

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ МЕТАЛЛОВ И МАГНИЯ НА СВОЙСТВА ОТЛИВОК ИЗ СПЛАВА АК12

Кузьмичева А.Е.¹, Окладникова Н.В.²

научный руководитель канд. техн. наук Дроздова Т.Н.¹

¹Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

²Литейно-механический завод «СКАД»

Легкосплавные алюминиевые колеса являются современными конструкциями, и нашли более широкое распространение, чем стальные. Они могут быть практически любой конфигурации и дизайна, прекрасно отводят тепло от тормозного узла, но главное их достоинство – они лёгкие. Наибольшее распространение в производстве автомобильных колес получил способ изготовления колес литьем алюминиевых сплавов под низким давлением.

Автомобильные колеса относятся к группе товаров, подлежащих обязательной сертификации. Качество автомобильных колес должно соответствовать требованиям ГОСТ Р 50511–93 и ГОСТ Р 52390–2005. Механические свойства колес из сплава АК12 должны соответствовать: $\sigma_b \geq 160$ МПа; $\sigma_{0,2} \geq 80$ МПа; $\delta \geq 5\%$.

Важнейшими характеристиками силуминов, определяющими их механические, коррозионные и литейные свойства, являются химический состав и структура. Основными легирующими элементами в силуминах (после кремния) являются медь и магний. Все эти элементы способствуют повышению прочности и твердости, но снижают в той или иной степени показатели пластичности силуминов. Кроме алюминиевой матрицы и Si в силуминах часто присутствуют избыточные фазы, содержащие железо, медь, магний и марганец.

Магний существенно увеличивает прочность (при снижении пластичности), особенно в результате термической обработки. В присутствии магния возникает соединение $\text{FeMg}_3\text{Si}_6\text{Al}_8$ в форме китайских писем (когда оно входит в эвтектику), а также в виде глобулярных первичных кристаллов светло-голубого цвета. Магний, если он не входит в твердый раствор, образует соединение Mg_2Si или $\text{Cu}_2\text{Mg}_8\text{Si}_6\text{Al}_5$ в случае присутствия меди.

Хром и марганец вводят для нейтрализации отрицательного действия железа. Так же они повышают жаропрочность. В силуминах марганец образует фазу $\text{Al}_{15}(\text{FeMn})_3\text{Si}_2$, которая в составе эвтектик, также как и фаза $\text{Al}_8\text{Fe}_2\text{Si}$, характеризуется скелетообразной морфологией. Наличие марганца позволяет избежать появления иглообразных включений β -фазы (Al_5FeSi). Однако суммарное количество Mn+Fe не должно превышать 1–1,5 % (в зависимости от содержания кремния), так как в противном случае резко увеличивается риск появления крупных скоплений первичных кристаллов фазы $\text{Al}_{15}(\text{FeMn})_3\text{Si}_2$. Следует отметить, что в силуминах концентрация марганца в алюминиевой матрице мала. Типичная концентрация марганца в силуминах (в качестве добавки или примеси) обычно не превышает 0,5 %.

На первом этапе работы проводился анализ влияния добавок магния, марганца и хрома на механические свойства отливок из сплава АК12, с целью установления возможности применения перечисленных легирующих элементов в производственных условиях. Для определения зависимостей механических свойств было приготовлено несколько экспериментальных плавок в лабораторных условиях, литье отливок производили в кокиль. Химический состав исследуемых плавок варьировался в небольших пределах: 11,0–11,6% Si; 0,08–0,1% Ti; 0,03–0,04% Sr, при этом дополнительно вводили: 0,054–0,486% Mg, 0,036–0,155% Mn, 0,001–0,074% Cr.

На рисунках 1, 2 приведены зависимости изменения механических свойств от концентрации магния и марганца с хромом. Установлено, что при увеличении концентрации магния до 0,42 % прочностные характеристики повышаются (σ_b на ~20 МПа; $\sigma_{0,2}$ ~10 МПа), введение большего количества магния приводит к снижению прочностных характеристик, рис. 1, а. Увеличение концентрации магния в исследуемом интервале 0,17–0,49 % приводит к снижению пластических характеристик более чем в 2 раза, рис. 2, а.

Анализ микроструктуры опытных отливок из сплава АК12 показал, что при повышении содержания магния включений фазы Mg_2Si в структуре отливок не наблюдается. Повышение прочностных свойств отливок с увеличением концентрации магния происходит за счет увеличения магния в твердом растворе, что обеспечивает твердорастворное упрочнение и снижение пластических характеристик сплава АК12.

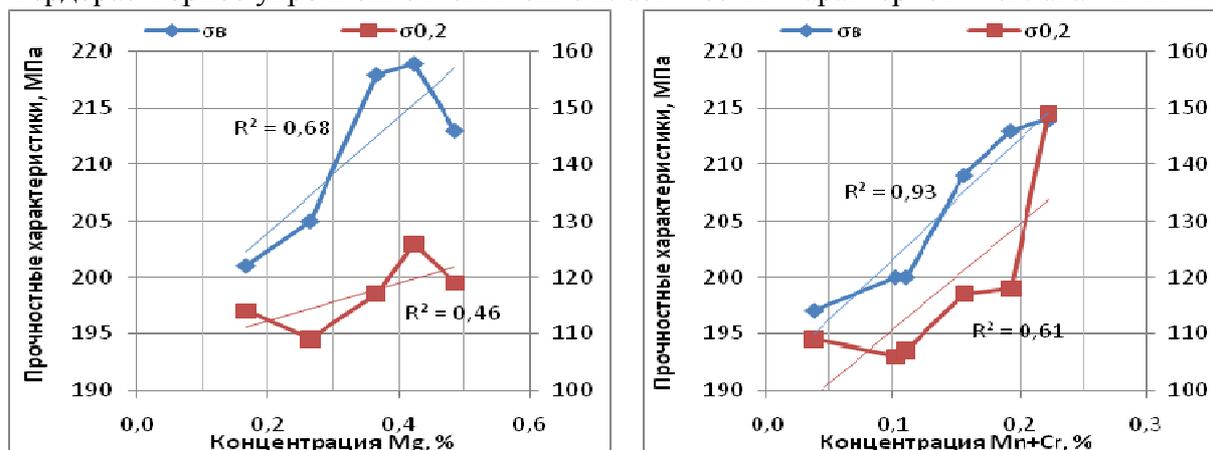


Рисунок 1. Зависимость прочностных характеристик от дополнительных легирующих элементов:
а – магния б – суммы Mn+Cr

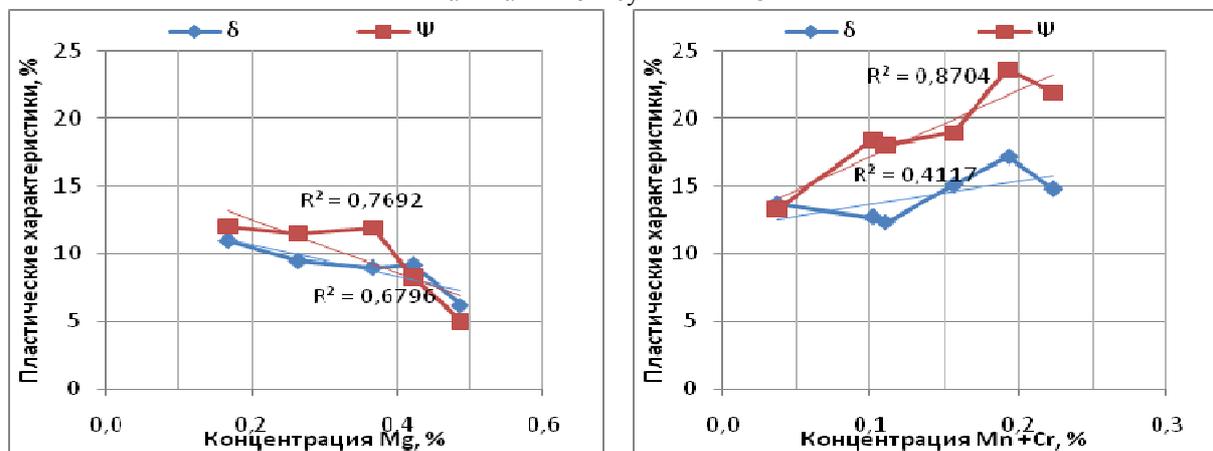


Рисунок 2. Зависимость пластических характеристик от дополнительных легирующих элементов:
а – магния, б – суммы Mn+Cr

При увеличении суммарной концентрации марганца и хрома (основную часть составляет марганец) от сотых до десятых процентов предел прочности возрастает со 197 до 214 МПа, рис. 1б, при этом пластические характеристики повышаются до суммарной концентрации 0,2 %, а при дальнейшем увеличении марганца и хрома снижаются.

Микроструктурный анализ выявил, что положительное влияние марганца на механические свойства опытных отливок объясняется формированием более благоприятной морфологии железосодержащих фаз в виде китайских иероглифов $Al_{15}(FeMn)_3Si_2$.

Было установлено, что введение марганца и хрома повышает комплекс механических свойств, поэтому на втором этапе работы проводили оценку совместного влияния марганца и хрома на механические свойства различных зон отливки автомобильного колеса из сплава АК12. Исследованию подвергали образцы, вырезанные из обода, спицы и ступицы.

Все механические свойства колес значительно превышают требуемые значения в соответствии с ГОСТ Р 50511-93. На гистограмме зависимости предела прочности от суммарной концентрации марганца и хрома, показано, что максимальные прочностные свойства соответствуют ободу. Установлено, что в интервале суммарной концентрации марганца и хрома 0,003–0,32 % прочностные и пластические свойства существенно не изменяются.

Повышение легирующих добавок до 0,53 % приводит к значительному снижению прочностных и пластических характеристик всех зон колеса. Охрупчивание сплава АК12 можно связать с тем, что при увеличении концентрации марганца и хрома более 0,4 % в структуре фасонных отливок обнаружены скопления кристаллов $(FeMnCr)_3Si_2Al_{15}$.

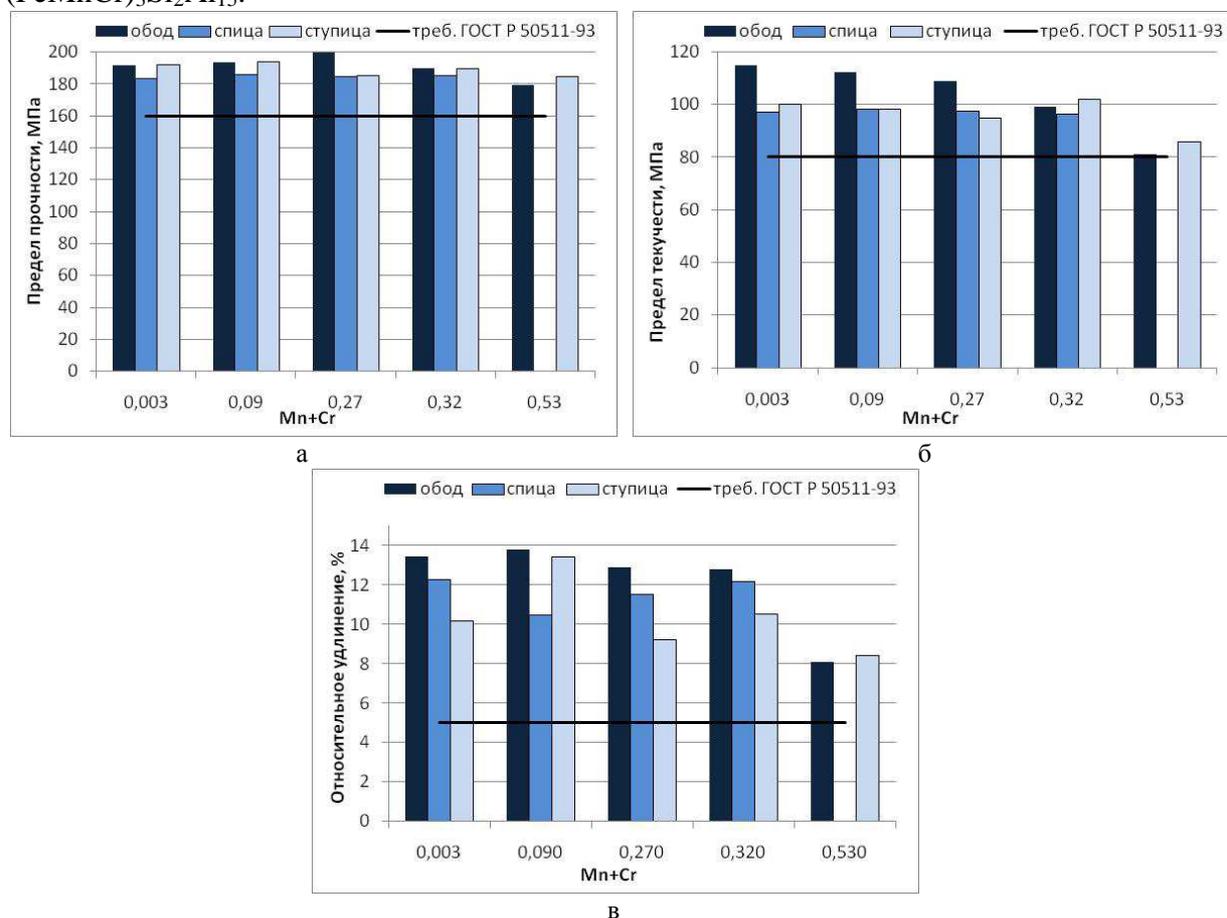


Рисунок 3. Зависимость механических свойств от суммарной концентрации марганца и хрома:
а – предел прочности, б – предел текучести, в – относительное удлинение

На основании проведенных исследований установлено, что введение хрома и марганца не приводит к повышению механических свойств колес из сплава АК12. Отсутствие совместного влияния марганца и хрома в интервале концентраций 0,003–0,32 % на механические свойства различных зон колес, полученных литьем под низким давлением, объясняется тем, что в структуре железосодержащие фазы, не содержащие марганец и хром, имеют благоприятную компактную форму, что нивелирует влияние этих добавок.