) эвтектикой. Установлено, что такая система в процессе литья довольно устойчива и сохраняет относительно высокую «живучесть» (30 мин и более). При повторном переплаве сплава инвертированность микроструктуры сохраняется, что говорит о высокой устойчивости в расплаве дисперсных кристаллов кремния. Силумин с инвертированной структурой обладает «литейной памятью». Это имеет большое значение для технологии переработки вторичных отходов. Она значительно упрощается. Чтобы получить исходную инвертированную структуру сплава, нужно просто переплавить его отходы.

При инверсии микроструктуры пластичность силуминов значительно возрастает. Сплавы Al+4–12% Si имели относительные удлинения 19–14 %, а Al+15–21% Si – 14–8 %. Эксперименты по прессованию цилиндрических образцов доэвтектических силуминов Al+4–12% Si с инвертированной структурой показали, что они осаждаются без трещин при относительной деформации 67–56 % и более. При прочих равных условиях опытные заготовки с инвертированной структу-



Рис. 1. Микроструктура литого сплава Al+40% Si. x200

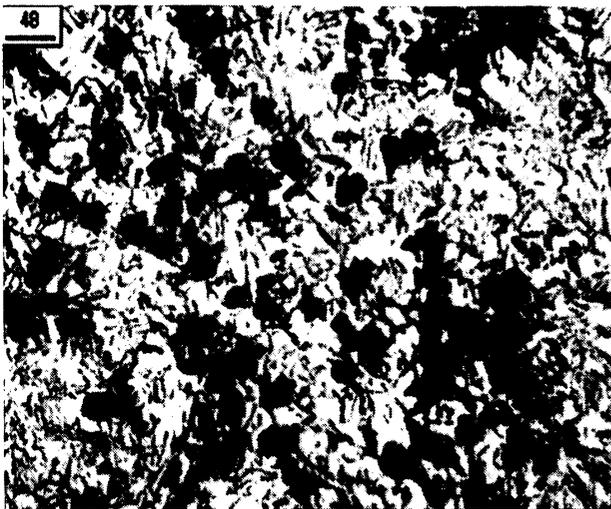


Рис. 2. Инвертированная микроструктура Al+18% Si. x200

рой деформировались на 20 % лучше, чем дуралюминиевые (Al+4% Cu). Эксперименты по прессованию силумина Al+18% Si с инвертированной структурой показали, что этот сплав осаждался без трещин до величины относительной деформации 40%. При этом цилиндрические образцы подвергали нормализации при температуре 500 °С в течение 4 ч. Опытный сплав Al+4% Si с инвертированной микроструктурой исследовали на возможность прессования прутков и трубных заготовок. В результате была установлена принципиальная возможность получения полых заготовок с толщиной стенки до 1 мм. Таким образом, алюминиево-кремниевые сплавы с инвертированной структурой обладают одним из самых важных технологических свойств — деформируемостью. Она позволяет существенно повысить физико-механические свойства силуминов, расширить номенклатуру изделий из этого материала — дать им «вторую жизнь».

Относительно высокие пластические свойства силуминов с инвертированной структурой можно объяснить еще и тем, что эти сплавы всегда

структурно высокодисперсны (мелкозернисты) и в них отсутствуют дендритная кристаллизация первичной α -фазы и зональная структурная неоднородность [5]. Эти особенности придают данным силуминам свойство тиксотропности [6]. Тиксолитием можно также существенно повысить физико-механические свойства алюминиево-кремниевых сплавов, особенно заэвтектических, которые по сравнению с доэвтектическими хуже поддаются пластической деформации. Изучение тиксотропных свойств заготовок Al+18% Si, полученных непрерывным горизонтальным литьем, показало, что данный сплав при термостабилизированном нагреве печи 580 °С в течение 20 мин сохраняет 60–70 % твердой фазы и структурно стабилен. Таким образом установлена принципиальная технологическая возможность тиксолитья заэвтектических силуминов с инвертированной структурой, что позволяет открыть новую перспективную область применения этих сплавов.

Немаловажными факторами, которые существенно повышают физико-механические свойства силуминов, являются легирование и термообработка. Обычный литейный термоупрочняемый сплав АК5М2, отлитый в кокиль, имеет предел прочности на разрыв $\sigma_b = 160$ МПа и относительное удлинение $\delta = 0,5$ %. После термообработки по режиму Т5 предел прочности этого сплава возрастал на 50 %, а относительное удлинение не изменялось [7]. Аналогичный по кремнию и меди, но без магния и марганца силумин с инвертированной структурой, отлитый в кокиль, имел $\sigma_b = 190$ МПа и $\delta = 12$ %. После термообработки по режиму Т5 предел прочности этого сплава возрастал на 100 %, а δ осталось на уровне 12 %. После гомогенизации этого сплава при 500 °С в течение 4 ч получили $\sigma_b = 240$ МПа и $\delta = 22,8$ %. Такое возрастание относительного удлинения объясняется максимальным увеличением инвертированности микроструктуры силумина за счет полной глобуляризации всех кристаллов кремния. При исследовании термообработанных силуминов с инвертированной микроструктурой была выявлена относительно высокая склонность кристаллов кремния к глобуляризации. Установлено, что этому процессу также способствует медь. Уже после 2–4-часовой выдержки сплава Al+8% Si+4% Cu при 500 °С его структура становится полностью глобулярной, похожей на ферритный чугун с шаровидным графитом. Это, по-видимому, происходит благодаря высокой дисперсности и инвертированности расположения фаз, что существенно ускоряет диффузионные процессы при гомогенизирующем отжиге силуминов и приводит к глобуляризации кремния. Центрами глобул служат высокодисперсные компактные кристаллы первичного кремния.

Согласно классическому определению, инвертированным в металловедении считается такая структура, которая в какой-то мере удовлетворяет принципу (правилу) Шарпи [8]. Сплавы, соответствующие этому правилу, должны иметь относительно высокие износостойкие и антифрикционные свойства. Была определена износостойкость в условиях трения опытного непрерывнолитого сплава Al+18% Si (размер первичной β_{Si} -фазы – 25 мкм) в сравнении с бронзой БрОЗЦ7С5Н, перлитным серым чугуном и обычным непрерывнолитым модифицированным сплавом Al+18% Si с дисперсностью кристаллов первичного кремния 25–30 мкм. Исследования проводили на специальной машине трения, где шлифованный торец цилиндрического образца из испытываемого материала возвратно-поступательно перемещался относительно стальной шлифованной пластины твердостью 400 НВ. Испытания происходили при нагрузке 4 кгс/см² и скорости скольжения 0,35 м/с. Конструкция установки обеспечивала равномерный износ торцевой поверхности образцов. Износостойкость определяли по убыли объема материала с 1 см² площади в 1 ч. Установлено, что износостойкость при трении о стальную пластину опытного Al+18% Si с инвертированной структурой составляла 0,044 мм/ч. Для бронзы этот показатель равнялся 0,5 мм/ч, для перлитного серого чугуна – 5,2, для обычного модифицированного силумина Al+18% Si – 1,8 мм/ч. Схватывание в паре трения опытный Al+18% Si–сталь отсутствовало. При испытании бронзового образца происходил перенос его материала на стальную пластину, наблюдалось схватывание. Таким образом, износостойкость в паре трения со сталью у силумина Al+18% Si с инвертированной структурой в 11 раз выше, чем у бронзы БрОЗЦ7С5Н. По антифрикционности опытные образцы силумина Al+18% Si также превосходили бронзовые. Проведенные эксперименты показали, что инверсия микроструктуры сплава Al+18% Si повышает его износостойкость в паре трения со сталью в 41 раз. Аномально высокую износостойкость при фрикционном трении заэвтектического силумина с инвертированной структурой можно объяснить не только принципом Шарпи, но и бездефектностью первичных кристаллов кремния. Доказательством этого является тот факт, что лезвие из опытного сплава Al+18% Si обладает отличными режущими свойствами и даже царапает стекло.

Обычный модифицированный силумин Al+18% Si таких свойств не имеет, поскольку

кристаллы первичного кремния в нем имеют дефекты и относительно легко выкрашиваются при трении, особенно при таком динамичном виде износа, как резка.

Таким образом, силумины с инвертированной структурой являются технологически перспективными литейными материалами. Метод их получения универсален, применим к любому способу литья, поскольку не требует специальных литейного оборудования и модификаторов. Разработку новой литейной технологии необходимо проводить по следующим направлениям:

- использование литейной технологии производства силуминов с инвертированной структурой применительно к конкретному технологическому процессу и номенклатуре литья;
- разработка технологического процесса получения силуминов с глобулярным (шаровидным) кремнием;
- разработка технологического процесса получения тиксотропных силуминов на установках непрерывного литья и в кокиль;
- разработка технологии литья деформируемых силуминов с содержанием кремния 4 – 15 % и их упрочнение методом пластической деформации (ковка, прессование, штамповка, прокатка);
- разработка новых уникальных износостойких и антифрикционных материалов на основе силуминов с инвертированной структурой.

Литература

1. Гуляев А. П. Металловедение. М.: Металлургия. 1986.
2. Немененок Б. М. Разработка теоретических основ и технологии комплексного модифицирования промышленных силуминов: Дис. ... д-ра техн. наук. Мн., 1999.
3. Алюминиевые сплавы. Промышленные деформируемые, спеченные и литейные алюминиевые сплавы: Справ. Руководство. М.: Металлургия, 1972.
4. Марукович Е. И., Стеценко В. Ю. Литье заэвтектических силуминов с инвертированной структурой // Литье и металлургия. 2000. № 4. С. 54.
5. Марукович Е. И., Стеценко В. Ю., Брановицкий А. М. Особенности структурообразования при литье заэвтектического силумина с инвертированной структурой // Литье и металлургия. 2001. № 4. С. 40–42.
6. Марукович Е. И., Стеценко В. Ю. Получение тиксотропных материалов методом непрерывного горизонтального литья // Материалы 3-й Всерос. науч.-практ. конф. 25–27 июня 2002 г. Санкт-Петербург, 2002. С. 75–76.
7. Альтман М. Б., Стромская Н. П. Повышение свойств стандартных литейных алюминиевых сплавов. М.: Металлургия, 1984.
8. Сильман Г. И., Жуков А. А., Энштейн Л. З. Кристаллизация ванадиевых чугунов с инвертированной структурой карбидной эвтектики // Литейные свойства сплавов. Киев.: ИПЛ АН УССР, 1972. С. 201–204.