



УДК 621/74

© *Х. Ри, Э. Х. Ри, С. Н. Химухин, В. Э. Ри, Т. С. Зернова, Г. А. Князев, 2013*

## ТЕПЛОВЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ И СВОЙСТВА АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

*Ри Х.* - д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой «Литейное производство и технология металлов»; *Ри Э. Х.* - д-р техн. наук, проф. кафедры «Литейное производство и технология металлов»; *Химухин С. Н.* - д-р техн. наук, проф., зав. лабораторией «Конструкционные и инструментальные материалы», e-mail: ximuxin@yandex.ru; *Ри В. Э.* - студент гр. ТХОМ-01; *Зернова Т. С.* - асп., инженер кафедры «Литейное производство и технология металлов», e-mail: t.zernova@inbox.ru; *Князев Г. А.* - студент гр. ЛП-81 (ТОГУ)

Представлены результаты исследования влияния теплового воздействия (ТВО) на процесс структурообразования, технологические и механические свойства алюминиевых сплавов. Установлено, что ТВО расплава является одним из эффективных способов повышения степени дисперсности структурных составляющих технологических и механических характеристик отливок из алюминиевых сплавов, включая и синтетических на базе лома и отходов производства.

The research results about thermal exposure influence (TEI) on the process of structure formations and mechanical properties of aluminum alloys are provided. It is found that TEI of melt is one of the effective ways to enhance the dispersibility of structural components, technological and mechanical properties of aluminum alloys castings, including those synthesized on the basis of scrap and industrial waste.

*Ключевые слова:* прочность, относительное удлинение, расплав, алюминиевые сплавы, структурообразование.

В последнее время в области литейного производства и металлургии значительное распространение получили способы повышения качества отливок из черных и цветных сплавов, основанные на взаимосвязи строения и свойств этих самых сплавов в жидком и твердом состояниях.

Перспективной и очень важной сегодня представляется разработка технологических основ повышения качества отливок из алюминиевых сплавов (особенно из вторичных) на базе анализа структурно-чувствительных свойств расплавов. Систематические исследования свойств жидких алюминиевых сплавов в зависимости от термовременной обработки расплавов и установле-

ние их роли в процессах формирования структуры и свойств алюминиевых сплавов в отливках представляет большой научный и практический интерес. Анализ литературных данных показывает реальность генетической взаимосвязи металлургических процессов и состояния расплавленного металла, ее влияние на качество и свойства будущих отливок.

Исследовалось влияние температуры перегрева (ТВО) жидкого алюминия и его сплавов на их структуру и физико-механические свойства отливок с учетом особенностей изменения физических свойств жидкой фазы [1, 2].

На высокотемпературных установках для измерения электросопротивления ( $\rho$ ) и кинематической вязкости ( $\nu$ ) изучали температурные зависимости (политермы) указанных свойств.

На рис. 1 приведены политермы  $\rho$  жидкого алюминия марок А999 (кривая 1) и А99 (кривая 2 и 3), полученные в процессе охлаждения и повторного нагрева. Как видно, с уменьшением степени чистоты жидкого алюминия абсолютные значения  $\rho$  возрастают.

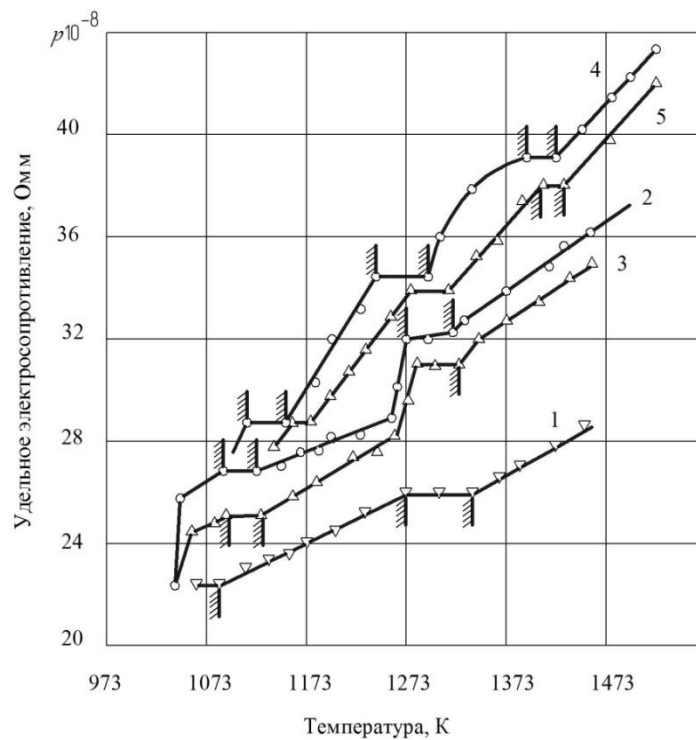


Рис. 1. Зависимость электросопротивления жидкого алюминия от температуры перегрева: 1 – расплав А999 (охлаждение), 2 – расплав А99 (охлаждение), 3 – расплав А99 (нагрев), 4 – расплав А7 (охлаждение), 5 – расплав А7 (нагрев)



Аномальный характер изменения  $\rho$  жидкого алюминия наблюдается в районе температур 983...1023 К и 1173...1233 К независимо от степени чистоты алюминия.

Измерение  $\rho$  жидкого алюминия технической чистоты А7 (кривая 4) подтверждает наличие аномалии в районе температур 1013...1048 К, 1148...1188 К и 1283...1323 К. При последующем измерении  $\rho$  в процессе нагрева (кривая 5) наблюдается гистерезис вплоть до 1423 К. При этом температурные интервалы аномального измерения жидкой фазы смещаются в сторону более высокой температуры: 1048...1073 К, 1173...1198 К, 1098...1323К.

Аномальное изменение  $\rho$  расплавов АЛ2, АЛ26 наблюдалось соответственно при 1273 и 1243 К (рис. 2). Сравнение политерм  $\rho$  и  $\nu$  и структурных параметров (положение и высота первого и второго структурных максимумов интенсивности, нормированная функция  $\alpha(S)$ , кратчайшее наиболее вероятное межатомное расстояние  $r_a$ , числа ближайших соседей  $Z_c$  и  $Z_n$ , полученных рентгеноструктурными исследованиями [3]) показывает, что изменение свойств расплава вблизи указанных температур не связано с экспериментальными погрешностями, а вызвано структурными превращениями с одновременным разрыхлением структуры расплава, обусловленным уменьшением числа ближайших соседей [4].

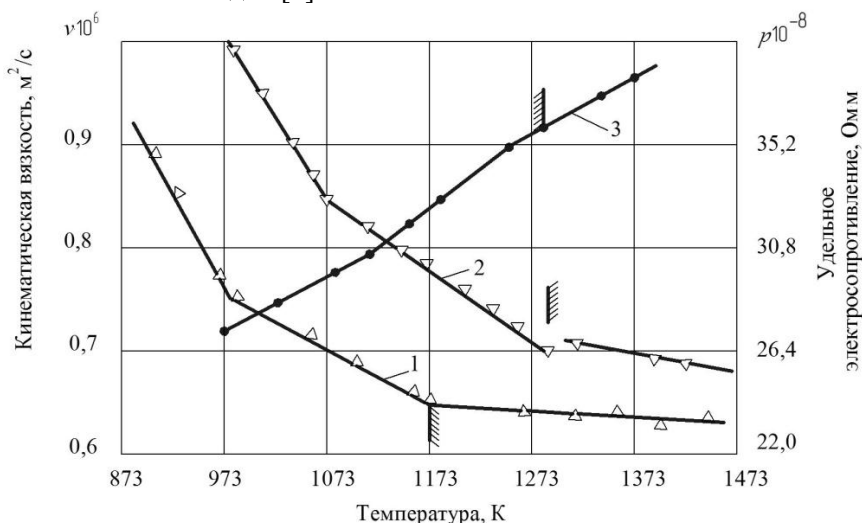


Рис. 2. Полимеры кинематической вязкости расплава: 1 – расплав А99, 2 – расплав АЛ2, 3 – электросопротивление расплава АЛ2

Надо полагать, что такой переход способен вызвать определенные изменения кинетики взаимодействия металла с газами, а также насыщения расплава легирующими элементами.

В рамках принятого механизма структурного изменения расплава представляет практический интерес оценка влияния на свойства алюминиевых

сплавов температурного воздействия (перегрева) относительно порогов аномального изменения физических свойств и структурных параметров.

Сплав АЛ26 (21% Si; 1,8% Cu; 0,6% Mg; 0,7% Mn; 1,5% Ni; 0,5% Co; до 0,4% Fe, по массе) после расплавления перегревали до различных температур в атмосфере аргона. При этом определяли оптимальную температуру перегрева, при которой достигался максимум прочностных свойств (рис. 3). Температура заливки жидкого металла оставалась постоянной для всех опытов и равнялась 973 К. Образцы для механических испытаний (ГОСТ 1497-73) изготавливались из цилиндрических слитков, отлитых в сухие песчано-глинистые формы. Максимумы значений  $\sigma_b$  и НВ наблюдались при перегреве расплава на 80 К выше порога аномального изменения  $\rho$ . Металлографический анализ показал, что повышение прочностных свойств обусловлено измельчением структурных составляющих. Наблюдалась обратная корреляция между  $\sigma_b$ , НВ и  $\delta$ .

Подобная взаимосвязь между свойствами в жидком и твердом состояниях наблюдалась у сплава АЛ9, полученный насыщением расплава отходов прессового производства (АД31) в отожженном состоянии кристаллическим кремнием ( $K_p3$ ), перегревали до различных температур и охлаждали до температуры заливки 973 К. Образцы для механических испытаний отливались в кокиль, подогретый до 573 К.

Одновременно заливали прутковую пробку на жидкотекучесть  $\lambda$ . На рис. 4 видно, что значения  $\sigma_b$ ,  $\delta$ ,  $\lambda$ ,  $\epsilon$  (линейная усадка) изменяются в зависимости от температуры перегрева немонотонно: максимумы значений  $\sigma_b$ , НВ и  $\lambda$  наблюдаются при 1023 и 1273 К. Значение второго максимума достигается при перегреве над вторым порогом аномального изменения электросопротивления  $\rho$  (1179...1223К). Микроструктура сплава состоит из дендритов  $\alpha$ -раствора, эвтектики и интерметаллидных высококремнистых фаз  $Al_xSi_yFe_z$ . Установлено, что строение и размеры структурных составляющих зависят от температурных режимов плавки. Максимальным значением  $\sigma_b$ ,  $\delta$ ,  $\epsilon$  и  $\lambda$ , как правило, соответствуют ячеистое строение дендритов  $\alpha$ -твердого раствора размерами 20...30 мкм, однородное строение эвтектической колонии и компактная (встречается крестообразная) форма включений интерметаллидной фазы размерами 60...100 мкм.

В синтезированном на базе отходов прессового производства (АД31) сплаве АЛ9 наблюдалась прямая корреляция между  $\sigma_b$  и  $\delta$ , в отличие от литейного сплава АЛ9.

С точки зрения сохранения «прессэффекта», т. е. упрочненного состояния деформированного алюминиевого сплава, представляет интерес исследование влияния температуры перегрева переплавленного сплава на механические свойства литой заготовки. Химический состав сплава АД31 следующий, мас. %: 0,3...0,5Si; 0,4...0,7 Mg; 0,01 Mn; 0,3...0,5 Fe; остальное Al.

Заливка расплава АД 31 в подогретый до 573 К кокиль проводилась при 1023 К. Из полученных слитков цилиндрической формы вытачивались стан-



дартные образцы на механические испытания. На рис. 5 приведена зависимость механических характеристик сплава АД 31 в литом состоянии от температуры перегрева расплава. Интервал температур 1073...1173 К является неблагоприятным с точки зрения повышения свойств сплава. Получены два максимума свойств ( $\sigma_b$  и  $\delta$ ) при 1023 и 1273 К. Второй максимум проявляется при перегреве расплава на определенную величину относительно второго порога аномального изменения электросопротивления 1243 К (рис. 2.42). В отличие от АЛ 26 у сплава АД 31 наблюдалась прямая корреляция между  $\sigma_b$  и  $\delta$ .

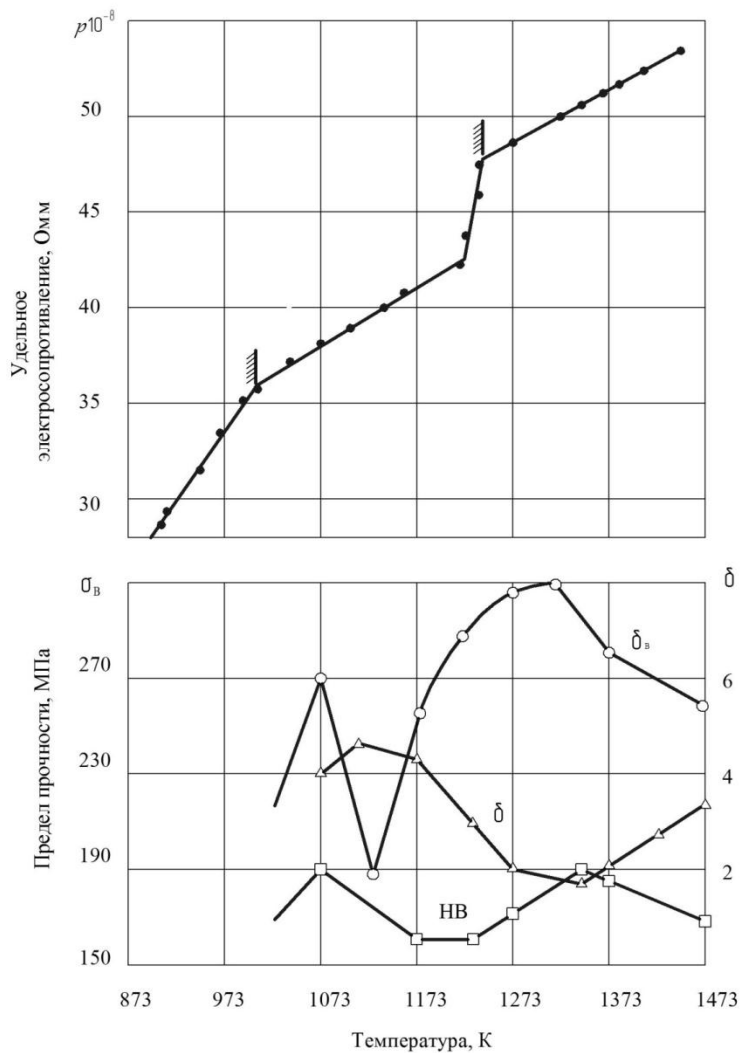


Рис. 3. Политерма сопротивления расплава и механические свойства сплава АЛ26

Следовательно, для сохранения положительного качества шихты (мелко-дисперсная структура, упрочненная пластическим деформированием и др.) необходим небольшой перегрев над температурой плавления сплава.

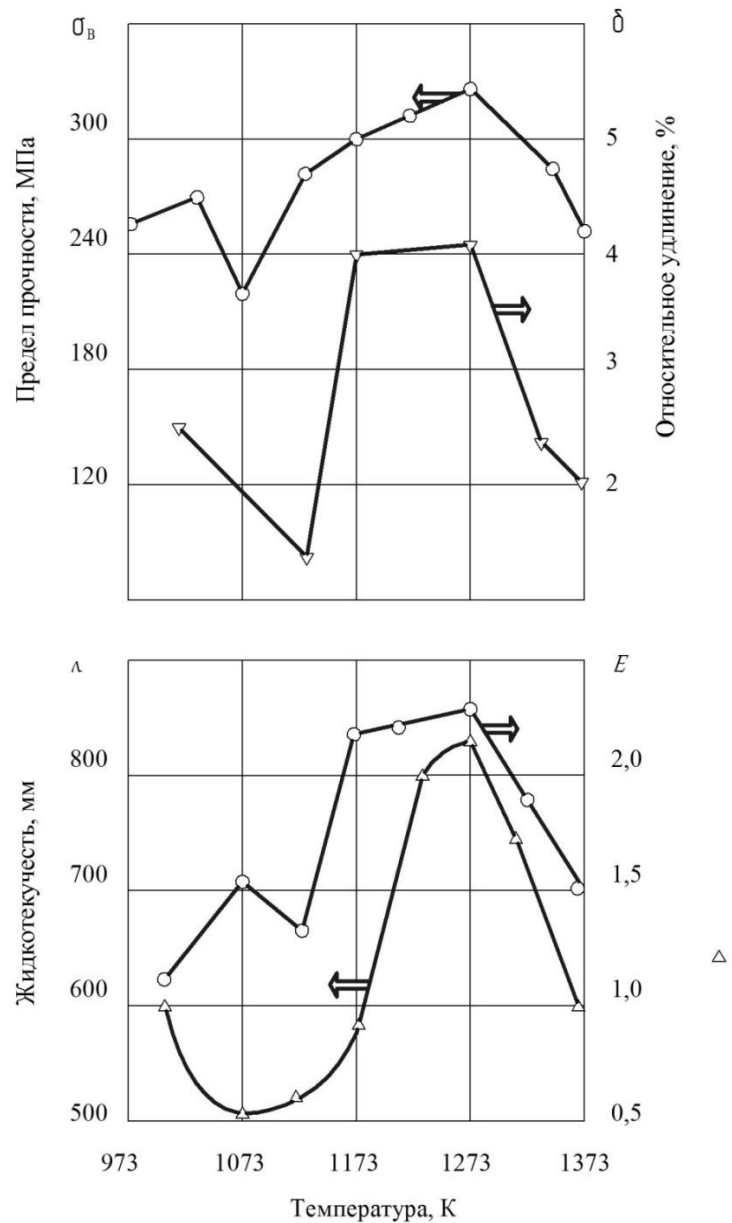


Рис. 4. Зависимость механических и технологических свойств синтезированного из отходов силумина от температуры перегрева расплава

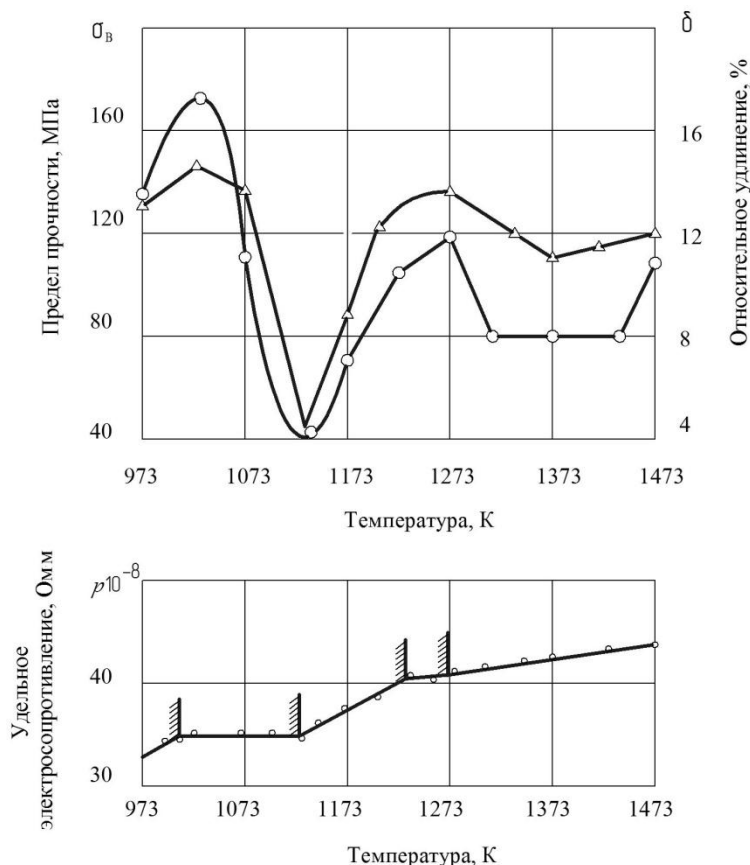


Рис. 5. Политерма электросопротивления и механических свойств сплава АД31

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- электросопротивление и вязкость жидкого алюминия немонотонно изменяются от температуры; аномальный характер, изменения свойств жидкого алюминия наблюдался в районах температур 983...1048 К, 1148...1233 К и 1283...1323 К в зависимости от степени чистоты алюминия;

- аномальное изменение  $\rho$  расплавов АЛ26 и АЛ2 было зафиксировано соответственно при 1243 и 1273 К, АД 31 - 1023...1123 и 1223...1273 К, АЛ 9 — 998...1073, 1173...1223 К;

- механические и литейные свойства алюминиевых сплавов изменяются с температурой перегрева немонотонно: максимумы значений этих свойств ( $\sigma_{в}$ , НВ) наблюдались при 1023 и 1273 К; второй максимум свойств наблюдается при определенных перегревах над вторым порогом аномального изменения и существенно превышает значения их первого максимума;



- с точки зрения практического приложения результатов исследований можно сделать вывод о том, что для достижения максимальных прочностных (часто и пластических) свойств сплавы должны быть перегреты выше второго аномального изменения физических свойств ( $\rho$  или  $\nu$ ) на определенную для каждого конкретного сплава температуру;

- повышение прочностных свойств алюминиевых сплавов за счет термического воздействия на жидкую фазу обусловлено получением более гомогенной структуры расплава вследствие равномерного распределения компонентов между структурными агрегатами расплава, о чем свидетельствует как исчезновение в структуре сплавов грубых игловидных выделений интерметаллидных фаз, так и измельчение зерен, а также существенный рост микротвердость  $\alpha$ -твердого раствора;

- для сохранения положительных качеств шихтовых материалов (например, прессэффект, мелкозернистая структура и др.) расплав должен быть нагрет выше температуры его плавления на небольшую величину, обеспечивающей хорошую заполняемость жидкого металла в литейную форму.

#### Библиографические ссылки

1. Ри Хосен, Баранов Е.М., Шпорт В.И. и др. Свойства алюминиевых сплавов (силуминов) в жидком и твердом состояниях. - Владивосток: Дальнаука ДВО РАН. - 2002. - 143 с.
2. Муравьев В.И., Якимов В.И., Ри Хосен и др. / Под ред. профессоров В.И.Муравьева, Ри Хосена. Изготовление литых заготовок в авиастроении. - Владивосток: Дальнаука ДВО РАН. - 2003. - 611 с.
3. Емильянов А.В., Базин Ю.А., Замятин В.М., Найсыйров Я. А. О структурных превращениях в жидком алюминии. // Изв. видов. Черная металлургия. - 1985. - №5. - С. 28-33.
4. Кисунько В.З., Новохатский И.А., Погорелов Ю.П. и др. Термоскоростное модифицирование алюминиевых расплавов // Металлы. - 1981. - №1. - С. 125-130.