

УДК 669-1

**Г. П. Борисов, А. А. Щерецкий, В. П. Головаченко,
В. М. Дука, А. Г. Вернидуб**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ВЛИЯНИЕ МОРФОЛОГИИ α -ФАЗЫ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОТЛИВОК ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА АК7ч

С использованием метода динамического механического анализа исследована взаимосвязь модуля упругости (E') и внутреннего трения ($tg \alpha$) от температуры испытаний и морфологии первичных кристаллов α -твёрдого раствора литых образцов, полученных литьём под давлением. Установлены максимальные значения модуля упругости ($E' = 75000-80000$ МПа) и внутреннего трения ($tg \alpha = 0,35$) для температур 20 и 500 °С соответственно. Ввиду пересыщения α -фазы существенного влияния морфологии на E' и $tg \alpha$ в условиях эксперимента не установлено.

Ключевые слова: модуль упругости, внутреннее трение, температура, твёрдый раствор, морфология, литьё под давлением.

З використанням метода динамічного механічного аналізу досліджено взаємозв'язок модуля пружності (E') та внутрішнього тертя ($tg \alpha$) від температури випробувань та морфології первинних кристалів α -твердого розчину литих зразків, що отримані литтям під тиском. Встановлено максимальні значення модуля пружності ($E' = 75000-80000$ МПа) та внутрішнього тертя ($tg \alpha = 0,35$) для температур 20 і 500 °С відповідно. Внаслідок пересичення α -фази суттєвого впливу морфології на E' та $tg \alpha$ в умовах дослідження не виявлено.

Ключові слова: модуль пружності, внутрішнє тертя, температура, твердий розчин, морфологія, лиття під тиском.

With use of method of dynamic mechanical analysis it was studied interdependence of the elastic modulus (E') and internal friction ($tg \alpha$) from the temperature of tests and primary α -solid solution morphology of the high-pressure die-casting standards. The maximal values of the elastic modulus ($E' = 75000-80000$ МПа) and internal friction ($tg \alpha = 0,35$) are obtained for temperatures 20 and 500 °С accordingly. Because of supersaturation of α -solid solution it is not set substantial influence of morphology on E' and $tg \alpha$ in the conditions of experiment.

Keywords: elastic modulus, internal friction, temperature, solid solution, morphology, high-pressure diecasting.

Открытие группой М. Флеминга явления тиксотропии [1] в алюминиевых сплавах позволило создать новые прогрессивные процессы – рео- и тисколитьё.
ISSN 0235-5884. Процессы литья. 2016. № 1 (115)

Кристаллизация и структурообразование сплавов

Обязательным условием для их реализации является тиксотропная металлическая суспензия с глобулярной морфологией твёрдой α -фазы, содержание которой для реолитья может достигать 40 %, а тиксолитья – 90 %.

Разработанный во ФТИМС НАН Украины упрощённый способ реолитья, основанный на обработке ротором порции алюминиевого расплава, находящегося в предкристаллизационной области температур, и дальнейшей заливке его в камеру прессования, где осуществляется технологическая выдержка для формирования заданного количества твёрдой α -фазы в суспензии, и последующего прессования [2].

Необходимо отметить, что упругие свойства и структура сплавов, полученных с помощью реолитья, изучены недостаточно.

Исследование физико-механических свойств осуществляли на плоских образцах $50 \times 15 \times 6$ мм, вырезанных из отливок «кронштейн» массой 0,85 кг с толщиной стенки 6 мм. Метод реолитья был реализован с использованием машины литья под давлением мод. 711A09.

Микроструктура отливок, полученных по новой технологии, носит мелкозернистый глобулярный характер (см. рис. 1, а) с размером глобулей 20-50 мкм. На рис. 1, б приведена дендритная микроструктура отливки из исходного сплава, которая получена по традиционной технологии. Длина отдельных дендритов такой структуры достигает 300-500 мкм. Наличие крупных дендритов в металлической суспензии ухудшает её реологические характеристики, что ведёт к увеличению усилий прессования. Дендриты существенно снижают пластические свойства металла отливок, а значит и их надёжность и долговечность (таблица).

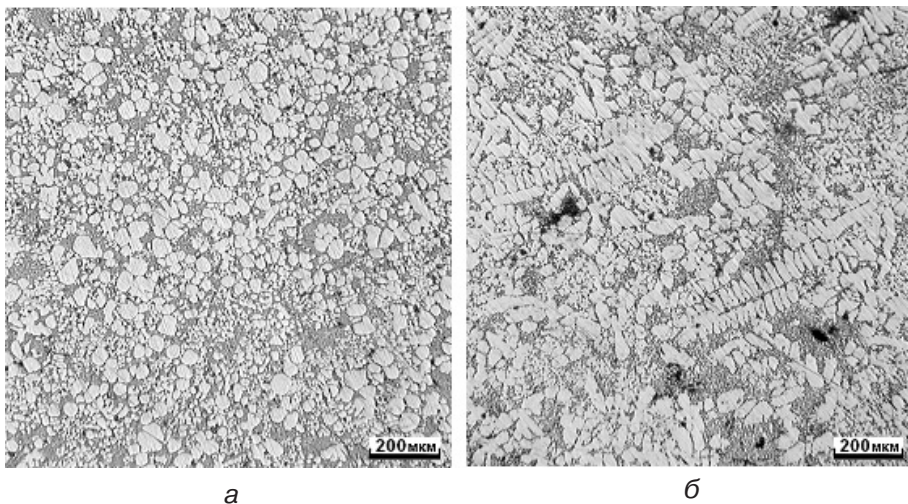


Рис. 1. Недендритная (а) и дендритная (б) микроструктуры отливок, полученных в условиях литья под давлением из сплава АК7ч

Средний уровень физико-механических свойств образцов из сплава АК7ч

Свойства	Традиционное литьё		Реолитьё	
	литой	Т6	литой	Т6
Предел прочности, МПа	228	280	240	300
Относительное удлинение, %	0,6	0,6	1,2	4,5
Плотность, г/см ³	2,66	2,66	2,68	2,68

Из анализа данных таблицы следует, что лучшими физико-механическими свойствами обладают образцы с глобулярной морфологией α -фазы. Это проявляется в увеличении относительного удлинения в 7,5 раз, а также плотности на 1 %.

Дополнительно исследовали методом динамического механического анализа (ДМА) влияние морфологии α -фазы на изменение упругих свойств алюминиевых образцов в зависимости от температуры.

Основы метода ДМА были разработаны К. П. Менардом в 1990-2000 годах [3]. Принцип действия ДМА заключается в регистрации реакции материала (деформации, сдвига фаз, амплитуды) на действие небольших периодических, как правило, синусоидальных, динамических нагрузок в зависимости от температуры, времени и частоты. В настоящее время несколько фирм освоили производство ДМА-анализаторов. В данной работе использован анализатор DMA 242 С немецкой фирмы NETZSCH – «пионера» и одного из лидеров в производстве таких приборов.

Основные технические характеристики анализатора DMA242С фирмы «NETZSCH» таковы: температурный диапазон от -170 до $+600$ °С; диапазон частот 0,01-100 Гц; диапазон нагрузок (макс.) ± 8 Н стат. и ± 8 Н динам.; диапазон амплитуд деформации (макс.) 240 мкм; чувствительность по величине деформации 0,5 нм.

Испытания опытных образцов (40х6х3) проводили методом трёхточечного изгиба в атмосфере динамически очищенного аргона (100 мл/мин) при скорости нагрева 2 °С/мин. Методом ДМА определялись такие параметры:

- модуль упругости (модуль Юнга, E'), который характеризует упругие свойства материала;
- коэффициент потерь, или тангенс угла потерь ($tg \alpha$), характеризует механическое демпфирование или внутреннее трение системы. Высокое значение $tg \alpha$ характерно для материалов с большой долей пластической деформации.

Результаты исследований изменения упругих свойств и тангенса угла потерь образцов в зависимости от температуры приведены на рис. 2.

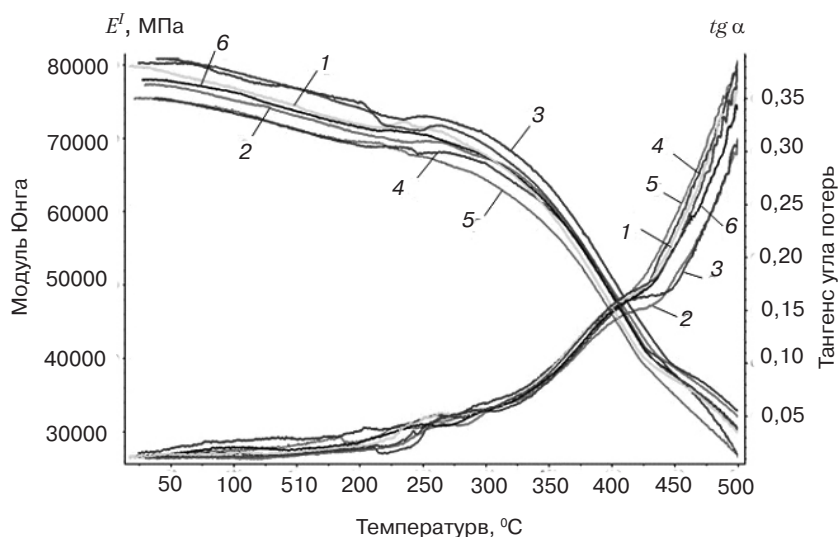


Рис. 2. Взаимосвязь модуля упругости (E') и внутреннего трения ($tg \alpha$) в зависимости от температуры испытания образцов, вырезанных из отливок, полученных из алюминиевого сплава АК7ч в условиях литья под давлением ($T_{зал}$, °С): 1 – 700, выдержка в камере прессования 5 с; 2 – 605, глобулярная структура; 3 – 605, дендритная структура; 4 – 615, глобулярная структура; 5 – 615, дендритная структура; 6 – 613, дендритная структура

Как следует из рис. 2 независимо от морфологии твёрдой α -фазы литых образцов, величина модуля упругости при температуре 20 °С находится в диапазоне 75000-80000 МПа.

С повышением температуры испытаний от 200 до 325 °С его среднее значение составило 70000 МПа, что связано с уменьшением напряжённого состояния литой структуры, её частичной гомогенизации.

В интервале температур 325-425 °С средняя скорость падения модуля упругости составила 260 МПа/°С, что обусловлено ростом фазовых составляющих, снижающих упругие свойства литых образцов.

При температуре 500 °С значения модуля упругости минимальны и составляют 28000-33000 МПа, то есть его среднее значение снизилось примерно в 2,6 раза по сравнению с исходным.

Наоборот, среднее значение тангенса угла потерь (внутреннее трение) с ростом температуры испытаний повысилось с 0,025 (при 20 °С) до 0,35 (при 500 °С), то есть в 17,5 раза. Следует отметить, что в диапазоне температур 20-200 °С, его рост незначительный, что связано с достаточной устойчивостью фазовых составляющих. Практически нет разбега показаний тангенса угла потерь для образцов с дендритной и глобулярной морфологией α -твёрдой фазы в диапазоне температур его роста 250-450 °С. После температуры 450 °С наблюдается интенсивный рост тангенса потерь, что связано с ростом фаз и увеличением поверхности трущихся микрозёрен.

Таким образом, проведёнными исследованиями на основании статистических данных определены модуль упругости и тангенс угла потерь в зависимости от температуры для литых образцов из сплава АК7ч, полученных как традиционным литьём под давлением, так и реолитьём. Ввиду быстротечности процессов затвердевания и пересыщения алюминиевого α -твёрдого раствора, не установлено выраженного влияния морфологии первичных кристаллов α -фазы на упругие свойства литых образцов.



Список литературы

1. Флемингс М. Литьё полутвёрдого металла / М. Флемингс, Р. Мехрабион // 40-й Международный конгресс литейщиков. – М.: НИИМАШ. – 1975. – Ч. 1. – С. 36-45.
2. Головаченко В. П. Спосіб реолиття вилівка / В. П. Головаченко, Г. П. Борисов, В. М. Дука Пат. 85981 UA, опубл. 10.03.2009. – Бюл. № 5.
3. Menard Kevin P. Dynamic Mechanical Analysis. – CRC Press LLC, 1999.



References

1. Flemings M., Mehrabian R. (1975). Lito polutverdogo metalla [Semisolid metal casting]. Sbornik. 40-i Mezhdunarodnyi kongress liteishchikov - Proceedings of the 40th International Foundry Congress, part 1. (pp. 36-45). Moscow: NIIMASH [in Russian].
2. Golovachenko V. P., Borisov G. P., Duka V. M. Sposib reolyttia vylyvka [Reocasting technique]. Patent UA, no. 85981, 2009.
3. Menard Kevin P. (1999). Dynamic Mechanical Analysis. CRC Press LLC, 1999.

Поступила 26.01.2016