

Влияние макроструктуры сплавов на их прочность и пластические свойства

Установлено, что прочность сплавов с равноосной и столбчатой макроструктурой изменяется пропорционально изменению температуры и находятся в обратной зависимости от нее. Пластичность сплавов в зависимости от температуры носит более сложный характер и имеет минимум при температуре ~ 900 °С. Не зависимо от типа макроструктуры, измельчение макрозерна приводит к увеличению прочности и пластичности сплава. С точки зрения образования горячих трещин при одинаковом размере макрозерна столбчатая макроструктура обеспечивает сплаву более высокие прочностные и пластические свойства и, следовательно, более высокий уровень горячеломкости. Ил. 3. Табл. 8. Библиогр.: 4 назв.

Ключевые слова: трещина, прочность, пластичность, температура, макроструктура, металл, сталь

It is stated that durability of alloys with equiaxial and columnar macrostructure changes proportionally to changes of temperature and is in inverse relation with it. Plasticity of alloys depending on the temperature carries more complicated character and has the minimum at the temperature ~ 900 °C. It does not depend on the microstructure that the crushing of macrograin leads to increase of durability and plasticity of the alloy. From the point of view of formation of hot cracks at the similar size of macrograin, columnar macrostructure provides to the alloy higher durability and plasticity properties and consequently higher level of hot brittleness.

Keywords: crack, durability, plasticity, temperature, macrostructure, metal, steel

Состояние вопроса

Горячая трещина – дефект литой структуры, который образуется в области температурного интервала хрупкости (ТИХ) сплавов, что нередко делает невозможным или ограничивает использование в серийном производстве высокопрочных и жаростойких сплавов, обладающих требуемым на сегодняшний день уровнем эксплуатационных свойств. Поэтому, не смотря на имеющийся «арсенал» гипотез, мероприятий и технологических приемов по предупреждению возникновения горячих трещин в литых изделиях и сварных швах, проблема горячих трещин до настоящего времени не решена и, следовательно, не утратила своей актуальности.

Причина данного положения – природа возникновения горячей трещины, которая является результатом реакции кристаллизующегося материала на комплексное воздействие на него факторов, зависящих как от свойств самого материала, так и силовых, термовременных и прочих условий формирования литого изделия. Именно по этой причине ни одна из существующих проб, разработанная для оценки трещиностойкости какого-либо из материалов, не позволяет объективно оценить его трещиностойкость (горячеломкость) для реальных условий формирования литого изделия или сварного шва.

Из числа способов повышения трещиностойкости литой поликристаллической структуры наиболее эффективным является ее измельчение. В соответствии с современными представлениями, уменьшение размера макрозерна в отливке увеличивает степень кристаллографической дезориентации ее материала и, соответственно, степень анизотропности его физи-

ческих свойств. Как результат, по различным направлениям изделия снижается разница в величине его линейной усадки и возрастает пластичность материала. Помимо этого, измельчение зерна приводит к увеличению протяженности межзеренных границ, уменьшению их толщины, что обуславливает снижение концентрации ликвирующих примесей. Как результат, повышается прочность и тугоплавкость межзеренных границ, в целом, приводящих к повышению трещиностойкости литого материала, в частности.

Измельчению макрозерна в литых изделиях способствует модифицирование, вибрация кристаллизующегося расплава, интенсификация затвердевания, например, путем снижения температуры выпуска расплава из плавильной печи при отсутствии его значительного перегрева при плавке и т. п. Тем не менее, на сегодняшний день величина «удельного веса» фактора измельчения зерна, в числе прочих, и механизм его воздействия на трещиностойкость литых изделий до конца не установлены, что требует проведения дополнительных исследований.

Как было отмечено выше, при прочих равных условиях механические свойства отливок, предопределяющие склонность материала к образованию кристаллизационных трещин, во многом зависят от типа и параметров литой макроструктуры. В качестве примера влияния типа макроструктуры на механические свойства литого металла в табл. 1 приведены данные для жаропрочного никелевого сплава ЖС-6У и бронзы БрО10Ц2 работ [1, 2], а также данные для жаропрочных никелевых сплавов ЖС-6У и ЖС-6Ф работы [3] и ВЖЛ-12У работы [4].

Таблица 1. Механические свойства сплавов ЖС-6У и БрО10Ц2 при 20 °С [1, 2]

Макроструктура	Направление приложения нагрузки относительно межкристаллитных границ	σ_B , МПа	δ , %	φ , %	a_K , МДж/м ²
ЖС-6У					
Равноосная (ВИП)*		890	3,5	4,5	
Столбчатая крупная	Продольное	890	3,6	4,8	
	Поперечное	870	2,8	3,5	
Столбчатая мелкая	Продольное	1040	10,0	13,0	
	Поперечное	1030	9,0	14,0	
БрО10Ц2					
Равноосная		286-306	9-10		2,5-4,7
Столбчатая	Продольное	367-378	40-46		13-15
	Поперечное	326-347	24-26		5-6

Примечание. * ВИП – вакуумно-индукционный переплав (данные автора).

Таблица 2. Механические свойства сплавов ЖС-6У и ЖС-6Ф °С [3]

Макроструктура	t, °С	ЖС-6У			ЖС-6Ф		
		σ_B , МПа	δ , %	φ , %	σ_B , МПа	δ , %	φ , %
Равноосная	20	850-950	3-5	4-6	900-1000	5-7	6-8
	900	700-750	2-4	3-5	820-920	4-5	4-8
Столбчатая	20	800-900	4-6	5-7	750-900	6-13	7-15
	900	700-750	3-5	4-6	700-800	5-10	8-12

Таблица 3. Механические свойства сплава ВЖЛ-12У [4]

Макроструктура	t, °С	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %
Равноосная	20	865	7,05	6,6
	800	815	6,05	6,3
	975	495	7,45	9,65
Столбчатая	20	925	9	10
	800	875	6	7
	975	500	7	7,5

Для ориентации в данных табл. 1 и табл. 2, направление приложения нагрузки при испытаниях относительно положения межкристаллитных границ и положение их межзеренных границ схематично представлено на рис. 1.

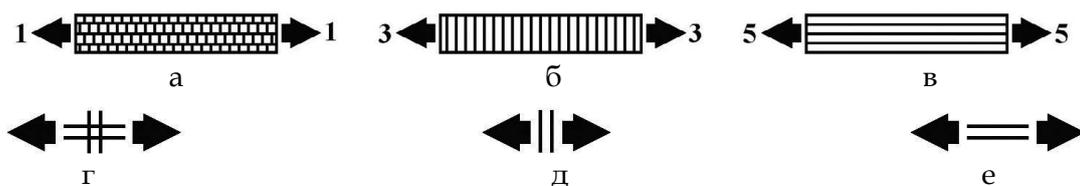


Рис. 1. Схемы (а-в) и условные обозначения (г-е) направлений приложения нагрузки при равноосной (а, г) и столбчатой (б, в, д, е) макроструктуре испытуемых образцов

В соответствии с рис. 1 направление 3-3 соответствует растяжению образца, когда приложенная нагрузка действует поперек его межзеренных границ, а в соответствии с направлением 5-5 – вдоль межзеренных границ.

Анализ данных табл. 1 и табл. 2 показывает, что механические свойства сплавов во многом определяются типом их макроструктуры, что позволяет говорить о необходимости проведения дальнейших исследований по определению

данных зависимостей для других марок сплавов. Данная информация может явиться важным элементом системы прогнозирования не только механических свойств литых изделий, но и использоваться для решения проблем устойчивости сплавов к образованию в них горячих и холодных трещин, оценки эффективности модифицирования сплавов, оценки напряженно-деформационного состояния литого материала и т. д.

Цель работы

Исследовать влияние типа макроструктуры и размера макрозерна сплавов на их прочность и пластические свойства.

Основные результаты работы

Как было отмечено выше, измельчение макрозерна увеличивает трещиностойкость сплава за счет повышения его прочности и пластичности в области ТИХ.

В настоящее время определение прочностных и пластических свойств сплавов в области ТИХ весьма проблематично. В связи с этим рассмотрели вопрос о допустимости, для некоторых сплавов, аппроксимации данных об этих свойствах, полученных при 20 °С, на аналогичные показатели, определяемые при высоких температурах.

Для решения поставленной задачи, абсолютные значения табл. 2 преобразовали в их относительные величины, представленные в табл. 4 и табл. 5. Преобразованные данные табл. 3 приведены в табл. 7

Сравнительный анализ данных табл. 4-6 показывает, что прочность и пластичность сплавов с равноосной и столбчатой макроструктурой изменяются пропорционально изменению температуры, а прочность находится в обратной зависимости от нее.

Таблица 4. Относительные величины механических свойств сплавов ЖС-6У и ЖС-6Ф при 20 и 900 °С (обработка данных табл. 2)

Макроструктура	Соотношение значений					
	при 20 °С			при 900 °С		
	$\sigma_{в}$, МПа	δ , %	φ , %	$\sigma_{в}$, МПа	δ , %	φ , %
ЖС-6У						
Равноосная	1	1	1	1	1	1
Столбчатая	0,94	1,25	1,2	1	1,33	1,25
ЖС-6Ф						
Равноосная	1	1	1	1	1	1
Столбчатая	0,87	1,58	1,57	0,86	1,67	1,67

Примечание. Величины рассчитаны относительно соответствующего значения материала с равноосной структурой при конкретной температуре (20 и 900 °С).

Таблица 5. Относительные величины механических свойств сплавов ЖС-6У и ЖС-6Ф (обработка данных табл. 2)

Макроструктура сплава отливки	Соотношение значений при 900 °С и при 20 °С					
	ЖС-6У			ЖС-6Ф		
	$\sigma_{в}$, МПа	δ , %	φ , %	$\sigma_{в}$, МПа	δ , %	φ , %
Равноосная	0,81	0,75	0,80	0,91	0,75	0,86
Столбчатая	0,85	0,80	0,83	0,91	0,79	0,91

Таблица 6. Относительные величины механических свойств сплава ВЖЛ-12У (обработка данных табл. 3)

Макроструктура	Температура испытаний, °С	Соотношение значений при t и при 20 °С		
		$\sigma_{в}$, МПа	δ , %	ψ , %
Равноосная	20	1	1	1
	800	0,94	0,86	0,95
	975	0,57	1,06	1,46
Столбчатая	20	1	1	1
	800	0,95	0,67	0,7
	975	0,54	0,78	0,75

То есть, данные о прочности сплава, полученные в результате его испытаний при 20 °С, допустимо (по меньшей мере, в интервале температур от 20 до 900-975 °С) аппроксимировать на аналогичные данные сплава, находящегося при более высоких температурах.

Для оценки влияния типа макроструктуры и размера макрозерна в сплаве на его прочность и пластичность провели механические испытания образцов из сталей 25Л, 10Х18Н9Л, 08Х14Н7МЛ с равноосной и столбчатой макроструктурой при 20 °С.

Заготовки для вырезки образцов с заданным типом макроструктуры получали в кварцевых керамических оболочковых формах (КО), изготовленных методом литья по выплавляемым моделям. Для изготовления КО использовали модельные блоки, схемы которых, а также размеры получаемых в них заготовок с условным изображением на них макроструктуры, представлены на рис. 2.

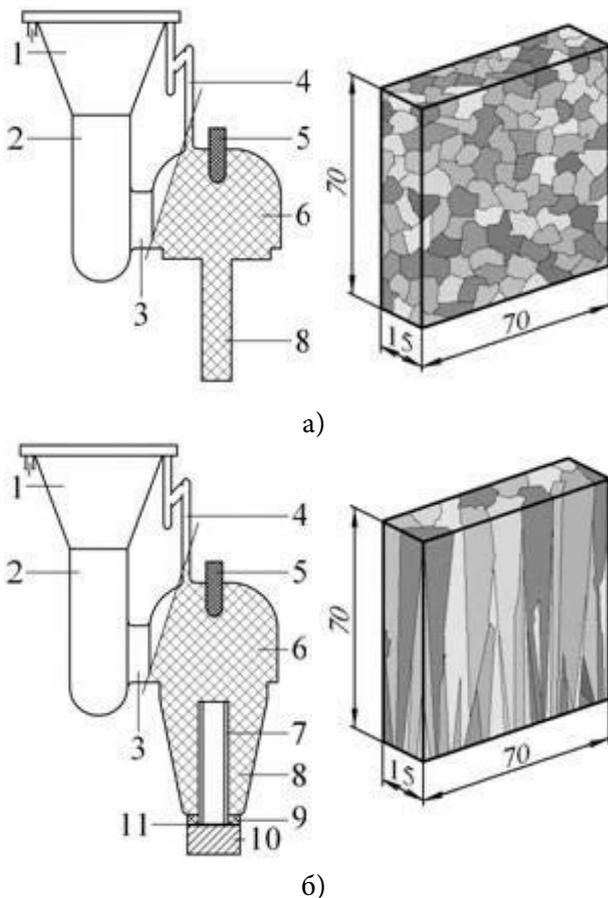


Рис. 2. Схемы модельных блоков и размеры получаемых в них заготовок с равноосной (а) и столбчатой (б) макроструктурой: 1 – литниковая воронка; 2 – стояк; 3 – питатель; 4 – N-образный выпор; 5 – стержень атмосферного давления; 6 – прибыль; 7 – труба прямоугольного поперечного сечения из кварцевого стекла или кварцевая трубка; 8 – нижняя часть выплавляемой модели; 9 – пеношамотная прокладка; 10 – стальной холодильник; 11 – огнеупорное покрытие рабочей поверхности холодильника толщиной ~ 0,2 мм, выполненное методом газотермического напыления порошка белого электрокорунда

Для изготовления КО на модельные блоки наносили семь слоев огнеупорного покрытия на основе гидролизованного раствора этилсиликата ЭТС-40 в эфиро-альдегидной фракции с пылевидным кварцем. В качестве зернистого огнеупорного материала для обсыпки слоев КО использовали кварцевый песок. Прокаливание предварительно выплавленных в воде КО проводили в печи камерного типа марки Н-45.

Для прокаливания и заливки КО заформовывали в опорный наполнитель – кварцевый песок. Температура заформованных в опорный наполнитель КО в момент заливки металлом находилась в пределах от 700 до 980 °С.

Выплавку нелегированной конструкционной стали 20Л проводили в индукционной тигельной печи открытого типа ИСТ-0,06 с «кислой» (SiO₂) футеровкой. Выплавку хромоникелевых хладостойких нержавеющей сталей 10Х18Н9Л и 08Х14Н7МЛ проводили в индукционной тигельной печи открытого типа ИСТ-0,06 с «основной» (MgO) футеровкой.

Из полученных нетермообработанных заготовок вырезали образцы, из которых, впоследствии, изготавливали стандартные гагаринские образцы. Схемы вырезки образцов из заготовок представлены на рис. 3.

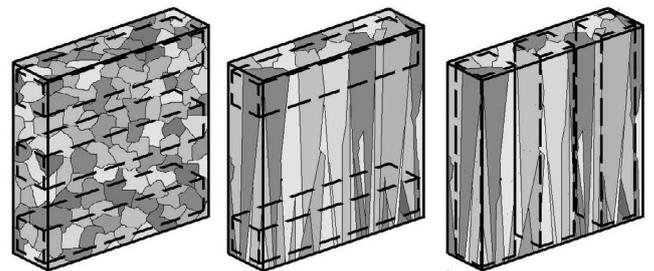


Рис. 3. Схема вырезки образцов из заготовок с различной макроструктурой

До проведения механических испытаний, методом гидровзвешивания определяли плотность испытываемых образцов и рассчитывали величину их усадочной пористости, которая не превышала 0,3 % для образцов с равноосной макроструктурой.

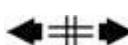
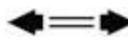
Определение механических свойств образцов проводили при 20 °С по стандартной методике с использованием стандартного оборудования. Средний размер макрозерна в месте разрушения после механических испытаний определяли по формуле:

$$a = (S / n)^{0,5},$$

где S – площадь поперечного сечения образца, мм²; n – число макрозерен на площади S, выявленных на срезе образца в месте его разрушения после травления в соответствующем химическом реактиве на макроструктуру.

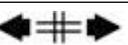
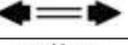
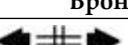
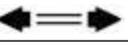
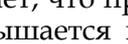
Обобщенные результаты оценки относительной величины механических свойств при 20 °С литых нетермообработанных сталей 25Л, 10Х18Н9Л и 08Х14Н7МЛ от типа макроструктуры и относительного размера макрозерна (а) приведены в табл. 7.

Таблица 7. Относительная величина механических свойств литых нетермообработанных сталей 25Л, 10Х18Н9Л и 08Х14Н7МЛ при 20 °С

Макроструктура	Направление приложения нагрузки (см. рис. 1)	Относительные значения		
		a	σ_b^*	$\delta, \%$
Равноосная		1	1	1
		0,23	1,07	1,1
Столбчатая		1	1,02	1
		0,35	1,28	1,97
		1	0,95	0,88
		0,35	1,17	1,74

Для сопоставления полученных данных с ранее известными, данные табл. 1 преобразовали в относительные величины, приведенные табл. 8.

Таблица 8. Относительные значения величин механических свойств сплавов с различной макроструктурой при 20 °С (обработка данных табл. 1)

Макроструктура	Направление приложения нагрузки (см. рис. 1)	Относительные значения		
		σ_b , МПа	$\delta, \%$	$\varphi, \%$
Жаропрочный никелевый сплав ЖС-6У				
Равноосная		1	1	1
Столбчатая крупная		1	1	1,07
		0,98	0,8	0,78
Столбчатая мелкая		1,17	2,86	2,89
		1,16	2,57	3,11
Бронза БрО10Ц2				
Равноосная		1	1	
Столбчатая		1,25	4,5	
		1,14	2,6	

Анализ табл. 7 и табл. 8 показывает, что прочность и пластичность сплавов повышается как с уменьшением размера их макрозерна, так и изменением типа макроструктуры. При этом, влияние типа макроструктуры на прочность и пластичность сплавов, исходя из данных табл. 3, неоднозначно, хотя в ряде случаев пластичность сплавов со столбчатой макроструктурой существенно выше, чем у сплавов с равноосной структурой, независимо от характера приложения растягивающей нагрузки к образцу.

Следует отметить, что у исследованных сталей (см. табл. 5), а также бронзы (см. табл. 6) со столбчатой макроструктурой, независимо от направления приложения растягивающей нагрузки по отношению к границам макрозерен, прочность выше, чем у тех же сплавов с равноосной структурой. Эта закономерность объясняется тем, что, по-видимому, уровень структурной дефектности межзеренных границ в равноосной макроструктуре более высоки, чем аналогичные показатели границ, сформированных в условиях направленной кристаллизации сплавов.

Исходя из этого, для предупреждения возникновения горячих трещин достаточно создавать мелкозернистую макроструктуру сплава только в поверхностном слое литого изделия, который,

по сути, затвердевает в условиях направленного теплоотвода и испытывает воздействие растягивающей нагрузки по схеме 3-3 (рис. 1). То есть, предупредить возникновение горячих трещин в отливках можно достаточно эффективно, используя, например, поверхностное внутриформенное модифицирование, применяя для этого пасты и припылы рабочих поверхностей формы на которых возможно появление горячих трещин в отливках. Для наиболее термонагруженных участков отливки наиболее эффективным, с целью предупреждения возникновения горячих трещин, может оказаться сочетание внутриформенного (поверхностного) и объемного модифицирования расплава.

Выводы

1. Прочность сплавов с равноосной и столбчатой макроструктурой изменяется пропорционально изменению температуры и находится в обратной зависимости от нее. Пластичность сплавов, в зависимости от температуры, носит более сложный характер и имеет минимум при температуре ~ 900 °С.

2. Независимо от типа макроструктуры, измельчение макрозерна приводит к увеличению прочности и пластичности сплава.

3. Для макроструктуры столбчатого типа, независимо от поперечного размера макрозерна, прочность и пластичность при 20 °С увеличиваются с исчезновением границ зерен поперечных направлению приложенной к сплаву нагрузки.

4. С точки зрения образования горячих трещин при одинаковом размере макрозерна столбчатая макроструктура обеспечивает сплаву более высокие прочностные и пластические свойства и, следовательно, более высокий уровень жаропрочности

Библиографический список

1. Производство высокотемпературных литых лопаток авиационных ГТД / Под ред. С. И. Яцыка. – М.: Машиностроение, 1995. – 256 с.

2. Рыжиков А. А., Тимофеев Г. И., Лебедев П. В. Свойства отливок с волокнистой структурой. / В сб. Основы образования литейных сплавов. Труды XIV Совещания по теории литейных процессов. – М.: Наука, 1970. – С. 97-98.

3. Кишкин С. Т. Направленная кристаллизация жаропрочных сплавов / С. Т. Кишкин, Г. Б. Строганов, А. В. Логунов и др. – Литейное производство. – 1984. – № 4. – С. 17-19.

4. Никишин В. А. Производство точнолитых деталей из жаропрочных сплавов с гранулярной структурой / В. А. Никишин, А. А. Федосов, М. В. Чумаков и др. – Литейное производство. – 2003. – № 1 – С. 9-13.

Поступила 17.03.2014



УДК 621.744.4

Берлизова Т. В., Пономаренко О. И. /д. т. н./
Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт»

Наука

Исследование влияния комплексной разупрочняющей добавки на свойства холоднотвердеющих смесей на жидком стекле

Исследовано влияние разупрочняющей добавки, содержащей триацетин с фурфуроловым спиртом (ТАЦ+ФС), и определено ее влияние на свойства холоднотвердеющих смесей на жидком стекле. Приведена рецептура и технология изготовления формовочных смесей на жидком стекле с добавлением (ТАЦ+ФС). Исследования проводились согласно стандартным методикам. Были исследованы смеси на прочность, газотворную способность, влажность, газопроницаемость, осыпаемость, огнеупорность и выбиваемость. Ил. 3. Табл. 2. Библиогр.: 10 назв.

Ключевые слова: холоднотвердеющая смесь, жидкое стекло, триацетин, фурфуроловый спирт

The influence of soften impurity containing triacetin with furfuryl alcohol (TR+FA) is investigated and its impact on the properties of cold-solidifying mixtures on the liquid glass is determined. Receipt and manufacturing technology of moulding sand on the liquid glass with addition of (TR+FA) is given. The researches were fulfilled on the base of standard methodologies. The mixtures were tested for durability, gas-forming ability, moisture content, gas permeability, friability, refractory property and beating out.

Keywords: cold-solidifying mixture, liquid glass, triacetin, furfuryl alcohol

Анализ литературных данных и постановка проблемы

Повышение качества отливок, экономичности и эффективности их производства в значительной степени зависит от состава и свойств формовочных смесей на разных стадиях их приготовления и применения [1-3].

Одним из недостатков жидкостекольных холоднотвердеющих смесей (ХТС), содержащих, как правило, 6-7 % жидкого стекла и отверждаемых CO₂, C₂S или тепловой сушкой, является образование при температуре более 700 °С легкоплавких силикатов, которые приводят к спеканию смесей и к повышению остаточной прочности и ухудшению выбиваемости [4, 5].

Поэтому актуальной задачей литейного производства является создание легковыбиваемых смесей на жидком стекле (ЖС).

Выбиваемость жидкостекольных смесей зависит от содержания жидкого стекла и его модуля. С повышением содержания жидкого стекла и снижением его модуля (вследствие увеличения жидкой фазы при нагреве) выбиваемость ухудшается [6, 7]. На выбиваемость жидкостекольных смесей влияет не только температура прогрева формы, но и усадка отливки. Поскольку усадка стали больше, чем чугуна, то выбиваемость стержней из-за увеличения сил сжатия в стальных отливках в 1,5-1,6 раза хуже, чем в чугунных.

Основными путями создания легковыбиваемых смесей на жидком стекле являются регулирование физико-химического взаимодействия связующего с огнеупорным наполнителем с целью снижения прочности конгломерата, который образуется при заливки формы металлом.