

4) подстуживание вместе с печью при подаче насыщающей атмосферы, применявшейся на предыдущих этапах, до температуры 850–920°C и выдержка при этой температуре 0,5–2 ч (условия подстуживания выбираются в зависимости от необходимой концентрации углерода в карбидной зоне);

5) охлаждение на воздухе или закалка в масло.

Этот технологический процесс внедрен на Минском автомобильном заводе для упрочнения инструмента холодного выдавливания, изготовленного из приведенных марок стали. Промышленные испытания показали, что стойкость упрочненного по разработанной технологии инструмента в 1,6–2,5 раза выше стойкости серийного инструмента, изготовленного из стали X12M. Годовой экономический эффект составил более 50 тыс. руб.

Л и т е р а т у р а

1. Краснер М.С., Чеканский В.В. Применение контролируемых атмосфер для упрочнения холодноштампового инструмента методом газовой карбидизации. – В кн.: Электротермическое оборудование для новых видов термообработки: Тез. докл. Всесоюз. научн.-техн. симпозиума, М., 1976, с. 41–42.

УДК 669.71.017:621.762

И.Ю.Купрянова, инженер,
П.А.Пархутик, канд.техн.наук (ФТИ)

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПРЕССОВАННЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ ВТОРИЧНЫХ СПЛАВОВ АЛЮМИНИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ ГРАНУЛИРОВАНИЕМ

Производство полуфабрикатов прессованием профилей и прокаткой ленты из сплавов, полученных гранулированием, является одним из перспективных путей использования вторичных алюминиевых сплавов в качестве конструкционных материалов [1].

Между тем далеко недостаточно изучена структурная морфология гранул разных сплавов, а имеющиеся данные о структуре и свойствах полуфабрикатов из них неоднозначны и не систематизированы.

В данной работе исследованы структурные особенности гранул вторичных алюминиевых сплавов АК5М2, АК4М4 (ГОСТ 1585–73), сложнoleгированных сплавов типа раскислителей АВ86, АВ88 и полуфабрикатов из них. Гранулы отливались при температуре расплава 820–850°C центробежным способом в

воду. Согласно расчетным данным [2], скорость охлаждения в зависимости от размера гранул ($\phi 1-5$ мм) составляла 10^3-10^4 °C/с. Прессованные полуфабрикаты изготавливались в виде уголков, швеллеров, полос, прутков. Гранулы, предварительно скомпактированные в брикеты диаметром 100 мм, подвергали прессованию через соответствующие матрицы на 1000-тонном прессе. Удельное давление прессования составляло 300-350 МПа. Скорость истечения профиля составляла до 6 м/мин, коэффициент вытяжки - 60-70%.

В структуре слитка, сложившейся при сравнительно медленном охлаждении (в кокиль) на фоне крупных участков α -твердого раствора легирующих элементов (Cu, Si, Mg, Mn) в алюминии видны грубые выделения эвтектического кремния, сильно протравленные более темные частицы фазы CuAl_2 и грубого строения первичные выделения четверной фазы типа $\text{Al}_6(\text{SbFeMn})$ в форме "китайского штифта" [3]. В отдельных местах наблюдаются также иглообразные частицы фазы Al_3Fe . Переход к высоким скоростям охлаждения при кристаллизации гранул приводит к коренным изменениям в микроструктуре сплава. Участки твердого раствора сильно измельчаются, приобретают направленный резко дендритный характер. Междендритные прослойки создают тонкую непрерывную сетку эвтектических фаз, дифференцировать которые затруднительно даже при максимальных увеличениях оптического микроскопа. Первичная кристаллизация сложной железомарганцевой фазы подавляется, гетерогенная структура становится однородной. Структура горячепрессованного прутка, текстурованная в направлении прессования, состоит из α -твердого алюминиевого раствора, в котором равномерно распределены весьма мелкодисперсные включения фаз Si и $\text{Al}_6(\text{SiFeMn})$ темного цвета, S и CuAl_2 светлого оттенка. Частицы интерметаллидов сферические, микронных размеров.

Механические испытания полуфабрикатов из сплавов АК5М2 и АК4М4 проведены на плоских образцах, вырезанных из горячепрессованных уголков 40 x 40 x 3 мм. В исходном горячепрессованном состоянии средние значения механических свойств составили: $\sigma_B = 290$ и 305; $\sigma_{0,2} = 160$ и 172 МПа; $\delta = 15$ и 8% для сплавов АК5М2 и АК4М4 соответственно. В случаях необходимого повышения пластичности прутков и профилей применяют смягчающий отжиг. В процессе отжига оба сплава наиболее заметно разупрочняются при 300°C в течение 4 ч. Предел прочности и предел текучести снижаются при этом на 25-30%, а относительное удлинение возрастает на 15-20%. Повышение температуры отжига до 350-400°C вызывает обратный

эффект – возрастание прочностных свойств и падение пластичности до исходного или даже более низкого уровня. Возможно, это явление связано с частичным растворением избыточных упрочняющих фаз в α -твердом растворе при повышенных температурах и подкалкой тонкостенных профилей при охлаждении на воздухе с последующим естественным старением. Таким образом, для прессованных из гранул сплавов АК5М2 и АК4М4 профилей можно рекомендовать смягчающий отжиг при 300–320°C, который проводится при температуре ниже температуры обычного гомогенизирующего отжига термически упрочняемых алюминиевых сплавов. Концентрация легирующих элементов в матричном твердом растворе при пониженной температуре нагрева получается относительно низкой, поэтому можно использовать быстрое охлаждение на воздухе. Время выдержки при нагреве 2–6 ч в изменении прочностных характеристик существенной роли не играет.

Условия упрочняющей термической обработки являются многофакторными, включающими режимы закалки, охлаждения, старения и т. д. Поэтому режимы термической обработки устанавливали с помощью математических методов планирования эксперимента. Наиболее сильное влияние на свойства прессованных профилей оказывают температура нагрева под закалку и температура старения, причем прочностные характеристики возрастают при повышении температуры закалки и снижении температуры старения. Величина предела текучести в большей степени зависит от температуры закалки и в меньшей – от температуры старения. Пластичность сплава возрастает при снижении температуры закалки и сокращении выдержки при ней.

В качестве примера режима упрочняющей термообработки можно рекомендовать закалку сплавов в холодную воду (20°C) от температуры 500°C после двухчасовой выдержки при ней и искусственное старение через сутки при 150°C в течение 12 ч. При этом на образцах из горячепрессованных профилей из сплава АК5М2 достигаются следующие значения свойств: $\sigma_B = 390$ МПа, $\sigma_{0,2} = 280$ МПа, $\delta = 10\%$; для сплава АК4М4 – $\sigma_B = 390$ МПа, $\sigma_{0,2} = 260$ МПа, $\delta = 7\%$. При некотором снижении пластичности ($\delta \approx 5\%$) можно существенно повысить предел прочности до 400 МПа, предел текучести до 330 МПа.

Значения предела прочности и относительного удлинения при растяжении горячепрессованных прутков из сложнoleгированных сплавов типа раскислителей сильно зависят от общей суммы содержания легирующих элементов в них (рис. 1). В исходном состоянии он возрастает с 250 МПа у сплавов с 9% легирующих

элементов до 280–290 МПа (у сплавов с 12–13% и выходит на уровень 320–330 МПа у сплавов с 14–18% легирующих добавок. После отжига предел прочности снижается у всех сплавов примерно в одинаковой степени – на 20–25% и составляет от 190 до 260 МПа. Упрочняющая термическая обработка способствует сильному возрастанию предела прочности у сплавов с 12–14% легирующих элементов, который достигает уровня 410–430 МПа. Сплав с 9% добавки упрочняется после закалки и старения значительно слабее (на 30–40 МПа). При естественном старении после закалки значения предела прочности сплавов с 12–14% легирующих добавок ниже, чем после искусственного старения (рис. 1, а). Это, возможно, связано с не-

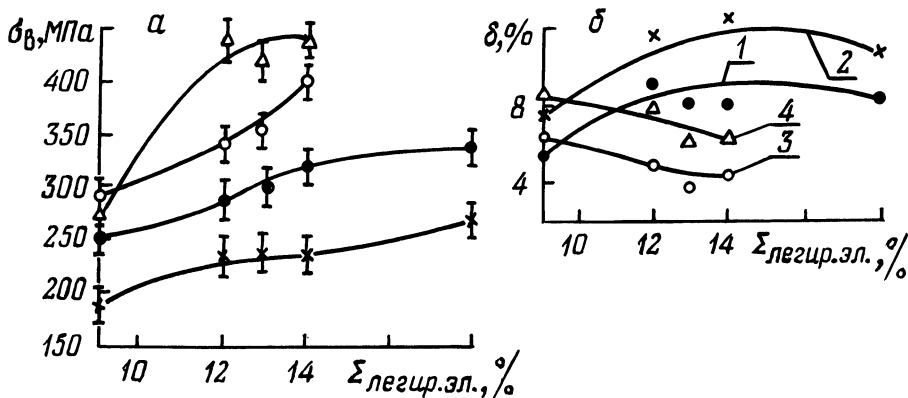


Рис. 1. Изменение предела прочности (а) и пластичности (б) прессованных прутков из гранулированных сплавов в зависимости от содержания в них легирующих элементов и режимов термической обработки:

1 – исходное горячепрессованное состояние; 2 – отжиг при 400°С в течение 5 ч; 3 – закалка + искусственное старение; 4 – закалка + естественное старение.

полнотой протекания при комнатной температуре в течение 4 суток процесса дисперсионного твердения. Подобное предположение подтверждается и данными по определению условного предела текучести – характеристики материала, особенно чувствительной к форме и размерам упрочняющих фаз. После закалки и искусственного старения предел текучести у сплавов с 12–14% легирующих элементов оказался очень высоким (360–380 МПа), а после естественного старения в течение 4 суток максимальный предел текучести еще не достигнут и составляет всего 200–270 МПа.

Несмотря на высокую степень легированности исследованных сплавов и весьма высокое содержание суммы вредных примесей, особенно железа, их пластичность остается значительной. Полу-

ченные значения относительного удлинения для исходного горячепрессованного состояния составляют 5–9%, что на порядок выше, чем у литых сплавов подобных композиций. После гомогенизирующего отжига относительное удлинение возрастает до 10–13% у сплавов с 12–14% легирующих элементов, у сплава с 18% добавок – до 9% (рис. 1, б). После закалки и старения прессованные гранулированные сплавы обладают довольно высокими запасами пластичности. Относительное удлинение у сплавов с 12–14% примесей составляет 4–5 и 5–8% после искусственного и естественного старения соответственно.

Оценивая в комплексе прочностные и пластические характеристики горячепрессованных сложнолегированных гранулированных сплавов, можно отметить, что наиболее удачное сочетание свойств после различных видов термообработки достигается, если сумма легирующих элементов в сплавах составляет 12–15%. Уровень предела прочности после закалки и старения может достигнуть 400–430 МПа, а относительного удлинения – 4–5%.

Таким образом, в данной работе экспериментально показано, что структурные особенности, сложившиеся в процессе быстрой кристаллизации гранул, наследуются и в полуфабрикатах из них, что позволяет получить в готовых изделиях из литейных алюминиевых сплавов свойства, которые находятся на уровне соответствующих показателей свойств, получаемых у деформируемых алюминиевых сплавов.

Л и т е р а т у р а

1. Белов А.Ф. Металлургия гранул – новый путь повышения конструкционных материалов. – Вестник АН СССР, 1975, № 5, с. 74. 2. Малиновский Р.Р., Тарарышкин В.И. Условия охлаждения при гранулировании металлов. – Технология легких сплавов, № 3, 1969, с. 24. 3. Пархутик П.А., Бадаев Г.В., Лубенский М.З. Структура вторичных литейных сплавов, полученных гранулированием. – МиТОМ, 1980, № 6, с. 61. 4. Колпашников А.И., Ефремов А.В. Гранулированные материалы. – М.: Metallurgia, 1977. – 296 с.