

УДК 669.18-412:536:621.746.6

**Н. И. Тарасевич, И. В. Корниец, В. Н. Городчиков*, И. Н. Тарасевич,
А. В. Дудченко***

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

*Новокраматорский машиностроительный завод, Новокраматорск

ОЦЕНКА ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ УПРАВЛЕНИЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИЕЙ СЛИТКОВ РАЗЛИЧНОЙ ГЕОМЕТРИИ

Получены аналитические зависимости, связывающие время и скорость затвердевания отливок простой геометрии с ее толщиной и интенсивностью теплопередачи, которые легли в основу компьютерной системы прогнозирования оптимальных параметров теплоотвода в форму при затвердевании разнотолщинной отливки и выбора параметров утепляющих либо охлаждающих узлов формы, обеспечивающих постоянную скорость затвердевания вдоль всей теплоотводящей поверхности.

Одержано аналітичні залежності, що пов'язують час та швидкість тверднення виливків простої геометрії з її товщиною та інтенсивністю теплопередачі. Ці залежності були покладені в основу комп'ютерної системи прогнозування оптимальних параметрів тепловідводу в форму при твердненні різнотовщинного виливка та вибору параметрів утеплюючих або охолоджуючих вузлів форми, що забезпечують постійну швидкість тверднення уздовж всієї тепловідводжуючої поверхні.

They are received analytical relations connecting the time and rate of solidification of castings, with its simple geometry and thickness and intensity of heat transfer, which formed the basis of the computer system of forecasting the optimal parameters of heat removal in the mould during the solidification of variation in thickness of the casting and selection of parameters insulating or cooling units mould, providing a constant speed along the all solidification heat-conducting surface.

Ключевые слова: теплоотвод, затвердевание, компьютерная система, отливка.

Формирование структуры отливок и, как следствие, комплекса механических и служебных свойств во многом определяется условиями заливки и процессами теплоотвода.

При получении отливок сложной формы наблюдается неравномерное затвердевание по ее объему. Для организации направленного затвердевания отливок сложной формы широко применяются различные микроохладильники либо системы утепления. Выбор характеристик указанных систем происходит, как правило, эмпирическим путем или путем подбора.

В настоящей работе предлагается один из способов выбора параметров утепляющих либо охлаждающих узлов формы, обеспечивающих постоянную скорость затвердевания вдоль всей теплоотводящей поверхности.

С этой целью было изучено влияние теплоотводящей и теплоаккумулирующей способности формы на затвердевание отливок (сталь 30Л) простейшей геометрии.

При моделировании предполагали, что затвердевание происходит в многослойной форме. Между отливкой и формой учитывали наличие теплоизоляционного слоя, в качестве которого использовали краску, контактирующую непосредственно со слоем хромитовой смеси, в качестве наполнителя использовали кварцевый песок. Затем вся эта конструкция была помещена в металлическую форму (рис. 1). Металл (сталь 30Л) заливали при температуре 1530 °С.

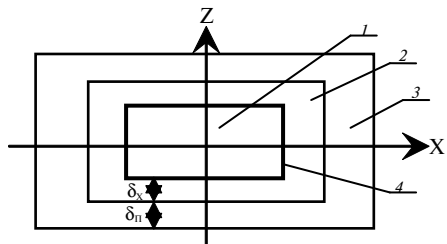
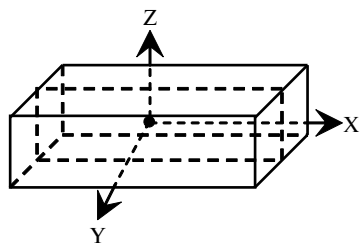


Рис. 1. Схема расчетной области (плита): 1 - изделие; 2 - хромитовая смесь; 3 - кварцевый песок; 4 - циркониевая краска

Интенсивность теплообмена на границе форма-отливка варьировали от $0,50 \cdot 10^{-3}$ кал/(см² · с · °С) до плотного контакта, а размеры отливки - толщина плиты от 50 до 80 см; диаметр цилиндра - от 50 до 200 см.

При проведении расчетов учитывали зависимость некоторых теплофизических характеристик используемых материалов от температуры [1] (таблица).

На рис. 2 показана кинетика затвердевания центральной части плиты толщиной 50 см при интенсивности теплопередачи между формой и отливкой $0,005$ кал/(см² · с · °С). Основная часть отливки затвердевает в области двухфазного состояния при затрудненной подпитке фронта затвердевания перегретым металлом (после 15-й минуты). Затвердевание 20 % массы отливки происходит, практически, до снятия перегрева со всего объема металла. По мере снятия перегрева и затвердевания отливки происходит увеличение зоны прогрева формы (зона термического влияния), глубина проникновения которой в форму (для рассмотренных вариантов) не превышает 18 см.

Изменение теплофизических характеристик

Наименование материала	Теплоемкость, Дж/(кг · °С)	Теплопроводность, Вт/(м · °С)
Кварцевый песок	$C = 796,639 + 0,624074 \cdot T - 0,229 \cdot 10^{-3} \cdot T^2$	$\lambda = 0,739451 - 0,587 \cdot 10^{-3} \cdot T + 5,579 \cdot 10^{-7} \cdot T^2$
Хромитовая смесь	$C = 493,492 + 1,37342T - 0,18581 \cdot 10^{-2} \cdot T^2 + 0,125581 \cdot 10^{-5} \cdot T^3 - 3,17967 \cdot 10^{-10} \cdot T^4$	$\lambda = 0,775718 - 0,44111 \cdot 10^{-3} \cdot T + 5,5619 \cdot 10^{-7} \cdot T^2$
Серый чугун	$C = 516,34 + 0,0808 \cdot T + 0,201 \cdot 10^{-3} \cdot T^2$	$\lambda = 61,4966 \cdot T - 0,0606$
Углеродистая сталь	$C = 446,174 + 0,200304 \cdot T + 7,6912 \cdot 10^{-7} \cdot T^2$	$\lambda = 45,0406 - 0,38352 \cdot T + 0,1751 \cdot 10^{-4} \cdot T^2$

Анализ результатов вычислительных экспериментов показал, что для отливок большой толщины (радиуса) время снятия перегрева может составлять 50 % времени их полного затвердевания, а для отливок толщиной 25-30 см оно не превышает 30-35 % от времени полного затвердевания.

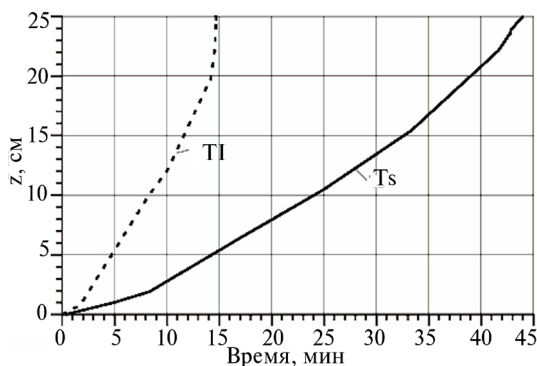


Рис. 2. Кинетика затвердевания плиты толщиной 25 см при интенсивности теплопередачи между формой и отливкой $0,005$ кал/(см² · с · °С)

Кривые, представленные на рис. 3, позволяют оценить изменение времени затвердевания (а) и скорости затвердевания отливки (б) от коэффициента теплопередачи между формой и отливкой.

Как видно, изменение интенсивности теплопередачи с боковой поверхности отливки от 0 до $0,01$ кал/(см² · с · °С) приводит к значительному снижению времени полного затвердевания. При этом скорость затвердевания растет и в дальнейшем с повышением коэффициента теплопередачи до $0,015-0,02$ кал/(см² · с · °С) практически стабилизируется на фиксированном уровне в зависимости от толщины отливки (рис. 3, б). Этот факт можно объяснить тем, что

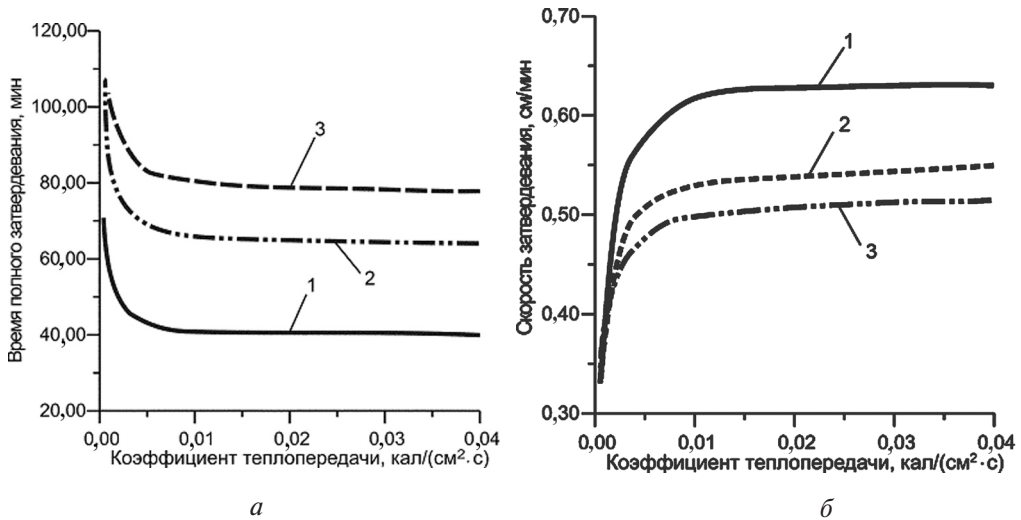


Рис. 3. Изменение времени полного затвердевания отливки от коэффициента теплопередачи между отливкой и формой (а); толщина отливки, см: 1 – 25; 2 – 35; 3 – 40; изменение средней скорости затвердевания отливки различной толщины от интенсивности теплопередачи между формой и отливкой (б); толщина отливки, см: 1 – 25; 2 – 35; 3 – 40

толщина затвердевшей корки лимитирует величину теплового потока от перегретого металла и приводит к снижению температуры наружной поверхности отливки.

Увеличение толщины отливки (плиты) приводит к росту времени затвердевания (рис. 3, а) и снижению скорости затвердевания (рис. 3, б) вне зависимости от интенсивности теплообмена между отливкой и формой.

Обобщая результаты проведенных вычислительных экспериментов, были получены аналитические зависимости, связывающие время полного затвердевания (τ , мин) и скорость затвердевания (u , см/мин) отливок типа «плита» и «цилиндр» с их толщиной (δ , см) и интенсивностью теплопередачи (α , кал/(см²·с·°C)).

Для отливок типа «плита»:

$$\tau = -29,0745 + 0,027229 / \alpha - 0,508 \cdot 10^{-5} / \alpha^2 + 2,6611 \delta; \quad (1)$$

$$u = 0,3257 - 0,370 \cdot 10^{-3} / \alpha + 5,3605 \cdot 10^{-8} / \alpha^2 + 7,7344 / \delta + 0,471510^{-5} \cdot \delta / \alpha, \quad (2)$$

где толщину отливок δ варьировали от 10 до 40 см, а интенсивность теплопередачи α – от $0,5 \cdot 10^{-3}$ кал/(см²·с·°C) до плотного контакта.

Для отливок типа «цилиндр»:

$$\tau = -5,02617 + r(2,6438 + 0,114 \delta - 5,03175 \cdot \alpha + 0,006515 / \alpha) - 2,610^{-5} / \alpha^2; \quad (3)$$

$$u = 0,00322 - 8,3 \cdot 10^{-5} / \alpha + 6,84015 / r + 65,1208 / r^2 + 10,1779 \alpha / r + 7,7858 \cdot r / \alpha, \quad (4)$$

где радиус отливки r варьировали от 20 до 100 см, а интенсивность теплопередачи α – от $0,5 \cdot 10^{-3}$ кал/(см²·с·°C) до плотного контакта.

Представленные зависимости были использованы при разработке компьютерной системы прогнозирования оптимальных параметров теплоотвода в форму при затвердевании разнотолщинной отливки.

В качестве критерия оптимизации разнотолщинной отливки было выбрано время затвердевания всего объема отливки вне зависимости от толщины ее стенок.

При работе с системой выбирается сечение (размер) фрагмента разнотолщинной отливки, который является приоритетным при затвердевании всего объема. Следующим этапом является выбор характерных сечений, которые должны затвердевать за то же время, что и приоритетное сечение. Получив значения интенсивности теплоотвода в форму, которые обеспечивают затвердевание выбранных сечений с различными линейными размерами за

время затвердевания приоритетного сечения, проводим оценку параметров утепляющих либо охлаждающих узлов.

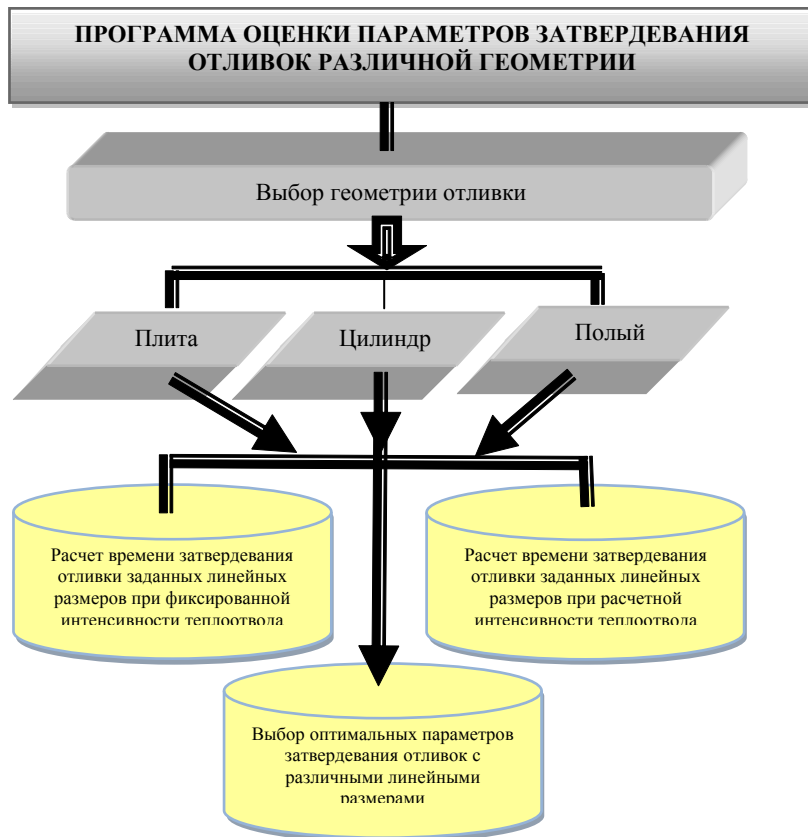


Рис. 4. Блок-схема программы

Блок-схема компьютерной системы (КС) представлена на рис. 4. КС позволяет для выбранной геометрии отливки по желанию пользователя рассчитать:

- время затвердевания отливки заданного линейного размера при фиксированных интенсивностях теплоотвода;
- выбрать параметры теплоотвода, которые обеспечат затвердевание элементов отливки с различными линейными размерами за время затвердевания приоритетного сечения.

Таким образом, при работе с компьютерной системой необходимо задать параметры отливки и формы: толщину, начальную температуру, материал всех составных частей.

При выборе оптимальных параметров затвердевания отливки исследователю необходимо задать значение приоритетного размера отливки; указать либо по характеристикам формы рассчитать интенсивность теплоотвода выбранного элемента отливки; задать список характерных толщин элементов отливки, для которых необходимо оценить интенсивность теплообмена, которая обеспечивает затвердевание всех элементов за одно и то же время.

Полученные результаты оценки интенсивности теплоотвода между отливкой и формой могут быть эффективно использованы для выбора характеристик зон утепления либо установки холодильников, обеспечивающих направленное затвердевание всех элементов отливки.



Список литературы

1. Казанцев Е. И. Промышленные печи. - М.: Металлургия, 1975. - 368 с.

Поступила 28.09.2009