

Рис. 2. Внутреннее строение слябовой непрерывнолитой заготовки толщиной 293,8 мм (опыт А): цифры у линий – относительная доля жидкой фазы

По данной методике была определена фактическая протяженность лунки жидкого металла во всех проведенных опытах. Результаты представлены в **табл. 3**.

Анализ полученных данных показывает, что во всех четырех опытах фактическая протяженность лунки жидкого металла оказалась больше, чем ее расчетное значение, полученное динамической системой вторичного охлаждения заготовки. Наибольшее различие наблюдалось при отливке слябов толщиной 293,8 мм – на 1,46–1,50 м, а при получении слябов толщиной 250 мм – на 0,70–0,71 м. Данные отклонения следует признать существенными, особенно в опытах с отливкой самых толстых слябов, с учетом того, что длина каждого сегмента ЗВО МНЛЗ составляет 2,13 м. Это может привести к ошибкам динамической системы при определении номеров сегментов, в которых рекомендуется осуществлять мягкое обжатие непрерывнолитой заготовки, и снижению его эффективности.

Таблица 3

Данные о протяженности лунки жидкого металла в слябовой непрерывнолитой заготовке

Номер опыта	Протяженность лунки жидкого металла, м		Разность между фактической и расчетной величинами, м
	расчетная	фактическая	
A	29,29	30,75	1,46
B	29,93	31,43	1,50
C	28,15	28,86	0,71
D	27,86	28,56	0,70

Для устранения выявленных различий между фактическими и расчетными значениями длины лунки жидкого металла внутри сляба необходимо внесение корректирующих поправок в модель динамической системы управления вторичным охлаждением заготовки.

Список литературы

1. Мошкун В.В., Столяров А.М. Использование мягкого обжатия непрерывнолитого сляба на криволинейной МНЛЗ с вертикальным участком // Теория и технология металлургического производства : межрегион. сб. науч. тр. Вып. 10. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2010. С. 57–62.
2. Мошкун В.В., Столяров А.М. Освоение технологии мягкого обжатия непрерывнолитых слябов в ККЦ ОАО «ММК» // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования: материалы 69-й межрегион. науч.-технич. конференции. Магнитогорск, 2011. Т.1. С. 131–133.
3. Еланский Г.Н. Разливка и кристаллизация стали. Москва : МГВМИ, 2010. С. 128.

Bibliography

1. Moshkunov V.V., Stoliarov A.M. Soft reduction applying of continuous cast slab by curved continuous cast machine with vertical section // Theory and technology of metallurgical production: Interregional collection of scientific works. №10. Magnitogorsk: CEI HVT «MSTU», 2010. P. 57–62.
2. Moshkunov V.V., Stoliarov A.M. Developing of continuous cast slab soft reduction technology in oxygen-converter shop OJSC "Magnitogorsk iron and steel works" // Urgent questions of current science, technology and education: 69th Interregional scientific conference. Magnitogorsk, 2011. B.1. P. 131–133.
3. Elanskiy G.N. Casting and crystallization of steel. M.: MSNMU, 2010. P. 128.

УДК 621.74

Сушко Т.И., Леднев А.С., Пашнева Т.В., Руднева И.Г.

АНАЛИЗ ПРИЧИН БРАКА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СТАЛЬНЫХ КОРПУСНЫХ ОТЛИВОК ПОСРЕДСТВОМ СКМ ЛП LVM FLOW

В работе проводился анализ причин брака при изготовлении стальных отливок методом ЛВМ по диаграмме причинно-следственной связи и СКМ ЛП LVM Flow.

Ключевые слова: корпусная отливка, литейные дефекты.

We analyzed the reasons for failure in the manufacturing of steel casting by LPM on the diagram of a causal connection and system simulation of casting processes LVM Flow.

Key words: casting «body», casting defects.

Объект исследования – отливка «корпус», изготавливаемая в филиале ФГУП и ГКНПЦ имени Хруничева Воронежский механический завод (ВМЗ), материал изготовления – коррозионноустойчивая сталь аустенитного класса 10X18H11БЛ ГОСТ 977-88, масса 16,6 кг, габаритные размеры отливки составляют

150×170×240 мм. 3D-модель приведена на **рис. 1**. Данная отливка предназначена для использования в оборудовании пищевой промышленности. К ней предъявляются требования по герметичности и коррозионной стойкости. При ее изготовлении неизбежно возникает брак.



Рис. 1. 3D-модель отливки

Анализ причин брака проводился по разработанной нами диаграмме, устанавливающей причинно-следственную связь факторов технологического процесса отливки и параметра качества «образование закрытой усадочной раковины» для метода ЛВМ (рис. 2).



Рис. 2. Разработанная диаграмма для ЛВМ

Определение факторов, влияющих на образование усадочной раковины, проведено с использованием источника [2]. Из них исследованию (путем моделирования) подлежали: подвод металла к отливке, свойства и температурный режим формы. Влияние такого фактора, как «заполняемость металлом» формы проведено частично (исследовано влияние температуры оболочки). За базовый вариант ЛПС принят шестой тип при горизонтальном положении отливки при заливке (рис. 3).



Рис. 3. 3D-модель отливки с ЛПС (базовый вариант)

Рассмотрены следующие варианты ЛПС, 3D-модели которых представлены на рис. 4.

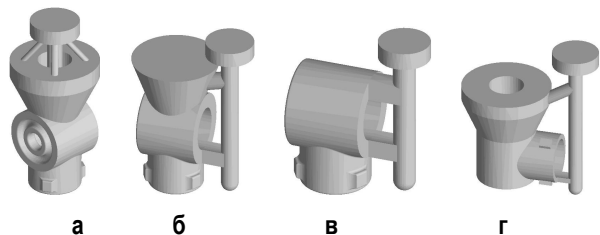


Рис.4. 3D-модели предложенных вариантов ЛПС

Для проведения расчетов в СКМ ЛП LVM Flow в соответствии с рассчитанными размерами ЛПС построены 3D-модели различных конструкций отливок с ЛПС, конвертированные в необходимый формат LVM Flow. При построении 3D-моделей использовалась программа 3D моделирования SolidWorks 2007. При моделировании процессов затвердевания отливки задавались следующие начальные условия: температура заливки – 1630°C, в качестве материала оболочки использовался электрокорунд и плавный кварц с начальной температурой 900°C, количество слоев оболочки – тринадцать, формовка – без опорного наполнителя, расчет велся при размере ячейки 3,00 мм, граничные условия – излучение в среду с температурой 20°C кроме нижней плоскости формы, граничащей с материалом пола в цехе. Результаты моделирования в соответствии с действующей на ВМЗ технологией представлены на рис. 5.



Рис. 5. Усадка при базовом варианте ЛПС

Анализ влияния способа подвода металла в форму на качество отливки показал: 1) вариант ЛПС для отливки «корпус», применяемый в ФГУП «ВМЗ», не позволяет получить отливку бездефектной; 2) применение всех предложенных нами вариантов ЛПС также приводит к образованию в отливке усадочных дефектов и крупных областей микропористости. Анализ влияния свойств формы (опорного наполнителя и количества слоев огнеупорной оболочки) дал следующие результаты: 1) применение в форме шамотного наполнителя приводит к увеличению усадки по сравнению с вариантом, когда опорный наполнитель отсутствует в форме; 2) увеличение количества слоев оболочки дает практически идентичные результаты по сравнению с базовым проектом. Принудительное охлаждение формы сжатым воздухом перед заливкой, т.е. создание градиента температур по высоте, как один из вариантов, позволяющих оценить влияние температурного состояния керамической оболочки на качество литья, показал (рис. 6), что использование принудительного охлаждения формы перед заливкой приводит к значительному понижению качества отливки «корпус». Поэтому, по-видимому, основное влияние на качество отливки оказывает непосредственно температура прокалики оболочек.

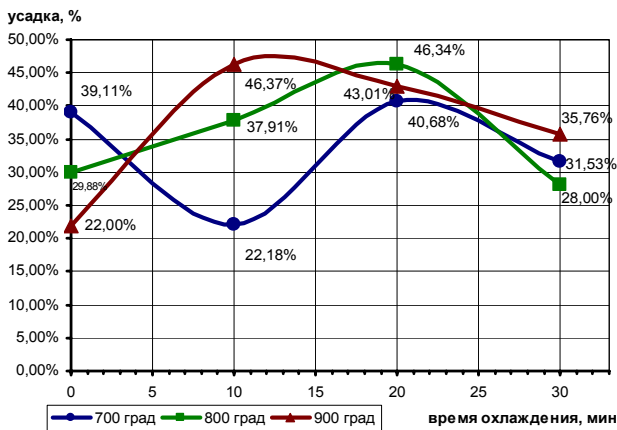


Рис. 6. Усадка при различных температурных режимах формы

На рис. 7 представлены результаты моделирования при различных температурах прокалики.

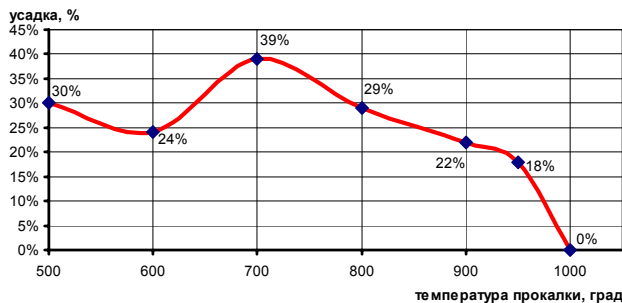


Рис. 7. Усадка при различных температурах прокалики

Для выявления причин, по которым при температуре формы 1000°C наблюдается полное отсутствие усадочных дефектов в отливке, при помощи СКМ ЛП LVM Flow проведено сравнение температурно-временных полей при базовом варианте технологии и при повышенной до 1000°C температуре формы (рис. 8).

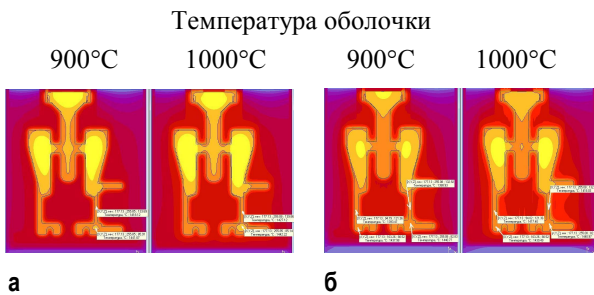


Рис. 8. Сравнение температурно-временных полей при температуре оболочки 900 и 1000°C (1 (а) и 1,5 (б) мин с начала затвердевания)

Сделано предположение, что причиной устранения дефектов в нижней части отливки при повышении температуры формы до 1000°C является более позднее затвердевание тонкой стенки вертикального фланца, питающей тепловые узлы в донной части, вследствие разогрева оболочки на данном участке при прокалике до более высокой температуры, чем в базовом варианте. На рис. 8 видно, что как при температуре оболочки

900°C, так и при 1000°C через 1 мин после начала затвердевания температура металла в нижней части отливки составляет порядка 1442°C. Однако при повышенной температуре оболочки температура металла в тонкой вертикальной стенке на 9°C выше, чем при базовом варианте. При этом в этот же момент времени в тонкой стенке затвердевает меньшее количество металла по сравнению с базовой технологией. Количество жидкой фазы во втором варианте на 21–25% больше. Спустя 1,5 мин после начала затвердевания при базовом варианте температура металла в тонких стенках понижается до 1390°C, т.е. ниже температуры ликвидуса. Металл в этих участках вертикального фланца полностью затвердевает, при этом в донной части находится значительное количество жидкой фазы (от 88 до 98%), т.е. образуется локальная область жидкого металла в тепловых узлах отливки, которая при дальнейшем затвердевании приводит к образованию дефектов. При температуре оболочки 1000°C наблюдается улучшенная картина с точки зрения отсутствия разрыва питания между прибыльной и донной частью.

Для подтверждения сделанного предположения при помощи СКМ ЛП LVM Flow построены температурно-временные зависимости (рис. 9). Для этого в тонких стенках вертикального фланца были установлены виртуальные термодатчики. Установлено, что в тонкой вертикальной стенке отливки при базовом варианте затвердевание заканчивается через 100 с, а при температуре формы 1000°C – через 150 с. То есть в течение более длительного времени нижняя часть отливки питается жидким металлом от верхней более массивной части и разрыв питания происходит на более поздней стадии затвердевания.

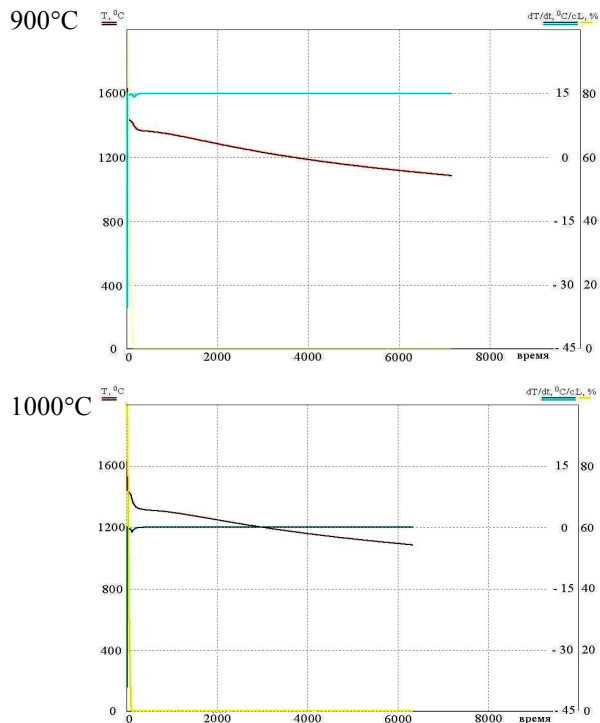


Рис. 9. Зависимость количества жидкой фазы, скорости охлаждения и температуры отливки от времени при T_{оболочки} = 900 и 1000°C

Таким образом, в результате работы предложены технологические рекомендации изготовления отливки «корпус» методом ЛВМ, при соблюдении которых, по нашему мнению, возможно отсутствие дефектов:

- 1) для подвода металла использовать шестой тип ЛПС;
- 2) температура заливки 1630°C;
- 3) количество слоев оболочки – 13;
- 4) первые два слоя выполняются из электрокорунда, а последующие одиннадцать из плавленного кварца;
- 5) температура прокали формы 1000°C;
- 6) формовка – без опорного наполнителя;
- 7) заливка происходит непосредственно после извлечения формы из прокалочной печи (без выдержки на воздухе и обдува сжатым воздухом).

Рекомендации по повышению температуры прокали с точки зрения энергосбережения ведут к увеличению затрат на энергоносители. Компенсировать

увеличение количества используемой энергии в технологическом цикле получения отливки можно за счет снижения времени изготовления отливки, поэтому хорошим направлением для дальнейшего изучения является возможность уменьшения количества слоев огнеупорной оболочки при температуре прокали 1000°C.

Список литературы

1. Гличев А.В. Современные методы управления качеством // Стандарты и качество. 1996. № 4. С. 4–9.
2. Воронин Ю.Ф. Атлас литейных дефектов. Черные сплавы / Ю.Ф. Воронин, В.А. Камаев. М., 2005

Bibliography

1. Glichev A.V. Modern methods of quality management / A. Glichev // Standards and Quality. 1996. № 4. S. 4–9.
2. Voronin Y.F. Atlas casting defects. Black alloys / Y.F. Voronin, V.A. Kamala. Moscow, 2005