

Получение и обработка расплавов

или по ее границе. Площадь фосфидной эвтектики – ФЭП 2000. Неметаллические включения встречаются редко, имеют округлую форму, по составу – сульфиды марганца и железа.

Форма графита в чугуна плавки № 2 (рисунок, в) как и в предыдущей плавке пластинчатая, распределение графита в матрице чугуна равномерное и классифицируется как колонии пластинчатого графита ПГр 1.

Включения графита имеют размер до 90 мкм, занимают площадь более 10 % площади шлифа.

Металлическая основа чугуна состоит из мелкодисперсного перлита (рисунок, г), дисперсность перлита до ПД 1,0.

В табл. 4 приведены физико-механические свойства выплавленного чугуна.

Таблица 4. Физико-механические свойства чугуна

Номер плавки	Механические свойства		Твердость, НВ
	$\sigma_{в, МПа}$	$\sigma_{из, МПа}$	
1	216	304	227
2	274	427	264

Приведенные данные показывают, что удовлетворительные механические свойства металла достигаются при выплавке чугуна с использованием в шихте окатышей и шлама.

Таким образом, использование металлургического шлама и железорудного сырья при выплавке литейного чугуна позволяет обеспечить достаточное его качество и, уменьшив затраты на шихту, снизить себестоимость выплавленного металла.



Список литературы

1. Шалимов А. Г. // *Металлург.* – 2000. – № 1. – С. 52-53.
2. Вагнер Ф, Вегман Е. Р., Соскир Н. Ф. // *Steel Times Int.* – 1999. – № 7. – С. 12-14.
3. Справочник по чугунному литью / Под ред. Н. Г. Гиршовича. – М.: Машиностроение, 1978. – 758 с.

Поступила 10.11.2010

УДК 621.74:621.039.64

В. Л. Найдек, А. В. Наривский

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАЗМЕННОГО НАГРЕВА В ТЕХНОЛОГИЯХ ЛИТЕЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Показано влияние вакуумно-плазменной обработки расплава на процесс дегазации, структуру и прочностные характеристики деформируемых алюминиевых сплавов, полученных из шихты с разным содержанием металлоотходов. Приведены результаты по десульфурации чугуна в потоке вихревых реакторов.

Получение и обработка расплавов

Ключевые слова: алюминиевые сплавы, расплав, реагент, плазменная струя, металлоотходы, дегазация, десульфурация, структура, свойства.

Показано вплив вакуумно-плазмової обробки розплаву на процес дегазації, структуру та міцнісні характеристики алюмінієвих сплавів, що деформуються, одержаних із шихти з різною кількістю металовідходів. Наведено результати по десульфурзації чавуну в потоці вихрових реакторів.

Ключові слова: алюмінієві сплави, розплав, реагент, плазмовий струмінь, металовідходи, дегазация, десульфурация, структура, властивості.

The effect of vacuum-plasma treatment of the melt on the process of degassing, structure and strength characteristics of the wrought aluminum alloys smelted from a charge with different contents of metal wastes is showed. The results of the cast iron desulphuration in the stream using the vortical reactors are given in the paper.

Keywords: aluminum alloys, melt, reagent, plasma jet, metal wastes, degassing, desulphuration, structure, properties.

В настоящее время существует много способов обработки сплавов с использованием разных воздействий на жидкий металл, которые даже при одинаковом назначении сильно отличаются по сложности исполнения и влиянию на качество литых изделий. Одни способы обеспечивают высокую степень дегазации сплавов при слабом влиянии на процесс удаления из расплава неметаллических включений и примесей, другие – наоборот.

Поэтому эффективное рафинирование сплавов от газов и неметаллических включений достигается лишь при комплексной обработке расплава.

В ФТИМС НАН Украины научно обоснованы и разработаны экологически чистые процессы обработки цветных сплавов заглубленной в расплав плазменной струей в условиях вакуума [1-5]. В этих способах герметизацию вакуумной камеры осуществляют жидким металлом, который рафинируют. Новые технические решения позволяют с помощью простого оборудования проводить вакуумно-плазменную обработку сплавов в ковшах, на сливе из плавильного агрегата и непрерывной разливке металла (рис. 1)

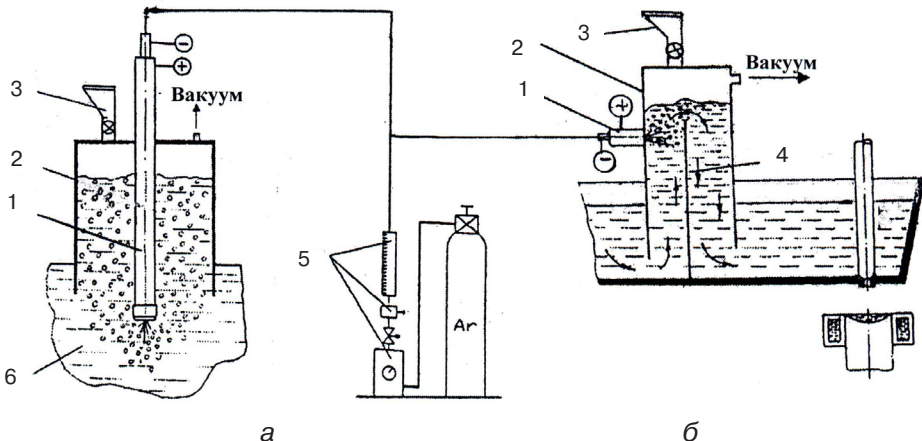


Рис. 1. Схемы вакуумно-плазменной обработки сплавов в ковше (а) и при непрерывной разливке металла (б): 1 – плазмотрон; 2 – камера вакуумная; 3 – дозатор для реагентов; 4 – перегородка; 5 – система подвода газа к плазмотрону; 6 – расплав

Плазмотрон вместе с камерой погружают в расплав и создают вакуум. Под действием разрежения металл поднимается на определенную высоту, которая зависит от величины остаточного давления в камере. Размеры камеры и расположение

сопла плазмотрона выбраны так, что все пузырьки газа при продувке металла поступают в камеру.

Необходимые для обработки сплава реагенты предварительно загружают в дозатор и подают их в камеру в процессе вакуумирования металла. Реагенты без окисления поступают в верхние слои расплава, где при продувке газовыми струями достигается самая высокая интенсивность массообмена. В результате этого вводимые добавки хорошо замешиваются в металл и равномерно распределяются в нем.

Известно, что при вакуумировании алюминиевых сплавов удаление водорода через поверхность расплава возможно из глубины ванны не более 0,05 м [6, 7]. Пропускание перемешиваемого газом жидкого металла над перегородкой (рис. 1, поз. 3) с регулируемой высотой потока позволяет эффективно дегазировать сплавы в диффузионном, промежуточном и кинетическом режимах удаления водорода из них при вакуумировании.

Эффективность процесса рафинирования алюминиевого сплава АК7 по схеме (рис. 1, а) представлена в табл. 1. Видно, что создание разрежения над расплавом при продувке ванны газовыми струями позволяет увеличить степень дегазации сплава на 30-35 % по сравнению с обработкой металла в атмосферных условиях.

Таблица 1. Содержание водорода, оксидных включений и прочностные характеристики сплава, обработанного разными способами

Способ обработки	H, см ³ /100 г	Al ₂ O ₃ , %	σ _в , МПа	δ, %
Без обработки	0,58	0,046	178	3,3
При атмосферном давлении	0,30	0,024	190	3,8
	0,18	0,020	212	5,5
В вакууме с остаточным давлением 8 КПа	0,21	0,029	226	4,9
	0,11	0,016	218	5,3

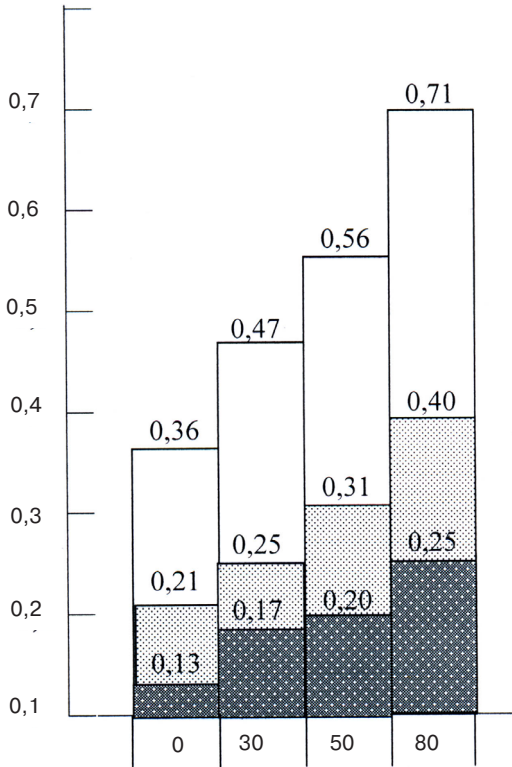
Примечание: числитель – после обработки расплава холодной струей аргона; знаменатель – плазменной струей

Изучено также влияние вакуумно-плазменной обработки на структуру и свойства алюминиевых сплавов АД31 (ГОСТ 2385-79), полученных из разной шихты. Для приготовления сплавов использовали стандартные чушки и металлоотходы. Половину этих отходов составляли бывшие в эксплуатации строительные конструкции (уголок, профиль), остальное – прессостатки после экструзионного получения изделий из сплава АД31. Плавку и обработку сплавов проводили в чугунном тигле (емкость 100 кг) печи сопротивления. Жидкий металл рафинировали в течение 10 мин при температуре 730-735 °С. Расплав продували плазменной или холодной газовой струей с одинаковым расходом аргона 7,5 л/мин при разрежении в вакуумной камере ~ 8 КПа. Холодный аргон подавали в глубь металла через отключенный от источника тока плазмотрон. Напряжение на плазмотроне в процессе обработки составляло 35-40 В, ток – 550-560 А.

С увеличением доли металлоотходов в шихте до 80 % содержание водорода в сплавах повышается в 2,3-2,4 раза (рис. 2). Рафинирование расплава холодным аргоном в вакууме позволяет снизить концентрацию водорода в сплавах на 42-45 %. При вакуумно-плазменной обработке дегазация сплавов проходит эффективнее и содержание водорода в них уменьшается на 61-64 %.

Остаточная концентрация водорода в закристаллизованных сплавах зависит от качества шихтовых материалов. После вакуумно-плазменной обработки полученного из чушки сплава содержание водорода в нем снижается до 0,13 см³/100 г. По мере увеличения доли металлоотходов в шихте до 30, 50 и 80 % остаточная концентрация водорода в сплавах повышается до 0,17-0,25 см³/100 г.

H, см³/100 г



Количество (M) металлоотходов в шихте

Рис. 2. Концентрация водорода в сплавах после обработки их в вакууме: – без обработки; – холодным аргоном; – плазменной струей

Более эффективная дегазация сплавов при глубинной обработке расплава плазмой по сравнению с холодной продувкой достигается за счет: увеличенной в 2-3 раза поверхности газовых пузырей в реакционной зоне струи; повышенных скоростей массопереноса водорода из расплава в высокотемпературные пузырьки рафинирующего газа и в перегретом плазменном металле; более интенсивного разрушения и обновления пограничного слоя на нагретых пузырьках газа за счет мгновенного уменьшения их объема при охлаждении до среднемассовой температуры сплава; превращения в перегретом плазменной струей сплаве низкотемпературной модификации оксидов $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ в корунд ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$), которое возможно при температуре расплава 1000 °С и выше [8]. Корунд не адсорбирует водород, поэтому рафинирование сплавов с ним происходит также, как и очищенного от оксидов металла [9, 10].

В процессе дегазации из расплава удаляются в основном крупные оксиды. Снижение концентрации таких включений в металле слабо влияет на структуру и газосодержание закристаллизованных сплавов

[11]. Перемешивание расплава в вакууме способствует удалению из сплавов и более мелких включений. После вакуумно-плазменного рафинирования содержание оксидов в сплавах уменьшается на 60-65 % (см. табл. 1).

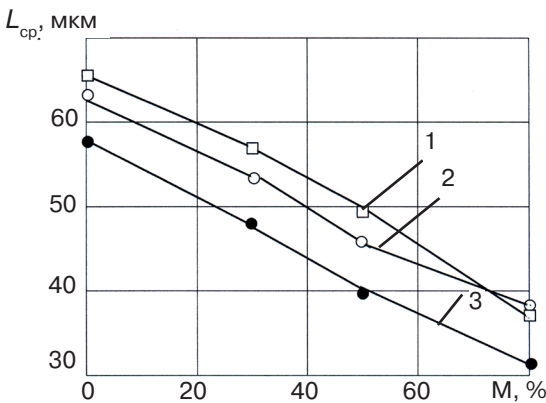


Рис. 3. Средний размер зерна в сплавах после обработки расплава в вакууме: 1 – без обработки; 2 – холодной струей аргона; 3 – плазменной струей

Дисперсные оксиды, которые остаются в расплаве, способствуют зародышеобразованию в сплавах, а их количество зависит от загрязненности шихтовых материалов. Поэтому с увеличением содержания металлоотходов в шихте размеры структурных составляющих в сплавах уменьшаются (рис. 3). Средний размер зерна ($L_{ср}$) в сплаве из чушки составляет 68 мкм. При добавлении в шихту металлоотходов в количестве 30, 50 и 80 % величина зерна в сплавах уменьшается до 57, 49 и 36 мкм соответственно (рис. 3).

После обработки расплава холодным аргоном в вакууме $L_{ср}$ в сплаве из чушки уменьшается до 62 мкм, а в

Получение и обработка расплавов

сплавах из шихты с 30 и 50 % отходов – до 55 и 47,5 мкм. Вакуумирование перемешиваемого холодным аргоном расплава из шихты с 80 % металлоотходов слабо влияет на структуру сплава и L_{cp} в нем практически не изменяется.

В сплавах, обработанных плазменной струей в вакууме, величина зерна на 3,5-15,0 % меньше по сравнению с продувкой расплава холодным аргоном. Это можно объяснить, во-первых, разной интенсивностью перемешивания сплавов, под действием которого уменьшается масштаб микрогруппировок в расплаве. Мощность перемешивания жидкого металла плазменной струей в 4,0-4,5 раза больше по сравнению с холодной. Поэтому в процессе плазменного рафинирования разрушение микрогруппировок в расплаве происходит интенсивнее и их размеры уменьшаются в 2,0-2,5 раза. Во-вторых, при плазменной обработке в сплавах могут образовываться дополнительные дисперсные включения за счет разрушения интерметаллидов и крупных оксидов под воздействием высокотемпературной струи («тепловой удар»). В результате этого уменьшается негативное влияние наследственности шихтовых материалов и соединений железа на свойства сплавов.

В реакционной зоне плазменной струи происходит также испарение компонентов сплава. Образующиеся пары металлов при выходе из этой зоны быстро охлаждаются до среднемассовой температуры металла («конденсируются»). Частицы такого «конденсата» способствуют возникновению пузырьков водорода в расплаве и интенсифицируют процесс зародышеобразования в сплавах. В зависимости от энергетических параметров плазматрона масса испарившихся компонентов в расплаве может изменяться в широких пределах. Определили, что за одну минуту глубинной обработки плазматроном (мощность 18-20 кВт) в расплаве испаряется до 0,18 кг компонентов алюминиевого сплава АК7.

Изменения, которые происходят в расплаве и структуре сплавов при разных способах их обработки, оказывают влияние на механические свойства литого металла (рис. 4). С повышением содержания отходов в шихте предел прочности на разрыв в нерафинированных сплавах уменьшается. Относительное удлинение сплавов из шихты, содержащей до 60 % отходов, составляет 20-22 %. Дальнейшее добавление металлоотходов в шихту приводит к снижению пластичности металла. После рафинирования расплава холодным аргоном в вакууме прочность сплавов увеличивается на 3-6 % при их относительном удлинении 13-20 %. Вакуумно-плазменная обработка расплава позволяет повысить предел прочности на разрыв сплавов на 15-18 %, пластичность – на 32-45 %.

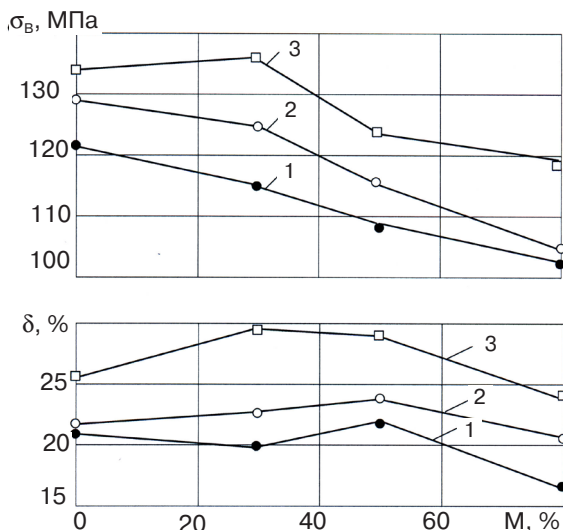


Рис. 4. Прочностные характеристики сплавов из шихты с разным содержанием металлоотходов: 1 – без обработки; 2 – рафинированные аргоном в вакууме; 3 – после вакуумно-плазменной обработки

Повышенные значения механических свойств металла после обработки его плазмой в вакууме обусловлены эффективным рафинированием сплавов и измельчением структурных составляющих в них. Кроме этого, при плазменном рафинировании расплав подвергается термовременной обработке в высокотемпературной зоне струи, что также способствует повышению прочностных характеристик в литом металле.

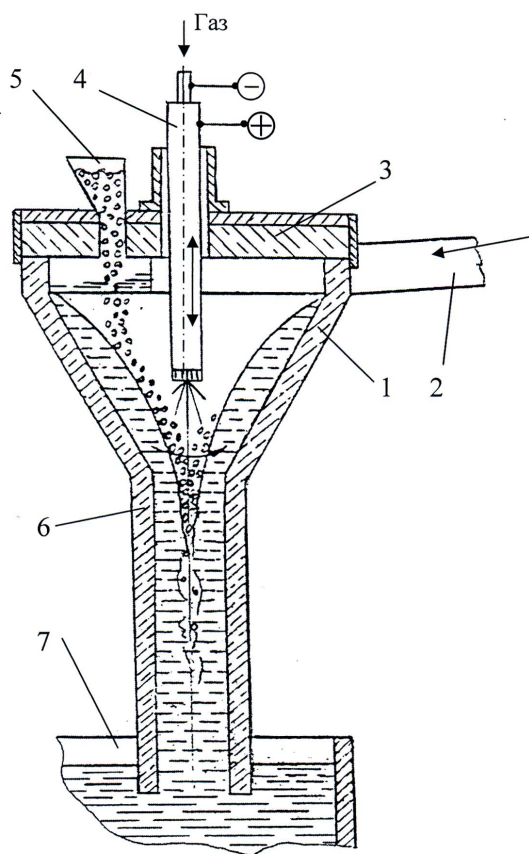


Рис. 5. Схема обработки металла в плазменном вихревом реакторе: 1 – воронка; 2 – желоб для тангенциального подвода расплава в воронку; 3 – крышка; 4 – плазматрон; 5 – дозатор; 6 – труба сливная; 7 – ковш

Металл из плавильных агрегатов в процессе обработки сплавов сливается по желобу, который тангенциально подведен к воронке. Расплав в воронке закручивается по спирали и образует вихревое углубление до верхней части сливной трубы. Вводимые реагенты под действием центробежных сил и разности удельного веса концентрируются в вихревом углублении расплава, где расплавляются (испаряются) плазменной струей, захватываются жидким металлом и по сливной трубе поступают в ковш.

Обработку чугуна на сливе его из разных плавильных агрегатов проводили в реакторах без плазменного нагрева. Порошковые реагенты подавали в реактор по вибродозаторам. После рафинирования расплава содой на сливе из индукционной печи и вагранки степень десульфурации чугуна составляет 45-46 %. При обработке чугуна порошковой смесью соды с карбидом кальция степень десульфурации металла увеличивается до 55 % (табл. 2).

Для наиболее полного использования преимуществ вихревого движения металла в конусную часть реактора устанавливали блоки, отлитые из расплавленной соды. Кроме чистой соды испытали также блоки, изготовленные из содового расплава, обработанного струей природного газа в течение 10 мин. В другом варианте (с целью удешевления обработки) часть плавленной соды (15 %) в блоке заменили известью. Из сравнения данных позиций 5 с 4 и 7 с 6 в табл. 2 видно, что оба варианта обработки чугуна достаточно эффективны. Применение вихревых реакторов с плазменным нагревом

Для рафинирования железо-углеродистых сплавов разработан способ обработки металла в потоке с применением вихревого реактора. В нем используется эффект завихрения струи расплава при тангенциальном вводе его в воронку (рис. 5). Вихревая струя, истекающая из воронки, на значительном протяжении сохраняет приобретенное вращательное движение расплава с осевым разрывом ее сплошности в сливной трубе. В результате этого на порядок увеличивается время контактирования вводимых частиц с расплавом по сравнению с обычной падающей струей. Устройства, в которых реализуется такой способ обработки, имеют простую конструкцию и обеспечивают высокую интенсивность массообмена в расплаве.

Реагенты подают в реактор с помощью вибродозаторов и специальных блоков, которые изготавливают из необходимых для обработки сплава реагентов и устанавливают в конусной части реактора. При обработке сплава металл постепенно размывает блок, а реагенты в жидком или парообразном состоянии проходят через слой вращающегося расплава и поступают в осевую часть потока.

Таблица 2. Условия и результаты десульфурации чугуна в потоке с применением вихревых реакторов

Номер позиции	Реагент	Расход реагента, %мас.	Масса металла, т	Плавильный агрегат	Степень десульфурации, %
1	сода порошкообразная	2	0,15	индукционная печь	46
2	сода и карбид кальция (1:1) порошкообразные	2	0,15	индукционная печь	55
3	сода порошкообразная	1	1,8	вагранка	45,2
4	сода плавленая	1,37	0,7	вагранка	54,4
5	сода плавленая с продувкой природным газом	1,35	0,7	вагранка	62,1
6	сода плавленая	0,5	40	доменная печь	45,6
7	сода плавленая и 15 %мас. извести	0,5	40	доменная печь	49,1

позволит: значительно увеличить степень рафинирования чугуна и стали за счет повышения реакционной способности вводимых в расплав реагентов; уменьшить в 2 и более раз расход материалов на обработку сплавов; снизить температуру перегрева металла в плавильных агрегатах.



Список литературы

1. Пат. 69091А Украина, МКИ С22В 9/04. Способ обработки жидкого металла / В. Л. Найдек, А. В. Наривский, Н. С. Ганжа и др. – Оpubл. 2004, Бюл. № 8.
2. Пат. 75166 Украина, МКИ С21С 7/10, С22В 9/00. Вакуумно-плазменная установка для обработки металлических расплавов / В. Л. Найдек, А. В. Наривский, Ю. П. Ленда и др. – Оpubл. 2006, Бюл. № 3.
3. Пат. 75829 Украина, МКИ С22В 9/00, Н05Н 1/26. Способ вакуумно-плазменной обработки сплавов / В. Л. Найдек, А. В. Наривский, В. И. Курпас и др. – Оpubл. 2006, Бюл. № 5.
4. Пат. 85988 Украина, МКИ С22В 9/05, Н05Н 1/26. Способ вакуумно-плазменной обработки металла / В. Л. Найдек, А. В. Наривский, Д. М. Беленький и др. – Оpubл. 2008, Бюл. № 2.
5. Пат. 81701 Украина, МКИ С22В 9/22, Н05Н 1/26. Способ обработки жидкого металла в промежуточном ковше / В. Л. Найдек, А. В. Наривский, В. И. Дубоделов и др. – Оpubл. 2009, Бюл. № 23.
6. *Richly O.* // Aluminium. – 1981. – № 8. – S. 546-548
7. *Winterhager H, Koch M.* // Giesserei. – 1978. – Bd.15, № 19. – S. 505-510.
8. *Ветчинкина Т. Н.* Исследование физико-химических свойств оксида алюминия, полученного щелочным и кислотным способами // *Металлы.* – 2009. – № 2. – С. 30-40.
9. *Егоров М. М.* О природе поверхности каталитически активной окиси алюминия // *Докл. АН СССР.* – 1961. – № 2, т. 140. – С. 401-404.
10. *Пименов Ю. П.* Изучение чистоты алюминия по неметаллическим включениям при обработке его в жидком состоянии // *Технология легких сплавов.* – 1967. – № 2. – С. 29-36.
11. *Курдюмов А. В.* Очистка сплавов цветных металлов от взвешенных неметаллических включений и растворенного водорода // *Литейн. пр-во.* – 1970. – № 5. – С. 4-6.

Поступила 12.01.2011