

Формирование структуры биметаллических отливок

Исследовано влияние химического состава, скорости охлаждения и термокинетических параметров фазовых превращений сплавов биметаллических пар на структуру биметаллических отливок. Установлены количественные закономерности формирования структуры биметаллических отливок при их затвердевании и термической обработке.

Ключевые слова: химический состав, скорость охлаждения, биметалл, структура, закономерность, фаза, превращение

Эффективный выбор оптимальных режимов легирования, литья и термической обработки биметаллических отливок возможен в результате компьютерного анализа процесса формирования структуры металлической основы, рабочего слоя и переходной зоны при охлаждении после заливки и в процессе термической обработки.

Известные литературные данные не обеспечивают возможность достоверного объективного понимания ряда явлений в объеме, необходимом для комплексной оптимизации химического состава металла-основы и рабочего слоя, режимов их изготовления и термической обработки с целью получения наиболее экономичными способами необходимого сочетания физико-механических и эксплуатационных свойств биметаллических отливок.

Поэтому целью работы было установление основных факторов, определяющих процесс формирования структуры биметаллических отливок и количественных закономерностей их влияния.

Анализ литературных данных показал, что основными факторами, определяющими процесс формирования структуры металлической основы, рабочего и переходного слоя в литом состоянии являются содержание и распределение элементов между твердым раствором и вторичными фазами, скорость охлаждения и термокинетические параметры фазовых превращений сплавов биметаллической пары.

Исследования проводились по методике, изложенной в работе [1]. Область факторного пространства меняли в следующих пределах: скорость охлаждения отливок в жидком состоянии металла ($V_{ж}$) – от 0,92 до 2,38 °C/с, в интервале затвердевания ($V_{\Delta t_s}$) – от 0,14 до 1,16 °C/с, в температурной области 800–600 °C, которая предшествует превращению аустенита ($V_{800-600}$) – от 0,11 до 0,24 °C/с, температуры начала и окончания превращения аустенита стали ($t_{ar3ст}$, $t_{ar1ст}$) соответственно, от 694 до 783 и от 650 до 660 °C и чугуна ($t_{ar3ч}$, $t_{ar1ч}$) соответственно, от 816 до 854 и от 786 до 796 °C, углеродные эквиваленты стали ($C_{ест}$) – от 0,32 до 1,04 %мас., чугуна ($C_{еч}$) – от 3,56 до 3,80 %мас. и аустенита чугуна ($C_{еач}$) – от 1,96 до 2,10 %мас.

Химический состав металлической основы меняли (%мас.) от 0,22 до 0,80 C; от 0,2 до 0,5 Si; от 0,35

до 1,60 Mn; до 0,3 Cr и Mo, а рабочего слоя – от 2,4 до 3,6 C; от 0,05 до 1,0 Si; от 1,5 до 5,2 Mn; от 11,0 до 25,0 Cr; от 0,15 до 0,35 V; от 0,15 до 0,35 Ti; до 0,4 Mo.

Микроструктуру изучали на образцах размером 20x20x10 мм, вырезанных из биметаллических отливок в зоне диффузионного соединения металлической основы и рабочего слоя на оптическом и электронном микроскопах МИМ-10 и JEOL JSM-35CF соответственно. При этом определяли объемную или массовую долю и размеры структурных составляющих металла-основы, рабочего и переходного слоя.

Пример исследования микроструктуры биметаллических отливок, состоящих из стали 25Л и чугуна 300X12Г5, стали 70ГЛ и чугуна ЧХ22 приведены на рис. 1.

В литом состоянии стальная основа биметаллической отливки сталь 25Л-чугун 300X12Г5 состоит из 25-30 % феррита и 70-75 – перлита, а рабочий слой – из карбидов, аустенита и перлита в количестве 5-10 %. Граница металлической основы и рабочего слоя диффузионная, без подплавления.

Переходная зона между металлической основой и рабочим слоем со стороны чугуна на расстоянии 38-47 мкм от границы контакта состоит из перлита, в интервале от 47 до 1000 мкм содержание перлита уменьшается до 80-90 % и далее структура состоит из карбидов, аустенита и перлита в количестве 5-10 %.

Переходная зона со стороны стали на расстоянии до 16 мкм от границы контакта представляет собой феррит, в интервале от 16 до 400 мкм – 90 % перлита и 10 – феррита, а в интервале от 400 мкм и далее – 25-30 % феррита и 70-75 – перлита.

После термической обработки структура стальной основы биметаллического отливки сталь 25Л-чугун 300X12Г5 состоит из 50 % феррита и перлита, с размером зерен 22,7 и 20,3 мкм соответственно. Переходная зона со стороны стали представляет ферритную полосу толщиной 1 мкм, а со стороны чугуна – перлитную толщиной 11 мкм. Структура рабочего слоя состоит из чугуна, содержащего 32 % карбидов, 56 – мартенсита и 12 – аустенита, при этом размер фаз составляет 40, 40 и 50 мкм соответственно.

Изменение химического состава металлической основы и рабочего слоя, а также условий формирования отливки сопровождается изменением количества и размеров структурных составляющих. Например,

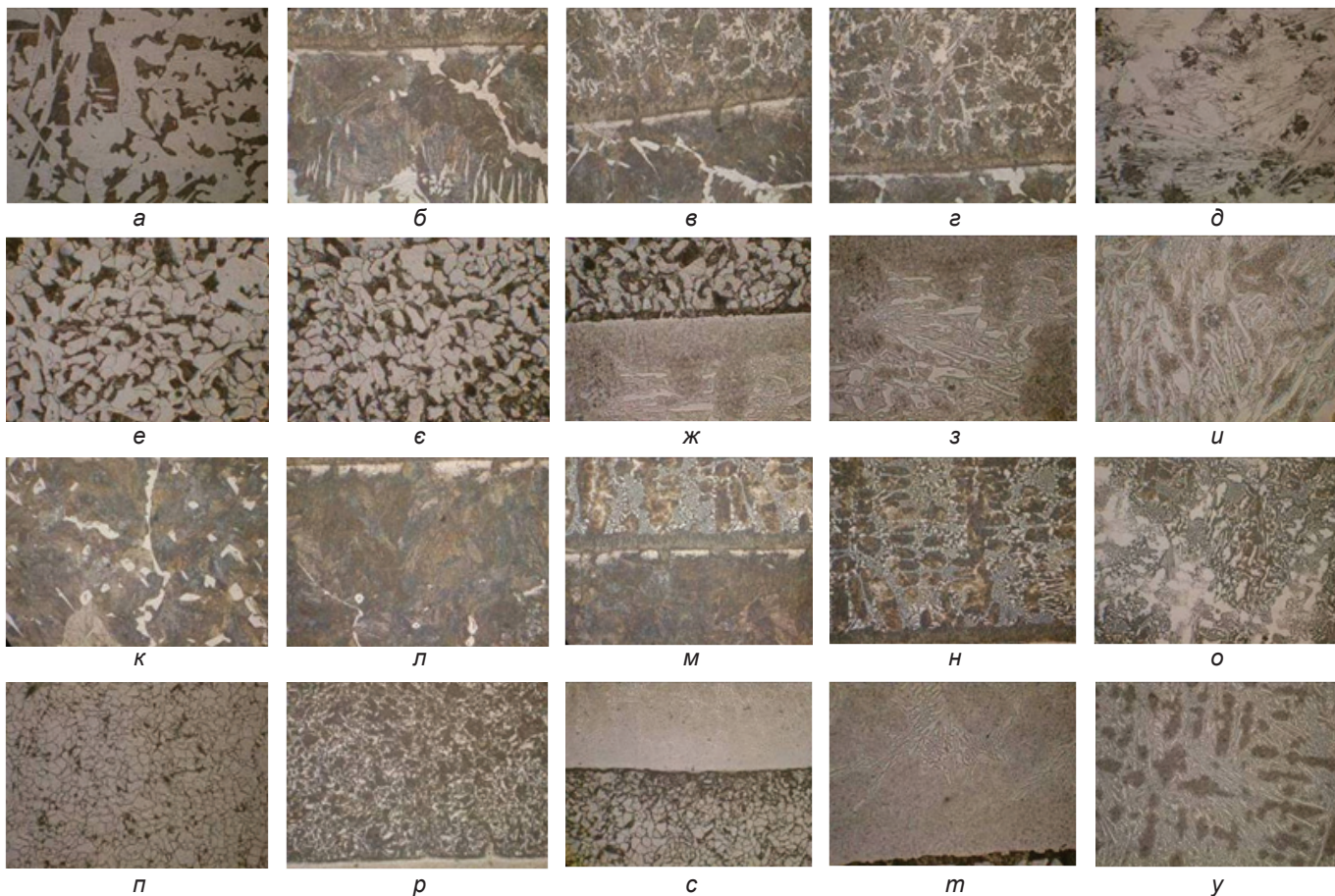


Рис. 1. Микроструктура биметаллических отливок в литом состоянии (а-д, к-о) и после термической обработки (е-и, п-у). а-и – сталь 25Л-чугун 300Х12Г5; к-у – сталь 70ГЛ-чугун ЧХ22. а, е, к, п – металлическая основа; б-г, е-з, л-н, р-т – переходная зона (б, е, л, р – со стороны металла-основы; в, ж, м, с – центр; г, з, н, т – со стороны рабочего слоя); д, и, о, у – рабочий слой. Увеличение: X500 (а-д, к-о); X1000 (п-у); X1300 (е-и)

в случае биметаллической отливки сталь 70ГЛ-чугун ЧХ22 микроструктура стальной основы в литом состоянии состоит из 10 % феррита и 90 – сорбитообразного перлита. Расстояние между пластинами цементита в перлите от 0,3 до 1,0 мкм. Рабочий слой состоит из карбидов, перлита и остаточного аустенита до 20 %.

Граница контакта содержит зоны подплавления. Переходная зона со стороны чугуна на расстоянии до 47 мкм от границы контакта состоит из перлита, в интервале от 47 до 400 мкм – аустенита и карбидов, более 400 мкм переходит в структуру чугуна. Переходная зона со стороны стали на расстоянии до 31 мкм от границы контакта представляет собой полосу феррита, в интервале от 31 до 300 мкм – полосу с сорбитообразным перлитом. При большем расстоянии структура зоны контакта представляет собой структуру стальной основы. Расстояние между пластинами цементита в перлите составляет, в основном, 0,3 мкм, однако наблюдаются участки с расстоянием от 0,5 до 1,0 мкм.

После термической обработки стальная основа отливки сталь 70ГЛ-чугун ЧХ22 состоит из 95 % феррита и 5 – перлита с размером зерен 18 и 8 мкм, соответственно. Граница контакта несколько волнистая. Переходная зона на расстоянии до 0,17 мм состоит из 90 % перлита и 10 – феррита. Структура чугуна рабочего слоя состоит из 33 % карбидов, 50 – мартенсита и 17 – аустенита. Размер фаз при этом составляет 35, 29 и 57 мкм соответственно.

Результаты металлографического анализа показали, что структура биметаллических отливок в литом состоянии состоит из феррита, перлита, остаточного аустенита и карбидов. При этом количество ($\Phi_{уст}$, $\Pi_{уст}$) и размер зерен ($D_{фст}$, $D_{пст}$) феррита и перлита в стальной основе менялись, соответственно, от 10 до 40 и от 60 до 90 об. %, от 25 до 240 и от 47 до 175 мкм; ширина ферритного ($B_{фпз}$) и перлитного ($B_{ппз}$) слоя в переходной зоне – от 12 до 50 и от 30 до 75 мкм соответственно; количество ($K_{ч}$, $\Pi_{ч}$) и размер ($D_{кч}$, $D_{пч}$) карбидов и зерен перлита в рабочем слое – от 27 до 32 %мас., от 4 до 60 об. %, от 43 до 100 и от 15 до 107 мкм, соответственно; расстояние между пластинами цементита в перлите ($\Delta_{цпч}$) – от 0,3 до 1,0 мкм и объемная доля остаточного аустенита ($A_{оч}$) в рабочем слое – от 8 до 68 об. %.

После термической обработки, дополнительно к вышеназванным структурам, в рабочем слое биметаллических отливок наблюдается мартенсит. Объемные доли феррита и перлита в стальной основе изменяются от 10 до 97 и от 3 до 90 % соответственно, а их размеры – от 6 до 44 и от 5 до 27 мкм. Размер ферритной зоны переходного слоя изменяется от 1 до 4 мкм, а перлитной – от 2 до 16 мкм. Рабочий слой состоит из карбидов, мартенсита и аустенита. При этом наблюдаются такие изменения количества и размеров карбидов, соответственно: от 28 до 35 %мас. и от 20 до 50 мкм; мартенсита от 10 до 60 об. %, длины его пакетов от 10 до 90 мкм; аустенита от 1 до 36 об. % и размера зерен от 7 до 65 мкм.

Количественные закономерности влияния исходных факторов на функции отклика определяли методами парного и множественного корреляционного анализа, при 95 % вероятности. Оценку значимости коэффициентов уравнений проводили по критерию Стьюдента, а адекватность уравнений – значениями множественного коэффициента корреляции (R) и средней относительной погрешности аппроксимации (δ , %).

При определении закономерностей формирования структуры биметаллических отливок в литом состоянии за независимые исходные факторы принимали скорости охлаждения отливок в жидком состоянии, в интервале затвердевания и температурной области перед превращением аустенита, температуры начала и окончания превращения аустенита стали и чугуна и углеродные эквиваленты стали, чугуна и аустенита чугуна.

За функции отклика принимали количество ($\Phi_{\text{вст}}$, $\Pi_{\text{вст}}$) и размер зерен ($D_{\text{фст}}$, $D_{\text{пст}}$) феррита и перлита в стальной основе, ширину ферритного ($B_{\text{фпз}}$) и перлитного ($B_{\text{ппз}}$) слоя в переходной зоне, количество ($K_{\text{ч}}$, $\Pi_{\text{вч}}$) и размер ($D_{\text{кч}}$, $D_{\text{пч}}$) карбидов и зерен перлита в рабочем слое, а также расстояние между пластинами цементита в перлите ($\Delta_{\text{пч}}$) и объемную долю остаточного аустенита ($A_{\text{оч}}$) в рабочем слое.

Физико-математические модели аппроксимировали полиномом вида

$$Y = A_0 + A_1x_1 + A_2x_2 + \dots + A_ix_i + A_{12}x_1x_2 + \dots + A_{ij}x_ix_j + \dots + A_nx_i^n \quad (1)$$

Закономерности формирования структуры биметаллических отливок в литом состоянии представлены в таблице 1. Анализ значений (табл. 1) показывает, что в процессе затвердевания и охлаждения (после затвердевания биметаллических отливок), содержание структурных составляющих и дисперсность феррито-перлитной структуры металла-основы (с коэффициентом корреляции от 0,825 до 0,867) определяются углеродным эквивалентом стали и скоростями охлаждения в жидком состоянии (в интервале затвердевания и температурной области 600-800 °С перед превра-

щением аустенита); размер ферритного и перлитного слоя в переходной зоне с коэффициентом корреляции от 0,741 до 0,935 – вышеупомянутыми параметрами, а также углеродным эквивалентом чугуна; количество карбидов с коэффициентом корреляции 0,984 – углеродным эквивалентом чугуна, а их размер с коэффициентом корреляции 0,999 – скоростью охлаждения рабочего слоя в жидком состоянии и в интервале затвердевания; количество и размер зерен перлита в рабочем слое, а также расстояние между пластинами цементита в перлите с коэффициентом корреляции от 0,977 до 0,978 – скоростью охлаждения рабочего слоя в интервале температур 600-800 °С, углеродным эквивалентом чугуна и температурным интервалом превращения аустенита рабочего слоя; объемная доля остаточного аустенита в рабочем слое с коэффициентом корреляции 0,823 – углеродным эквивалентом чугуна и скоростью охлаждения рабочего слоя в жидком состоянии и в интервале затвердевания.

Примеры влияния скорости охлаждения биметаллической отливки в жидком состоянии ($V_{\text{ж}}$), в интервале затвердевания ($V_{\Delta_{\text{тз}}}$), в температурной области 800-600 °С перед превращением аустенита ($V_{800-600}$), а также химического состава стали ($i_{\text{ст}}$) и чугуна ($i_{\text{ч}}$) на параметры структуры металлической основы, переходной зоны и рабочего слоя биметаллических отливок в литом состоянии показано на рис. 2, 3.

Расчеты проводили путем изменения значений одного исходного параметра при фиксированных базовых значениях других факторов.

За базовые значения принимали средние величины экспериментальных факторов, которые имели следующие значения: $V_{\text{ж}} = 1,43$ °С/с; $V_{\Delta_{\text{тз}}} = 0,54$; $V_{800-600} = 0,15$; $C_{\text{ст}} = 0,55$ %мас.; $Si_{\text{ст}} = 0,42$; $Mn_{\text{ст}} = 0,73$; $S_{\text{ст}} = 0,03$; $P_{\text{ст}} = 0,03$; $Cr_{\text{ст}} = 0,2$; $C_{\text{ч}} = 2,7$; $Si_{\text{ч}} = 0,54$; $Mn_{\text{ч}} = 3,4$; $S_{\text{ч}} = 0,03$; $P_{\text{ч}} = 0,05$; $Cr_{\text{ч}} = 19,5$.

Анализ результатов моделирования показывает, что увеличение скорости охлаждения биметаллической отливки в жидком состоянии (в интервале затвердевания и температурной области 800-600 °С) приводит к

Таблица 1

Вид уравнения (1) и коэффициенты множественной корреляции (R_i) закономерностей, описывающих структуру биметаллических отливок в литом состоянии

Вид уравнения 1	R_i
$\Phi_{\text{вст}} = 48,3 - 1,3 \cdot V_{\text{ж}} - 26 \cdot V_{\Delta_{\text{тз}}} - 112,4 \cdot V_{800-600} + 5,6 \cdot C_{\text{ст}}$	0,855
$D_{\text{фст}} = 137,6 + 71,9 \cdot V_{\text{ж}} - 20 \cdot V_{\Delta_{\text{тз}}} - 670,7 \cdot V_{800-600} - 70,2 \cdot C_{\text{ст}}$	0,867
$\Pi_{\text{вст}} = 51,7 + 1,3 \cdot V_{\text{ж}} + 26 \cdot V_{\Delta_{\text{тз}}} + 112,4 \cdot V_{800-600} - 5,6 \cdot C_{\text{ст}}$	0,855
$D_{\text{пст}} = 163,3 - 3,1 \cdot V_{\text{ж}} + 14,3 \cdot V_{\Delta_{\text{тз}}} - 517,3 \cdot V_{800-600} - 7,1 \cdot C_{\text{ст}}$	0,825
$B_{\text{фпз}} = 32,7 - 15 \cdot V_{\text{ж}} - 10 \cdot V_{\Delta_{\text{тз}}} + 95,6 \cdot V_{800-600} - 0,3 \cdot C_{\text{ст}}$	0,741
$B_{\text{ппз}} = 411 - 13 \cdot V_{\text{ж}} + 46,0 \cdot V_{\Delta_{\text{тз}}} + 189,4 \cdot V_{800-600} - 105 \cdot C_{\text{ст}}$	0,935
$(B_{\text{фпз}} + B_{\text{ппз}}) = 544 - 27 \cdot V_{\text{ж}} + 37,2 \cdot V_{\Delta_{\text{тз}}} + 283,4 \cdot V_{800-600} + 7,1 \cdot C_{\text{ст}} - 134 \cdot C_{\text{ч}}$	0,873
$K_{\text{ч}} = -5,1 \cdot C_{\text{ч}} + 5,3 \cdot C_{\text{ст}}^2 - 0,5 \cdot C_{\text{ч}}^3$	0,984
$D_{\text{кч}} = -408 - 8,8 \cdot V_{\text{ж}} - 50,5 \cdot V_{\Delta_{\text{тз}}} + 136,2 \cdot C_{\text{ч}}$	0,999
$\Pi_{\text{вч}} = -18766 + 2168 \cdot V_{800-600} + 579 \cdot C_{\text{ст}} - 12,8 \cdot t_{\text{ар3ч}} + 35,5 \cdot t_{\text{ар1ч}}$	0,977
$D_{\text{пч}} = 23718 - 2234 \cdot V_{800-600} - 2760 \cdot C_{\text{ст}} + 21,2 \cdot t_{\text{ар3ч}} - 44,9 \cdot t_{\text{ар1ч}}$	0,930
$\Delta_{\text{пч}} = 4,94 - 0,71 \cdot V_{800-600} - 4,05 \cdot C_{\text{ст}} + 0,01 \cdot t_{\text{ар3ч}} - 0,01 \cdot t_{\text{ар1ч}}$	0,978
$A_{\text{зч}} = -3053 + 1142 \cdot V_{\text{ж}} + 9985 \cdot V_{\Delta_{\text{тз}}} + 69,1 \cdot V_{\text{ж}} \cdot V_{\Delta_{\text{тз}}} - 308 \cdot V_{\text{ж}} \cdot C_{\text{ст}} - 2643 \cdot V_{\Delta_{\text{тз}}} \cdot C_{\text{ст}} + 824,1 \cdot C_{\text{ст}}$	0,823

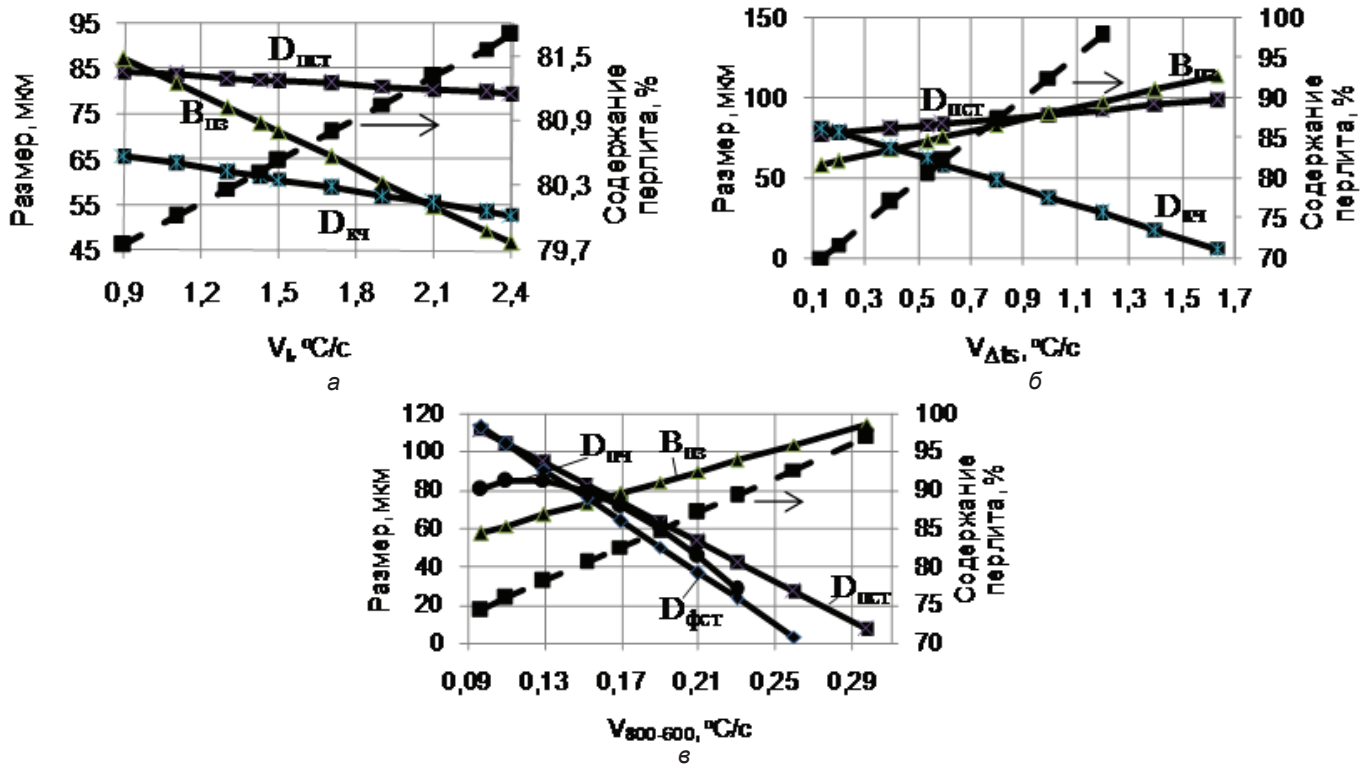


Рис. 2. Влияние скорости охлаждения в жидком состоянии (а), в интервале затвердевания (б) и в интервале температур 800-600 °С (в) на размер зерен перлита ($D_{\text{перл}}$) и феррита ($D_{\text{ферр}}$) и содержание перлита в стальной основе, ширину переходной зоны ($B_{\text{пз}}$), размер карбидов ($D_{\text{кв}}$) и зерен перлита ($D_{\text{пч}}$) в чугуна рабочего слоя биметаллических отливок в литом состоянии

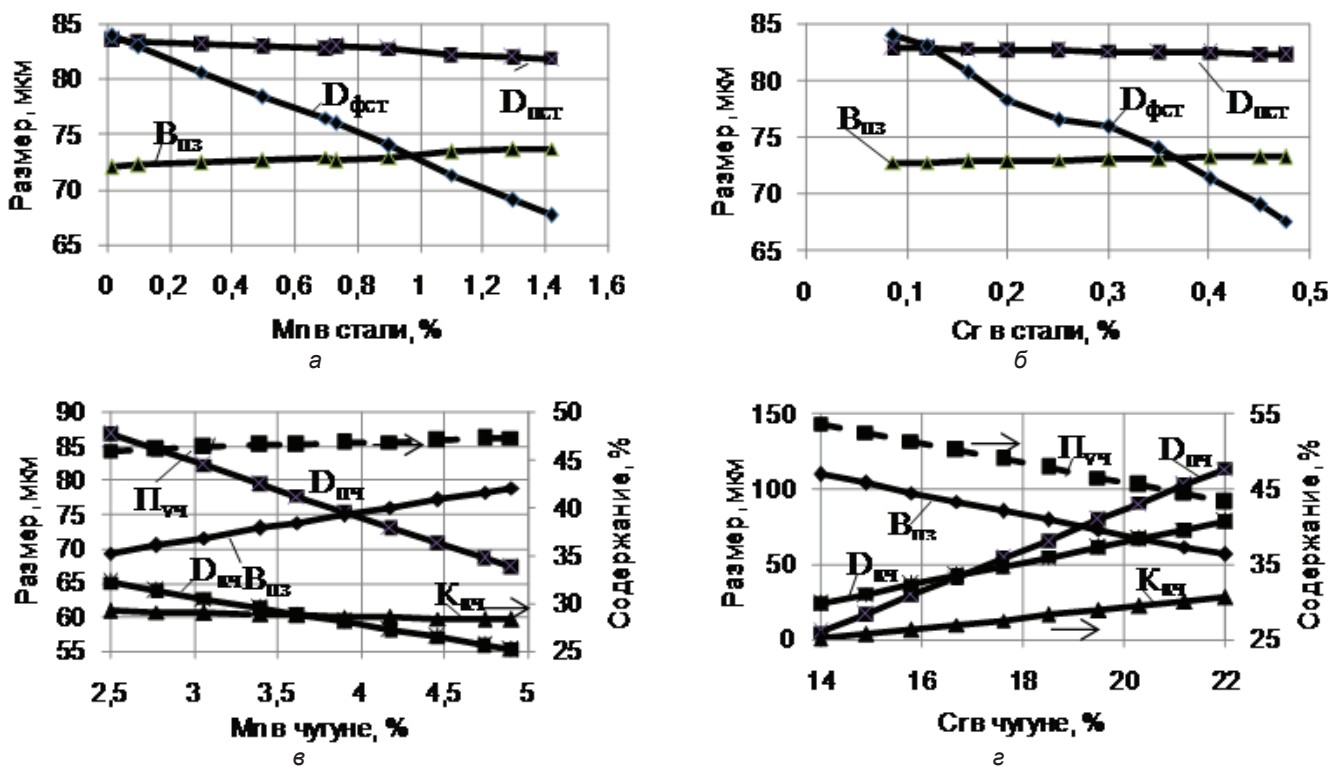


Рис. 3. Влияние содержания марганца (а, в) и хрома (б, д) в стали (а, б) и чугуна (в, д) на размер зерен перлита ($D_{\text{перл}}$) и феррита ($D_{\text{ферр}}$) в стальной основе, ширину переходной зоны ($B_{\text{пз}}$), размер ($D_{\text{пч}}$, $D_{\text{кв}}$) и содержание ($\Pi_{\text{пч}}$, $K_{\text{кв}}$) перлита и карбидов в чугуна рабочего слоя биметаллических отливок в литом состоянии

диспергированию структуры металлической основы и рабочего слоя и расширению переходной зоны (рис. 2).

Легирование стали марганцем и хромом приводит к диспергированию зерен феррита и перлита в металлической основе биметаллических отливок и расширению переходной зоны (рис. 3 а, б). Увеличение содержания марганца в чугуна приводит к диспергированию всех исследованных структурных составляющих рабочего слоя (рис. 3, в), а дополнительное легирование хромом – к увеличению размеров карбидов и зерен перлита (рис. 3, г).

После термической обработки биметаллических отливок микроструктура стальной основы состоит из перлита и феррита, а рабочего слоя – из смеси карбидов Me_7C_3 , высокохромистого аустенита и мартенсита.

Приняв за независимые факторы параметры структуры в литом состоянии и углеродные эквиваленты матриц металлической основы и рабочего

слоя, характеризующие степень легирования твердого раствора, определили закономерности формирования структуры биметаллических отливок после термической обработки.

По функции отклика структурных характеристик биметаллических отливок после термической обработки принимали количество ($\Phi_{встТО}$, $\Pi_{встТО}$) и размер зерен феррита ($D_{фстТО}$) и перлита ($D_{пстТО}$) в стальной основе, ширину ферритного ($B_{фпзТО}$) и перлитного ($B_{ппзТО}$) слоя в переходной зоне, количество ($K_{чТО}$, $M_{чТО}$, $A_{чТО}$) и размер ($D_{кчТО}$, $D_{мчТО}$, $D_{ачТО}$), соответственно, карбидов, мартенсита и аустенита в рабочем слое.

Результаты расчетов показывают, что физико-математические модели структуры биметаллических отливок после термической обработки адекватно описываются полиномом типа (1) и имеют вид, приведенный в таблице 2.

Таблица 2

Вид уравнения (1) и коэффициенты множественной корреляции (R_i) закономерностей, описывающих структуру биметаллических отливок после термической обработки

Вид уравнения 1	R_i
$\Phi_{встТО} = 98,97 \cdot C_{эмстТО} + 3,62 \cdot \Phi_{вст} - 5,27 \cdot C_{эмстТО} \cdot \Phi_{вст}$	0,965
$D_{фстТО} = 28,68 \cdot C_{эмстТО} + 0,41 \cdot D_{фст} - 0,70 \cdot C_{эмстТО} \cdot D_{фст}$	0,967
$\Pi_{встТО} = 163,51 \cdot C_{эмстТО} + 0,02 \cdot \Pi_{вст} - 1,62 \cdot C_{эмстТО} \cdot \Pi_{вст}$	0,862
$D_{пстТО} = 22,85 \cdot C_{эмстТО} + 0,19 \cdot D_{пст} - 0,31 \cdot C_{эмстТО} \cdot D_{пст}$	0,932
$B_{фпзТО} = 5,01 \cdot C_{эмстТО} + 0,12 \cdot B_{фпз} - 0,27 \cdot C_{эмстТО} \cdot B_{фпз}$	0,921
$B_{ппзТО} = 1,81 \cdot C_{эмч} - 0,67 \cdot B_{ппз} + 0,36 \cdot C_{эмч} \cdot B_{ппз}$	0,904
$K_{чТО} = 27,24 \cdot C_{эч} + 23,52 \cdot C_{эмч} - 12,16 \cdot C_{эч} \cdot C_{эмч} - 0,84 \cdot K_{ч}$	0,999
$D_{кчТО} = -24,56 \cdot C_{эч} - 26,63 \cdot C_{эмч} + 19,60 \cdot C_{эч} \cdot C_{эмч} + 0,44 \cdot D_{кч}$	0,981
$M_{чТО} = 31,11 \cdot C_{эч} - 65,04 \cdot C_{эмч} + 8,62 \cdot C_{эч} \cdot C_{эмч}$	0,990
$D_{мчТО} = 88,26 \cdot C_{эч} - 154,26 \cdot C_{эмч} + 2,94 \cdot C_{эч} \cdot C_{эмч}$	0,894
$A_{чТО} = -19,88 \cdot C_{эч} + 84,62 \cdot C_{эмч} - 10,53 \cdot C_{эч} \cdot C_{эмч}$	0,933
$D_{ачТО} = -10,81 \cdot C_{эч} + 102,52 \cdot C_{эмч} - 15,27 \cdot C_{эч} \cdot C_{эмч}$	0,987

Примечание: $\Phi_{вст}$, $D_{фст}$, $\Pi_{вст}$, $D_{пст}$, $B_{фпз}$, $B_{ппз}$, $K_{ч}$, $D_{кч}$ – параметры структуры биметаллических отливок в литом состоянии

Анализ уравнений, приведенных в табл. 2, показывает, что дисперсность микроструктуры после термической обработки существенно зависит от соответствующих структурных параметров в литом состоянии и степени легирования твердого раствора металлической основы и рабочего слоя в процессе аустенитизации биметаллических отливок.

Примеры влияния скорости охлаждения биметаллических отливок в жидком состоянии ($V_{л}$), в интервале затвердевания ($V_{Дтз}$), в температурной области 800-600 °С перед превращением аустенита ($V_{800-600}$) и параметров структуры металлической основы, переходной зоны и рабочего слоя в литом состоянии на характеристики структуры биметаллических отливок после термической обработки показано на рис. 4, 5.

Результаты моделирования показывают, что в процессе термической обработки усиливается в

2-3 раза влияние факторов, которые приводят к диспергированию структуры биметаллических отливок в литом состоянии (рис. 4, 5). Необходимо отметить, что если увеличение содержания хрома в чугуне рабочего слоя в литом состоянии монотонно изменяет размеры и фазовый состав его микроструктуры, то после термической обработки такое влияние экстремально (рис. 5, г). При этом максимальная дисперсность мартенсита достигается при содержании хрома в пределах от 16 до 17 %.

Выводы

Установленные закономерности позволяют прогнозировать структуру биметаллических отливок в литом состоянии и после термической обработки и являются основой для моделирования свойств и эксплуатационных характеристик биметаллических

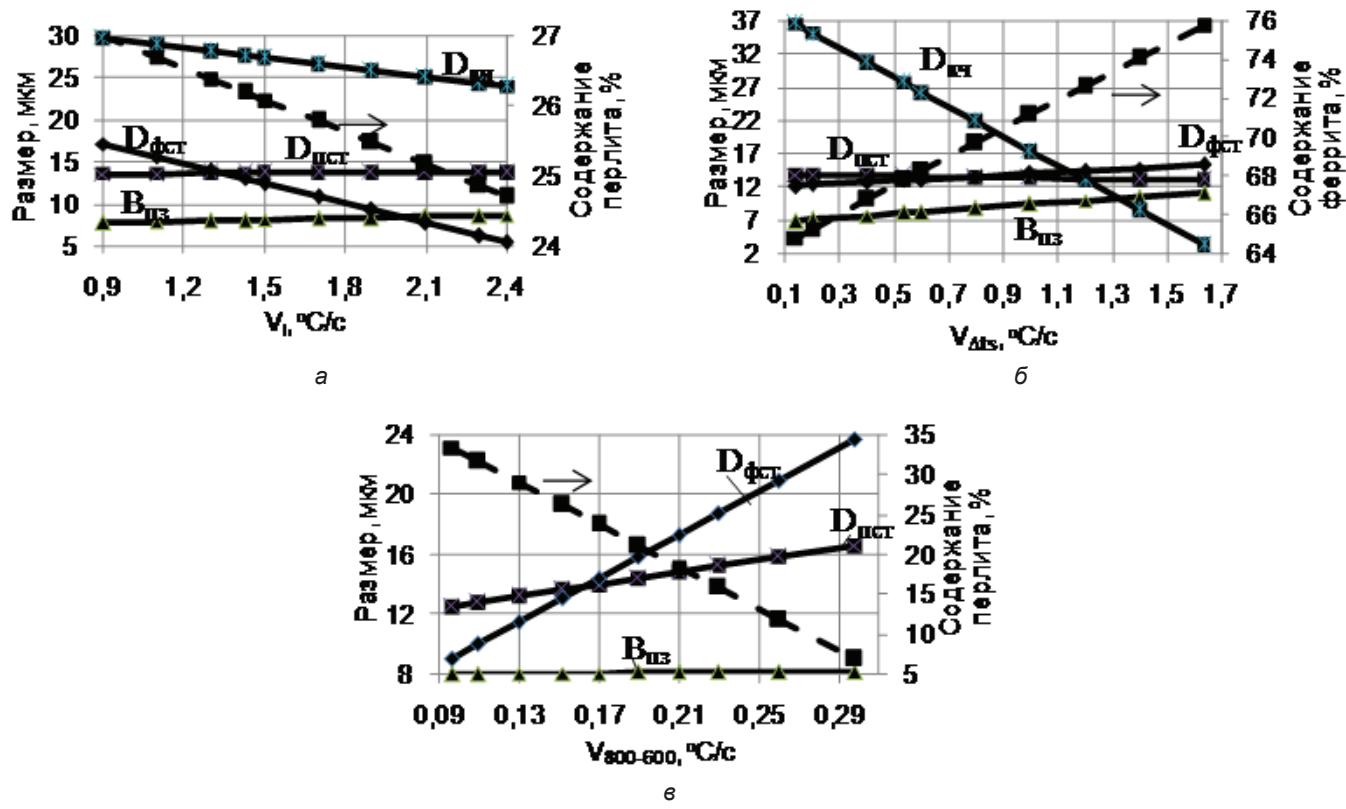


Рис. 4. Влияние скорости охлаждения в жидком состоянии (а), в интервале затвердевания (б) и в интервале температур 800-600°C (в) на размер зерен перлита ($D_{пст}$), феррита ($D_{фст}$), содержание перлита и феррита в стальной основе, ширину переходной зоны ($B_{пз}$), размер карбидов ($D_{кч}$) и зерен перлита ($D_{пч}$) в чугуна рабочего слоя биметаллических отливок после термической обработки

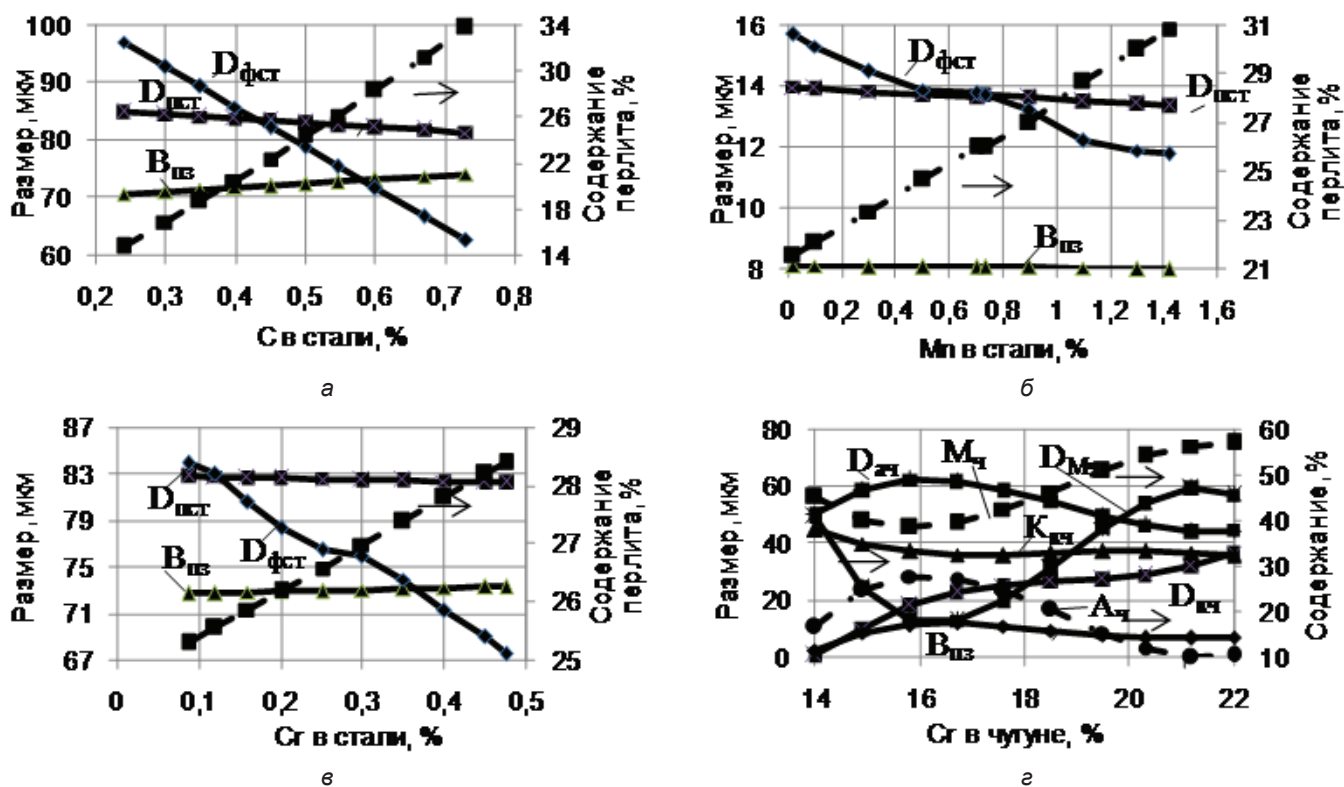
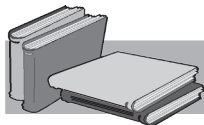


Рис. 5. Влияние содержания углерода (а), марганца (б) и хрома в стали (в) и чугуна (г) на размер зерен перлита ($D_{пст}$) и феррита ($D_{фст}$) и содержание перлита в стальной основе, ширину переходной зоны ($B_{пз}$), размер зерен аустенита ($D_{ауст}$), мартенсита ($D_{мч}$) и карбидов ($D_{кч}$) и их содержание ($A_{ч}$, $M_{ч}$, $K_{кч}$) в чугуна рабочего слоя биметаллических отливок после термической обработки

отливок. Моделирование абразивной износостойкости и эксплуатационного ресурса биметаллических отливок на основе установленных закономерностей

реализовано при анализе закономерностей формирования абразивной износостойкости биметаллических отливок [2].



ЛИТЕРАТУРА

1. Афтанділянц Е. Г., Пелікан О. А., Лихошва В. П., Клименко Л. М. Термокинетические параметры формирования структуры биметаллический отливок // Процессы литья. – № 6. – 2011. – С. 40-49.
2. Закономерности формирования абразивной износостойкости биметаллических отливок / Е. Г. Афтанділянц, О. А. Пелікан, В. П. Лихошва и др. // Металл и литье Украины. – № 7. – 2012. – С. 34-37.

Анотація

Афтанділянц Є. Г., Пелікан О. А., Клименко Л. М., Костенко Д. Г.
Формування структури біметалевих виливків

Досліджено вплив хімічного складу, швидкості охолодження та термокінетичних параметрів фазових перетворень сплавів біметалевих пар на структуру біметалевих виливків. Встановлено кількісні закономірності формування структури біметалевих виливків при їх твердінні та термічній обробці.

Ключові слова

хімічний склад, швидкість охолодження, біметал, структура, закономірність, фаза, перетворення

Summary

Aftandilyants Ye. G., Pelikan O. A., Klymenko L. M., Kostenko D. G
Structure formation of bimetallic castings

Influence of the chemical composition, cooling rate and thermo-kinetic parameters of phase transformations of alloys bimetallic couples on the structure of bimetallic castings were investigated. Quantitative regularities of structure formation of bimetallic castings during their solidification and heat treatment were determined.

Keywords

chemical composition, cooling rate, bimetal, structure, regularity, phase, transformation

Поступила 18.06.14