

УДК 621.74

Фесенко А. Н., Фесенко М. А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ ОТЛИВОК С ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЙ СТРУКТУРОЙ И СВОЙСТВАМИ МЕТОДОМ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Перспективным направлением рационального использования свойств металлов в различных отраслях промышленности является применение в современных конструкциях машин, механизмов и оборудования деталей с дифференцированной структурой и свойствами в различных (локальных) зонах или частях.

Примерами подобных деталей могут служить щеки дробилок, бронештановые плиты, склизы бункеров сыпучих материалов, зубья экскаватора, ножи рыхлителей землераспалок и другие изделия, работающие в условиях безударного абразивного или умеренно-ударно-абразивного износа.

Из заготовок с дифференцированными свойствами наибольший интерес представляют изделия, полученные методом литья, как наиболее экономичные и перспективные. В современной отечественной и зарубежной практике разработано и находят широкое применение целый ряд способов получения отливок с дифференцированной структурой и свойствами, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки по сравнению с другими, а также наиболее рациональную область применения [1, 2]. Общим недостатком большинства известных способов получения отливок с дифференцированной структурой и свойствами является необходимость использования специального оборудования и выплавки разнородных сплавов в двух и более плавильных агрегатах.

В представленной работе предложен и исследован принципиально новый способ дифференциации структуры и свойств материала локальных частей отливок, который базируется на технологии внутриформенной обработки (модифицирования) расплава разными по функциональному назначению модификаторами, лигатурами или другими добавками при заливке литейной формы [3–6].

Идея предложенного способа заключается в заполнении полости литейной формы исходным базовым расплавом чугуна эвтектического или близкого к эвтектическому состава, склонного к кристаллизации с выделением свободного графита (СЧ) (рис. 1, I) или чугуна доэвтектического состава, склонного к кристаллизации с выделением цементита (БЧ) (рис. 1, II), разделенным на два потока, один из которых направляется непосредственно в одну часть полости литейной формы без какой-либо обработки, а второй – сначала подвергается модифицирующей обработке в проточной реакционной камере литниковой системы модификатором, лигатурой или другой добавкой, после чего направляется в другую часть полости формы (рис. 1, а, в). Возможен также вариант внутриформенной обработки (модифицирования) обоих потоков расплава исходного чугуна в проточных реакционных камерах литниковой системы различными по функциональному назначению и действию на расплав модификаторами, лигатурами или другими добавками (рис. 1, б, г).

Модифицирующая обработка расплава исходного (базового) чугуна внутри литейной формы при заливке в последующем оказывает влияние на процессы кристаллизации и в конечном итоге приводит к изменению структуры и свойств металла в отливках по сравнению с заливаемым исходным базовым расплавом.

При использовании технологии отдельного внутриформенного модифицирования базового расплава для изготовления отливок с дифференцированной структурой и свойствами металла в отдельных их частях определяющими факторами, влияющими на качество получаемых отливок, включая и качество переходной зоны, является механизм взаимодействия разнородных модифицированного и немодифицированного, или модифицированных разными

по функциональному назначению добавками чугунов, а также гидродинамические, теплофизические и массообменные процессы, протекающие в литейной форме при заливке формы расплавом, модифицировании, затвердевании и охлаждении отливки.

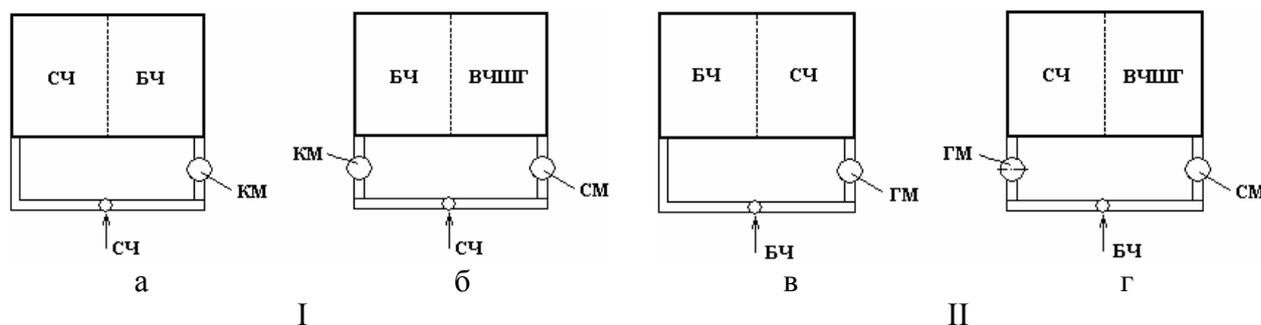


Рис. 1. Схемы технологических вариантов получения отливок с дифференцированной структурой и свойствами в разных частях из базового серого (I) и белого (II) чугунов:

СЧ – серый чугун; БЧ – белый чугун; ВЧШГ – высокопрочный чугун с шаровидным графитом; КМ – карбидостабилизирующий модификатор; СМ – сфероидизирующий модификатор; ГМ – графитизирующий модификатор

Ввиду того, что перечисленные выше сложные процессы, практически не поддаются прямым исследованиям, и изучить их непосредственно на металле с визуализацией протекающих процессов и явлений в настоящее время не представляется возможным, в данной работе были использованы методы компьютерного (имитационного) моделирования, которые получают широкое распространение в последнее время для моделирования различных процессов литейного производства [7–10].

Целью работы являлось исследование процессов получения отливок с дифференцированной структурой и свойствами методом компьютерного моделирования.

Компьютерное моделирование гидродинамических, теплофизических и массообменных процессов, протекающих в литейной форме при заливке ее расплавом, затвердевании и охлаждении отливки проводили на ПЭВМ с использованием пакета прикладных программ «LVMFlow».

Объектами исследования были выбраны плоская горизонтальная плита размерами $200 \times 200 \times 30$ мм (рис. 2, а) и горизонтальная плита с Λ -образным перегибом размером $240 \times 200 \times 25$ мм (рис. 2, б) для получения двухсторонних отливок с дифференцированной структурой и свойствами в левой и правой их частях.

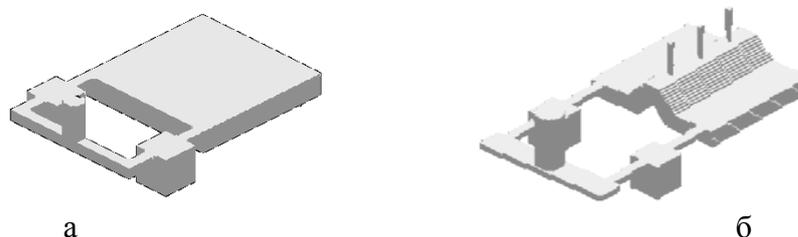


Рис. 2. Объекты исследования

Основными переменными параметрами при моделировании процесса изготовления отливок с дифференцированной структурой и свойствами были выбраны различные варианты литниково-модифицирующей системы и режимы заливки формы расплавом.

В работе были исследованы следующие варианты литниково-модифицирующих систем:

– разветвленная в разные стороны от общего стояка 1 литниково-модифицирующая система, которая разделялась на две ветви – левую и правую. Первая (левая) ветвь состояла

из шлакоуловителя 2 и питателей 3 разного сечения, подводящих жидкий металл непосредственно к отливке, а вторая – из шлакоуловителя 4, соединительного канала 5, реакционных камер 6 разного объема (размера), заполненных модификатором, и питателей 7 разного сечения, подводящих жидкий металл к отливке (рис. 3, а, б);

– разветвленная в разные стороны от общего стояка 1 литниково-модифицирующая система, разделенная на две симметричные ветви, состоящие из шлакоуловителей 2 и 6, промежуточных каналов 3 и 7, реакционных камер 4 и 8 разного объема (размера), заполненных разными по функциональному назначению модифицирующими добавками, и питателей 5 и 9 разного сечения, подводящих расплав к отливке (рис. 3, в, г).

В разных модельных экспериментах использовали реакционные камеры сечением 50×50 мм и высотой 10, 25 и 50 мм, температуру заливки жидкого чугуна варьировали в диапазоне от 1350 до 1500 °С, с шагом 50 °С.

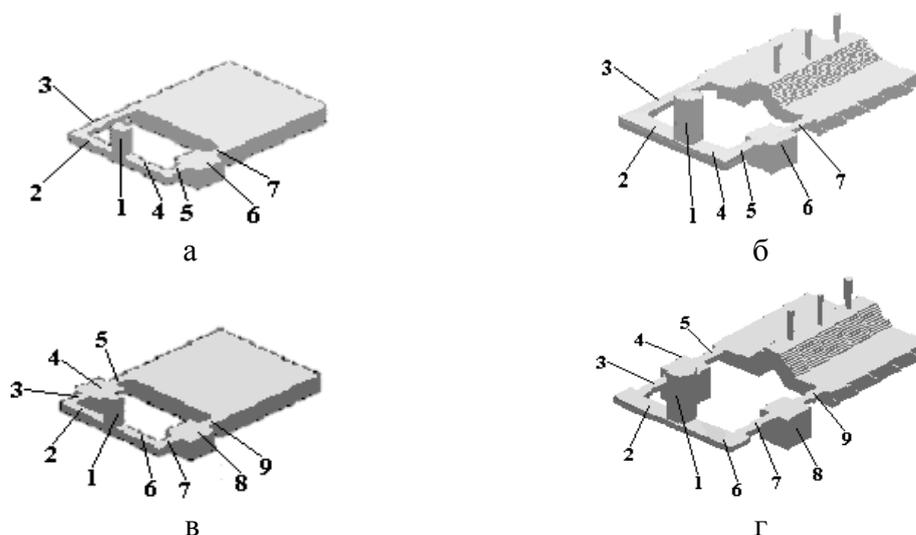


Рис. 3. Типовые конструкции литниковых систем для получения чугунных отливок с дифференцированной структурой и свойствами в их разных частях

Как свидетельствует обработка результатов моделирования в случае изготовления плоской горизонтальной плиты (рис. 2, а) независимо от конструкции литниково-модифицирующей системы, а также скорости заполнения литейной формы металлом, который двигается от стояка через две симметричные литниковые системы двумя потоками навстречу друг к другу, происходит перемешивание расплава, что способствует выравниванию температуры расплава, его гомогенизации, а это в свою очередь приводит к формированию относительно однородной структуры и свойств металла во всем объеме отливки (рис. 4).

Изменение скорости подачи расплава в литейную форму путем изменения сечения питателей и температуры заливаемого расплава оказывают влияние лишь на интенсивность гидродинамических потоков, скорость перемешивания расплава. Однако, даже при достаточно низкой (насколько это возможно с технологической и технической точки зрения) массовой скорости подачи расплава в полость литейной формы, наблюдается достаточно полное перемешивание потоков и выравнивание температуры и состава металла в объеме отливки. Наличие реакционной камеры в одной из двух ветвей литниковой системы приводит лишь к задержке во времени начала поступления расплава в полость формы через питатель этой системы. Подобным образом на одновременность подачи расплава в полость формы влияет наличие разных по объему реакционных камер на разных ветвях литниковой системы. На более ранней стадии металл в форму начинает поступать через каналы литниковой систем с меньшим объемом реакционной камеры или через те каналы, где реакционная камера отсутствует (рис. 5).

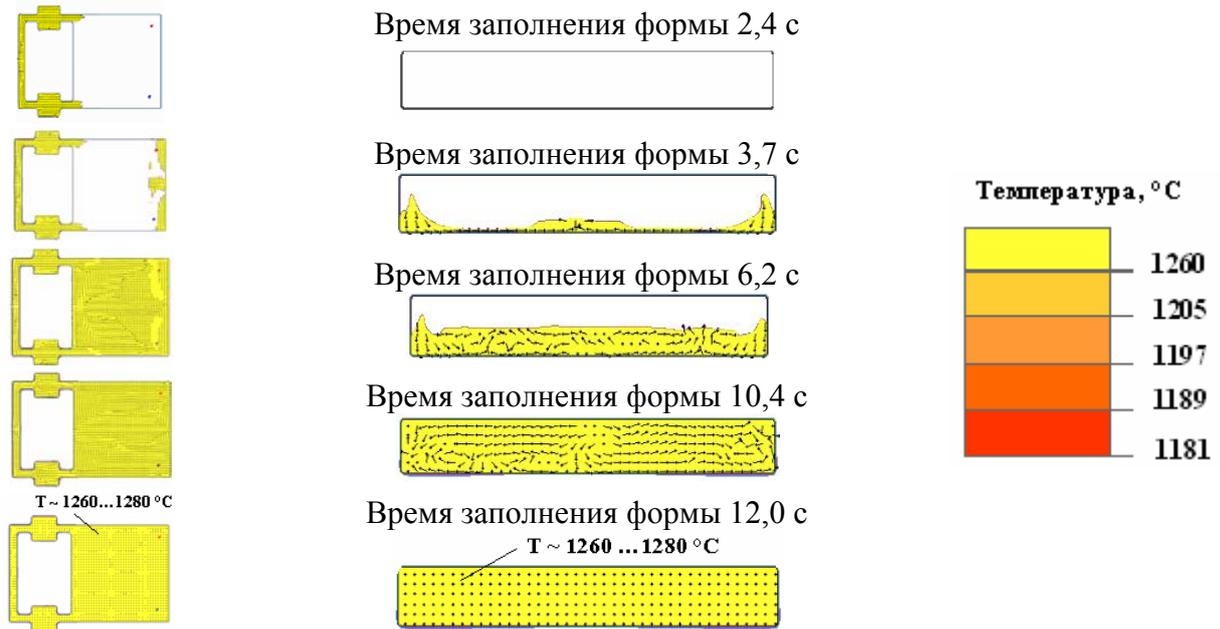


Рис. 4. Распределение температуры в объеме плоской горизонтальной плиты при заполнении чугуном полости литейной формы

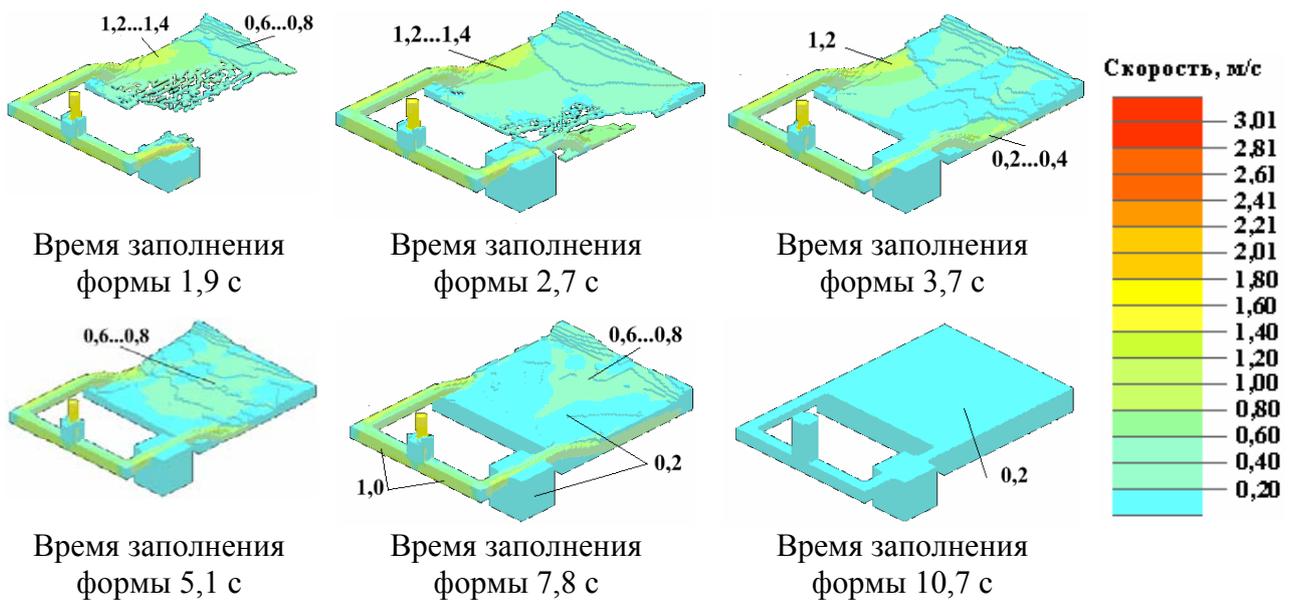


Рис. 5. Распределение скоростей в объеме отливки плоской горизонтальной плиты при заполнении чугуном полости литейной формы через левую и правую ветви литниковой системы с реакционной камерой только в правой ветви в разные моменты с начала заливки

Таким образом, как подтвердили результаты компьютерного моделирования, при заливке литейной формы через литниковую систему с распределением потоков расплава на два и подачей его в правую и левую части формы изготовить отливку типа плоской плиты (рис. 2, а) с дифференцированной структурой и свойствами в левой и правой ее частях без дополнительных технологических мероприятий практически невозможно.

Чтобы получить такую отливку, нужно исключить возможность перемешивания двух потоков расплава, которые поступают через две ветви литниковой системы, а это возможно лишь при наличии механической перегородки, которая разделит эти разнородные потоки расплава, или путем изменения конструкции отливки.

В последующих исследованиях в качестве объекта исследования выбрали отливку типа горизонтальной плиты, по оси симметрии которой предусмотрен Λ -образный перегиб, который с запасом в 10 мм возвышается над плоскостью разреза формы и верхней гранью плиты (рис. 2, б).

При моделировании процесса изготовления таких отливок (горизонтальных плит с Λ -образным перегибом) установлено, что при заполнении полости литейной формы с разной скоростью движущихся встречных потоков металла на выходе из питателей (в случае разной площади сечения правого и левого питателей, или при наличии реакционной камеры лишь в одной части, например, в правой и отсутствия реакционной камеры в левой части, или при наличии реакционных камер на правой и левой ветвях литниковой системы разного объема) после подъема уровня расплава к уровню Λ -образного перегиба происходит сначала перетекание расплава из одной части отливки (которая заполняется раньше) в другую (которая заполняется с опозданием), со следующим перемешиванием металла в объеме отливки, что способствует гомогенизации температуры и состава металла (рис. 6). Все это затрудняет и делает достаточно проблематичным получение дифференцированной структуры и свойств чугуна в разных частях отливки.

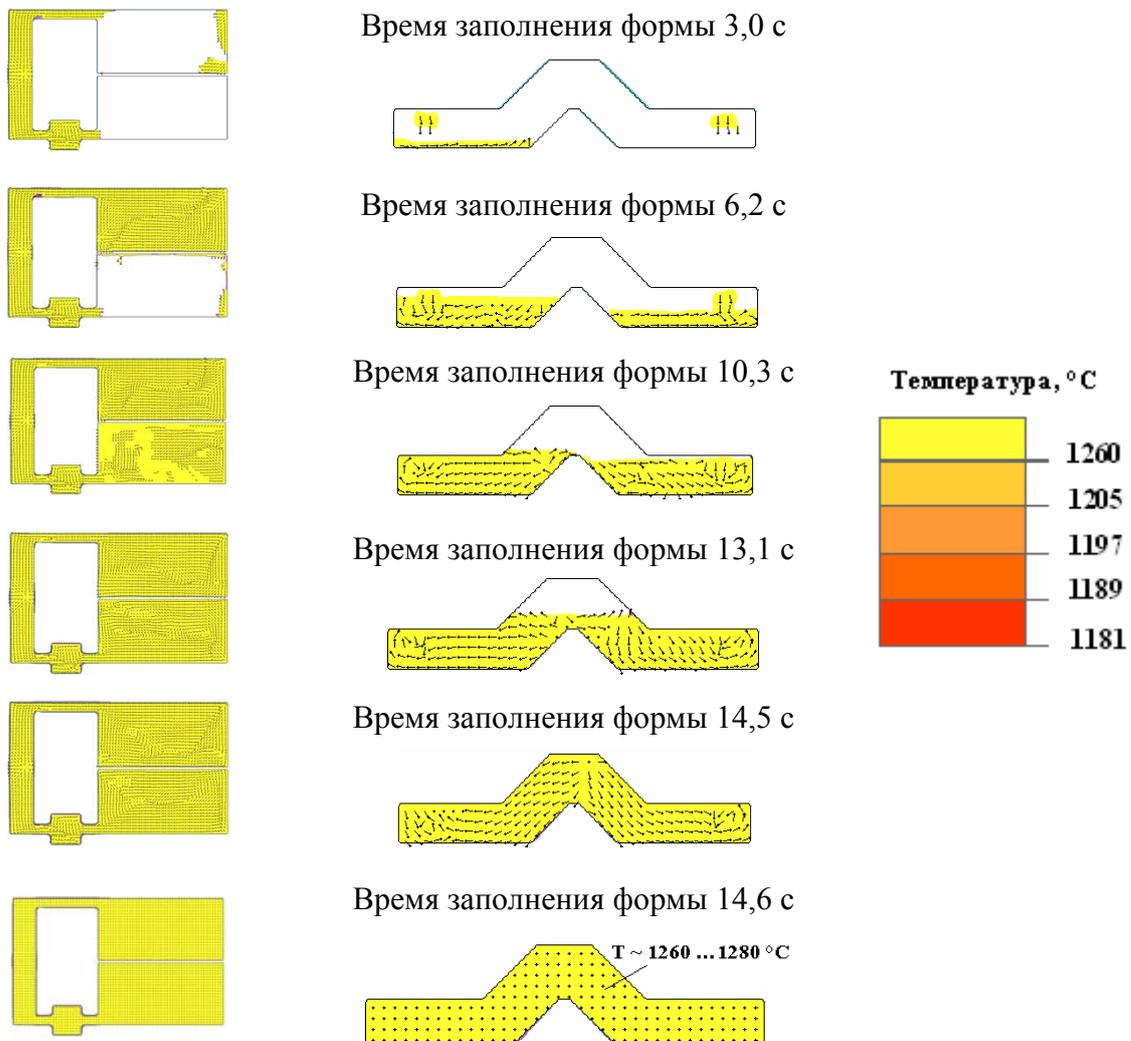


Рис. 6. Распределение температуры в объеме отливки горизонтальной плиты с Λ -образным перегибом при поступлении металла из левого и правого питателя с разной скоростью в разные моменты с начала заливки

При обеспечении одинаковой скорости поступления расплава из правого и левого питателя (при отсутствии реакционных камер или при наличии реакционных камер одинакового объема в составе обеих ветвей литниковой системы) правая и левая части полости формы плиты с Λ -образным перегибом заполняются практически синхронно и отдельно соответствующим расплавом, который поступает в полость через правый и левый питатели. При этом перетекания расплава из одной части отливки в другую практически не наблюдается, а незначительное частичное перемешивание жидкого сплава за счет возникновения встречных потоков протекает лишь в зоне Λ -образного перегиба (рис. 7). При этом, чем ниже скорость поступления жидкого металла в полость формы через питатели, тем меньше вероятность перемешивания потоков в зоне Λ -образного перегиба. Такой характер заполнения полости литейной формы создает необходимые условия для дифференциации структуры и свойств в разных частях (правой и левой) отливки и может привести к формированию отливки с дифференцированной структурой и свойствами.

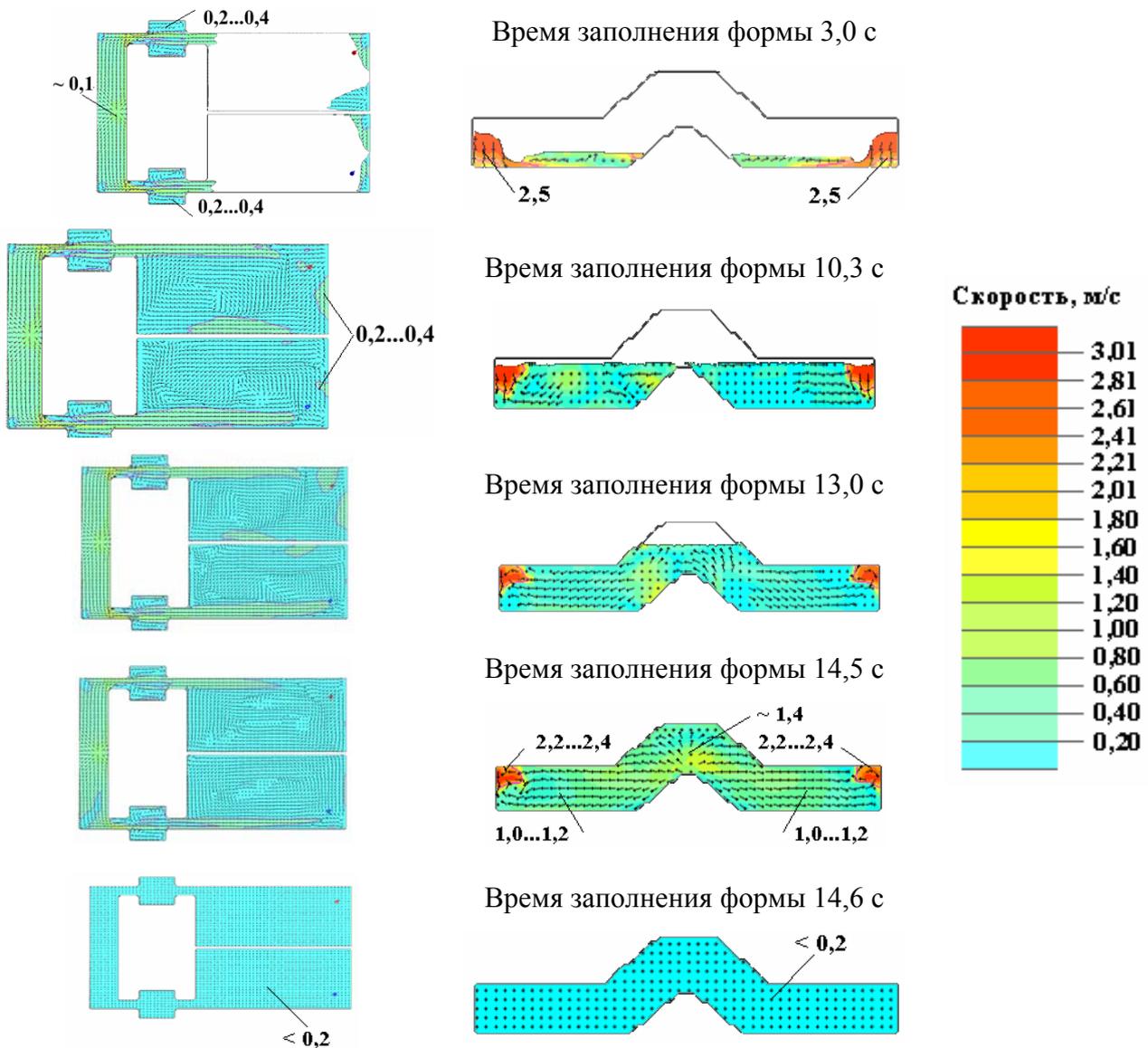


Рис. 7. Распределение скоростей в объеме отливки горизонтальной плиты с Λ -образным перегибом в разные моменты с начала заливки при заполнении чугуном полости литейной формы через питатели левой и правой ветвей литниковой системы с одинаковой скоростью

ВЫВОДЫ

Таким образом, результаты компьютерного моделирования подтвердили возможность реализации предложенного нового способа дифференциации структуры и свойств в отдельных частях или зонах отливок и позволяют разработать практические рекомендации по оптимальным технологическим режимам изготовления конкретных двухсторонних отливок с разнородной структурой и свойствами в отдельных частях или зонах из одного базового расплава.

Реализация предложенных технологических рекомендаций обеспечила получение опытных отливок с дифференцированной структурой и свойствами с сочетанием свойств СЧ-БЧ, СЧ-ВЧШ, БЧ-ВЧШГ путем модифицирования исходных базовых серого и белого чугунов непосредственно в литейной форме.

ЛИТЕРАТУРА

1. Позняк Л. А. Основные направления производства литых биметаллов / Л. А. Позняк, Г. Д. Костенко, А. А. Снежко // *Литье биметаллических отливок*. – Киев, 1976. – С. 3–15.
2. Лузан П. П. Основные направления исследований в области получения отливок с дифференцированными физико-механическими свойствами / П. П. Лузан // *Многослойное литье*. – Киев, 1970. – С. 3–8.
3. Фесенко М. А. Диференціація властивостей частин вилівка модифікуванням чавуну в ливарній формі / М. А. Фесенко // *Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук*. – Київ. – 2007. – 21 с.
4. Технология получения чугуновых биметаллических отливок методом внутриформенной обработки расплава / В. А. Косячков, М. А. Фесенко, А. Н. Фесенко, А. А. Чайковский // *XIV Międzynarodowa Konferencja Naukowa – «Techniczna Produkcja i Zarządzanie w Hutnictwie»*. – Szczyrk 28.06–01.07.2006. – Czesc 1. – Czestochwa, 2006г. – С. 81–87.
5. Косячков В. А. Дифференцированное модифицирование чугуна в литейной форме для изготовления двухслойных и двухсторонних отливок / В. А. Косячков, М. А. Фесенко, А. Н. Фесенко // *Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку : матеріали п'ятої міжнародної науково – технічної конференції 4–7 червня 2007 року*. – Краматорськ : ДДМА. – 2007. – С. 65.
6. Фесенко М. А. Внутриформенное модифицирование для получения чугуновых отливок с дифференцированной структурой и свойствами / М. А. Фесенко, А. Н. Фесенко, В. А. Косячков // *Литейное производство*. – 2010. – № 1. – С. 7–13.
7. Мальцев Ю. Ю. Моделирование процесса направленной кристаллизации отливок из жаропрочных никелевых сплавов / Ю. Ю. Мальцев, А. В. Монастырский // *Литейное производство*. – 2010. – № 1. – С. 19–22.
8. Шумаков В. Ф. О стратегии развития литейного производства Новокраматорского машиностроительного завода / В. Ф. Шумаков, В. Н. Городчиков, Ю. В. Демьяненко // *Литейное производство*. – 2010. – № 1. – С. 23–26.
9. Вольнов И. Н. Современная концепция использования компьютерного моделирования в литейном производстве / И. Н. Вольнов // *Литейщик России*. – 2009. – № 5. – С. 12–14.
10. Романов Д. В. Особенности моделирования теплового взаимодействия отливки и формы при литье по выплавляемым моделям / Д. В. Романов, А. Ю. Коротченко // *Литейщик России*. – 2009. – № 5. – С. 15–18.