

УДК 621.74

Развитие и применение явления структурной наследственности в алюминиевых сплавах

В.И. Никитин*, К.В. Никитин

*Самарский государственный технический университет,
Россия, 443100, Самара, ул. Молодогвардейская, 244*

Received 30.12.2013, received in revised form 25.02.2014, accepted 28.05.2014

Представлен краткий анализ истории и развития явления структурной наследственности в алюминиевых сплавах. Приведены новые результаты исследований, выполненных научным коллективом кафедры «Литейные и высокоэффективные технологии» Самарского государственного университета. Показана перспектива дальнейшего развития явления структурной наследственности в качестве основы для создания технологий генной инженерии в сплавах.

Ключевые слова: явление структурной наследственности, алюминиевые сплавы, расплавы, микроструктурные лигатуры, микроструктура, механические свойства, вязкость, структурная информация.

Явление структурной наследственности (ЯСН) как научное направление «Наследственность в литых сплавах» сформировалось в период 1970-1995 гг. на основе многолетних исследований, практического, но разрозненного опыта многих металлургов и литейщиков, работавших со сплавами различной природы и составов.

В настоящее время явление структурной наследственности в сплавах трактуется как совокупность закономерностей, объясняющих последовательность и механизм закладки, передачи и проявления структурной информации в системе «шихта–расплав–литое изделие–деталь» (или твердое–жидкое–твердое) [1-3].

Первые работы по исследованию влияния качества шихтовых металлов (первичные металлы, лигатуры, возвраты и т.д.) проводили в 1960-1970 гг. на литейной кафедре Красноярского института цветных металлов под руководством Д.П. Ловцова и Г.Г. Крушенко. В этих работах принимали участие специалисты сибирских предприятий (А.С. Мишин, М.Г. Ботяновский, А.А. Остапенко и др.), а затем аспиранты кафедры (В.И. Никитин, В.И. Шпаков). Были установлены многие экспериментальные факты, подтверждающие наследственное влияние структуры различных шихтовых металлов на свойства силуминов и магналиев, и позволившие обосновать природу эффектов, признаков и носителей наследственности в алюминиевых сплавах [4].

© Siberian Federal University. All rights reserved

* Corresponding author E-mail address: kvn-6411@mail.ru

В 80-90-е гг. XX века большую роль в объединении усилий ученых-теоретиков и практиков, занимающихся металлическими сплавами, сыграли известные научно-технические конференции, проводимые в Днепропетровске («Эвтектика»), в Свердловске-Екатеринбурге («Металлические и шлаковые расплавы») и в Куйбышеве-Самаре («Наследственность в литых сплавах»). Данные мероприятия способствовали интенсификации научных исследований, привлечению к проблеме структурной наследственности физиков и химиков, математиков и металлургов и, как следствие, уточнению существующих и развитию новых модельных теорий за счет применения современных методик для изучения жидкого состояния реальных металлических систем. Мощным импульсом для более глубоких исследований структурной наследственности и ее практического применения послужили издания монографий В.И. Никитина, И.В. Гаврилина, И.Г. Бродовой, П.С. Попеля и др. [1, 3, 5-7].

К настоящему времени уточнены и дополнены основные закономерности явления структурной наследственности, в которых обобщены известные практические и теоретические подходы, а также некоторые феноменологические аспекты (табл. 1). В первой закономерности обобщен накопленный практический опыт применения различных способов, обеспечивающих формирование в шихтовых металлах положительной структурной информации, которая может сохраняться в системе «твердое–жидкое–твердое». Установлено, что устойчивость заложенной структурной информации определяется физическими и химическими свойствами элементов, образующих многокомпонентный сплав. Для алюминиевых сплавов наследственную связь структуры шихтовых металлов и свойств литых изделий наиболее ярко отражают физико-химические критерии растворимости α и распределения η : добавки Mn, Fe, Ni усиливают склонность алюминиевых сплавов к наследованию структуры шихты; добавка Ti приводит к нивелированию влияния структурной информации от шихты к литому изделию (2-я закономерность). Например, для разрушения унаследованных микронеоднородностей требуются более высокие перегревы расплавов Al-Fe (Mn, Ni) над линией ликвидуса [7]. Наиболее дискуссионными, с точки зрения многих исследователей, до сих пор остаются третья и четвертая закономерности ЯСН. Вопросы, в основном, вызывают материальная

Таблица 1. Основные закономерности ЯСН

Закономерность	Трактовки закономерностей
Первая	Закладка структурной информации осуществляется путем обработки шихтовых металлов специальными способами и оптимальным выбором состава шихты
Вторая	Склонность сплавов к наследованию определяется физико-химическими критериями, характеризующими взаимодействие основы с компонентами сплава в твердом и жидком состояниях
Третья	Унаследованные дисперсные частицы и кластеры в расплаве (элементы структуры расплава – ЭСР) являются генами структурной информации шихтового материала
Четвертая	Унаследованные расплавом дисперсные частицы и кластеры являются потенциальными дозародышами и центрами кристаллизации
Пятая	В системе «шихта – расплав – литое изделие» выполняется условие (эмерджентности), когда целое (система) не равно сумме составляющих его элементов

природа, масштабы и температурно-временная устойчивость элементов структуры расплавов, унаследованных от структуры шихтовых металлов. Феноменологический аспект пятой закономерности ЯСН заключается в том, что в публикациях практически отсутствуют аргументированные данные о том, какая часть заложенной в шихтовых металлах структурной информации передается при определенных условиях через расплав в литое изделие.

К настоящему времени систематизирована [1, 3] и внесена в словарь-справочник по литейному производству [2] терминология, отражающая научную и практическую составляющие данного явления, например: «структурная наследственность», «ген», «генная инженерия», «технологии генной инженерии». Опубликованы учебное пособие по строению и свойствам металлических расплавов [8] и учебник по теории литейных процессов [9], в которых рассматриваются современные модели микронеоднородного строения расплавов и большое внимание уделяется влиянию металлургической наследственности шихтовых металлов на свойства сплавов и литых изделий. В учебный процесс литейной кафедры СамГТУ с 1991 г. внедрена учебная дисциплина «Наследственность в литых сплавах», включающая лекционный курс и лабораторные работы.

Исследования, выполненные в 2010-2013 гг., убедительно доказали наследственное влияние структуры крупно- (К) и мелкокристаллической (М) шихты, содержания водорода и влияние перелива рафинированных и дегазированных расплавов на физико-химические свойства сплава АК6М2 в жидком и твердом состояниях. Плотность сплава в жидком состоянии определяли по усовершенствованной методике Ловцова-Абрамова [10].

Установлено, что перелив обработанных расплавов отрицательно влияет на свойства сплава в жидком и твердом состояниях. При этом абсолютные значения свойств сплава, полученного из М-шихты, имеют лучшие значения. Наиболее ярко эффекты наследственности представлены на рис. 1: видна четкая зависимость между структурным состоянием шихты, содержанием водорода и плотностью в жидком (d_L) и твердом (d_S) состояниях сплава.

Проведены исследования эффективности микрокристаллических модифицирующих лигатур (МкМЛ) $AlTi_5$, $AlTi_5B_1$ и $AlSr_{10}$. Показано, что применение специальных способов обработки шихтовых металлов при получении данных лигатур позволяет существенно повысить модифицирующий эффект при сокращении их расхода. В основу технологий получения и применения МкМЛ для силуминов положен принцип избирательного (генного) модифицирования, который заключается в целенаправленном формировании размерно-количественных и морфологических параметров зародышевых фаз [11]. Установлено, что мелкоигольчатые интерметаллиды типа Al_3Ti оказывают наследственное влияние на увеличение твердости силуминов, а дисперсные блочные – на предел прочности и относительное удлинение. Влияние малых добавок микрокристаллических модификаторов на структуру и механические свойства промышленных сплавов системы Al-Si показано на рис. 2, 3.

Среди многочисленных практических и научно-исследовательских работ литейной кафедры СамГТУ в области алюминиевых сплавов только за период 2010-2013 гг. можно выделить следующие.

1. Выполнен технологический аудит производства алюминиевого литья, проведены курсы повышения квалификации на ОАО «АВТОВАЗ» и проводятся опытно-промышленные

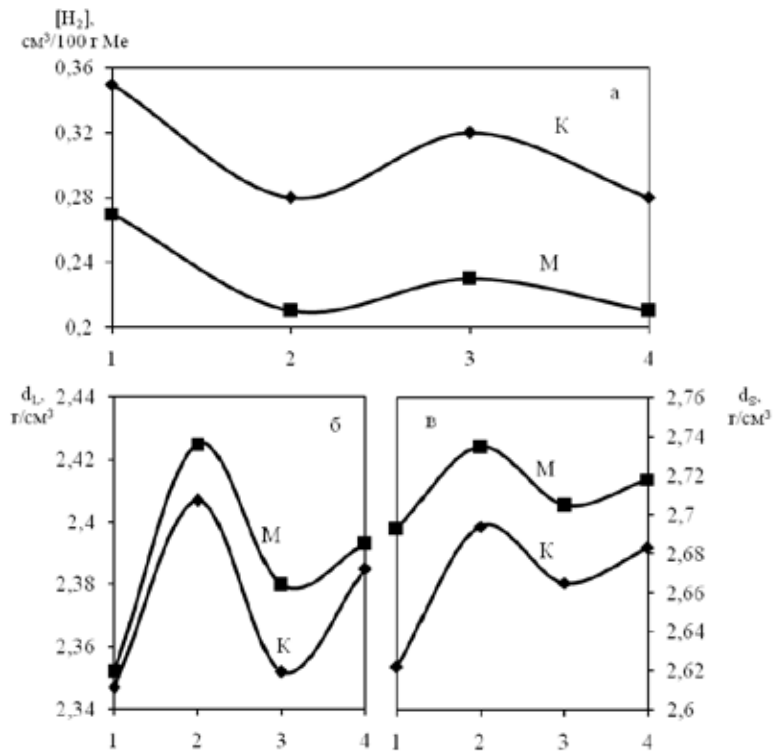


Рис. 1. Наследственное влияние структуры шихты на газосодержание (а), плотность в жидком (б) и твердом (в) состояниях сплава АК6М2: М и К – мелко- и крупнокристаллическая шихты; 1-4 – без обработки, рафинирование и дегазация, перелив и выдержка 20 мин, выдержка 40 мин, соответственно

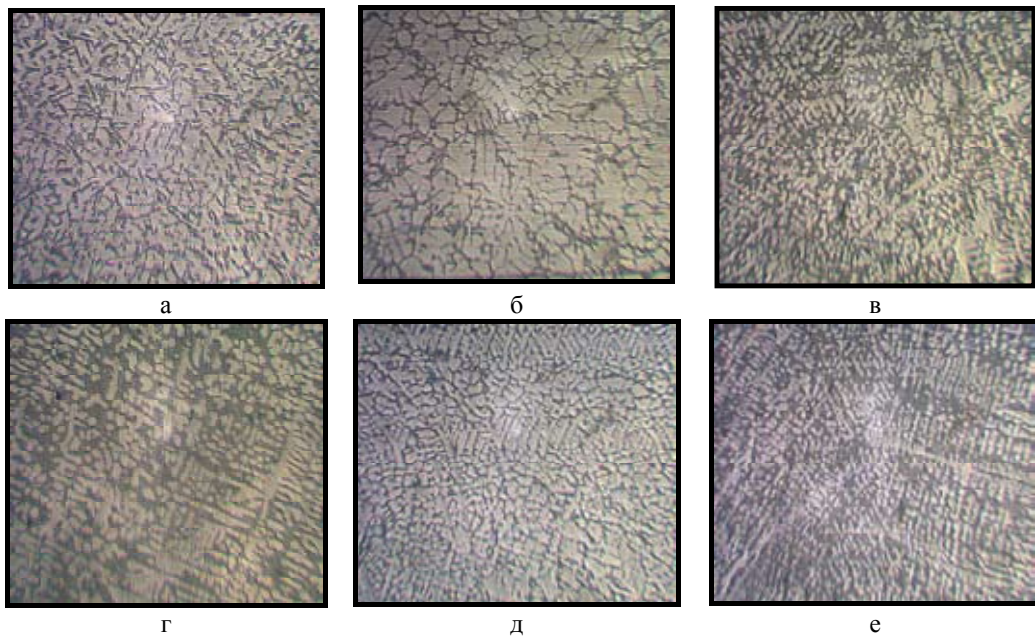


Рис. 2. Влияние МкМЛ на структуру промышленных силуминов ($\times 100$): а,б,в – не модифицированные АК9ч, АК6М2, АК10М2Н, соответственно; г, д, е – модифицированные АК9ч (0,015%Sr), АК6М2 (0,02%Sr), АК10М2Н (0,02%Ti)

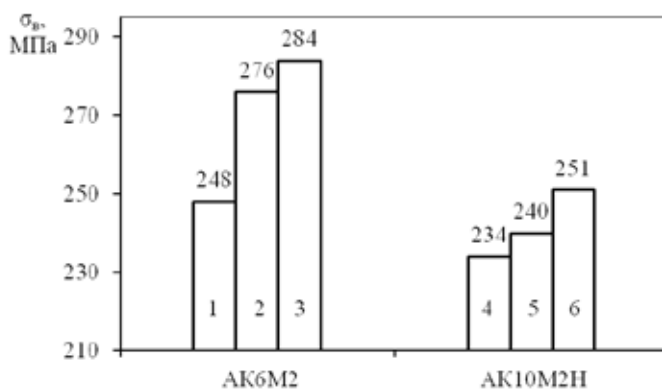


Рис. 3. Влияние модифицирования добавками МкМЛ на предел прочности сплавов АК6М2 (Т6) и АК10М2Н (Т2): 1, 4 – без модифицирования; 2, 5 – добавка AlTi5 (0,02%Ti); 3, 6 – добавка AlSr10 (0,02%Sr)

испытания по совершенствованию комплексных технологий подготовки алюминиевых расплавов к литью¹.

2. Разработаны и запатентованы комплексные технологии получения легирующих лигатур для сплавов конструкционного и функционального назначения [12-14]. Организовано малотоннажное производство лигатур, припоев и термоиндикаторных сплавов на основе цветных металлов.

3. Запатентована программа ЭВМ «ТЕМПЛЕТ S7.AJCS» для определения балла газовой пористости в алюминиевых сплавах, разработанная совместно со специалистами компании СИАМС (г. Екатеринбург) [15].

4. Разработаны технологические основы эффективного использования металлических отходов, образующихся при рециклировании отработанных изделий машиностроительного и электротехнического назначения².

5. Явление структурной наследственности находит новое применение для разработки технологий армирования и модифицирования алюминиевых сплавов наноразмерными частицами карбидов титана и кремния³.

¹ Ведомственная программа по сотрудничеству ОАО «АВТОВАЗ» с базовыми вузами России на период 2012-2016 гг.

² Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 гг.»; государственный контракт № П181 на 2010-2011 гг.

³ Работа выполняется в рамках реализации ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы»; государственный контракт № 14.513.11.0042.

Список литературы

- [1] Никитин В.И. Наследственность в литых сплавах. Самара: СамГТУ, 1995. 248 с.
 [2] Иванов В.Н. Словарь-справочник по литейному производству. 2-е изд. М.: Машиностроение. 2001. 464 с.
 [3] Никитин В.И., Никитин К.В. Наследственность в литых сплавах. М.: Машиностроение-1. 2005. 476 с.

- [4] *Никитин В.И.* Дис. ... канд. техн. наук. Красноярск: КИЦМ, 1972. 195 с.
- [5] *Гаврилин И.В.* Плавление и кристаллизация металлов и сплавов. Владимир: ВГУ, 2000. 260 с.
- [6] *Бродова И.Г., Попель П.С., Эскин Г.И.* Liquid metal processing: application to aluminium alloy production. Taylor&Francis.L.; N.Y., 2002; Gordon&Breach. L.; N.Y., 2004. 268 p.
- [7] *Бродова И.Г., Попель П.С., Барбин Н.М., Ватолин Н. А.* Исходные расплавы как основа формирования структуры и свойств алюминиевых сплавов. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 369 с.
- [8] *Еланский Г.Н., Еланский Д.Г.* Строение и свойства металлических расплавов: учебное пособие для вузов, 2-е изд., перераб. и доп. – М.:МГВМИ, 2006. 228 с.
- [9] Теория литейных процессов: учебник/ В.Д. Белов и др.; под ред. Хосена Ри. Хабаровск: «РИОТИП». 2008. 580 с.
- [10] *Никитин К.В., Тимошкин И.Ю., Панышев П.И., Салахутдинов Д.Ф., Ловцов Д.П.* // Прогрессивные литейные технологии. Труды 6-й междунар. научно-техн. конф. М: Лаборатория рекламы и печати, 2011, С. 74-76
- [11] *Никитин К.В.* Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Владимир: ВлГУ, 2003. 32 с.
- [12] Пат. РФ №2365651/ Белов В.Ю., Качалин Н.И., Малинов В.И., Тихий Г.А., Никитин К.В. Способ низкотемпературного получения мелкокристаллической высококремнистой алюминиево-кремниевой лигатуры. Оpubл. 27.08.2009. Бюл. №24.
- [13] *Тимошкин И.Ю.* Автореф. дис. ... канд.техн.наук. Владимир: ВлГУ, 2011. 23 с.
- [14] Патент РФ №2448180/ Никитин К.В., Никитин В.И., Тимошкин И.Ю. Способ приготовления мелкокристаллической алюминиево-кремниевой лигатуры. Оpubл. 20.04.2012. Бюл. №11.
- [15] Свидетельство о гос.рег. прогр. для ЭВМ №2012661037 от 5.12.2012.

Development and Application of the Phenomenon of Structural Heredity in Aluminum Alloys

Vladimir I. Nikitin and Konstantin V. Nikitin
*Samara State Technical University,
244 Molodogvardeyskaya Str., Samara, 443100, Russia*

The short analysis of history and development of the phenomenon of structural heredity in aluminum alloys is submitted. New results of the researches executed by scientific personnel of "Foundry and Highly Effective Technologies" chair of the Samara state university are given. The perspective of further development of the phenomenon of structural heredity as a basis for creation of technologies of genetic engineering in alloys is shown.

Keywords: phenomenon of structural heredity, aluminum alloys, melts, microcrystalline master alloys, microstructure, mechanical properties, viscosity, structural information.
