

## ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕМЕШИВАНИЯ РАСПЛАВА ПРИ ПРОДУВКЕ ЧЕРЕЗ ДВА ОТВЕРСТИЯ НА ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЯХ КОВШЕЙ

*В статье представлены результаты исследования процесса перемешивания расплава при продувке через два отверстия на трехмерных моделях ковшей, которые выполнены на математических моделях, с разработанными с использованием учебной версии прикладного пакета ANSYS/ED, реализующего метод конечных элементов. Определено рациональное расположение продувочных узлов.*

**Ключевые слова:** *схемы перемешивания, футеровка, ковши, продувочная фурма, исследования, диапазон расположения продувочных фурм, поток.*

Выполненное моделирование с применением двумерных моделей в прикладном пакете ANSYS [1-3] позволило выявить общие закономерности перемешивания расплава в ковшах при различных вариантах продувки, отметить основные закономерности движения потоков и тенденции по расположению продувочных отверстий. Однако для более полного представления о процессе перемешивания расплава в реальных ковшах с двумя продувочными отверстиями было проведено трехмерное моделирование, целью которого являлось изучение влияния угла раствора между отверстиями на характеристики движения расплава, его воздействие на футеровку, а также тепловое состояние перемешиваемой стали.

В ходе моделирования рассматривалось существующее в ковшах расположение продувочных отверстий, а также положение, соответствующее  $r/R_n = 0,65 - 0,7$  (как наиболее рациональное, выявленное при двумерном моделировании), угол раствора между отверстиями варьировался в диапазоне  $110 - 160^\circ$ . В таблице 1 приведены параметры, определяющие геометрическое положение отверстий в моделях ковшей. Расход газа составлял 600 л/мин. на каждое отверстие.

В результате моделирования для каждого из указанных вариантов получены векторные картины суммарных скоростей

расплава. Для более детального рассмотрения циркуляционных контуров в характерных плоскостях, проходящих через продувочные отверстия (рис.1), были построены поперечные сечения. Результирующие картины на момент времени 900 с от начала продувки приведены в таблицах 2 – 3.

Следует отметить, что во всех представленных случаях движение потоков расплава происходит практически одинаково. Восходящие от продувочных отверстий потоки расплава образуют две основные зоны циркуляции в плоскостях В-В и Г-Г. Скорость потока расплава по мере подъема замедляется; большая часть потока отклоняется к дальней от отверстия стенке ковша и движется вниз, к днищу, несколько ускоряясь; достигает днища и увлекается вверх восходящим потоком, тем самым образуя циркуляционный контур. Еще один циркуляционный контур образуется частью восходящего потока, которая отклоняется к ближайшей к продувочному отверстию стенке ковша. При расположении отверстий с углом  $160^\circ$  (почти диаметрально) размеры указанных циркуляционных зон практически одинаковы для обоих ковшей.

Таблица 1 – Геометрические параметры расположения продувочных отверстий в моделях ковшей

Ковш 120 т			Ковш 75 т		
Номер варианта	г, м	$\alpha$ , град.	Номер варианта	г, м	$\alpha$ , град.
1*	0,94	110	1	0,83	110
2		135	2*		135
3		160	3		160
4	0,76	110	4	0,715	110
5		135	5		135
6		160	6		160

\* Соответствует существующей конструкции ковша

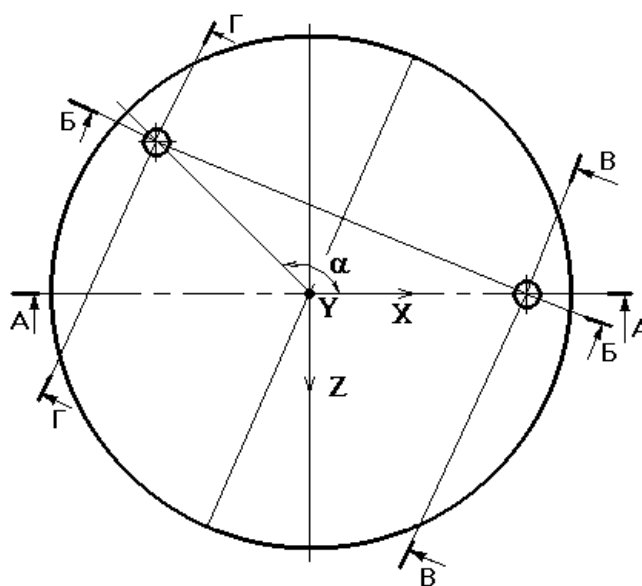


Рисунок 1 – Схема расположения секущих плоскостей расчетной области расплава

Также восходящие от продувочных отверстий потоки частично отклоняются к вертикальной оси ковша (см.сечение Б-Б), но скорости расплава здесь незначительные. В целом, наиболее интенсивное перемешивание расплава происходит в плоскостях В-В и Г-Г, а также в плоскостях, параллельных им, расположенных на удалении равном 1...2 диаметра продувочного отверстия. Расплав, расположенный в центральной части ковша, движется в разных направлениях с незначительными скоростями.

Количественная оценка доли «малоподвижных» зон расплава в объеме ковшей показала, что для обоих ковшей этот показатель находится в диапазоне 30...40%. Графики изменения доли «малоподвижных» зон в зависимости от варианта расположения продувочных отверстий приве-

дены на рис. 2. Анализ представленных зависимостей позволяет отметить следующее. Меньше всего «застойных» зон в расплаве образуется при размещении отверстий с углом  $160^\circ$ , причем с любым радиусом расположения. Но при размещении отверстий на наиболее рациональном удалении от вертикальной оси ( $r/R_n=0,65-0,7$ ) происходит наиболее полное перемешивание расплава. Расположение отверстий, согласно существующей конструкции ковшей, дает несколько худшие, но вполне приемлемые результаты. Доля «малоподвижных» зон в расплаве увеличивается на 4 и 10% соответственно для ковша 120 и 75 т по сравнению с вариантом  $r/R_n=0,65...0,7$  и  $\alpha=160^\circ$  (вариант №6).

Таблица 2 – Картины суммарных скоростей расплава при продувке в 120 т ковше

№	Общий вид картины суммарных скоростей	Картина в секущей плоскости			
		Б-Б	В-В	Г-Г	
1					
2					

Таблица 3 – Картины суммарных скоростей расплава при продувке в 75 т ковше

№	Общий вид картины суммарных скоростей	Картина в секущей плоскости		
		Б-Б	В-В	Г-Г
1				
2				

Рассмотрение картин температурных полей в расплаве (таблицы 4 – 5), расчет средней температуры расплава и среднеквадратичного отклонения температуры показали, что для промоделированных вариантов продувки температурное состояние расплава в целом одинаково. Основная часть расплава однородна по температуре, наибольшее снижение температуры отмечается в придонной части ковшей и возле стенок, особенно в плоскостях В-В и Г-Г, проходящих через продувочные отверстия и соответствующих зонам наибольших циркуляций расплава.

На рис. 3 показаны графики перепада температуры расплава в ковшах при различном расположении продувочных отверстий. Можно отметить, что в ковше большей вместимости (120 т) перепад температуры расплава больше на 2..3 градуса, чем в ковше 75 т. Существующее конструктивное расположение продувочных отверстий обеспечивает перепад температур около  $5^{\circ}$  для обеих ковшей. При размещении отверстий практически диаметрально температурные перепады имеют наименьшие значения.

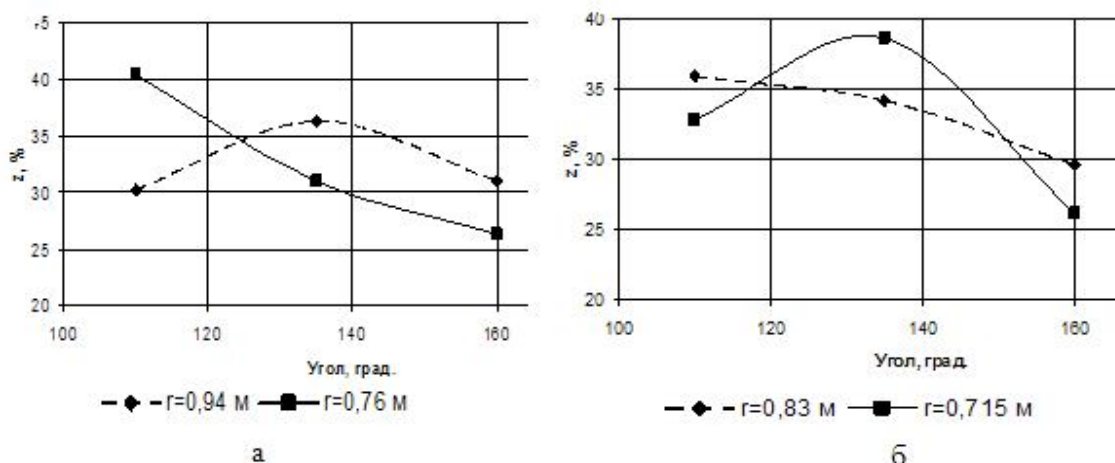


Рисунок 2 – Изменение доли «малоподвижных» зон в зависимости от варианта расположения продувочных отверстий для ковша 120 т (а) и 75 т (б)

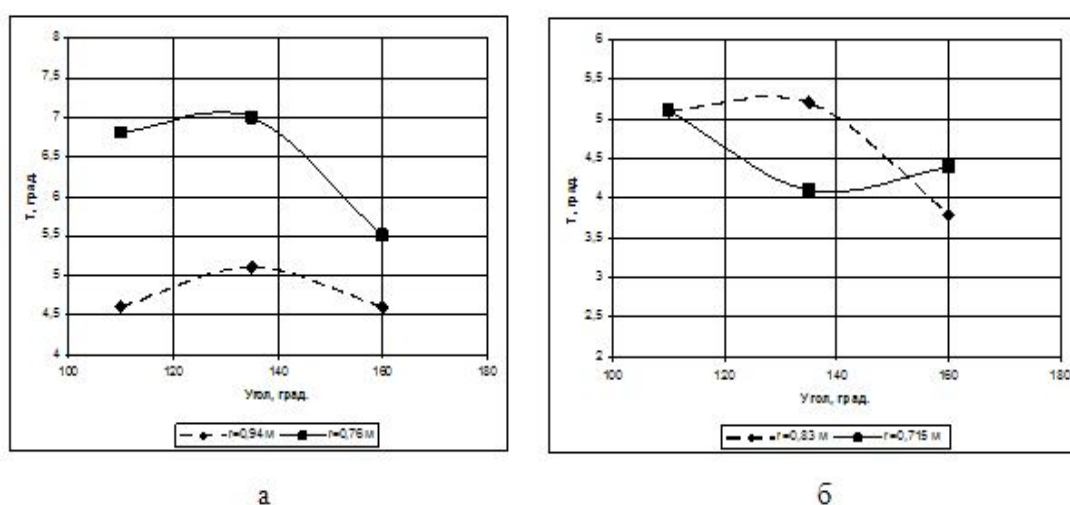


Рисунок 3 – Графики перепада температуры расплава при различном расположении продувочных отверстий в ковше 120 т (а) и 75 т (б)

Таблица 4 – Картины температурных полей в 120 т ковше для разных вариантов расположения продувочных отверстий

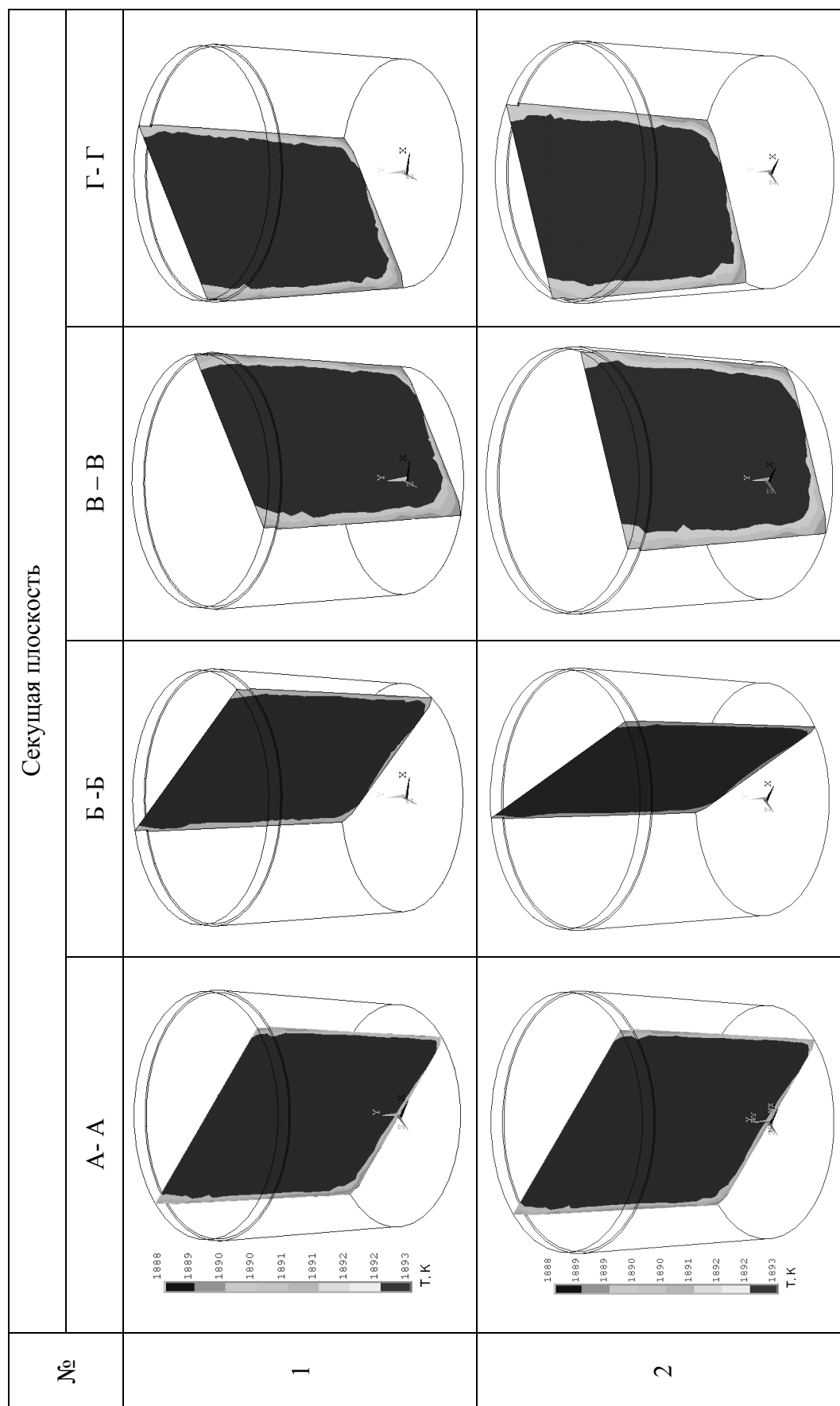
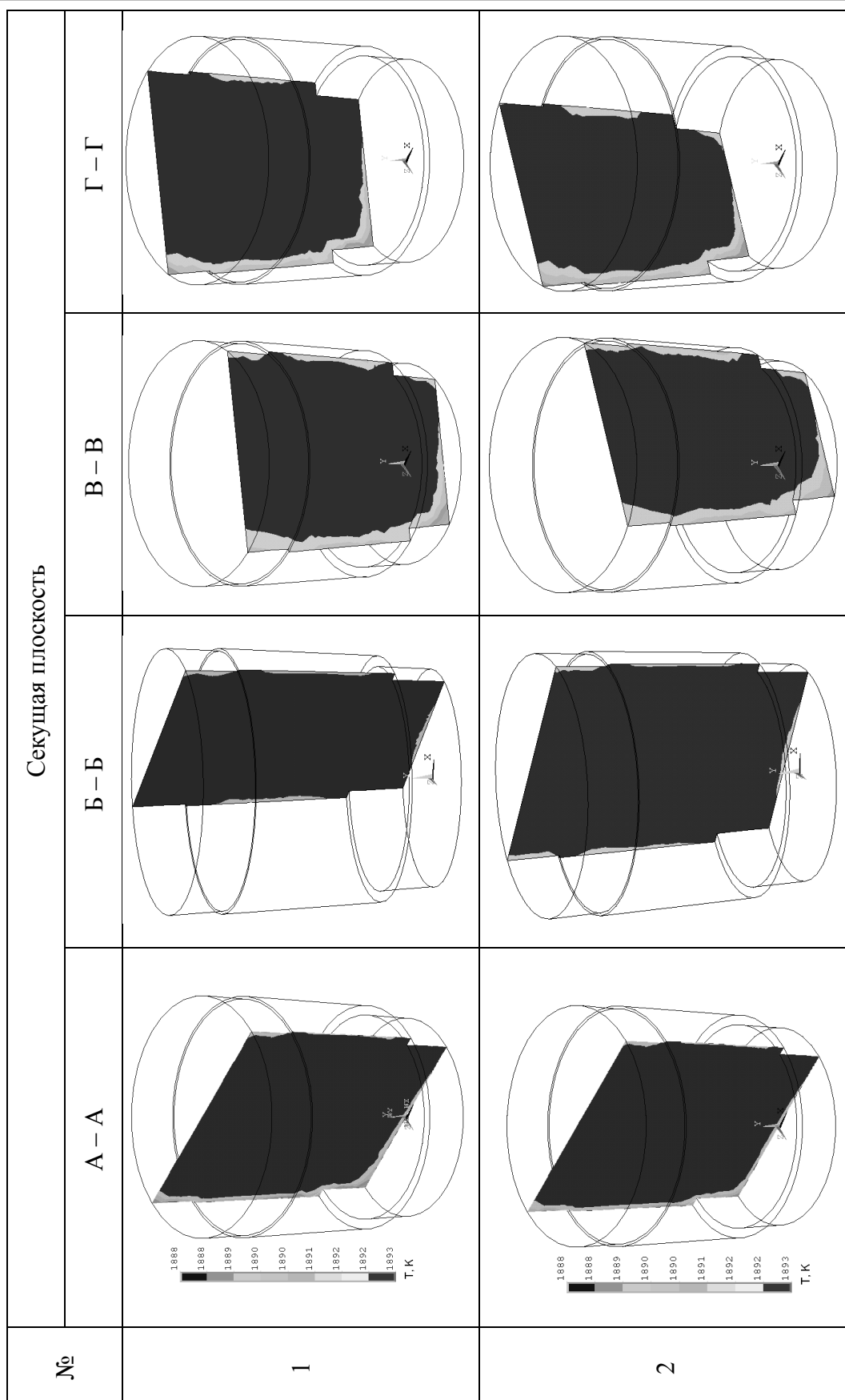


Таблица 5 – Картины температурных полей в 75 т ковше для разных вариантов расположения продувочных отверстий



Так как по температурному состоянию расплава все рассмотренные варианты расположения продувочных отверстий показали подобные результаты, то далее были проанализированы пристеночные касательные напряжения, возникающие в расплаве в ходе его продувки (таблицы 6 – 7).

Представленные картины демонстрируют, что наибольшее воздействие потоков расплава на футеровку отмечается на днище, в местах, прилегающих к продувочным отверстиям. Также на рабочей футеровке, с ближайшей стороны к восходящим от продувочных отверстий потокам расплава будет происходить изнашивание. Для ковша 75 т активному воздействию потоков расплава подвержена и нижняя часть придонной футеровки. Футеровка шлакового пояса во всех случаях имеет незначительное нагружение (до 0,2 МПа).

Анализ изменения максимальных пристеночных напряжений в расплаве в зависимости от варианта расположения проду-

вочных отверстий (рис. 4) показал, что для существующего в конструкциях ковшей расстояния, на котором размещены продувочные отверстия, при изменении угла между отверстиями касательные напряжения практически остаются неизменными. Т.е. для случаев, когда продувочные отверстия размещены близко к стенкам ковша, интенсивность воздействия расплава на футеровку определяется именно этим геометрическим параметром (расстоянием от оси ковша до оси отверстия). Места интенсивного изнашивания рабочей футеровки меняются в зависимости от угла между отверстиями, но степень воздействия почти не меняется. Эта тенденция отмечается для обеих ковшей, однако в ковше 120 т уровень возникающих напряжений в 4,5 раза выше, что противоречит закономерностям, отмеченным при моделировании на двумерных моделях ковшей (там большие напряжения возникали в ковше меньшей вместимости).

Таблица 6 – Картины пристеночных касательных напряжений в расплаве для ковша 120 т при различном расположении продувочных отверстий

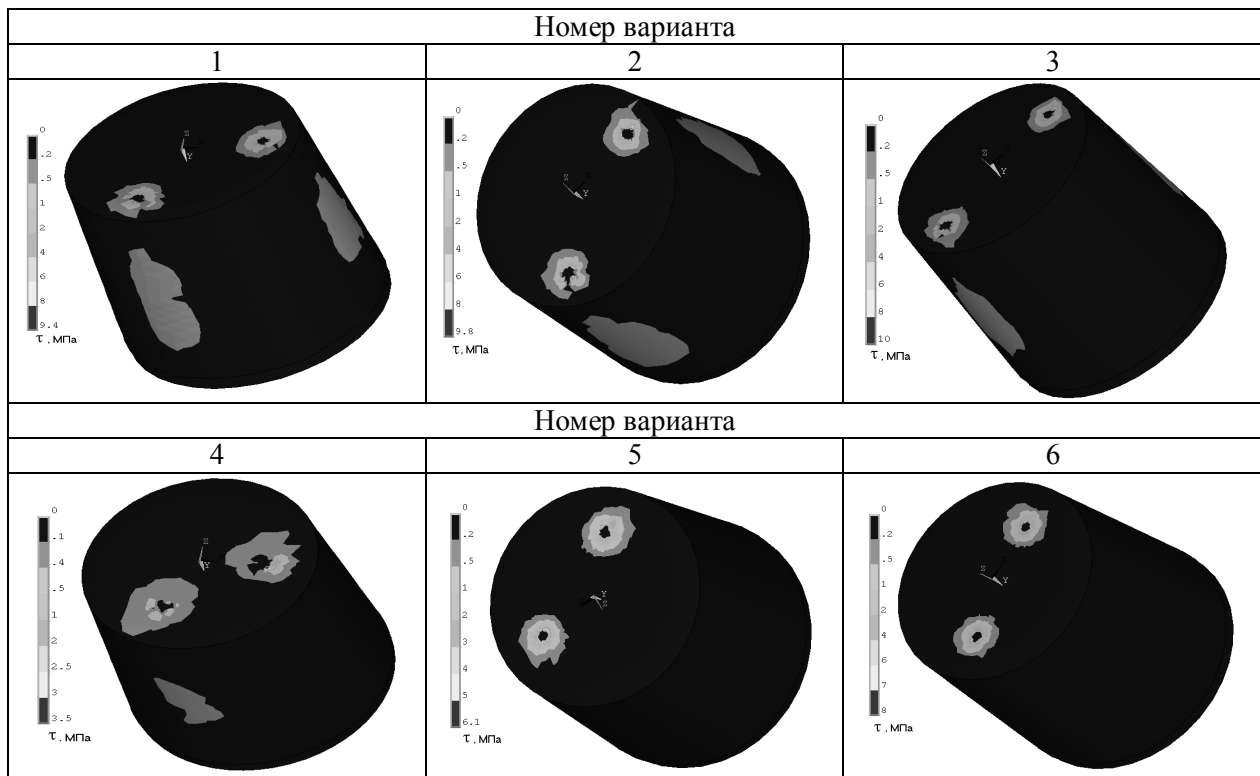
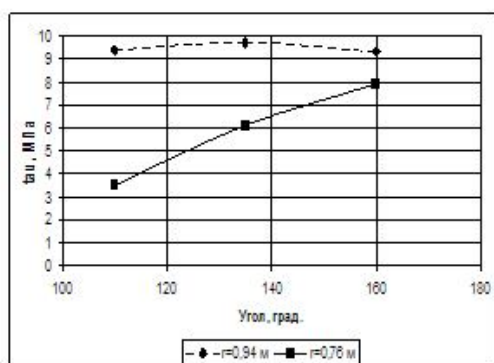
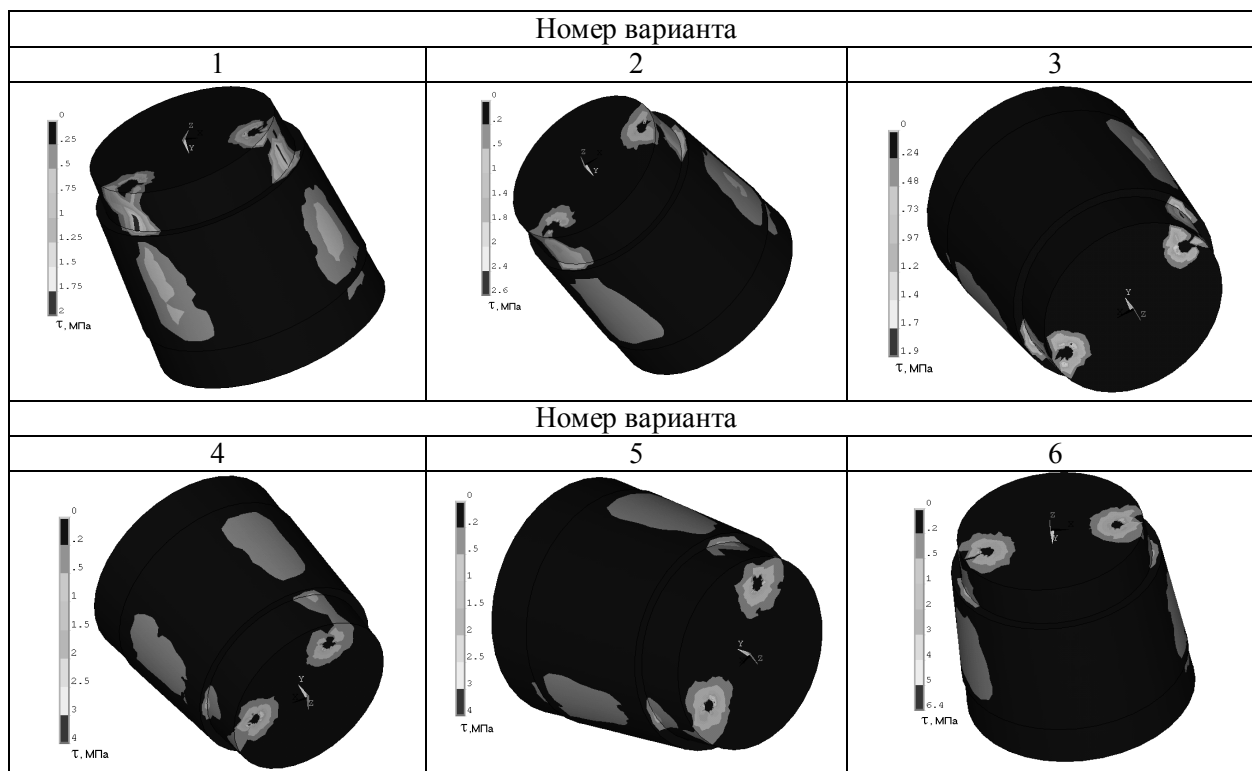
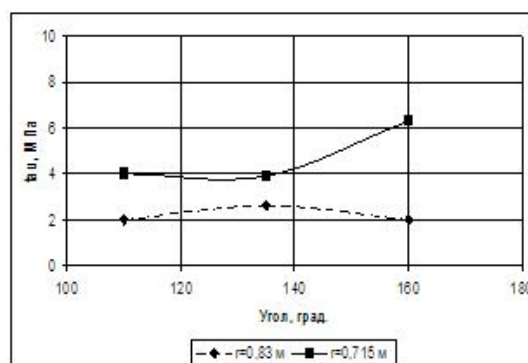




Таблица 7 – Картины пристеночных касательных напряжений в расплаве для ковша 75 т при различном расположении продувочных отверстий



а



б

Рисунок 4 – Графики изменения максимальных пристеночных касательных напряжений в расплаве при разных вариантах расположения продувочных отверстий в ковше 120 т (а) и 75 т (б)

Однако рассмотрение картин напряжений показывает, что максимальные касательные напряжения, значения которых использовались при построении графиков, возникают на днище, возле продувочных отверстий. Уровень же напряжений в зоне рабочей футеровки для ковша 120 т меньше в 1,3...1,5 раза, чем для ковша 75 т, что подтверждает вывод, полученный при

двумерном моделировании, т.е. изнашивание рабочей футеровки в ковше малой вместимости протекает более интенсивно.

При размещении продувочных отверстий на расстоянии  $r/R_H=0,65...0,7$  значения максимальных касательных напряжений (наблюдаемых на днище) возрастают при увеличении угла между отверстиями, достигая наибольших значений при почти

диаметральном расположении отверстий ( $\alpha=160^\circ$ ).

Причем для ковша 120 т уровень максимальных напряжений ниже, чем при существующем расстоянии для размещения продувочных отверстий, а для ковша 75 т наоборот выше. Но анализ напряжений в области рабочей футеровки показал, что размещение продувочных отверстий на рациональном расстоянии снижает пристеночные касательные напряжения в расплаве до 0,2...0,4 МПа для ковша 120 т и 0,2...0,5 МПа для ковша 75 т. Причем меньшие значения отмечаются при угле расположения отверстий с углом  $160^\circ$ .

Таким образом, обобщая результаты математического моделирования процесса

перемешивания расплава в ковшах «Энергомашспецсталь», можно сделать следующие рекомендации по расположению продувочных отверстий и режиму продувки, при которых обеспечиваются наиболее равномерное температурное перемешивание расплава и наименьшее изнашивание футеровки ковшей:

1.Продувку следует вести через два продувочных отверстия.

2.Желательно продувку через два отверстия выполнять с одинаковыми расходами.

3.Наиболее рациональным расположением продувочных отверстий можно считать диапазон расстояний  $r/R_H=0,6...0,7$  и угол между отверстиями  $\alpha = 160 - 180^\circ$ .

### Библиографический список

1. Ошовская Е.В. Моделирование температурных полей в сталеразливочном ковше агрегата ковши – печь / Е.В. Ошовская, И.Н. Салмаш // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2004. – №8. – С. 120-123.
2. Ошовская Е.В. Моделирование процесса перемешивания расплава в сталеразливочном ковше с двумя продувочными отверстиями/ Е.В. Ошовская, И.Н. Салмаш, А.Н. Минтус, А.Ю. Цупрун, Д.А. Денисенко, Е.В. Штепан // *Металл и литье Украины*. – 2006. – №1. – С. 62-65.
3. Смирнов А.Н. Математическое моделирование процесса перемешивания стали в агрегате ковши - печь / А.Н. Смирнов, И.Н. Салмаш, Е.В. Ошовская, В.С. Седуш // *Наукові праці ДонНТУ. Металургія. Випуск 102*. – 2005. – С. 71-81.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. Новохатским А.М.*

*Статья поступила в редакцию 02.07.13.*

**к.т.н. Салмаш І.М.** (ДонНТУ, м. Донецьк, Україна)

### **ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕМІШУВАННЯ РОЗПЛАВУ ПРИ ПРОДУВЦІ ЧЕРЕЗ ДВА ОТВОРИ НА ТРИВИМІРНИХ МОДЕЛЯХ КОВШІВ**

*У статті представлені результати дослідження процесу перемішування розплаву при продувці через два отвори на тривимірних моделях ковшів, які виконані на математичних моделях, з розробленими з використанням навчальної версії прикладного пакета ANSYS/ED, що реалізує метод кінцевих елементів. Визначене раціональне розташування продувних вузлів.*

**Ключові слова:** *схеми перемішування, футерівка, ківш, продувна фурма, дослідження, діапазон розташування продувних фурм, потік.*

**Salmash I.N.** (DonNTU, Donetsk, Ukraine)

### **STUDY OF MIXING IN MELT PURGE IN TWO HOLES IN THE THREE-DIMENSIONAL MODELS BUCKET**

*The paper presents the results of a study of the process of mixing the melt by blowing through the two holes on three-dimensional models of buckets, which are made on mathematical models developed using a training version of the application package ANSYS / ED, implementing the finite element method. A rational arrangement purge nodes.*

**Key words:** *mixing scheme, lining, scoop, the blowing lance study, the range of locations blowing lances stream.*