

УДК 669:539.4(075.8)

**Е. Г. Афтандиянц, О. А. Пеликан, В. П. Лихошва,
Л. М. Клименко**

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛИТЬЯ НА НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОТЛИВОК

Приведены результаты исследования влияния химического состава и технологических параметров литья на напряжённо-деформированное состояние биметаллических отливок. Установлены основные факторы, определяющие процесс формирования напряжённо-деформированного состояния. Определены количественные закономерности влияния химического состава, толщины слоёв и условий заливки на развитие и распределение напряжений в рабочем слое при разрушении биметаллических отливок. Показано, что определяющее влияние на процесс разрушения оказывают отношение толщины рабочего слоя к толщине стальной основы, углеродный эквивалент стали, скорость охлаждения в интервале затвердевания и температуры заливки стали и чугуна. Установлено, что предел прочности биметаллических отливок при изгибе и деформация разрушения с вероятностью 95 % и коэффициентом корреляции от 0,962 до 0,965 определяются значениями углеродных эквивалентов стали и чугуна, скоростью охлаждения в интервале затвердевания и температурой заливки стальной основы.

Ключевые слова: биметаллические отливки, предел прочности на изгиб, деформация разрушения, углеродный эквивалент стали и чугуна, скорость охлаждения, температура заливки.

Наведено результати дослідження впливу хімічного складу та технологічних параметрів лиття на напружено-деформований стан біметалевих виливків. Встановлено основні чинники, що визначають процес формування напружено-деформованого стану. Визначено кількісні закономірності впливу хімічного складу, товщини шарів та умов заливання на розвиток і розподіл напружень в робочому шарі при руйнуванні біметалевих виливків. Показано, що визначальний вплив на процес руйнування здійснюють відношення товщини робочого шару до товщини сталеві основи, вуглецевий еквівалент сталі, швидкість охолодження в інтервалі твердіння та температури заливання сталі та чавуну. Встановлено, що границя міцності біметалевих виливків при вигині та деформація руйнування з імовірністю 95 % і коефіцієнтом кореляції від 0,962 до 0,965 визначаються значеннями вуглецевих еквівалентів сталі і чавуну, швидкістю охолодження в інтервалі твердіння та температурою заливання сталеві основи.

Ключові слова: біметалеві виливки, границя міцності на вигин, деформація руйнування, вуглецевий еквівалент сталі та чавуну, швидкість охолодження, температура заливання.

There are shown research results concerned influence of chemical composition and casting parameters on the stressed-deformed state of bimetallic castings. It were established main factors

that determine the process of deformation. It also found quantitative regularities of influence of chemical composition, layers thickness and pouring conditions on development and distribution of stress in the working layer during the destruction of bimetallic castings. It is shown that a determining influence on the fracture process exerts a ratio of the working layer thickness to the steel base thickness, and also the carbon equivalent of the steel, the cooling rate in the range of solidification and pouring temperature of steel and cast iron. It was established that the strength of castings at flexural deformation and fracture with a probability of 95 % and a correlation coefficient of 0.962 to 0.965 are defined by the carbon equivalent of steel and cast iron, the cooling rate in the solidification range and the pouring temperature of the base metal.

Keywords: *bimetallic castings, ultimate bending strength, deformation of fracture, carbon equivalent of steel and cast iron, cooling rate, pouring temperature.*

Широкое применение биметаллических отливок в качестве деталей оборудования, работающего в условиях значительных динамических нагрузок, интенсивного абразивного, ударно-абразивного и гидроабразивного изнашивания, позволяет существенно повысить надёжность и долговечность изделий, а также конкурентоспособность оборудования на мировом рынке [1]. Вместе с тем, выдвигаемые требования по повышению уровня эксплуатационных свойств биметаллических отливок при экономном расходе дорогостоящих легирующих элементов и энергоносителей вызывают необходимость анализа и исследования их напряжённо-деформированного состояния.

Химический состав и технологические параметры производства оказывают существенное влияние на надёжность литых изделий [2-7]. В общем случае напряжённо-деформированное состояние отливки при охлаждении после затвердевания определяется разностью между допустимой скоростью деформации и скоростью нарастания свободной литейной усадки. Зарождение трещин происходит по межкристаллитным границам в том случае, когда литейная усадка металла не компенсируется межзёрненной деформацией, в результате чего возникают напряжения, превосходящие прочность межкристаллитного сцепления [2, 3].

При диспергировании первичной и вторичной структуры взаимное смещение кристаллов в процессе затруднённой усадки происходит легче, чем в металле с крупными кристаллитами. Удлинение образца в результате межзёрненной деформации зависит от числа межзёрненных границ на единицу длины, по которым происходят эти смещения. Чем мельче зерно, тем больше таких границ и тем выше относительное удлинение металла в интервале хрупкости. Проскальзывание по границам зёрен в интервале хрупкости существенным образом зависит также от пограничного расположения неметаллических включений, которые затрудняют межзёрненную деформацию [4, 5].

Температура верхней границы интервала хрупкости зависит от особенностей кристаллизации и соответствует температуре образования каркаса твёрдой фазы. Уменьшение зоны транскристаллизации и размеров первичных кристаллитов приводит к снижению её температуры. В этом случае требуется меньше жидкой фазы, при которой происходит жёсткая взаимная блокировка кристаллитов. Нижняя граница температурного интервала хрупкости соответствует переходу от межзёрненной деформации к преимущественно внутризёрненной при охлаждении металла. Эта граница в основном отвечает температуре затвердевания оксисульфидных включений по границам зёрен [6, 7].

Образование и развитие трещин в биметаллических отливках в процессе их охлаждения после затвердевания и в условиях внешних нагрузок зависит, в основном, от дисперсности первичной и вторичной структуры, которая определяется химическим составом, параметрами заливки и теплоотвода, а также соотношением размеров металлической основы и рабочего слоя.

Поскольку до настоящего времени системный анализ по данному направлению отсутствует, целью работы было исследовать процесс разрушения биметаллических

отливок и влияние на него химического состава и технологических параметров их изготовления.

Закономерности развития напряжений и разрушения биметаллических отливок исследовали на образцах размерами 300x80x40 мм (рис. 1), изготовленных способом последовательной заливки расплавов в литейную форму, при различных толщинах слоёв стали и чугуна.

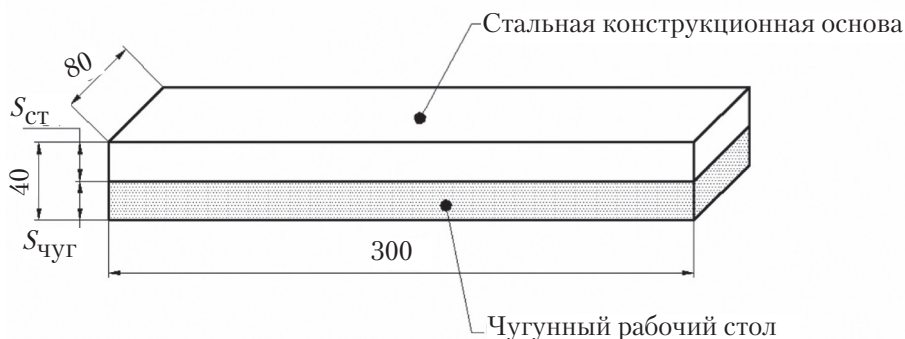


Рис. 1. Эскиз опытной биметаллической отливки для исследования напряжённого состояния и процесса разрушения

Опытные биметаллические отливки устанавливали на опоры универсальной машины ЦДМУ-30Т таким образом, чтобы наконечник оправки находился посередине пролёта между опорами и в центре испытуемой отливки (рис. 2).

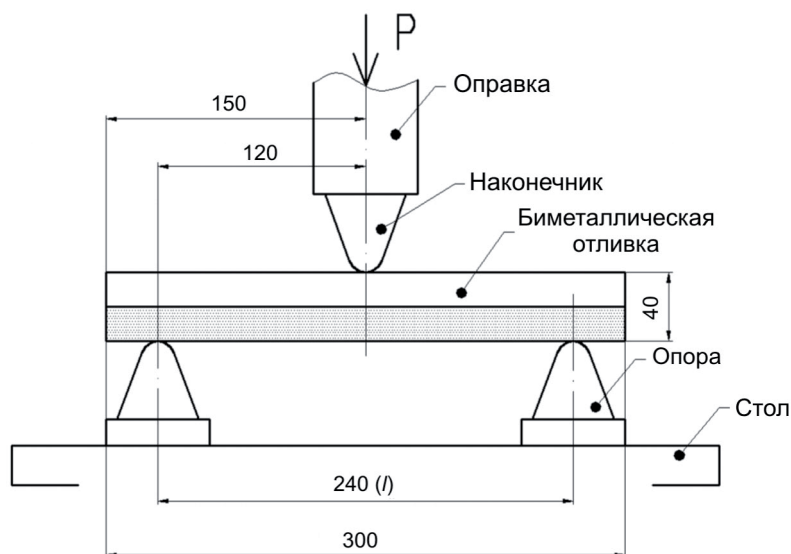


Рис. 2. Схема испытаний биметаллических отливок

Ширина наконечника оправки и опор составляла 100 ± 5 мм, толщина оправки и опор – 80 ± 5 мм, радиусы закруглений оправки и опор – 30 мм.

После установки на опоры машины ЦДМУ-30Т отливку подвергали сосредоточенной нагрузке, которую увеличивали со скоростью 15 мм/мин. Величины нагрузок и деформации, при которых происходило разрушение, заносили в таблицу и определяли напряжения изгиба.

После осмотра наружной поверхности отливки определяли вид, размеры, траекторию появившейся трещины и анализировали соотношение напряжений изгиба при разрушении отливок с расчётными внутренними литейными напряжениями.

Новые методы и прогрессивные технологии литья

Распределение внутренних литейных напряжений в биметаллических отливках, развиваемых в условиях выполненных экспериментов, определяли методом конечных элементов путём компьютерного моделирования в среде программного комплекса для расчёта и проектирования конструкций.

Номера отливок, марка сплавов биметаллических пар, последовательность и температура заливки слоёв ($t_{зал1}$, $t_{зал2}$), соотношение толщин ($\delta_{ст}/\delta_{чуг}$) и скорость охлаждения в интервале затвердевания ($V_{зат}$) приведены в таблице.

Номер отливки, марка сплавов биметаллических пар, последовательность и температура заливки слоёв ($t_{зал1}$, $t_{зал2}$), соотношение толщин слоёв ($\delta_{ст}/\delta_{чуг}$) и скорость охлаждения в интервале затвердевания исследованных биметаллических отливок

| Номер отливки | Марка сплавов | Последовательность заливки слоёв | Соотношение толщин слоёв (мм), $\delta_{ст}/\delta_{чуг}$ | Температура заливки, °С | | Скорость охлаждения в интервале затвердевания, $V_{зат}$, °С/с |
|---------------|----------------|----------------------------------|---|-------------------------|--------|---|
| | | | | 1 слой | 2 слоя | |
| 1 | сталь 25Л | чугун на сталь | 20/20 | 1610 | 1380 | 0,163 |
| 3 | | | 30/10 | 1590 | 1400 | 0,193 |
| 6 | | | 10/30 | 1630 | 1360 | 0,166 |
| 7 | чугун 300X12Г5 | сталь на чугун | 10/30 | 1410 | 1620 | 0,180 |
| 8 | | | 30/10 | 1390 | 1600 | 0,160 |
| 9 | | | 20/20 | 1380 | 1630 | 0,103 |
| 10 | сталь 70ГЛ | сталь на чугун | 20/20 | 1400 | 1590 | 0,235 |
| 11 | | | 10/30 | 1380 | 1580 | 0,190 |
| 12 | | | 30/10 | 1385 | 1610 | 0,113 |
| 13 | чугун ЧХ22 | чугун на сталь | 30/10 | 1615 | 1390 | 1,157 |
| 14 | | | 20/20 | 1610 | 1390 | 0,421 |
| 15 | | | 10/30 | 1610 | 1375 | 0,268 |

Значения предела прочности на изгиб и деформации разрушения исследованных биметаллических отливок приведены на рис. 3.

Данные, приведённые на рис. 3, показывают, что в зависимости от марки сплавов металлической основы и рабочего слоя биметаллических пар, последовательности и температуры заливки слоев, соотношения их толщин и скорости охлаждения в интервале затвердевания, предел прочности на изгиб и деформации разрушения исследованных биметаллических отливок изменяются от 449 до 814 МПа и от 2,0 до 6,5 мм, соответственно.

Минимальные значения предела прочности на изгиб наблюдаются в биметаллической отливке № 8, полученной в процессе заливки стали 25Л на чугун 300X12Г5 при соотношении толщин слоёв 3:1 соответственно. Максимальные значения предела прочности на изгиб наблюдаются в биметаллической отливке №14, полученной в процессе заливки чугуна ЧХ22 на сталь 70ГЛ при соотношении толщин слоёв 1:1 соответственно.

Минимальная деформация, при которой происходит разрушение, наблюдается в биметаллической отливке № 1, полученной в процессе заливки чугуна 300X12Г5 на сталь 25Л, при соотношении толщин слоёв 1:1 соответственно. Максимальная деформация, при которой происходит разрушение, наблюдается в биметаллической отливке № 11, полученной в процессе заливки стали 70ГЛ на чугун ЧХ22 при соотношении толщин слоев 1:3 соответственно.

Моделирование процесса развития напряжений показывает, что в месте приложения нагрузки на свободной поверхности отливки развиваются максимальные

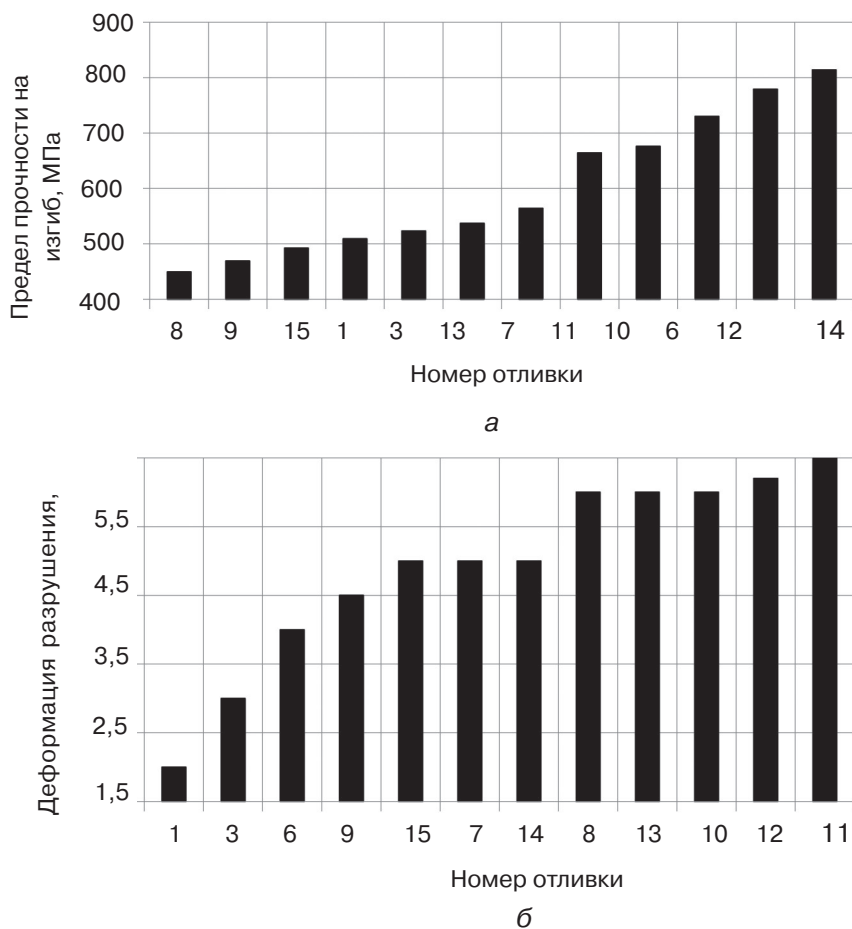


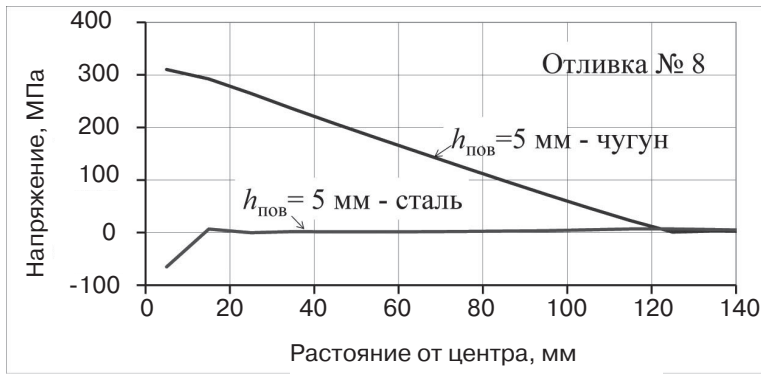
Рис. 3. Предел прочности на изгиб (а) и деформация разрушения (б) исследованных биметаллических отливок

напряжения сжатия в стальной основе и растяжения в чугуне рабочего слоя. При этом зарождение трещин в биметаллических отливках происходит в рабочем слое в области развития максимальных растягивающих напряжений. С увеличением расстояния от участков развития максимальных напряжений наблюдается уменьшение их значений как по длине, так и по толщине отливки (рис. 4).

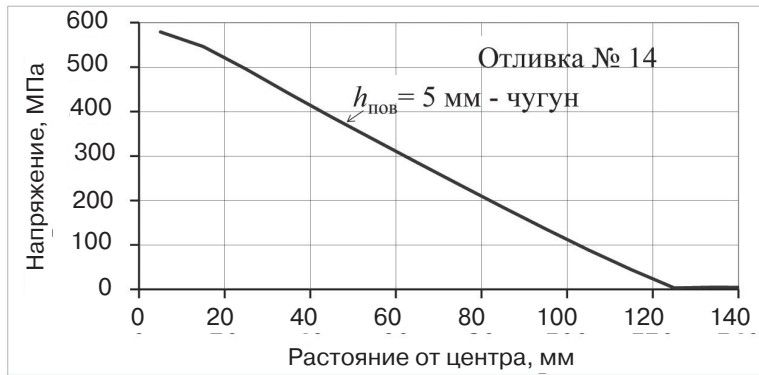
Анализ данных, приведённых на рис. 4, показывает, что напряжения сжатия в стальной основе уменьшаются и на расстоянии 15-20 мм от центра отливки приближаются к нулю, а напряжения растяжения в чугуне рабочего слоя – на расстоянии 125-135 мм от центра отливки.

С увеличением расстояния от свободной поверхности к центру биметаллической отливки наблюдается уменьшение напряжений и скорости их снижения. Например, скорость снижения напряжений на свободной поверхности чугуна рабочего слоя биметаллических отливок № 1 и № 8 составляет 4,12 и 3,44 МПа/мм, а на расстоянии 5 мм от поверхности ($h_{\text{пов}}$) – 3,11 и 2,66 МПа/мм соответственно. Скорость снижения напряжений по длине отливки изменяется от 3,44 до 4,12 МПа/мм на поверхности и до 1,0-1,1 МПа/мм на толщине, близкой к переходной зоне между стальной основой и рабочим слоем.

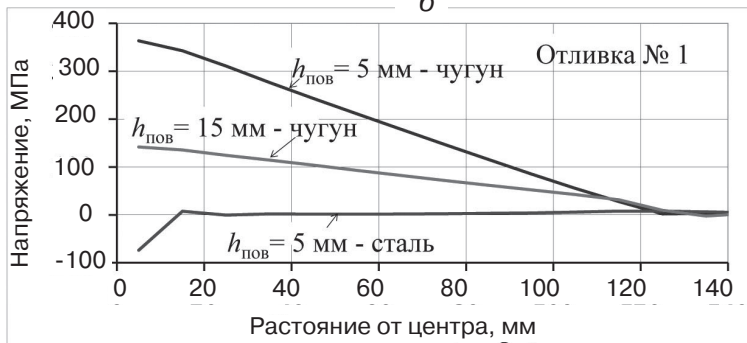
Известно [1], что напряжённно-деформированное состояние биметаллических отливок в литом состоянии зависит, в основном, от развития усадочных процессов в металлической основе и рабочем слое, которые определяются их химическим составом, условиями заливки, теплоотвода при затвердевании и охлаждении после затвердевания.



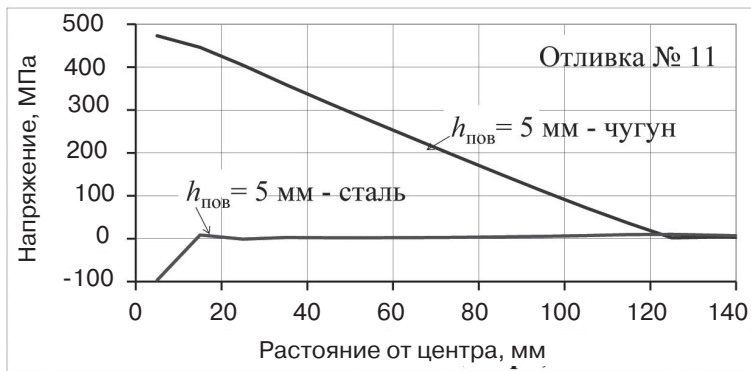
а



б



в



г

Рис. 4. Распределение напряжений по толщине и длине биметаллических отливок с минимальными (а, в) и максимальными (б, г) значениями предела прочности при изгибе (а, б) и деформации разрушения (в, г)

Принимая за независимые факторы параметры заливки биметаллических отливок (таблица), а также углеродные эквиваленты стали металла-основы и чугуна рабочего слоя, определили эффективность влияния исходных факторов на развитие напряжений (σ), предел прочности при изгибе ($\sigma_{изг}$) и деформацию ($l_{раз}$), при которой происходит разрушение отливки.

Исследование развития и распределения напряжений в рабочем слое при разрушении биметаллических отливок показало, что определяющее влияние на этот процесс оказывают отношение толщины рабочего слоя к толщине стальной основы, углеродный эквивалент стали, скорость охлаждения в интервале затвердевания и температуры заливки первого и второго слоёв.

Количественная закономерность такого влияния имеет следующий вид:

$$\sigma = -4743,34 + 72,82 \delta_{чуг} / \delta_{ст} - 140,61 C_{эст} - 48,97 \cdot V_{зат} + 0,97 t_{зал1} + 2,49 t_{зал2} - 2,89 l_{отл} - 12,06 h_{отл}, \quad R = 0,926 \quad (1)$$

где σ – напряжение в рабочем слое биметаллической отливки, МПа; $\delta_{чуг}/\delta_{ст}$ – отношение толщины рабочего слоя к толщине металла-основы; $C_{эст}$ – углеродный эквивалент стали, %; $V_{зат}$ – скорость охлаждения в интервале затвердевания, $^{\circ}\text{C}/\text{с}$; $t_{зал1}$, $t_{зал2}$ – температура заливки первого и второго слоёв, соответственно, $^{\circ}\text{C}$; $l_{отл}$ – расстояние от центра по длине отливки, мм; $h_{отл}$ – расстояние от поверхности разрушения по высоте отливки, мм.

Анализ уравнения (1) показывает, что при фиксированных значениях исходных факторов максимальные растягивающие напряжения развиваются на поверхности в центре отливки и уменьшаются с увеличением расстояния от центра по её длине и толщине.

Например, при $C_{эст} = 0,7\%$; $V_{зат} = 0,7\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$; $t_{зал1} = 1610\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t_{зал2} = 1380\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $\delta_{чуг}/\delta_{ст} = 0,3$ растягивающие напряжения на поверхности отливки в центре составляют 387 МПа, а на расстоянии 20 мм от поверхности – 146 МПа. С увеличением расстояния от центра по длине отливки растягивающие напряжения уменьшаются и достигают нулевого значения на поверхности при 140 мм, а на расстоянии 20 мм от поверхности – 50 мм. При дальнейшем увеличении расстояния от центра по длине отливки наблюдается развитие напряжений сжатия, которые достигают на края отливки на поверхности 46 МПа, а на расстоянии 20 мм от поверхности – 287 МПа (рис. 5).

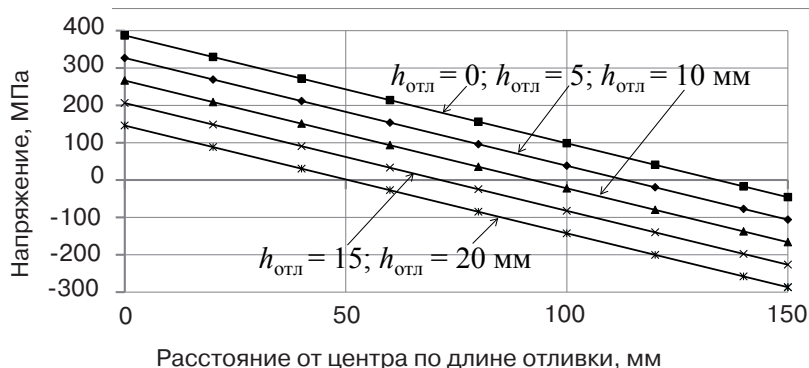


Рис. 5. Развитие и распределение напряжений в биметаллических отливках при $\delta_{чуг}/\delta_{ст} = 0,3$, $C_{эст} = 0,7\%$; $V_{зат} = 0,7\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{с}$; $t_{зал1} = 1610\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t_{зал2} = 1380\text{ }^{\circ}\text{C}$

Увеличение значения $\delta_{чуг}/\delta_{ст}$ до 3 сопровождается увеличением растягивающих напряжений на поверхности отливки в центре до 584 МПа, а на расстоянии 20 мм от поверхности – до 343 МПа. Растягивающие напряжения при увеличении расстояния от центра по длине отливки уменьшаются, но не достигают нулевого значения на поверхности, в то время как на расстоянии 20 мм от поверхности и 115 мм от центра

происходит изменение характера напряжений с растягивающих на сжимающих. При дальнейшем увеличении расстояния от центра по длине отливки наблюдается развитие напряжений сжатия, которые на глубине 20 мм составляют 90 МПа.

Исследование влияния углеродного эквивалента стали и скорости охлаждения в интервале затвердевания при базовых условиях изготовления $\delta_{\text{чуг}}/\delta_{\text{ст}} = 1$; $V_{\text{зат}} = 0,7 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{с}$; $t_{\text{зал1}} = 1610 \text{ } ^\circ\text{C}$; $t_{\text{зал2}} = 1380 \text{ } ^\circ\text{C}$ на развитие и распределение напряжений в биметаллических отливках показало, что с увеличением углеродного эквивалента стали от 0,3 до 1,0 % и скорости охлаждения в интервале затвердевания от 0,2 до 1,2 $^\circ\text{C}/\text{с}$ уровень напряжений в биметаллических отливках понижается. При этом, в случае углеродного эквивалента стали значения растягивающих напряжений уменьшаются от 538 до 440 МПа на поверхности в центре, а сжимающих напряжений – от 297 до 234 МПа на расстоянии 20 мм от поверхности.

Увеличение скорости охлаждения в интервале затвердевания от 0,2 до 1,2 $^\circ\text{C}/\text{с}$ сопровождается уменьшением растягивающих напряжений от 506 до 457 МПа на поверхности в центре и от 265 до 216 МПа на глубине 20 мм. При этом изменение напряжений растяжения на сжатия происходит при $V_{\text{зат}} = 0,2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{с}$ на глубине 20 мм и расстоянии 90 мм от центра, а при $V_{\text{зат}} = 1,2 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{с}$ – 70 мм.

Повышение температуры заливки первого и второго слоёв от 1590 до 1630 $^\circ\text{C}$ и соответственно от 1360 до 1400 $^\circ\text{C}$, приводит к увеличению уровня напряжений на поверхности в центре биметаллических отливок от 453 до 519 МПа и от 307 до 631 МПа. На глубине 20 мм такие изменения составляют от 212 до 270 МПа и от 66 до 390 МПа соответственно.

Оценка эффективности влияния факторов по критерию Стьюдента показала, что соотношение влияния углеродного эквивалента стали, скорости охлаждения в интервале затвердевания, отношения толщины рабочего слоя к толщине стальной основы, температуры заливки первого и второго слоёв следующее: 1 : 0,5 : 2,0 : 0,7 : 2,0.

Моделирование процесса разрушения биметаллических отливок показало, что предел прочности при изгибе ($\delta_{\text{изг}}$) и деформация разрушения ($l_{\text{раз}}$) с вероятностью 95 % определяются значениями углеродных эквивалентов стали и чугуна, скоростью охлаждения в интервале затвердевания и температурой заливки первого слоя. Количественные закономерности такого влияния имеют следующий вид:

$$\delta_{\text{изг}} = -2269 - 2013 C_{\text{эст}} + 5145 C_{\text{эчуг}} - 103,5 V_{\text{зат}} - 8,749 t_{\text{зал1}}, R = 0,962, \quad (2)$$

$$l_{\text{раз}} = 12,362 - 6,018 C_{\text{эст}} + 19,992 C_{\text{эчуг}} + 1,057 V_{\text{зат}} - 0,046 t_{\text{зал1}}, R = 0,965, \quad (3)$$

где $C_{\text{эст}}$ – углеродный эквивалент стали, %; $C_{\text{эчуг}}$ – углеродный эквивалент чугуна, %; $V_{\text{зат}}$ – скорость охлаждения в интервале затвердевания, $^\circ\text{C}/\text{с}$; $t_{\text{зал1}}$ – температура заливки первого слоя, $^\circ\text{C}$.

Анализ уравнений (2) и (3) показывает, что повышение углеродного эквивалента стали и температуры заливки первого слоя приводит к понижению предела прочности при изгибе и деформации разрушения биметаллических отливок, а углеродного эквивалента чугуна – к их повышению.

Влияние скорости охлаждения в интервале затвердевания неоднозначно и в случае её увеличения наблюдается уменьшение предела прочности при изгибе и повышение деформации разрушения. Такое влияние скорости охлаждения связано, по-видимому, с тем, что при увеличении скорости охлаждения в интервале затвердевания уменьшается разность между скоростью увеличения прочности каркаса твёрдой фазы, который формируется в процессе затвердевания, и скоростью нарастания усадки, что создаёт предпосылки к образованию субмикротрещин и, как следствие, к уменьшению напряжений, при которых происходит разрушение биметаллических отливок.

Увеличение деформации разрушения при росте скорости охлаждения являет-

ся закономерным следствием повышения дисперсности дендритной структуры, которое наблюдается в процессе увеличения скорости охлаждения в интервале затвердевания.

Оценка эффективности влияния факторов по критерию Стьюдента показала, что для предела прочности при изгибе влияние химического состава и температуры заливки в 3-4 раза выше, чем скорости охлаждения в интервале затвердевания, а для деформации разрушения – в 1,1-1,6 раза.

Выводы

Исследование развития и распределения напряжений в рабочем слое при разрушении биметаллических отливок показало, что определяющее влияние на процесс оказывают отношение толщины рабочего слоя к толщине стальной основы, углеродный эквивалент стали, скорость охлаждения в интервале затвердевания и температуры заливки стальной основы и рабочего слоя.

В результате выполненных исследований установлено, что предел прочности биметаллических отливок при изгибе и деформация разрушения с вероятностью 95 % и коэффициентом корреляции от 0,962 до 0,965 определяются значениями углеродных эквивалентов стали и чугуна, скоростью охлаждения в интервале затвердевания и температурой заливки стали.



Список литературы

1. Костенко Г. Д. Основы процессов получения биметаллических отливок. – Киев: Знание, 1990. – С. 19.
2. Баландин Г. Ф. Основы теории формирования отливки, т 2. – М.: Машиностроение, 1979. – С. 335.
3. Гуляев Б. Б. Теория литейных процессов. – Л.: Машиностроение, 1976. – С. 216.
4. Ефимов В. А. Разливка и кристаллизация стали. – М.: Metallurgia, 1976. – С. 552.
5. Нехендзи Ю. А. Стальное литьё. – М.: Metallurgizdat, 1948. – С. 767.
6. Новиков И. И. Горячеломкость цветных металлов и сплавов. – М.: Наука, 1966. – С. 300.
7. Рыжиков А. А. Теоретические основы литейного производства. – М.: Свердловск: Mashgiz, 1961. – С. 446.



References

1. Kostenko G. D. (1990). *Osnovy protsessov polucheniia bimetallicheskikh otlivok* [Process basics of obtaining bimetallic castings]. Kiev: Znaniie. [in Russian].
2. Balandin G. F. (1979). *Osnovy teorii formirovaniia otlivki*. [Theoretical bases of the casting formation]. (Vol. 2). Moscow: Mashinostroenie. [in Russian].
3. Guliaiev B. B. (1976). *Teoriia liteinyh protsessov*. [Theory of foundry processes]. Leningrad: Mashinostroenie. [in Russian].
4. Yefimov V. A. (1976). *Razlivka i kristallizaciia stali*. [Steel pouring and crystallization]. Moscow: Metallurgiiia. [in Russian].
5. Nehendzi Yu. A. (1948). *Stalnoie litie*. . [Steel castings]. Moscow: Metallurgizdat. [in Russian].
6. Novikov I. I. (1966). *Goriachelomkost' tsvetnykh metallov i splavov*. [Hot brittleness of nonferrous metals and alloys]. Moscow: Nauka. [in Russian].
7. Ryzhikov A. A. (1961). *Teoreticheskiye osnovy liteinogo proizvodstva*. [Foundry theoretical bases]. Moscow-Sverdlovsk: Mashgiz. [in Russian].

Поступила 13.06.20