

ДОКЛАД
О внедрении САМ ЛП «ПОЛИГОН» на ОАО «ТМЗ»

«Турбомоторный завод» - машиностроительное предприятие, в рабочий цикл которого входят различные производства, в том числе и металлургическое. Предприятие отливает сложные корпусные детали для дизелей, а также лопатки для турбин. В производстве литейных деталей применяются различные технологии: в кокиль, по выплавляемым моделям, в оболочковые формы, в песчано-глинястые формы, центробежное литье, литье под давлением. Дана работа посвящена моделированию процессов затвердевания в САМ ЛП «ПОЛИГОН» по технологии по выплавляемым моделям и центробежному литью.

По выплавляемым моделям рассчитывались 2 отливки: «Лопатка турбинная направляющая» и «Вытеснитель». Материал отливок – стальной сплав 20Х13Л, заливка производится в оболочку толщиной 5-6 мм, которая устанавливается в опоку, засыпанную смесью из кварцевого песка и измельченных остатков оболочки. Для увеличения производительности в форму устанавливалось несколько отливок. Температура заливки - 1640°C, теплопроводность формы достаточно низкая, поэтому в первую очередь интересовал вопрос влияния разогрева формы, из-за низкой теплопроводности, на образование пористости в отливках.

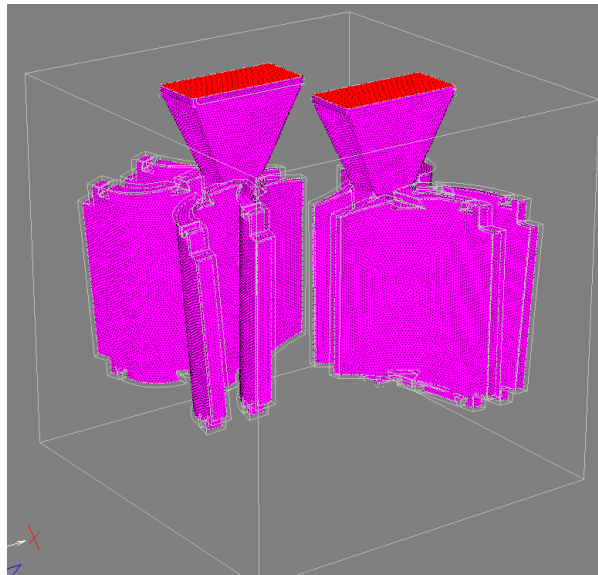


Рис.1. Расположение деталей «Лопатка направляющая» в опоке

Моделирование показало: из-за того, что отливки в средней части формы подходят близко друг к другу, в этой области материал засыпки в опоке сильно разогревается, и в частях отливки, прилегающих к этой области формы, образуются локальные зоны жидкого металла, которые изолированы от прибыли, что, естественно, приводит к образованию пористости. Т.е. перегрев формы способствует замедлению процесса затвердевания и, как следствие, появлению дефектов, в местах перегрева. На рис.2 видно, как происходит отвод тепла в форме. Ясно видно, что средняя часть формы окрашена красным цветом, т.е. здесь температура самая высокая, а по краям, в том числе и сверху, температура ниже. Так как у отливки и формы температурные поля выравниваются, то и у отливки остывание происходит от краев к середине, что мы и видим на рисунке 2.

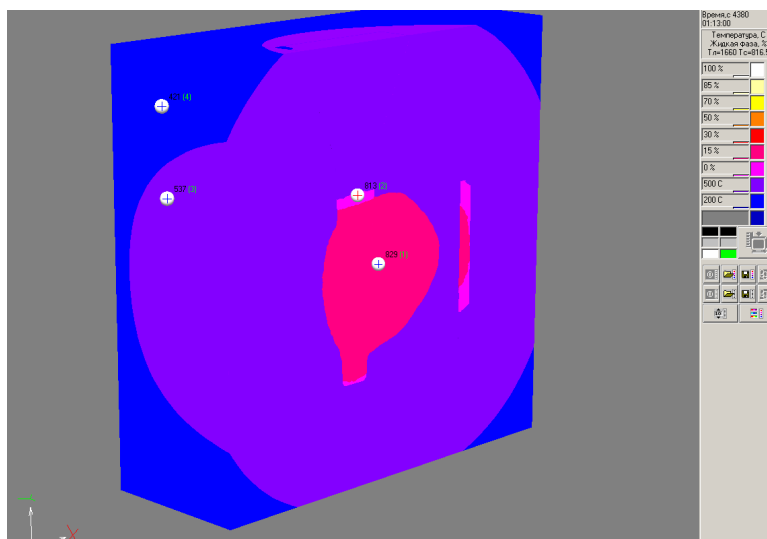


Рис.2. Распределение температур в форме

Рисунок 3 еще раз подтверждает это – края отливки уже синего цвета, а чем ближе к середине, тем больше красного цвета, а на входных кромках вообще яркокрасный цвет, т.е. здесь температура самая высокая.

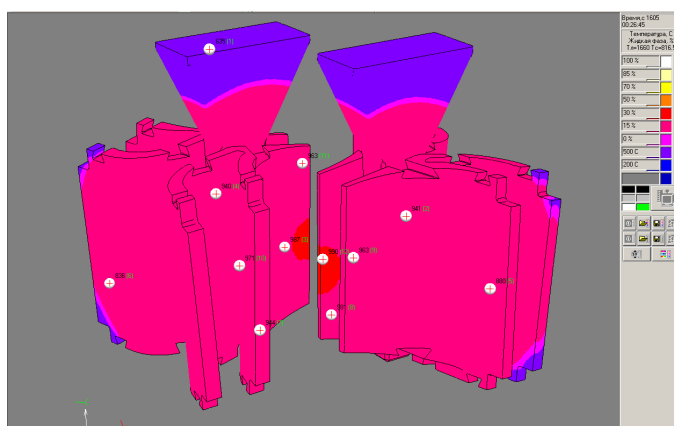


Рис.3. Распределение температур в отливке

На следующем рисунке показана образовавшаяся пористость. Здесь мы видим, что на внешних кромках пористость порядка 50%, что не допускается конструкторскими требованиями к отливке.

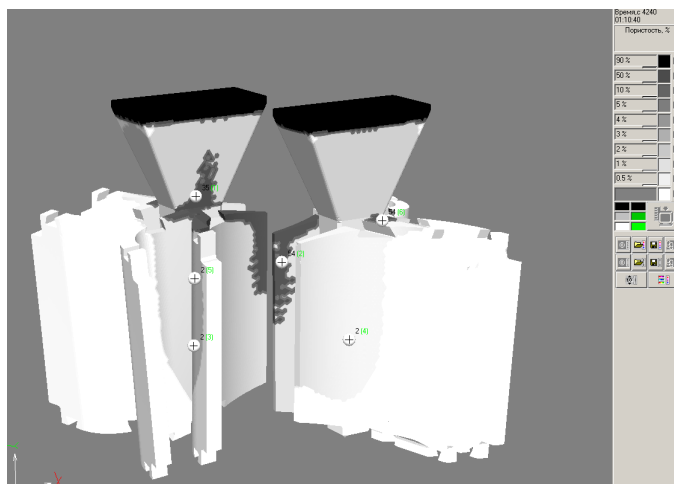


Рис.4. Распределение пористости в отливках

Данный расчет был проведен для проверки существующей технологии. Решено было увеличить размер стояка, увеличить припуск на входной кромке и засыпать сверху прибыль материалом из опоки, а для избавления влияния отливок друг на друга оставить только одну отливку в опоке. После проведения моделирования была проведена опытная заливка в цехе, которая подтвердила правильность расчета, так как были получены годные отливки. На рис.5 мы видим распределение температур в опоке.

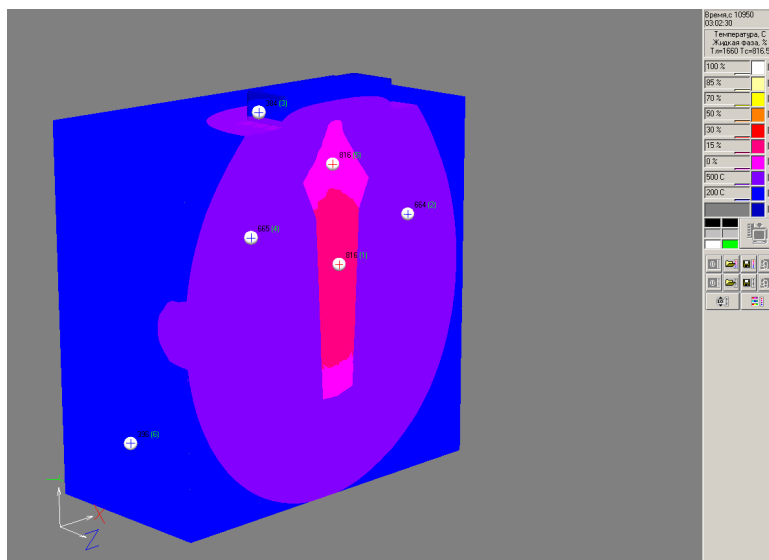


Рис.5. Распределение температур в форме

На следующем рисунке показан результат нового расчета пористости. Здесь мы видим, что в результате увеличения размера стояка, пористости в отливке нет. А так как отливка была расположена в форме 1, то и пористости на выходных кромках также не наблюдается. Данная технология была проверена в цехе и в результате были получены годные отливки.

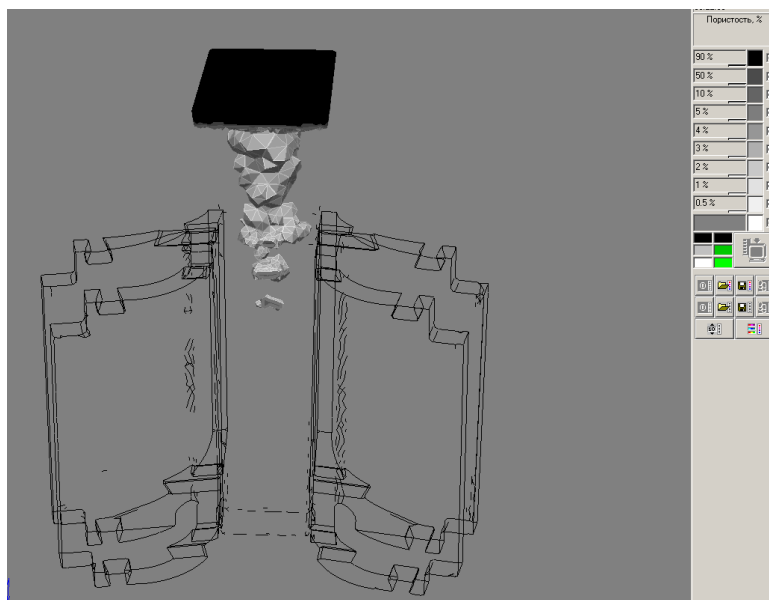


Рис.6. Распределение пористости

Следовательно, мы обнаружили причины возникновения брака и изменили существующую технологию. В результате мы рассчитали на компьютере технологию, по которой можно получить годные отливки. Таким образом, мы подтвердили правильность расчета в системе «ПОЛИГОН».

Аналогично был рассмотрен процесс затвердевания в отливке «Вытеснитель». Так как деталь имеет небольшие габариты, в опоку устанавливалось 5 отливок. В результате середина опоки разогревалась так сильно, что не помогало даже засыпка прибыли смесью из опоки. Все тепло концентрировалось в центральной области, и из-за этого отливка, расположенная в середине, оставалась горячей дольше всего и в ней образовывалась самая большая усадка. На рис.7 показано распределение температурных полей в отливке и форме в начале и конце процесса затвердевания.

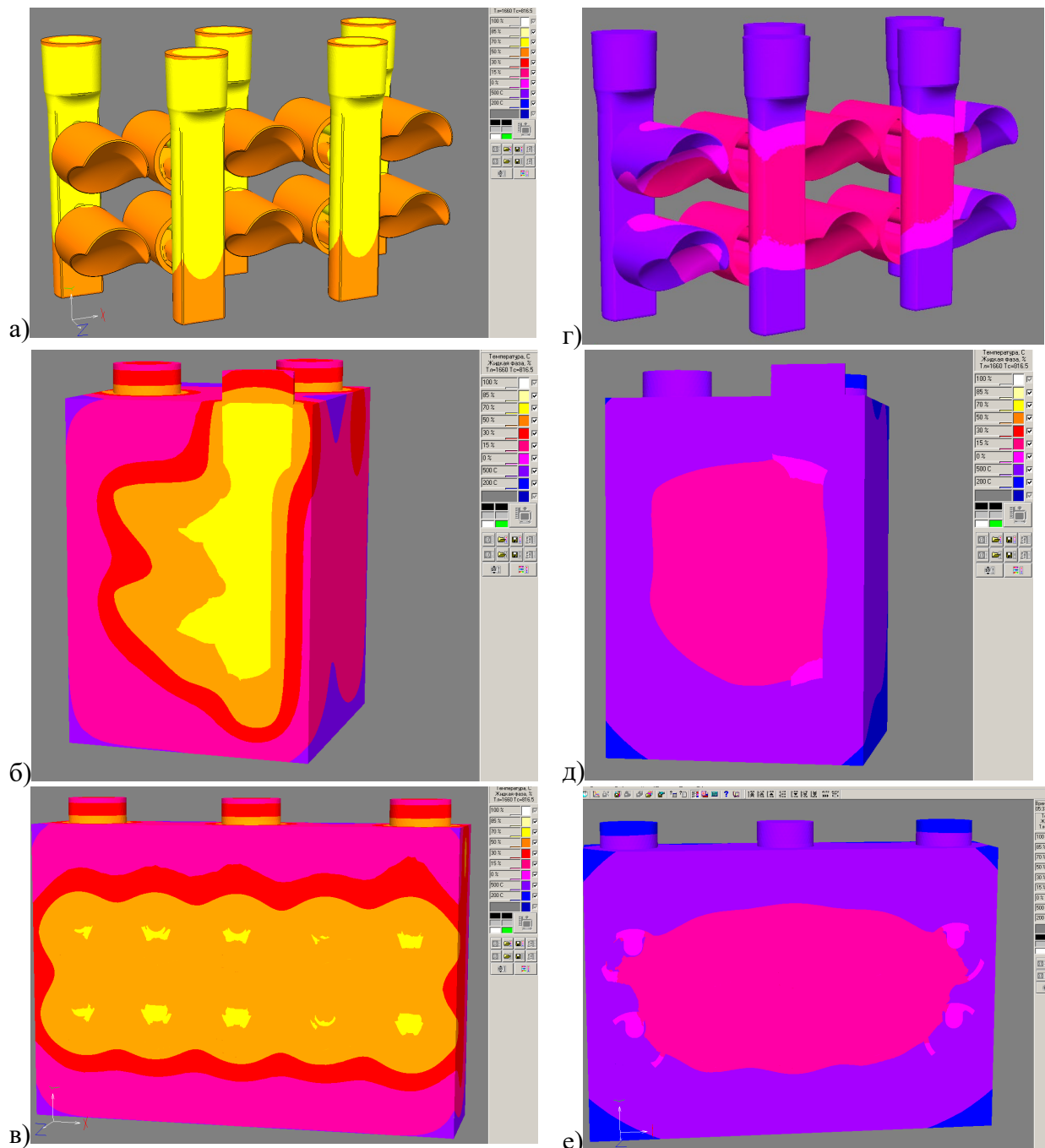


Рис.7. Распределение температурных полей в отливке: а, б, в – в начале процесса затвердевания (через 4 мин.20 сек.) и г, д, е – в конце затвердевания (через 5 часов 33 мин.)

В начале отливка гораздо горячее формы, и на рисунке это видно за счет того, что отливка имеет желтый цвет, а форма при этом разогревается, но имеет все-таки более

низкую температуру, и контур отливки четко виден из-за этого. Затем форма разогревается от отливок и, из-за низкой теплопроводности, долгое время удерживает это тепло. Отливка же, начиная остывать вместе с формой, т.е. от краев к середине, и, естественно, сохраняет области высокой температуры там, где дольше всего остается незатвердевший металл, что и приводит к образованию усадочной пористости. При этом стояки затвердевали быстрее, так как расположены ближе к краю опоки, а сами детали позже. Естественно, стояки не выполняют свою функцию – питания детали – и в верхних частях отливок образовывалась пористость. Это можно видеть из рис.8. Пористость располагается также, как происходил отвод тепла, т.е. чем ближе к середине, тем больше значение. Засыпание прибылей сверху материалом формы на начальном этапе придает некоторую направленность затвердеванию (снизу-вверх), но в дальнейшем процесс повторяется, т.е. центральная часть формы также разогревается.

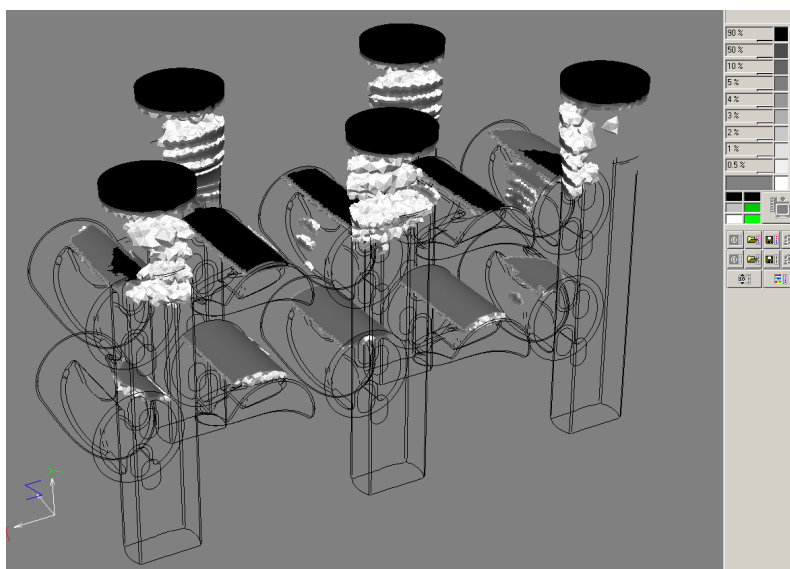


Рис.8. Распределение пористости в отливке

Для улучшения существующей технологии и получения бездефектных отливок решено было: 1) проверить нормально ли работает стояк и 2) уменьшить взаимное влияние отливок друг на друга при остывании.

Для проверки работы стояка в эту же опоку разместили одну отливку. В результате получилось, что стояк затвердевает быстрее, и в отливках остаются локальные изолированные зоны жидкого металла, которые не подпитываются металлом от стояка.

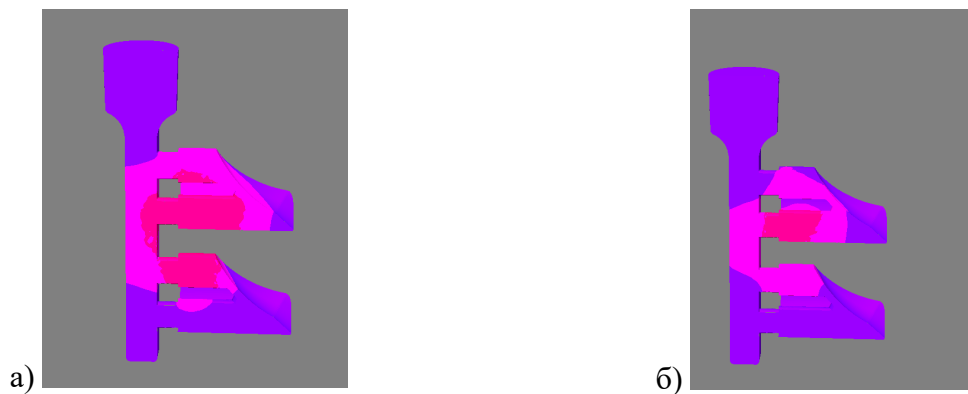


Рис.9. Оставшиеся «горячие пятна» в конце затвердевания: а) в нижней детали и б) в верхней детали

Из рисунка 10 видно, что в отливке присутствует пористость, т.е. стояк не справляется со своей задачей – питания отливки. Для устранения этого недостатка решено было увеличить диаметр стояка на 5 мм.

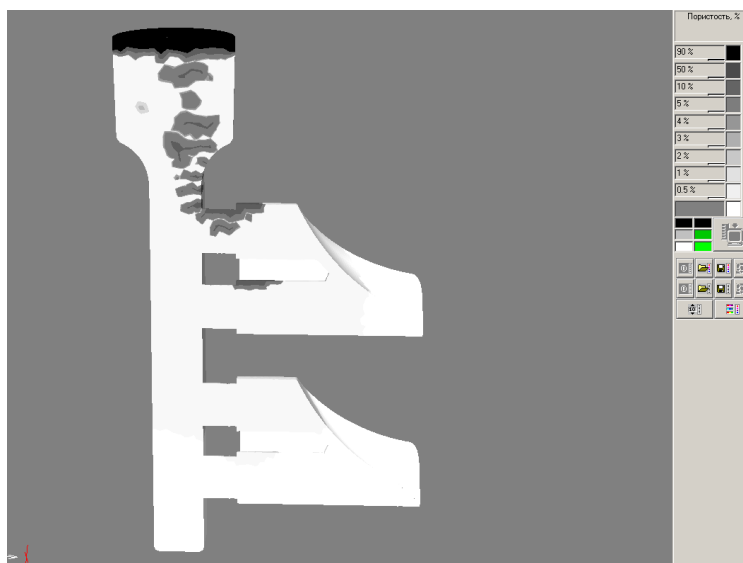
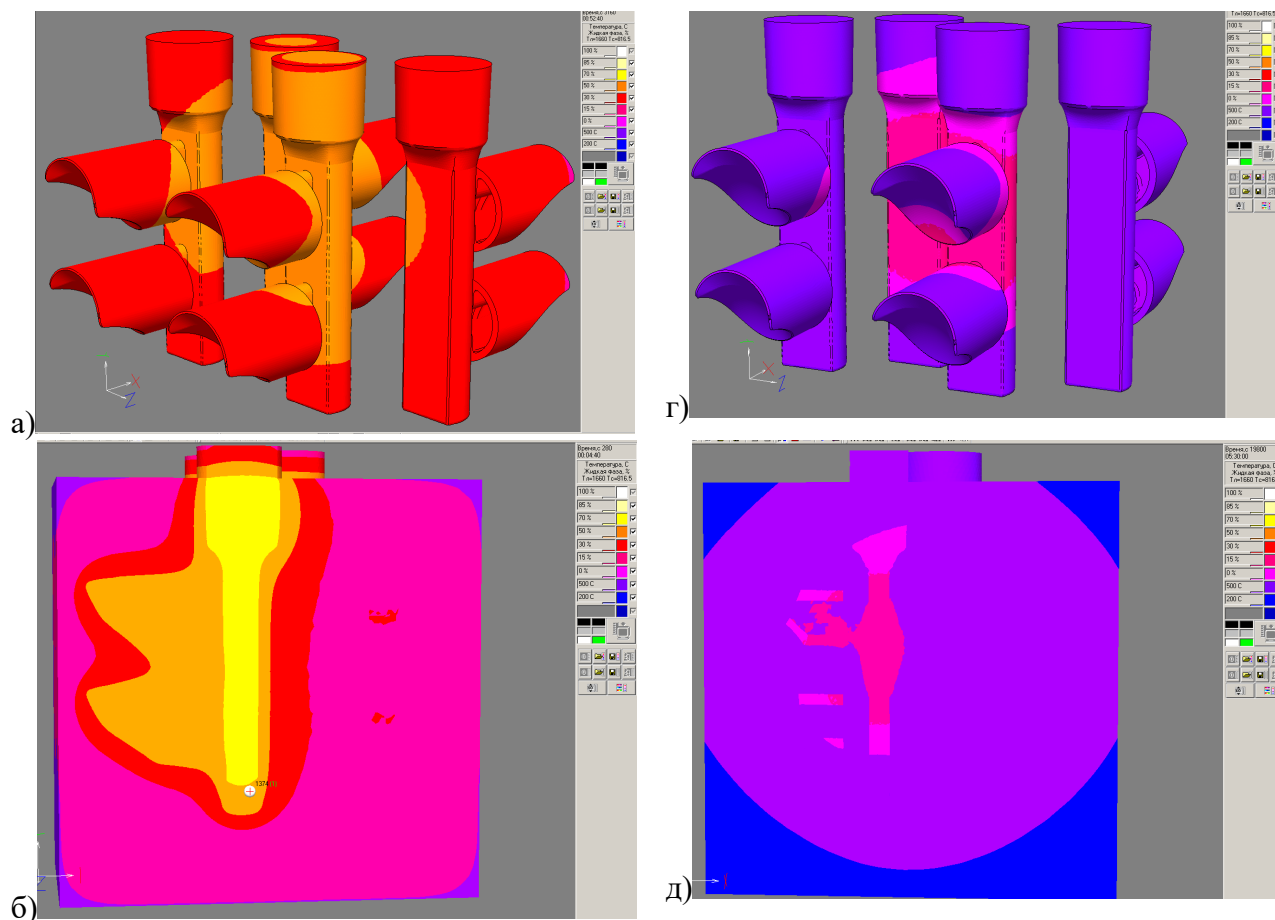


Рис.10. Распределение пористости

Для уменьшения взаимного влияния отливок друг на друга решено было использовать большую по размерам опоку и изменить расположение отливок в форме: отливки устанавливались стояками к середине формы, а деталями ближе к краю, чтобы увеличить теплоотвод от деталей и создать направленность кристаллизации от детали к стояку.



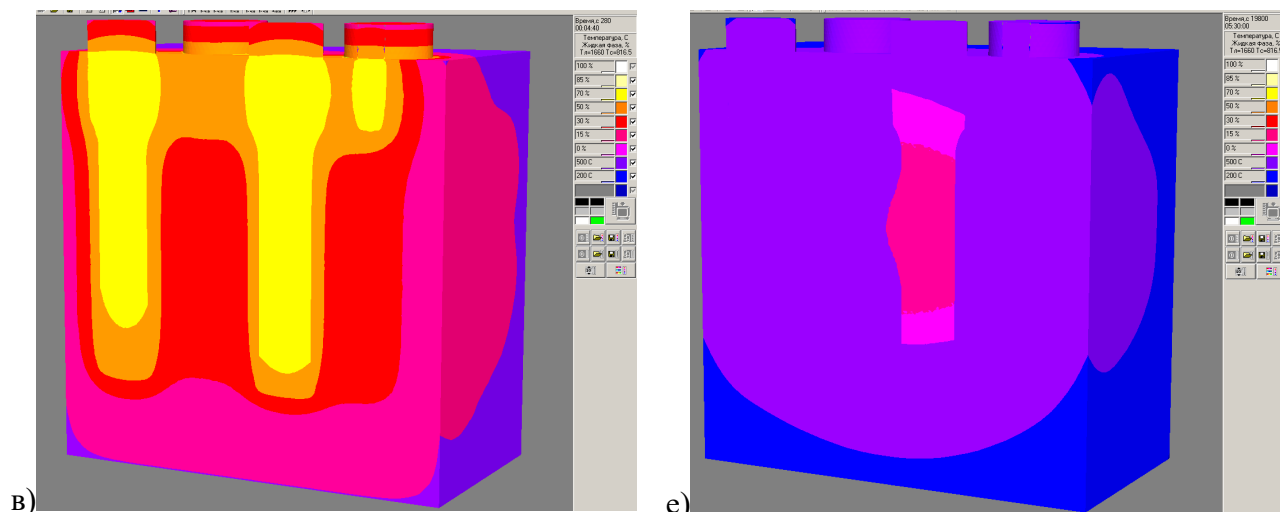


Рис.11. Распределение тепловых полей в форме: а, б, в – в начале процесса затвердевания (через 4 мин 40 с), г, д, е – в конце затвердевания (через 5 часов 30 мин.)

Из рис.11 мы видим, что материал засыпки в середине формы разогревается в течение охлаждения и самое горячее пятно в конце процесса затвердевания находится в середине формы, что нарушает направленность кристаллизации «снизу-вверх». На рис.11г видно, что в левой отливке на краю остается горячее пятно больше всего и именно здесь на этом месте отливки обнаруживается пористость, что видно из рисунка 12. Результат, полученный по этому варианту гораздо лучше, так как дефекты в основном выходят в стояк практически во всех отливках (кроме одной, о которой говорилось ранее). Направленность затвердевания - от края отливка к стояку при данной технологии выполняется, но стояк все-таки слишком рано затвердевает сверху, что не позволяет до конца подпитывать отливку.

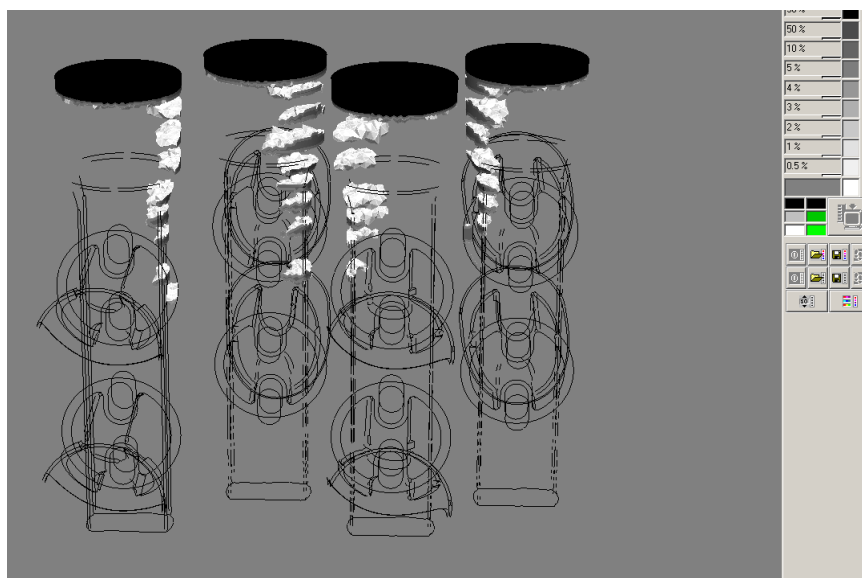


Рис.12. Распределение пористости

Для того чтобы стояк затвердевал снизу вверх возможно нужно увеличить высоту насыпанного слоя или закрыть отливку менее теплопроводящим слоем, например, асбестом. Решено было заменить засыпку слоем асбеста такой же толщины.

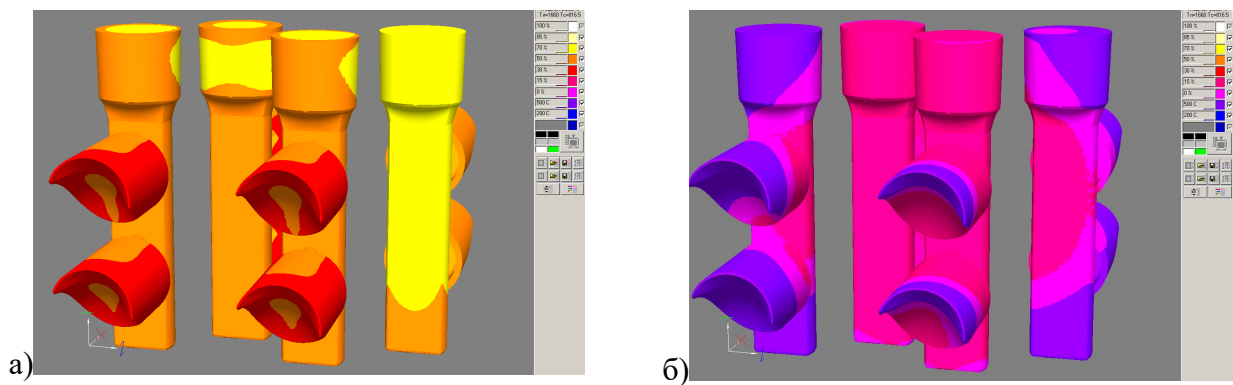


Рис.13. Распределение температурных полей в отливке с асбестом: а) в начале процесса затвердевания и б) в конце затвердевания.

В начала скорость охлаждения замедляется, но ближе к концу снова в центральной части образуется разогретая зона. Однако процесс как бы растягивается по вертикали, и стояк дольше не затвердевает, и питание отливки от стояка происходит дольше. В крайних отливках больше вероятности образования пористости, так как одна сторона стояка разогревается от центральной части формы, а другая, расположенная ближе к краю формы, охлаждается гораздо быстрее. Две же центральные отливки остывают более длительное время, и направление затвердевания - от детали к стояку и снизу вверх. Но и в этих отливках стояк до конца не питает детали, т.е. вероятность образования раковин остается.

На рис.14 показано распределение пористости в данном варианте.

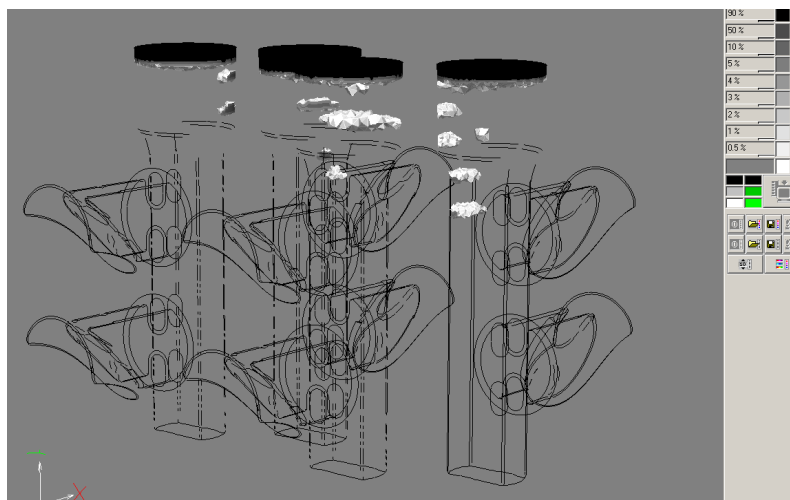


Рис.14. Распределение пористости

В этом случае мы получили еще более хороший результат: пористость больших значений (более 3%) вся выходит в стояк.

Следовательно, для уменьшения дефектов в отливках «Вытеснитель» необходимо использовать большую по размерам форму, изменить схему расположения отливок и, для уменьшения скорости теплоотвода от границы «отливка-среда», применить менее теплопроводный материал в качестве засыпки.

Таким образом, мы рассмотрели две технологии литья по выплавляемым моделям на предмет взаимного влияния отливок друг на друга при остывании и, как следствие, образования пористости при таких условиях. Выяснилось, что при использовании в качестве материала формы смеси из кварцевого песка и расположении в опоке двух или более отливок (в зависимости от габаритов) происходит сильный разогрев формы в центральной части и расположенных здесь же частей отливки, в результате чего в этих местах отливки образуется значительная пористость.

Центробежное литье анализировалось на отливке «Втулка». Материал отливки - чугун марки ЧВГ. Заливка производится в центробежную машину со скоростью вращения 900 об/мин. Отливки формовались в цилиндрическую земляную форму, которая помещалась в центробежную машину. Сверху для охлаждения форму поливают холодной водой с температурой 16°C. После заливки деталь вращается еще 50 минут.

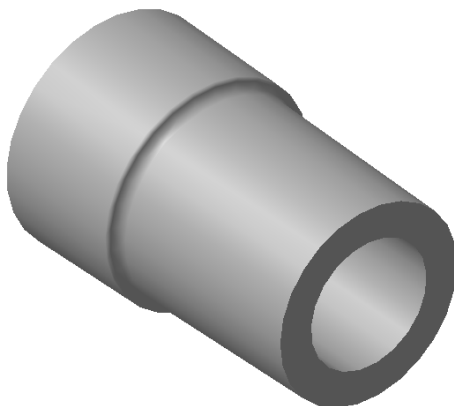


Рис.15. Деталь «Втулка»

Так как деталь заливается центробежным способом необходимо учитывать, что на внутреннюю поверхность действует центробежная сила, направленная от центра по радиусу. От горячего металла воздух сильно разогревается внутри центробежной машины и поэтому он достаточно быстро вытягивается из внутренней области. На его место поступает холодный, поэтому температура внутри примерно одинаковая и составляет по нашим расчетам 1000°C.

Учитывая все вышеизложенное, мы создали отдельную область разогретого воздуха внутри детали с постоянной температурой. Для учета центробежной составляющей силы, действующей на внутреннюю поверхность детали, мы построили не всю деталь, а только ее четвертую часть и расположили в пространстве таким образом, что вектор силы притяжения был направлен перпендикулярно к внутренней поверхности, т.е. так, как показано на рисунке 16. Так как отливка симметричная, то процессы, происходящие во всей детали симметричны тем, которые будут рассчитаны в этой части.

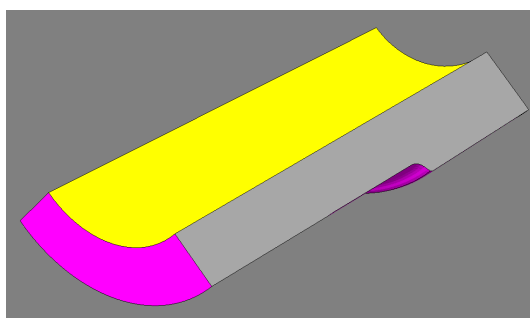


Рис.16. Расположение детали «Втулка» для расчета в системе «ПОЛИГОН»

При таком расположении детали вектор силы тяжести совпадает с направлением вектора центробежной силы, но суммарное значение этих векторов больше, чем вектор силы тяжести, поэтому для учета этого мы увеличили значения коэффициентов теплопередачи β_1 на границе между разогретым воздухом и отливкой до 50, на границе – «отливка-форма» до 1200. Охлаждение формы водой происходит очень неинтенсивно и форма очень сильно разогревается, поэтому в расчете учли как начальную температуру формы - 16°.

Результат расчета приведен на рисунке 17.

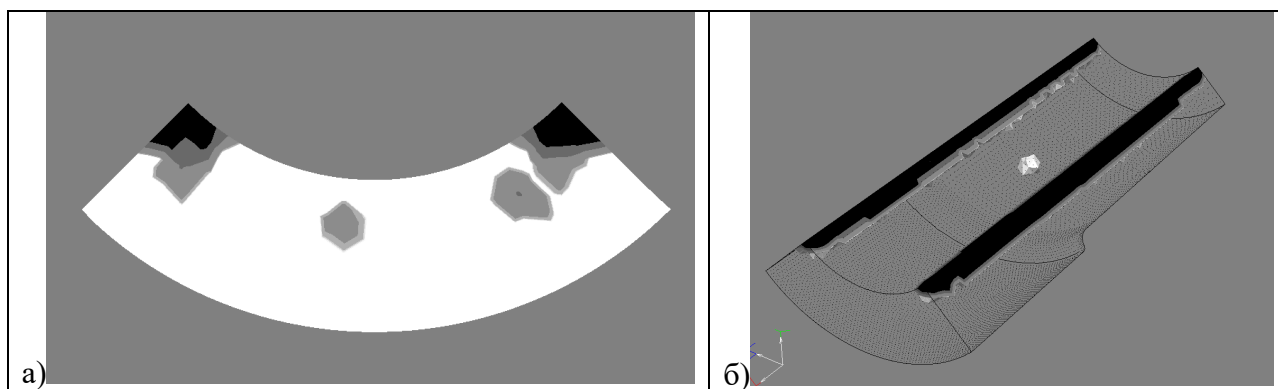
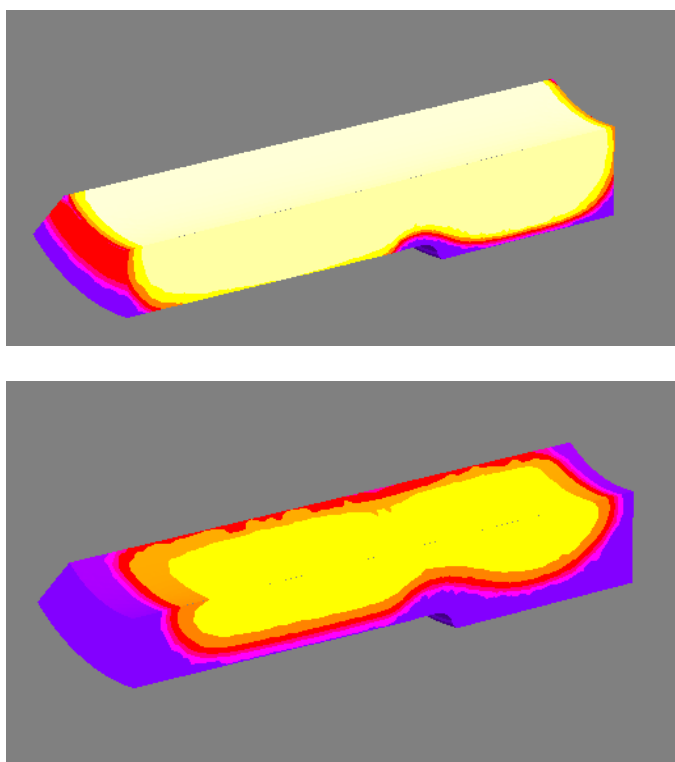


Рис.17. Распределение пористости в отливке

При расчет мы получили, что брак образуется под внутренней поверхностью небольшими «пятнами», в районе, где заканчивается холодильник. Причем значение пористости примерно 30-40%. Пористость, образующуюся на краях мы не учитываем, так как это погрешность нашей модели. В реальных условиях брак образуется именно в этой области, и при обработке детали этот брак обнаруживается.

Анализ процесса затвердевания показал, что в металл остывает быстро над холодильником, при этом поверхность остается горячей. Затем поверхность начинает охлаждаться, и сверху образуется корка металла, под которой есть еще разогретый металл. Эта область разогретого металла постепенно охлаждается, но так как прибыльной части нет, то, естественно, образуется пористость. На рисунке 18 видна эта область.



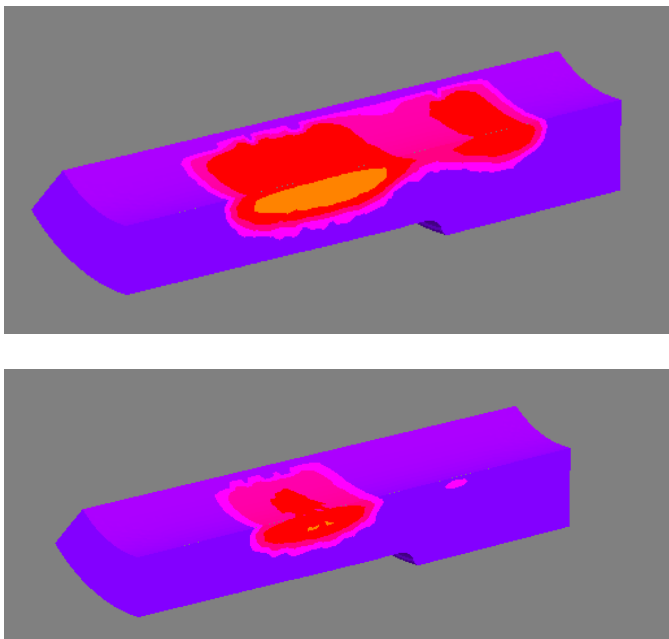


Рис.18. Процесс затвердевания в отливке «Втулка»

Так как область образования пористости располагалась выше холодильника, то решено было увеличить размер холодильника.

При увеличении размера холодильника изменяются локальные зоны жидкого металла: дна уменьшается, а вторая увеличивается. Но, так как большая зона находится над холодильником, то в этом месте не образуется пористость. Увеличивается пористость на внутренней поверхности, которая имеет небольшое значение – 0-1%. Однако величина локальной зоны над холодильником значительно увеличилась, что может в дальнейшем привести к возникновению пористости и в этой части, а также из-за увеличения размера холодильника, соответственно, увеличивается и его вес, что нежелательно для работы центробежной машины. Поэтому решили рассчитать оптимальный вариант при котором пористость уходит как можно выше, а вес холодильника будет минимальным. На рис.19 показан процесс образования локальных зон и пористость при размере холодильника 326 мм.

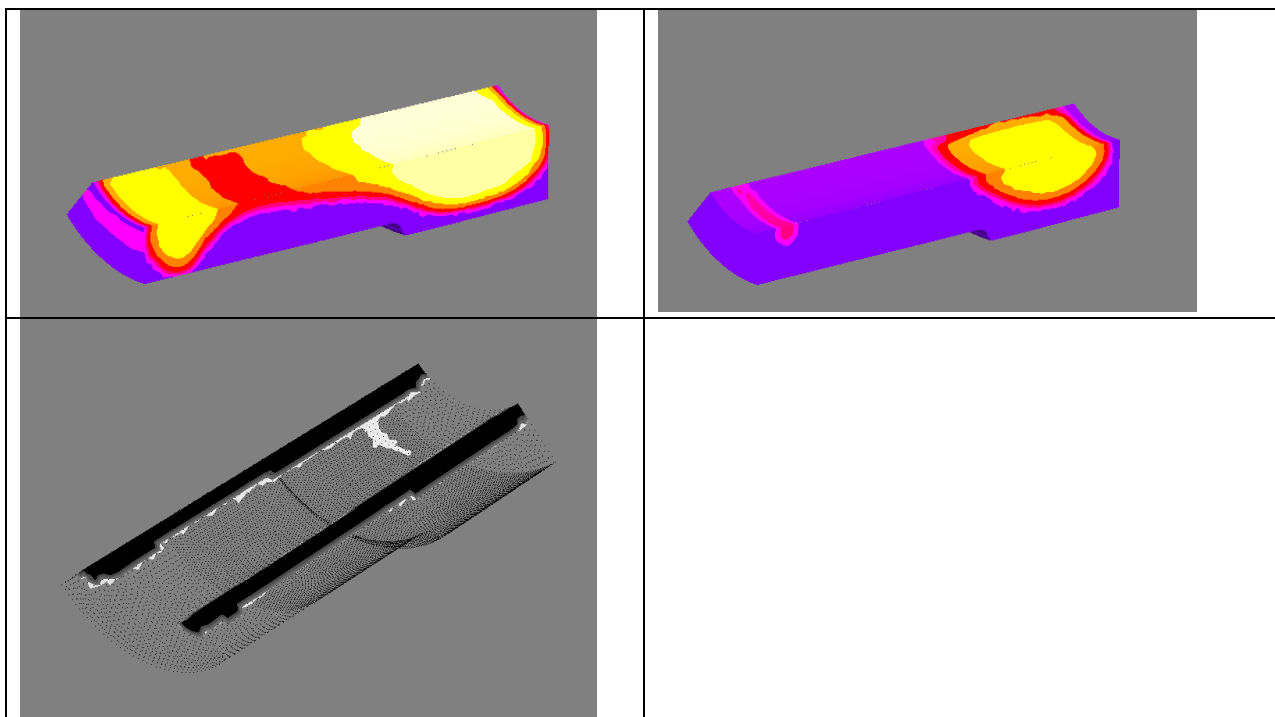


Рис.19. Процесс затвердевания и распределение пористости в отливке с большим холодильником

Для первого случая оптимальный размер холодильника получился 300 мм. Область брака оставалась в районе 100-110 мм от тонкого края отливки, но это был худший вариант, так как требования к детали предъявлялись очень жесткие. Результат расчета приведен на рис.19.

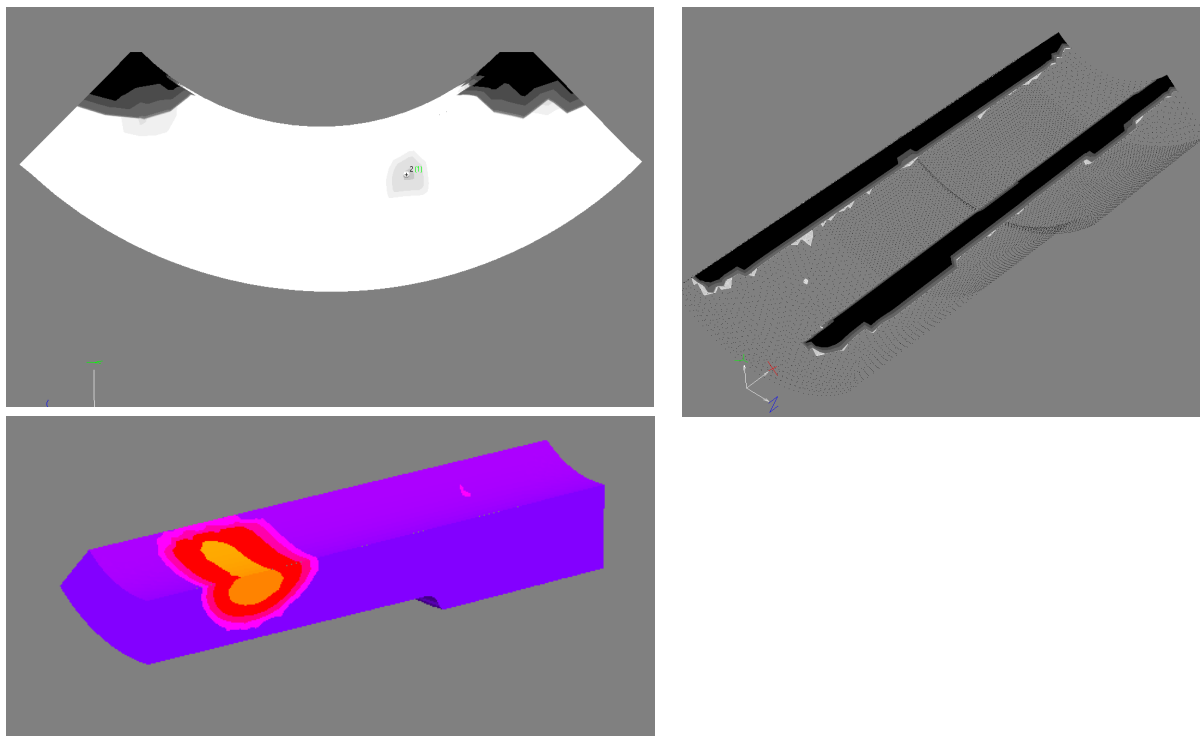


Рис.20 Распределение пористости и температурных полей в отливке при оптимальном размере холодильника 300 мм

Первый из них был с засыпкой утепляющего слоя на внутреннюю поверхность отливки после заливки. В качестве засыпки использовали сварочный флюс. При расчете учли, что температура горячего воздуха понизится до 950°C , а на внутренней поверхности уменьшили теплоотдачу. В результате получилось, что пористость образуется по кольцу, правда более низкая по значению, и в некоторых местах все-таки возникает более значительная усадка. Это также не устраивает нас.

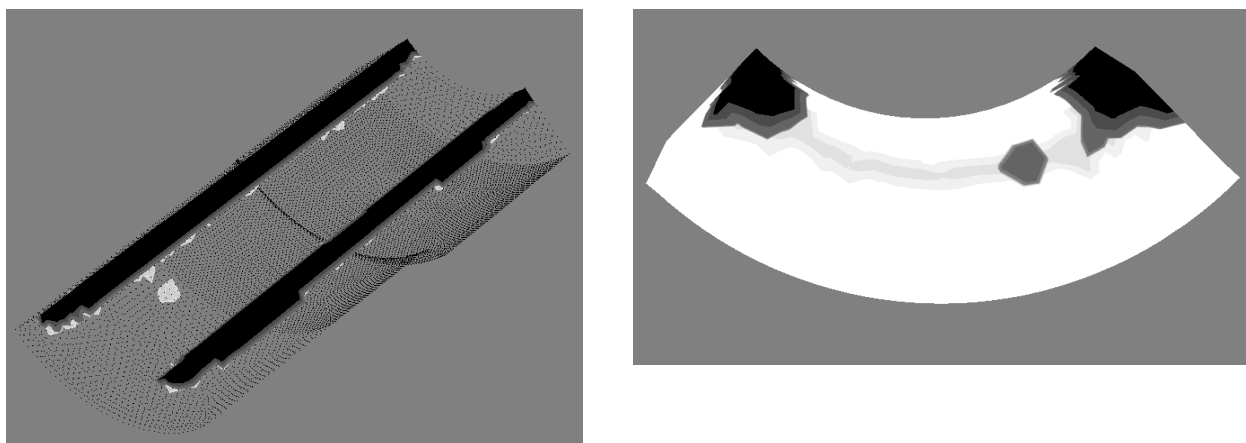


Рис.21. Распределение пористости в отливке при засыпке утепляющего слоя

Следующий вариант был с использованием более интенсивного охлаждения по поверхности формы, т.е. установили постоянную температуру 16°C . В результате

получилось, что пористости более 2% в отливке нет вообще, осталось только пористость на внутренней поверхности, но она около 1%, что не влияет на качество. К тому же этот брак удаляется при обработке.

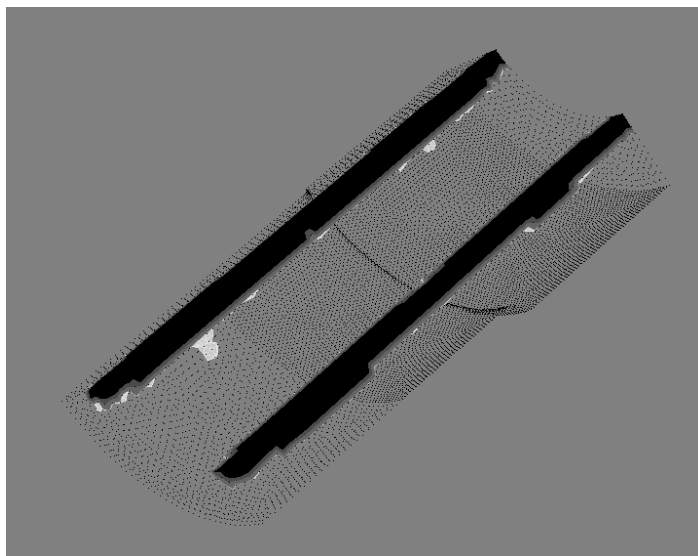


Рис.22. Распределение пористости в отливке с интенсивным охлаждением

Процесс затвердевания происходит раньше, чем образуется корка на внутренней поверхности отливки, и вся пористость выходит в припуск.

В результате проведенной работы мы выяснили, что в случае центробежного литья невозможно получить отливку совершенно без брака. Проблема заключается в том, чтобы минимизировать возможные дефекты и получить по возможности технологию, которую можно применить к существующим условиям, т.е. без больших капиталовложений. Поэтому решено было использовать технологию с оптимальным размером холодильника 300 мм, так для ее внедрения необходимо изменить только холодильник, и нет необходимости менять саму центробежную машину или конструкцию охлаждения.