

РАСЧЕТ ЛИТЕЙНОЙ УСАДКИ СПЛАВОВ И КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Киселёва А.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Черепанов А.И.

Сибирский федеральный университет

Усадка при охлаждении играет важнейшую роль в получении отливок с необходимой точностью. Усадка изменяется в широких пределах и зависит от состава сплава. Линейная свободная усадка двойных и сложных алюминиевых сплавов основательно изучена. Установлено, что усадка чистого алюминия имеет наиболее высокое значение, по сравнению с другими промышленными металлами. Легирование алюминия приводит к изменению усадки, которая зависит от температуры солидуса и коэффициента термического расширения компонентов сплава. Усадка уменьшается с увеличением температуры плавления легирующего компонента.

Однако в производстве реальных отливок наиболее часто встречается затрудненная усадка отливок. Как правило, отливка имеет внутреннюю полость, которая оформляется металлическим стержнем или из стержневых смесей. В результате охлаждения сплава после заливки размер усадки будет зависеть от степени сжимаемости стержня. При получении отливок из алюминиевых сплавов большое распространение имеет литье в металлическую форму (кокиль) с жестким чугунным или стальным стержнем. Поэтому усадка и конечный размер отливки определяются термическими свойствами стержня и отливки. Вышеуказанный подход был разработан и реализован для учета затрудненной усадки при литье в кокиль.

В процессе охлаждения твердой отливки происходит уменьшение размера отливки и стержня.

Коэффициент усадки, зависящий от состава сплава отливки и материала кокиля, а также интервала изменения температуры от извлечения стержня из отливки до нормальной температуры. Варьируя температуру кокиля и время его разборки, можно повысить точность изготовления отливок.

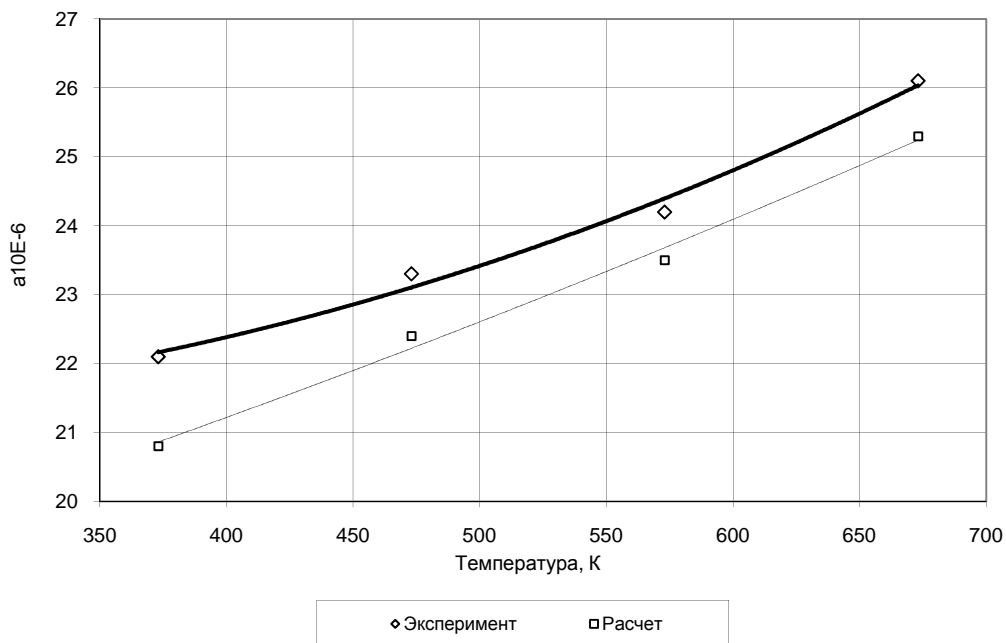
При изучении алюминиевых сплавов установлено, что их температурный коэффициент линейного расширения (ТКЛР) всегда выше, чем ТКЛР оснастки кокилей, которые традиционно изготавливаются из чугуна или различных сталей, а значит всегда создаются условия для затрудненной усадки и развития горячих трещин в отливках. Для уменьшения влияния затрудненной усадки на образование трещин необходимо применять материалы оснастки (стержня), имеющие ТКЛР, близкие значениям ТКЛР материала отливки. Необходимо также уметь создавать такие сплавы для оснастки и прогнозировать их ТКЛР.

Экспериментальные данные по ТКЛР сплава АМг6 приведены по результатам измерений dilatометром DIL 402 C фирмы NETZSCH (ФРГ). Чувствительность dilatометра 1,25 нм. Из таблицы следует, что данные по ТКЛР, расчетные и полученные из различных источников, отличаются между собой не более чем на 5 %. Поэтому расчетный метод получения ТКЛР может применяться для изучения и прогнозирования свойств сплавов при нагреве и охлаждении. Его можно использовать для расчетов ТКЛР сплавов и литейных композиционных материалов (ЛКМ), для расчетов литейной усадки, внутренних напряжений и т.п.

Экспериментальные, справочные и расчетные ТКЛР

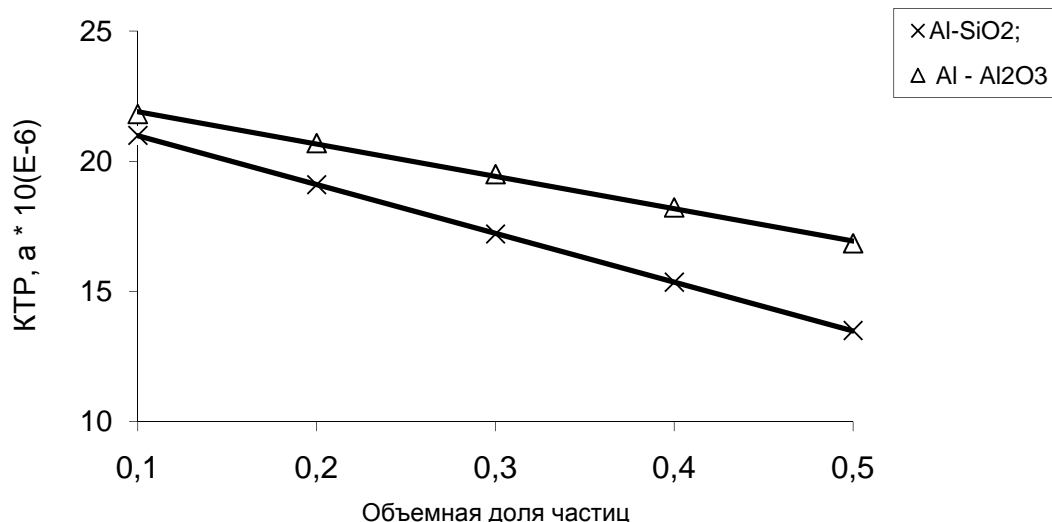
№ п/п	Марка сплава	Источник данных	$\alpha \cdot 10^6, \text{K}^{-1}$ при температуре, К			
			373	473	573	673
1	АК9ч	Эксперимент	22,1	23,4	24	26,3
		Справочные	21,7	22,7	23,5	25,6
		Расчет	21,8	23,1	24,3	26,1
		Эксперимент (DIL402C)	24,5	25,8	26,9	27,6
5	АМг6	Справочные	24,7	25,5	26,5	27,9
		Расчет	24,3	25,7	27,2	28,7
		Эксперимент	23,7	25,2	27,7	30,6
6	Д16	Справочные	22,6	24,7	27,3	30,2
		Расчет	23,3	24,5	27,1	29,4

Для расчета ТКЛР ЛКМ провели измерения ТКЛР образцов с содержанием частиц 20 % Al_2O_3 . Результаты представлены на рисунке. Экспериментальные и расчетные данные ЛКМ состава $\text{Al}-\text{Al}_2\text{O}_3$ 20 % отличаются не более чем на 6 %. Расчетные данные дают меньшие значения по сравнению с измеренными.

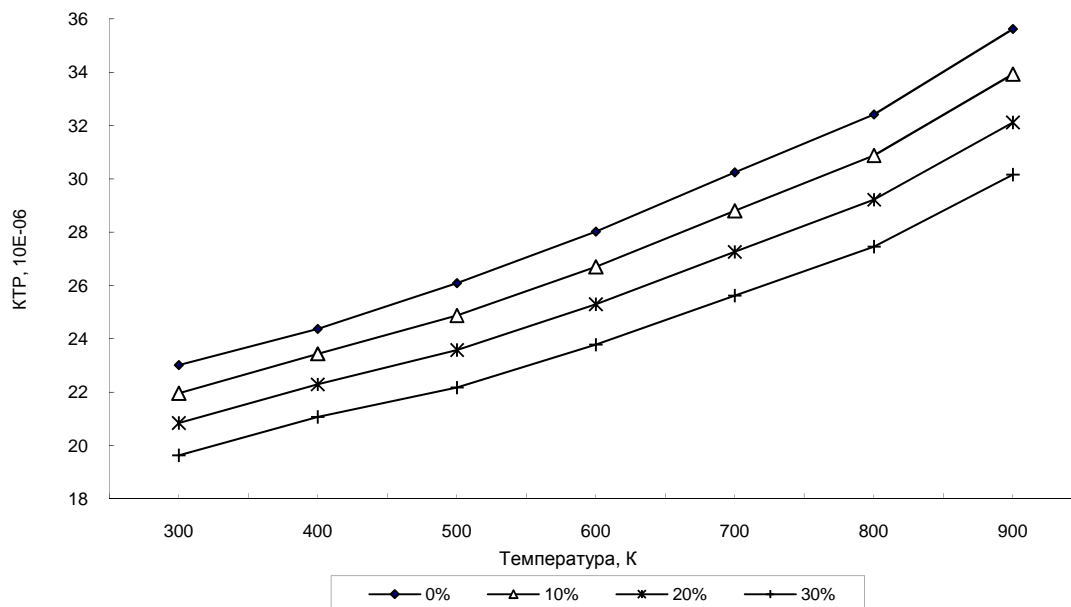


Коэффициент линейного расширения ЛКМ состава $\text{Al}-\text{Al}_2\text{O}_3$ 20 %

Расчеты ТКЛР исследованных ЛКМ в зависимости от состава и температуры приведены на рисунках ниже.



Расчетные коэффициенты линейного расширения ЛКМ, при T=298 К, в зависимости от объемной доли частиц



Изменение коэффициента линейного расширения ЛКМ системы Al-Al2O3 от температуры и содержания частиц

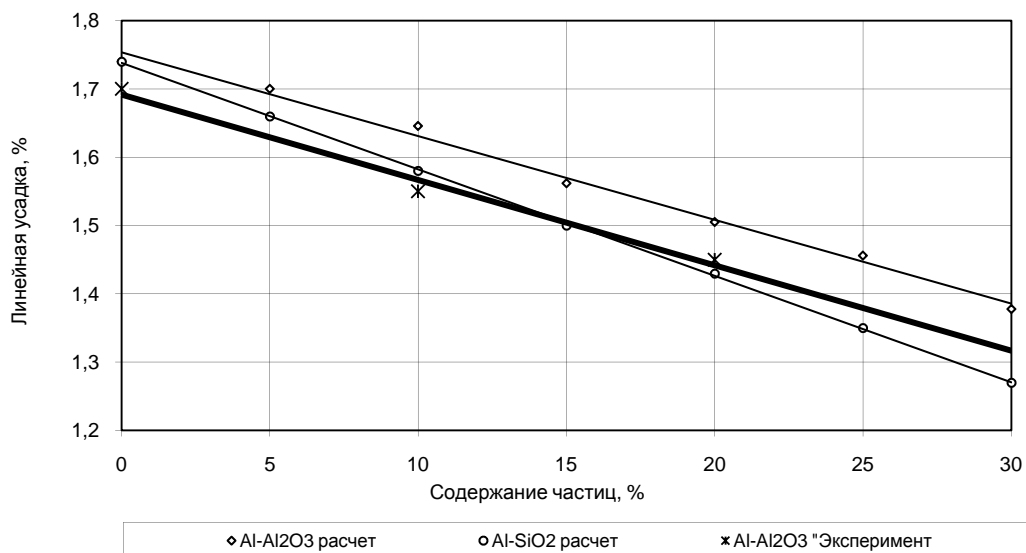
Как видно из приведенных выше рисунков, при увеличении содержания частиц в ЛКМ ТКЛР снижается, причем ЛКМ с частицами SiO₂ имеет более низкий ТКЛР, по сравнению с ТКЛР ЛКМ с частицами Al₂O₃. Чем больше содержание частиц Al₂O₃ или SiO₂, тем больше происходит замещение доли алюминия с высоким ТКЛР и уменьшается его влияние. Вклад дисперсных частиц (имеющих более низкий ТКЛР по сравнению с алюминием) увеличивается, что приводит к уменьшению ТКЛР ЛКМ. Обобщая экспериментальные и расчетные данные, очевидно, что можно получать ТКЛР расчетным методом и использовать его для расчетов на стадиях разработки новых материалов и сплавов.

Усадка литейных композиционных материалов (ЛКМ).

Данные по линейной усадке отливок из ЛКМ, которые важно знать для получения отливок с необходимой точностью, в литературе недостаточно представлены. Поэтому экспериментально измерили линейную усадку изучаемых ЛКМ [4], составов Al-Al₂O₃. Оказалось, что линейная усадка уменьшается с ростом содержания дисперсных частиц.

Результаты измерений и расчетов линейной усадки ЛКМ приведены на рисунке. Экспериментальные и расчетные данные усадки для Al-Al₂O₃ отличаются, по абсолютной величине, до 0,1 %, т.е. практически совпадают. Поэтому далее рассчитали линейную усадку ЛКМ для Al-SiO₂.

Линейная усадка имеет тот же характер изменения, т.е. чем больше содержание частиц, тем меньше ТКЛР ЛКМ и меньше его линейная усадка. Более низкие значения линейной усадки ЛКМ системы Al-SiO₂, по сравнению с системой Al-Al₂O₃, связаны с соотношением $TКЛР_{SiO_2} < TКЛР_{Al_2O_3}$, в соответствии с формулой (5). Экспериментальные значения линейной усадки для чистого алюминия, Al-Al₂O₃10 % и Al-Al₂O₃20 % ниже расчетных.



Зависимость линейной усадки от содержания частиц в ЛКМ

Возможно, это вызвано затрудненной усадкой образцов из-за трения о стенки металлической формы в процессе охлаждения. Разность значений находится в пределах от 2,9 % для алюминия, до 4,5 % для Al-Al₂O₃20 %.

Результаты и выводы:

1) Полученная формула позволяет рассчитывать линейную усадку отливок при литье в металлические формы (кокили), для повышения точности изготовления формообразующей оснастки. Определено, что линейная затрудненная усадка зависит от ТКЛР материалов, а также интервала охлаждения отливки и кокиля.

2) Получены расчетные данные зависимостей линейной усадки ЛКМ от содержания частиц в ЛКМ и от коэффициентов линейного расширения матрицы и частиц.

3) Данные экспериментальных и расчетных усадок ЛКМ практически одинаковы, т.е. линейную усадку ЛКМ можно рассчитывать до проведения экспериментальных измерений на стадиях проектирования состава и технологии новых материалов и сплавов.