05.02.22 Организация производства (по отраслям)(технические науки)

DOI: 10.31660/0445-0108-2019-2-104-108

УДК 669.018/541.126

**Температурная зависимость теплопроводности Al-Si-1%Fe
сплавов при нагревании до 150 °С**

А. С. Жилин*, В. Р. Ялунина, Д. С. Варламенко

*Уральский федеральный университет им. первого Президента России
Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия*

**e-mail: zh-al@yandex.ru*

Аннотация. Исследована температурная зависимость теплопроводности серии экспериментально полученных алюминий-кремниевых сплавов с разным легированием кремния и с дополнительным содержанием железа 1 % по массе. В работе показано, как влияет изменение содержания кремния на тепловые свойства экспериментально полученных сплавов при комнатной температуре, а также описан характер изменения теплопроводности при нагревании до 150 °С. На основе полученных сведений сделан вывод, что сплав с содержанием 4 % кремния по массе является наиболее перспективным для использования в качестве материала для решения задач теплообмена.

Ключевые слова: алюминий; алюминий-кремниевые сплавы; кремний; теплопроводность; теплообмен; железо; литье; структура; температура

**Temperature dependence of thermal conductivity of Al-Si-1%Fe alloys
under heating up to 150 °C**

Alexander S. Zhilin*, Valeria R. Yalunina, Darya S. Varlamenko

*Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin,
Ekaterinburg, Russia*

**e-mail: zh-al@yandex.ru*

Abstract. We have studied the temperature dependence of the thermal conductivity of a series of experimentally obtained aluminum-silicon alloys with different silicon addition and additional iron content of 1 % by weight. The article shows how the change in the silicon content affects the thermal properties of the experimentally obtained alloys at room temperature. Also, the article describes the character of the change in thermal conductivity when the samples are heated up to 150 °C. Based on the obtained data, we con-

clude that the alloy containing 4 % silicon by weight is the most prospective for usage as a material for solving heat transfer problems.

Key words: aluminum; aluminum-silicon alloys; silicon; thermal conductivity; heat exchange; iron; casting; structure; temperature

Введение

Алюминиевая промышленность непрерывно и стремительно развивается в последние десятилетия, что прежде всего связано с возможностями применения сплавов на основе алюминия почти во всех отраслях производства и потребления. Самыми перспективными областями потребления алюминиевых сплавов являются автомобильная и авиационная промышленности, в которых одно из назначений алюминиевых сплавов — это решение задач теплообмена.

Алюминий и его сплавы обладают сравнительно небольшой плотностью и являются хорошими проводниками тепла [1]. Теплопроводность чистого алюминия имеет одно из самых высоких значений по сравнению с другими металлами [2]. Однако высокая пластичность и недостаточные высокие механические свойства не позволяют использовать чистый алюминий в качестве материала, обладающего конструкционными свойствами [3]. В связи с этим одной из основных задач материаловедения является разработка сплавов, которые возможно эффективно использовать в качестве материалов для отвода тепла. Однако искомые материалы должны иметь высокую теплопроводность, достаточно высокие механические свойства, а также высокую технологичность [4].

Литейные алюминий-кремниевые сплавы подходят для решения обозначенных задач. Литейные технологии снижают стоимость технологий изготовления в сравнении с методами обработки металлов давлением [5]. Однако любое легирование чистого алюминия необратимо снижает параметры теплопроводности материалов. По этим причинам целью настоящей работы является поиск оптимальных составов сплавов, обладающих высокой теплопроводностью и высокими технологическими свойствами.

Объект и методы исследования

Основной целью работы является изучение влияния легирования кремнием и железом на теплопроводность при комнатной температуре и нагревании до 150 °С посредством определения температурной зависимости теплопроводности алюминий-кремниевых сплавов при разных температурах.

Объектом исследования является серия экспериментально полученных в лабораторных условиях литейных алюминий-кремниевых сплавов, дополнительно легированных железом в количестве 1 % по массе. Содержание кремния в сплавах варьируется от 0 до 12 % с шагом в 2 % по массе. Шаг в 2 % выбран по причине ранее проведенной расчетной работы по моделированию составов сплавов [6] с целью предсказания фазовых превращений. Повышенное содержание кремния существенно приводит к улучшению технологичности сплавов за счет уменьшения интервала кристаллизации, в то время как железо добавляется для улучшения заполняемости формы в процессе литья под давлением.

Все экспериментальные сплавы получены в лабораторных условиях. Исходными материалами для плавок являлись чистый алюминий (99,98% Al) и сплав Al-Si с содержанием 12% Si (по массе) такого же уровня чистоты.

Анализ теплопроводности проводился на оборудовании для измерения температуропроводности и теплопроводности лазерной вспышкой «NETZSCH LFA 457 MicroFlash».

Результаты и их обсуждение

Результаты измерения теплопроводности при комнатной температуре, а также информация о базе легирования экспериментально полученных сплавов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты измерения теплопроводности при комнатной температуре

Сплав	0%Si	2%Si	4%Si	6%Si	8%Si	10%Si	12%Si
Вт/К·м	244,4	198,9	191,1	161,2	167,3	162,9	141,4

Рисунок. Зависимость теплопроводности при комнатной температуре от содержания кремния в сплаве

На рисунке приведены параметры теплопроводности анализируемых сплавов при комнатной температуре в зависимости от содержания кремния в сплавах.

Повышение содержания кремния приводит к необратимому снижению теплопроводности при комнатной температуре. Теплопроводность сплава с 12 % кремния почти в два раза ниже теплопроводности чистого алюминия. Теплопроводность чистого кремния значительно ниже теплопроводности чистого алюминия, это является главной причиной, кремний работает как примесь, блокирующая отвод тепла. Легирование сплавов железом в количестве 1 % по массе также влияет на конечную теплопроводность.

Сплавы с содержанием кремния от 6 % и выше согласно целям настоящей работы не имеют практического интереса, поскольку большое содержание кремния приводит к существенному снижению теплопроводных свойств, и по этой причине невозможно создание высокоэффективного материала для теплообмена с высоким содержанием кремния.

В таблице 2 приведены сведения о составах сплавов и значениях теплопроводности, измеренных при четырех различных температурах.

Таблица 2

Результаты измерения теплопроводности анализируемых сплавов при различных температурах (25 °С, 50 °С, 100 °С, 150 °С)

Сплав	0%Si	2%Si	4%Si	6%Si
Вт/К·м (комнатная температура 25 °С)	246,9	198,9	191,1	161,2
Вт/К·м (50 °С)	239,8	188,0	177,2	166,8
Вт/К·м (100 °С)	232,5	183,2	172,9	166,4
Вт/К·м (150 °С)	227,1	178,9	168,5	163,4

Наблюдается снижение теплопроводности при нагревании чистого алюминия от 246,9 при комнатной температуре до 227,1 Вт/К·м при 150 °С, что составляет примерно 8 % от исходного значения теплопроводности. При нагревании сплава с 2 % кремния теплопроводность снижается от 198,9 при комнатной температуре до 178,9 Вт/К·м, что составляет 10 % от исходного значения теплопроводности. Для сплава с 4 % кремния теплопроводность снижается на 12 % до 168,5 Вт/К·м со 191,1 Вт/К·м при комнатной температуре. Для сплава с 6 % кремния теплопроводности при комнатной температуре и температурах 50, 100, 150 °С не отличаются.

Для эффективного использования материала в качестве отводящего тепло предлагаемые составы должны давать значения теплопроводности выше 180 Вт/К·м.

Сплав с содержанием 4 % кремния по массе имеет сравнительно высокое значение теплопроводности при нагревании до 150 °С, сочетающееся одновременно с более высокими технологическими свойствами. Поэтому ожидается, что данный сплав может быть наиболее перспективен для использования в производстве теплообменного материала.

На значения теплопроводности сплавов большое влияние оказывает технология производства данного сплава. Литейные сплавы, как правило, всегда имеют в структуре дефекты литейного происхождения, которые оказывают прямое влияние на плотность. Серия экспериментально полученных в лабораторных условиях сплавов в данной работе получена методом литья, и в конечном итоге разные плотности анализируемых сплавов также повлияли на значения теплопроводности как при комнатной температуре, так и при нагревании. Процессы формирования структуры будут в последующих работах дополнительно исследованы и обсуждены.

Выводы

В результате выполненной работы определен характер поведения теплопроводности в литейных алюминий-кремниевых сплавах с 1 % железа и различным содержанием кремния от 0 до 12 % по массе. Количественно показано, как снижается теплопроводность с увеличением содержания кремния. Сделан вывод о существенном влиянии кремния и железа на теплопроводность при комнатной температуре.

Добавление кремния в сплав в количестве от 6 % по массе и выше приводит к значительному снижению теплопроводности, что в конечном итоге не позволяет обсуждать возможности использования данных сплавов с содержанием кремния более 6 % (по массе) как материалов для теплового обмена.

Предложено использовать алюминиевый сплав с содержанием 4 % кремния по массе как потенциально перспективный материал с высокими теплообменными и литейными свойствами для производства теплопроводящих материалов.

Библиографический список

1. Haizhi Ye. An Overview of the Development of Al-Si-Alloy Based Material for Engine Applications // Journal of Materials Engineering and Performance. – 2003. Vol. 12, Issue 3. – P. 288–297. DOI: 10.1361/105994903770343132
2. Influence of Fe and Si addition on the properties and structure conductivity aluminum // M. Jablonski [et al.] // Arch. Metall. Mater. – 2017. – Issue 62. – P. 1541–1547. DOI: 10.1515/amm-2017-0237
3. Influence of variation in the silicon content on the silicon precipitation in the Al-Si binary system / Yu-Mi Kim [et al.] // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. – 2017. – Issue 128. – P. 107–113. DOI: 10.1007/s10973-016-5840-9

4. Haizhi Ye. An overview of the development of Al-Si-alloy based material for engine applications // Journal of Materials Engineering and Performance. – 2003. – Vol. 12, Issue 3. – P. 288–297. DOI: 10.1361/105994903770343132
5. Taylor J. A. Iron-containing intermetallic phases in Al-Si based casting alloys // 11th International Congress on Metallurgy & Materials Sam/Conamet 2011. – 2012. – Vol. 1. – P. 19–33. DOI: 10.1016/j.mspro.2012.06.004
6. Моделирование фазовых превращений для прогнозирования фазового состава литых алюминиево-железосилициевых сплавов / А. С. Жилин [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2018. – № 7. – С. 17–21.

Сведения об авторах

Жилин Александр Сергеевич, к. т. н., доцент кафедры металловедения, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, e-mail: zh-al@yandex.ru

Ялунина Валерия Рамильевна, аспирант кафедры металловедения, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург

Варламенко Дарья Сергеевна, студент кафедры металловедения, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург

Information about the authors

Alexander S. Zhilin, Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of Metallography, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg, e-mail: zh-al@yandex.ru

Valeria R. Yalunina, Postgraduate at the Department of Metallography, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg

Darya S. Varlamenko, Student at the Department of Metallography, Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, Ekaterinburg