

Т. Л. Тринева

ЗАО «Верификационные модели», Харьков

О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ТЕХНОЛОГИЯМИ БЫСТРОГО ПРОТОТИПИРОВАНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ЛИТЕЙНОЙ ОСНАСТКИ

Использование литейной оснастки, полученной с помощью технологий быстрого прототипирования (Rapid Prototyping), а также из материалов, которые они применяют, обеспечит быстрое получение качественныхливок как по плотности, так и по размерной точности за счет возможности регулирования условий процесса затвердевания отливок. Приведенные результаты замеров микротвердости композитных материалов показали, что изделия из KM_{Fe-Cr} по термостойкости при циклических нагрузках можно использовать для изделий, работающих в условиях повышенного износа с незначительным нагревом поверхности, например, для пресс-форм термопластавтоматов или для кокилей, применяемых в единичном производствеливок из алюминиевых сплавов.

Використання ливарного оснащення, одержаного за допомогою технологій швидкого прототипування (Rapid Prototyping), а також з матеріалів, котрі вони застосовують, забезпечить швидке отримання якісних виливків як по щільності, так і по розмірній точності за рахунок здатності регулювання умов процесу твердіння виливків. Наведені результати замірів микротвердості композитних матеріалів показали, що вироби із KM_{Fe-Cr} по термостійкості при циклічних навантаженнях можна пропонувати для деталей, що працюють в умовах підвищеного износу з незначним нагрівом поверхні, наприклад, для прес-форм термопластавтоматів або для кокілів, які застосовуються у разовому виробництві виливків із алюмінієвих сплавів.

Use the foundry rig, got by means of technology quick prototyping (Rapid Prototyping), as well as from material, which they use provide the quick reception qualitative both on density, and on dimensioned accuracy to account of the possibility of the regulation of the conditions of the process of hard casting. The broughted results measure microhard KM studies have shown that products from KM_{Fe-Cr} on steadfast under round-robin load possible to use for product, which work in condition of the raised wear-out with flesh heating to surfaces, for instance, for dies termoplastavtomat or for coceles, applicable in single production casting from aluminum alloy.

Ключевые слова: технология быстрого прототипирования (Rapid Prototyping), 3D модели, стол построения установки, композитные материалы (KM), метод стереолитографии, метод селективного лазерного спекания.

Одной из главных задач литейного производства в настоящее время в Украине является внедрение прогрессивных технологических процессов, а также современных материалов, обеспечивающих производство изделий высокого качества.

Проблема выпуска качественных отливок как по плотности и качеству поверхностей, так и по размерной точности, является постоянным предметом внимания специалистов литейщиков [1-3].

Среди множества требований, предъявляемых к отливкам, размерная точность является одной из доминирующих, обеспечение которой определяется качеством литейной оснастки.

Поэтому проблема изготовления качественной оснастки, способной воспроизводить отливки с вышеперечисленными требованиями за короткий промежуток времени и с продолжительным сроком ее службы, является на сегодня наиболее актуальной в литейном производстве.

Условия эксплуатации литейной оснастки накладывают жесткие требования на материалы для ее изготовления, которые при быстром изменении теплосмен должны обеспечивать продолжительную стойкость литейной оснастки с сохранением размерной

точности формообразующих поверхностей, а также контролируемое направленное за- твердевание заливаемого сплава, обеспечивающее, в свою очередь, плотность отливок.

Для решения этих задач целесообразно использовать технологии быстрого прототи- пирования (Rapid Prototyping).

Однако, эффективное их внедрение в литейное производство требует пересмотра всего цикла подготовки производства изготовления отливок, начиная со стадии проектирования литейной оснастки до их изготовления, а именно, адаптации современных технологий к достаточно отработанным традиционным технологиям на настоящее время.

Наиболее типичными представителями металлических литейных форм являются кокили и пресс-формы. Условия их эксплуатации накладывают жесткие требования к материалу формообразующих элементов, так как главными, общими и характерными об- стоятельствами для многократно используемых металлических формообразующих изделий являются циклический быстрый их нагрев от температуры жидкого заливаемого сплава и синхронное возникновение внутренних напряжений. Последние появляются как резуль- тат высокого температурного градиента – термического удара, возникающего в момент заливки расплавов. Поверхности металлической оснастки в данный момент работают в упруго пластической области, что приводит к зарождению и росту субмикротрещин или так называемой термомеханической усталости материала - основной причине его разру- шения. Разрушению способствуют и другие такие довольно многочисленные факторы, как физико-химическое воздействие заливаемого металла, структурные изменения и фазовые превращения в материале, неблагоприятные факторы жесткости закрепления металлической оснастки, коррозия, но доминирующим фактором, как уже указывалось выше, является термомеханическая усталость.

Как правило, материалом для кокилей служит чугун, что удешевляет процесс их изго- товления. При циклическом изменении температуры в стенке чугунного кокиля возможны следующие изменения: насыщение рабочей поверхности серой и обезуглероживание, фазовые превращения, окисление и рост металла. В результате исследований данного вопроса авторы работы [4] отметили, что уже на первых этапах термической усталости в рабочей поверхности чугунного кокиля увеличивается плотность дислокаций, особенно это заметно на вышедших из строя кокилях.

Зная существование зависимостей одних факторов, влияющих на стойкость метал- лической оснастки, от других, а также умело сопоставляя зависимость одного фактора по отношению к другому, можно, создавая необходимые условия, продлить срок службы металлической оснастки.

Радикальной мерой по уменьшению термомеханической усталости материала поверхно- стного слоя формообразующей полости является поперечное или продольное расчленение на элементы этого слоя относительно отливки, а также их сочетание. Это создает условия для реализации термического расширения и тем самым ликвидируются причины возникновения термических напряжений и деформаций в поверхностном слое рабочей полости.

При отливках сложной конфигурации усложняется процесс изготовления самого ко- кила, а также механическая обработка самой отливки, поэтому данная задача решается при наиболее качественном применении технологий быстрого прототипирования (RP) и их материалы.

Из вышеизложенного приходим к проблеме подбора материалов, обладающих свойствами, которые необходимы к применению для производства металлической оснастки (кокиль, пресс-формы для различных способов литья). Эта сложность, ес- тественно, переносится как на методику определения термостойкости материала, так и на конструктивные решения проектирования литейной оснастки. Поэтому были исследованы материалы, применяемые с помощью технологии быстрого прототипирова- ния, а именно, композитные материалы на основе металлического гранулированного по- рошка, легированного такими элементами, как вольфрам, хром и другой так называемый металлический порошок (А6) - KM_{Fe-W} и на основе металлического гранулированного порошка, легированного такими элементами, как хром и другой так называемый мета- ллический порошок (ST100) - KM_{Fe-Cr} на термостойкость.

Полученные значения изменений размеров внутренних диаметров образцов из композитных материалов KM_{Fe-W} и KM_{Fe-Cr} в результате термоциклирования а также по- казания возникновения трещинообразований приведены в табл. 1.

Новые методы и прогрессивные технологии литья

В табл. 2 приведен сравнительный анализ образцов из композитных материалов KM_{Fe-W} и KM_{Fe-Cr} при термоциклировании.

В процессе термоциклирования в структуре образцов из композитного материала KM_{Fe-W} происходит изменение микротвердости матрицы и пропитки образцов. При этом более активно изменяется микротвердость металлической матрицы. По всей вероятности,

Таблица 1. Результаты термоциклирования образцов из композитных материалов KM_{Fe-W} и KM_{Fe-Cr}

Наименование материала образца	Температура	Показания микрометра, мкм					Деформация внутреннего диаметра образца, мм ($d_{вн} = 30$ мм)				Наличие трещин: + (имеются), - (не обнаружены)			
		исходные	после термоциклирования				$d - d_{Никлов}$							
			d	количество циклов										
KM_{Fe-Cr}	°C	мкм	100	250	500	1000	100	250	500	1000	100	250	500	1000
	600	450	325	-	-	-	125	-	-	-	+			
		447	310	-	-	-	137	-	-	-	+			
		444	360	-	-	-	84	-	-	-	+			
среднее значение по деформации d_{cp}							115	-	-	-				
KM_{Fe-Cr}	400	539	462	-	-	-	77	-	-	-	+			
		540	445	-	-	-	95	-	-	-	+			
		545	450	-	-	-	95	-	-	-	+			
среднее значение по деформации d_{cp}							89							
KM_{Fe-Cr}	400	595	502	488	-	-	93	14	-	-	-	+		
		603	518	493	-	-	85	25	-	-	-	+		
		585	495	455	-	-	90	40	-	-	-	+		
среднее значение по деформации d_{cp}							89	26	-	-				
KM_{Fe-Cr}	400	520	380	-	-	-	140	-	-	-	+			
		518	370	-	-	-	148	-	-	-	+			
		524	385	-	-	-	139	-	-	-	+			
среднее значение по деформации d_{cp}							142	-	-	-				
KM_{Fe-Cr}	400	517	480	477	461	442	37	3	16	19	-	-	-	-
		532	482	479	455	452	50	3	24	3	-	-	-	-
		528	485	480	457	444	43	5	23	13	-	-	-	-
среднее значение по деформации d_{cp}							43	4	21	12				
KM_{Fe-Cr}	400	499	477	435	430	432	22	42	5	-2	-	-	-	-
		495	485	441	436	435	10	44	5	1	-	-	-	-
		485	483	438	432	430	2	45	6	2	-	-	-	-
среднее значение по деформации d_{cp}							8	44	5	1,3				
KM_{Fe-Cr}	400	442	428	408	403	407	14	20	5	-4	-	-	-	+
		515	488	473	469	472	27	15	4	-3	-	-	-	+
		478	438	426	425	431	40	12	1	-6	-	-	-	+
среднее значение по деформации d_{cp}							27	16	3	4				

Таблица 2. Изменение микротвердости образцов из КМ в процессе термоциклирования ($P_{нагр} = 100\text{Г}$), кг/мм²

Материал		Диагональ отпечатка			Микротвердость		
		исходное	максимальное	разность	диагональ в трех точках; 0, 60, 120 °	среднее значение	
1	2	3	4	5	6	7	
значения до испытаний							
КМ _{Fe-W}	1. мт*	420	499	79	29,7	27,43	
	2. мт	420	505	85	25,7		
	3. мт	420	503	83	26,9		
	КМ _{Fe-W}	1. бр*	420	512	92	24,9	23,6
		2. бр	420	520	100	23,5	
	КМ _{Fe-W}	3. бр	420	518	98	22,3	
КМ _{Fe-Cr}	1**. мт	420	476	56	43,1	48,8	
	2**. мт	420	468	48	55,4		
	3**. мт	420	473	53	48,0		
	КМ _{Fe-Cr}	1. бр	420	500	80	29,0	24,47
		2. бр	420	525	105	16,8	
		3. бр	420	502	82	27,6	
после 100 циклов							
КМ _{Fe-W}	1. мт	420	505	85	25,7	25,9	
	2. мт	420	507	87	24,5		
	3. мт	420	502	82	27,6		
	КМ _{Fe-W}	1. бр	420	510	90	28,9	24,5
		2. бр	420	527	107	20,2	
		3. бр	420	515	95	24,5	
КМ _{Fe-Cr}	1. мт	420	485	65	43,9	35,53	
	2. мт	420	492	72	35,8		
	3. мт	420	503	83	26,9		
	КМ _{Fe-Cr}	1. бр	420	516	96	20,1	23,2
		2. бр	420	507	87	27,6	
		3. бр	420	512	92	21,9	
после 250 циклов							
КМ _{Fe-W}	1. мт	420	485	65	43,9	32,8	
	2. мт	420	504	84	26,3		
	3. мт	420	501	81	28,3		
	КМ _{Fe-W}	1. бр	420	513	93	28,4	24,3
		2. бр	420	510	90	24,2	
		3. бр	420	515	95	20,3	
после 500 циклов							
КМ _{Fe-W}	1. мт	420	484	64	45,3	36,7	
	2. мт	420	492	72	35,8		
	3. мт	420	500	80	29,0		

Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
КМ _{Fe-W}	1. бр	420	535	115	20,3	24,4
	2. бр	420	504	84	28,5	
	3. бр	420	495	75	28,5	
после 1000 циклов						
КМ _{Fe-W}	1. мт	420	490	70	37,8	4,4
	2. мт	420	496	76	32,1	
	3. мт	420	485	65	43,9	
	1. бр	420	510	90	28,9	24,7
	2. бр	420	515	95	20,6	
	3. бр	420	508	88	24,2	

* мт - металлическая основа; бр - бронзовая основа;

** 1, 2, 3 - порядковый номер замера

это связано с пластической деформацией внутренней поверхности образца и некоторым наклепом, а также повышением растворимости углерода и хрома в феррите, что приводит к более активному росту микротвердости матрицы. Микротвердость питателя при этом увеличивается незначительно.

Проведенные испытания образцов из композитного материала КМ_{Fe-Cr} при тех же условиях показали существенное снижение микротвердости матрицы при практически неизменном ее значении для пропитки. В связи с появлением трещин (до 100 циклов) испытания образцов из композитного материала КМ_{Fe-Cr} были прекращены.

Изделия из композитного материала КМ_{Fe-Cr} по термостойкости при циклических нагрузках можно рекомендовать для деталей, работающих в условиях повышенного износа с незначительным нагревом поверхности, например, для пресс-форм термопластавтоматов или для кокилей, применяемых для единичного производства отливок из алюминиевых сплавов.

Изделия из композитного материала КМ_{Fe-W} более термостойкие и их можно рекомендовать для работы в более жестких условиях термоциклирования, то есть для кокилей и пресс-форм, применяемых для получения отливок из алюминиевых сплавов в массовом производстве.

Определенные теплофизические характеристики КМ_{Fe-W} (теплопроводность, температуропроводность, коэффициент термического расширения) показали, что увеличение содержания бронзового инфильтранта (10-40 %) ведет к росту теплопроводности материалов от 32,05 до 62,27 Вт/(м · °С), то есть в 2 раза, что существенно влияет на время кристаллизации сплава отливки (алюминиевый сплав) и его плотность.

Проведенное компьютерное моделирование процесса кристаллизации алюминиевого сплава в чугунном кокиле со вставками из предлагаемых материалов, то есть из композитного материала на основе гранулированного металлического порошка, легированного вольфрамом, хромом и инфильтрованного от 10 до 40 % оловянной бронзы Бр. ОМС-5-5-5 и вставкой из чугуна СЧ-20, показало, что затвердевание алюминиевого сплава проходит в 1,5 раза быстрее, чем у чугунного кокиля с чугунной вставкой.

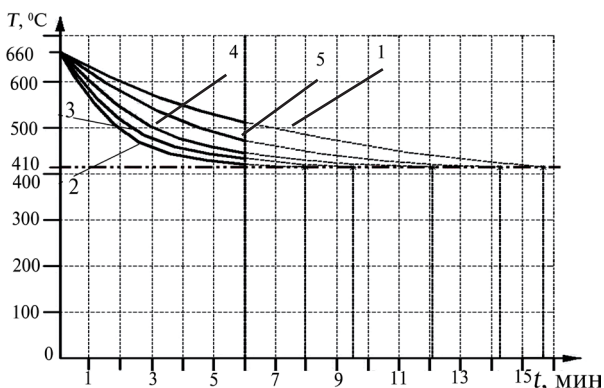
Результаты компьютерного моделирования представлены в виде графика сравнительных кривых кристаллизации алюминиевого сплава в составном чугунном кокиле со вставками из предлагаемого КМ различной теплопроводности и из чугуна, характеризующих температуропроводность исследуемых материалов формы.

Эти данные подтверждают целесообразность использования КМ в качестве материала металлической литейной оснастки, способной воспроизводить отливки из алюминиевого

сплава с повышенными механическими характеристиками за короткий промежуток времени.

Для повышения эксплуатационных свойств литейной оснастки предлагается сплав пропитки заменить на хромовую или алюминийево-железную бронзу, что повысит срок службы литейной оснастки в 1,5 и 2,0 раза соответственно.

Область применения материалов, исследуемых технологиями быстрого прототипирования, приведена в табл. 3.



Сравнительные кривые кристаллизации алюминиевого сплава в чугуном кокиле со вставками из различных материалов: 1 — чугун; 2 — КМ с 40 % МС; 3 — КМ с 30 % МС; 4 — КМ с 20 % МС; 5 — КМ с 10 % МС

Таблица 3. Основные виды литейной оснастки, изготовленной с применением технологий быстрого прототипирования (RP), используемой при традиционных способах литья

Способ литья	Оснастка	Материал оснастки	Способ изготовления установки	Точность отливка (классы)
В песчано-глинистые формы	модели, стержневые ящики, «модельный модуль»	полиамид	Vanguard HS	5-8
		фотополимерная смола	SLA-5000	4-7
В кокиль	кокиль, вставки, стержни формообразующих поверхностей	quick cast технология (заливаемый сплав)	SLA-5000	то же
		композитный материал (КМ _{Fe-Cr} ; КМ _{Fe-W})	Vanguard HS	то же
Под давлением	пресс-формы, вставки, стержни формообразующих поверхностей	quick cast технология (заливаемый сплав)	SLA-5000	то же
		композитный материал (КМ _{Fe-Cr} ; КМ _{Fe-W})	Vanguard HS	то же
По выплавляемым моделям	пресс-формы, вставки, стержни формообразующих поверхностей	quick cast технология (заливаемый сплав)	SLA-5000	то же
		композитный материал (КМ _{Fe-Cr} ; КМ _{Fe-W})	Vanguard HS	то же
По газифицированным моделям	пресс-формы, вставки, стержни формообразующих поверхностей	quick cast технология (заливаемый сплав)	SLA-5000	то же
		композитный материал (КМ _{Fe-Cr} ; КМ _{Fe-W})	Vanguard HS	то же

Список литературы

1. Оболенцев Ф. Д. Точность и качество поверхности отливок. - М.: Машгиз, 1962. - 152 с.
2. Точность отливок / Под ред. Б. Б. Гуляева. - М.: Машгиз, 1960. - 205 с.
3. Точность отливок и эффективность литейного производства / Под ред. Л. Л. Яценко. - Л.: Машгиз, 1981. - 278 с.
4. Соболев В. П., Горюх В. И. Термическая усталость и термический удар. - М.: Машиностроение, 1970. - 156 с.

Поступила 01.02.09