

С. Б. Сидельников, Н. Н. Довженко, Ю. А. Горбунов, Д. Ю. Горбунов, Е. С. Лопатина, Р. Е. Соколов

РАЗРАБОТКА НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ СИЛУМИНОВ

Приведены результаты исследований новых технологий производства горяче- и холоднодеформированных изделий из заготовок алюминиево-кремниевых сплавов, полученных различными видами литья. Показано, что применение комбинированных методов обработки таких сплавов дает возможность получать полуфабрикаты и изделия с требуемым уровнем механических характеристик.

Алюминиево-кремниевые сплавы (силумины), обладающие структурной стабильностью в широком диапазоне температур эксплуатации, приемлемым уровнем физико-механических и коррозионных характеристик, а также хорошей износостойкостью, могут представлять интерес для различных отраслей промышленности не только в виде литых изделий, но и в виде деформированных полуфабрикатов. Так, например, замена медных изделий на алюминиевые в большинстве конструкций теплообменных аппаратов, применяемых в теплоэнергетике и автомобильной промышленности, почти в три раза снижает затраты на основные материалы для изготовления этих аппаратов при сохранении высокого уровня теплофизических характеристик. Область применения деформированных изделий из силуминов с содержанием кремния 12...13 % может быть расширена за счет их применения для изготовления тонкостенных труб и листового проката, необходимых для изготовления автомобильных теплообменников, а также сварочной проволоки, используемой для пайки, например, волноводов в космической отрасли.

В настоящее время, несмотря на достаточно большое количество научных публикаций по проблемам глубокой переработки силуминов, состав освоенных алюминиево-кремниевых сплавов и технологий производства из них деформированных полуфабрикатов крайне ограничен и относится к узкоспециализированным направлениям развития промышленности. В основном это связано с их низкой пластичностью при традиционных методах литья и ограниченной информацией о технологических возможностях модифицирования расплавов и применения операций термообработки в сочетании холодной и горячей пластической деформацией металла.

В связи с этим в последнее время ведется интенсивный поиск новых алюминиево-кремниевых сплавов с различным содержанием легирующих элементов и технологий производства различных деформируемых полуфабрикатов и изделий из них.

В данной статье рассмотрены два варианта разработанных технологий для производства деформированных полуфабрикатов из сплава АК12. Первый вариант предусматривает применение

полунепрерывного литья слитков больших размеров с комплексным модифицированием, горячую и холодную деформацию металла с промежуточной термообработкой, второй вариант – получение заготовки небольшого поперечного сечения в электромагнитном кристаллизаторе и использование для деформации металла операций совмещенной прокатки-прессования (СПП) [1] и последующего волочения.

Для реализации первого варианта технологии на экспериментальном участке научно-технического центра ООО «Красноярский металлургический завод» путем полунепрерывного литья в металлический кокиль получены заготовки, на которых проведена оценка наиболее приемлемой концентрации элементов-модификаторов, изучено влияние температурно-скоростных параметров литья сплошных слитков различных размеров и параметров отжига на их структуру и физико-механические свойства [2]. В соответствии с разработанной технологией заготовки из сплава АК12 диаметром 100 мм подвергали горячему прессованию на гидравлическом прессе усилием 2 МН с целью получения прутков диаметром 8 мм. Исследования механических свойств полученных прутков (временного сопротивления разрыву, предела текучести, относительного удлинения) дали следующие результаты: $\sigma_b = 179...198$ МПа; $\sigma_{0,2} = 102...117$ МПа; $\delta = 25...30$ % (рис. 1). Далее проводили отжиг в интервале температур 300...550 °С с одинаковой выдержкой, равной 2 ч. После выдержки при заданной температуре образцы прутков охлаждали на воздухе и проводили испытания методом одноосного растяжения.

С увеличением температуры отжига временное сопротивление разрыву материала падает на 20 %, однако пластические свойства, полученные после отжига, как при температуре 350 °С, так и при температуре 550 °С отличаются менее чем на 1 %. Поэтому для реализации технологии был рекомендован интервал температур отжига горячедеформированных полуфабрикатов в диапазоне 380...420 °С.

Далее получали проволоку диаметром от 2,0 до 1,4 мм путем холодного многократного волочения. Проведение промежуточных отжигов холоднодеформированных полуфабрикатов пока-

зало, что прочностные показатели (временное сопротивление разрыву, предел текучести) снижаются на 30...40 %, а пластичность увеличивается практически в два раза (табл. 1).

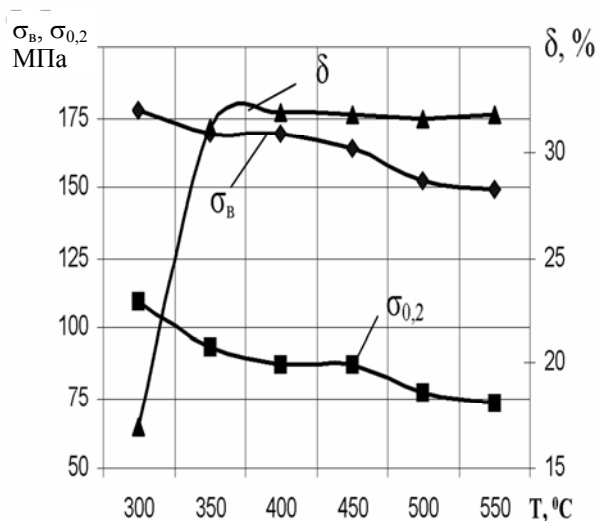


Рис. 1. Влияние температуры отжига на механические характеристики прутков из сплава АК12

В результате проведения работ были получены опытно-промышленные партии проволоки диаметром 2,0 и 1,6 мм общим весом 235 кг, которые в нагартованном состоянии характеризовались следующими механическими свойствами: $\sigma_{\text{в}} = 259...265,6$ МПа; $\sigma_{0,2} = 238...242,9$ МПа; $\delta = 4,2...6,4$. Эти партии проволоки были переданы для проведения испытаний ФГУП «Научно-производственное объединение Прикладной механики имени академика М. Ф. Решетнева» (г. Железногорск) и ОАО «Бугурусланский завод „Радиатор“» (г. Бугуруслан). Использование проволоки диаметром 1,6 мм в качестве припоя (сварочной проволоки) для изготовления паяных волноводов летательных аппаратов из сплава АК12 показало, что полученные образцы полностью удовлетворяют требованиям конструкторской документации.

Второй вариант технологии производства деформированных полуфабрикатов из сплава АК12 позволяет существенно снизить трудо- и энергоёмкость получения сварочной проволоки за счет сокращения циклов обработки и применения

новых видов деформации металла, основанных на использовании метода литья в электромагнитный кристаллизатор специальной конструкции [3]. С помощью этого метода получали заготовку диаметром 15 мм. Далее ее обрабатывали на лабораторной установке СПП-200 с начальным диаметром валков 200 мм и мощностью приводного электродвигателя 40 кВт [1]. Температуру нагрева заготовок (450...480 °С) контролировали хромель-алюмелевой термопарой и потенциометром. Одновременно осуществляли нагрев валков до максимальной температуры 200 °С при помощи специальной печи, выполненной в виде кожуха по форме валков, который снабжен нихромовыми нагревателями. После нагрева заготовок и валков до необходимой температуры валки установки вращали со скоростью 4 об/мин и подавали нагретые заготовки в зону прокатки. Далее металл попадал в калибр и достигал матрицы, смонтированной на матрицедержателе, причем матрица с помощью клинового устройства была плотно поджата к валкам снизу и полностью перекрывала калибр. Металл осаживался перед матрицей, заполнял калибр в зоне распрессовки и выдавливался через канал матрицы в виде прутка диаметром 9 мм. Замеренная при этом междоами сила прессования составила 143,9 кН, а сила, действующая на валки, оказалась равной 160,2 кН. Для получения прутков большой длины осуществляли последовательную подачу нескольких заготовок, при этом происходила их сварка в очаге деформации. Далее проводили волочение проволоки до заданного размера на волочильном стане.

Механические свойства литых заготовок, прутков и проволоки определяли методом испытания на растяжение. Полученные данные по условному пределу текучести $\sigma_{0,2}$, временному сопротивлению разрыву $\sigma_{\text{в}}$ и относительному удлинению δ сплава представлены в табл. 2. Анализ результатов исследований показал, что уже на стадии производства литой заготовки получена мелкозернистая структура (см. рис. 2), а величины прочностных и пластических характеристик (табл. 2) значительно превышают аналогичные характеристики обычных литых сплавов системы Al–Si–Mg.

Таблица 1

Механические свойства прутков из сплава АК12 в холоднодеформированном и отожженном состоянии ($T = 400^\circ\text{C}$, время выдержки $t = 2$ ч)

Состояние материала	Суммарная деформация, $\ln \lambda_{\Sigma}$	Механические свойства		
		$\sigma_{\text{в}}$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %
Холоднодеформированное	1,39	246,8	222,9	6,7
Отожженное		181,3	168,2	13,2
Холоднодеформированное	2,54	251,9	226,7	6,1
Отожженное		188,4	171,7	12,8

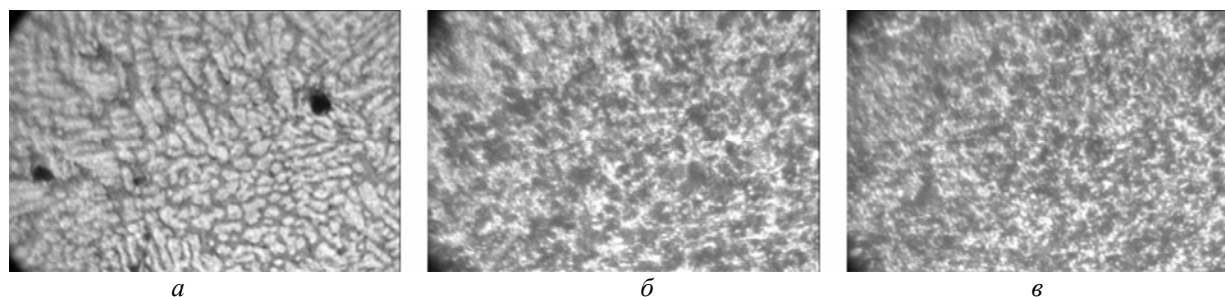


Рис. 2. Микроструктура ($\times 3$) литой заготовки (а), прутка после прессования (б) и проволоки из сплава АК12 после волочения (в)

Таблица 2

Механические свойства литой заготовки, прутка и проволоки из сплава АК12

Состояние материала	Диаметр, мм	Механические свойства		
		σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %
Литое	15	290,8	138,7	14,8
Горячепрессованное	9	201,1	112,5	20,2
Холоднодеформированное	2	445,6	—	6,8
Отожженное	2	235,6	222,9	7,3
Холоднодеформированное	1,6	497,3	—	5,2
Холоднодеформированное	1,4	519,7	—	3,8

Горячая обработка такой литой заготовки методом совмещенной прокатки-прессования протекала устойчиво и без образования дефектов с достаточно большими степенями деформации, а последующее волочение дало возможность получать проволоку с заданным уровнем механических свойств здесь варьирования режимами отжига (см. табл. 2). Специалистами Научно-производственного объединения Прикладной механики имени академика М. Ф. Решетнева подтверждено, что сварочная проволока из сплава АК12, изготовленная с использованием новой технологии совмещенной прокатки-прессования, соответствует ТУ 1-808-274-2003 и может применяться для пайки волноводных трактов из алюминиевых сплавов.

Таким образом, исследования показали, что разработанные авторами варианты технологии получения проволоки из алюминиево-кремниевых сплавов можно применять как на крупных металлургических предприятиях, так и на мини-заводах [4] с использованием оборудования для совмещенной прокатки-прессования небольших габаритных размеров и мощности.

Библиографический список

1. Сидельников, С. Б. Комбинированные и совмещенные методы обработки цветных металлов и сплавов: моногр. / С. Б. Сидельников, Н. Н. Довженко, Н. Н. Загиров. М.: МАКС-Пресс, 2005. 344 с.
2. Горбунов, Д. Ю. Исследование параметров деформации модифицированных алюминиево-кремниевых сплавов и механических свойств тонкостенных холоднодеформированных полуфабрикатов из них / Д. Ю. Горбунов, Г. В. Ровенский, Т. В. Стайнова // Технология легких сплавов. 2004. № 6. С. 29–32.
3. Пат. на полезную модель 48836 Российская Федерация. Устройство для непрерывного литья слитков в электромагнитном поле / М. В. Первухин, В. Н. Тимофеев, Р. М. Христинич и др. Опубл. 10.11.05, Бюл. № 31.
4. Горбунов, Ю. А. Мини-заводы по производству длинномерных изделий из цветных металлов и сплавов / Ю. А. Горбунов, Н. Н. Довженко, С. Б. Сидельников // Достижения науки и техники – развитию сибирских регионов: материалы Второй всерос. науч.-практ. конф. / Краснояр. гос. техн. ун-т. Красноярск, 2000. Ч. 3. С. 234–237.

S. B. Sidelnikov, N. N. Dovzhenko, Yu. A. Gorbunov, D. Y. Gorbunov, E. S. Lopatina, R. E. Sokolov

DESIGNING OF NEW TECHNOLOGIES FOR COMBINED PROCESSING OF THE ALUMINIUM-SILICON ALLOYS

The results of explorations of new «know-how» of hot and hard-wrought products from stock materials of the aluminum-silicon alloys received by various aspects of casting are given. It is shown that application of the combined processing methods of such alloys enables to gain semi manufactured materials and products with a required level of speed-torque characteristics.