



The characteristics of the vacuum degassing process in RH-vacuumator of RUP "BMZ" are experimentally investigated. The profiles of vacuumator pressure, discharge of argon, metal temperatures and others for different melting processes of cord steel assortment are determined.

А. А. ЧИЧКО, В. Ф. СОБОЛЕВ, Д. М. КУКУЙ, БНТУ,  
Н. В. АНДРИАНОВ, В. В. ПИВЦАЕВ, РУП «БМЗ»

УДК 519:669.27

## О ФАКТОРАХ, ВЛИЯЮЩИХ НА УДАЛЕНИЕ ВОДОРОДА В ЦИРКУЛЯЦИОННОМ ВАКУУМАТОРЕ РУП «БМЗ» ДЛЯ РАСКИСЛЕННЫХ И НЕРАСКИСЛЕННЫХ СТАЛЕЙ

Важнейшей технологической операцией внепечной обработки сталей является процесс вакуумирования, позволяющий удалять из стали растворенные газообразные примеси и одновременно уменьшать содержание углерода и кислорода благодаря активизации взаимодействия между ними.

Известно, что каждая марка стали имеет свою комбинацию легирующих элементов, которая оказывает влияние на растворимость водорода в металле. Поэтому условия вакуумирования связаны с химическим составом сталей и непосредственно влияют на процесс удаления водорода. Считается, что значения параметров вакуумирования должны обеспечить достижение конечного содержания водорода не выше максимально допустимого, отрицательно влияющего на качество производимой заготовки.

Цель настоящей работы — изучение характера влияния различных факторов на удаление водорода для раскисленных и нераскисленных марок сталей при вакуумировании.

Работу выполняли на циркуляционном вакууматоре РУП «БМЗ». В процессе выполнения работы проводили регистрацию давления в рабочей камере вакууматора, времени обработки металла, текущего расхода аргона, подводимого для перемешивания металла. Определяли содержание углерода, водорода, азота и кислорода в металле до и после вакуумирования. Концентрацию водорода и кислорода в жидкой стали измеряли с использованием соответственно датчиков «Hydris» и «Celox» фирмы Electronite.

### Начальное содержание водорода

Одним из важнейших факторов, влияющих на удаление водорода из стали, является его начальное содержание [1]. На рис. 1 показаны зависимости степени удаления водорода при вакуумировании от его начального содержания в металле. Из рисунка видно, что в случае обработки нераскисленных сталей данная зависимость обладает меньшей корреляцией, чем при обработке раскисленных сталей. Для раскисленной стали наблюдается почти линейная зависимость между начальным и

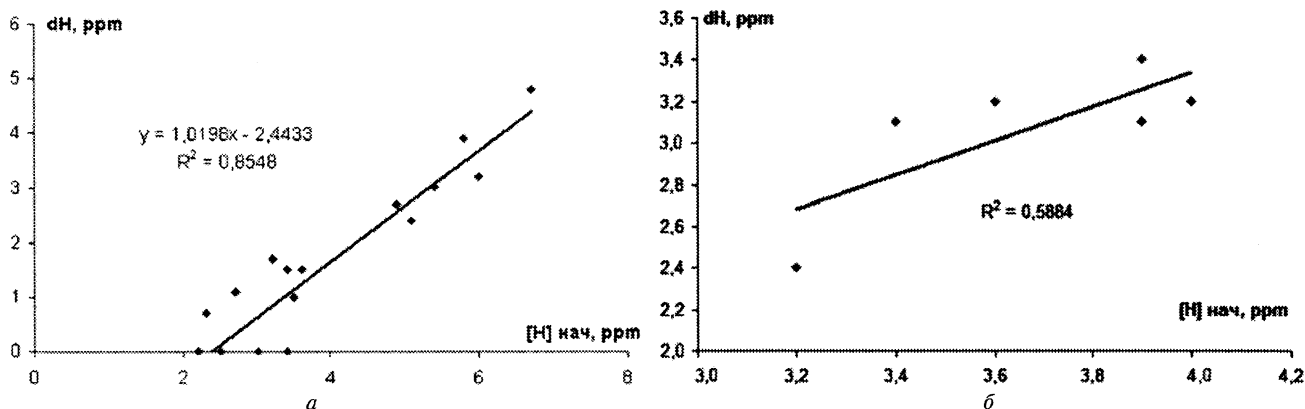


Рис. 1. Влияние начального содержания водорода на степень его удаления для раскисленных (а) и нераскисленных (б) марок сталей

конечным содержанием водорода. Это может быть объяснено тем, что в случае обработки данной группы сталей выделяющийся газ состоит преимущественно из водорода. Его парциальное давление непосредственно связано с содержанием водорода в металле по закону Сивертса. В то же время при обработке нераскисленных сталей парциальное давление водорода снижается из-за его выделения в пузырьки угарного газа. Таким образом, для нераскисленных марок сталей более важным фактором удаления водорода является степень нераскисленности стали, а также режим изменения давления, в то время как для раскисленных преобладает влияние начального содержания водорода.

#### Скорость продувки аргоном

На рис. 2 представлена зависимость показателей деводоразивания металла от скорости его продувки аргоном. Из рисунка видно, что как для нераскисленных, так и раскисленных марок сталей степень удаления водорода зависит от скорости продувки аргоном, повышаясь с увеличением ее значения. Данный факт согласовывается с положением о том, что расход промывочного газа является важным гидродинамическим фактором,

влияющим на кинетику процесса деводоразивания [1]. Несмотря на незначительное число экспериментальных данных, отчетливо просматривается тенденция к увеличению степени удаления водорода при возрастании расхода аргона. Данный факт требует более тщательного изучения.

#### Минимальное давление разрежения

Если бы процесс удаления водорода определялся в основном термодинамикой, конечное содержание водорода в стали линейно зависело бы от корня квадратного из минимального давления разрежения, как это описывается законом Сивертса [2]:

$$[\% \text{ H}] = K(p_{\text{H}_2})^{1/2}.$$

Как видно из рис. 3–5, конечное содержание водорода в стали 20 определяется как рабочим давлением вакуумирования, так и более сложными параметрами, одновременно учитывающими минимальное рабочее давление и время обработки.

Наибольшую корреляцию с квадратным корнем остаточного давления демонстрируют результаты обработки под вакуумом плавок стали 20. Такой вид корреляции свидетельствует о том, что в условиях РУП «БМЗ» для данных марок сталей значительное влияние оказывает остаточное дав-

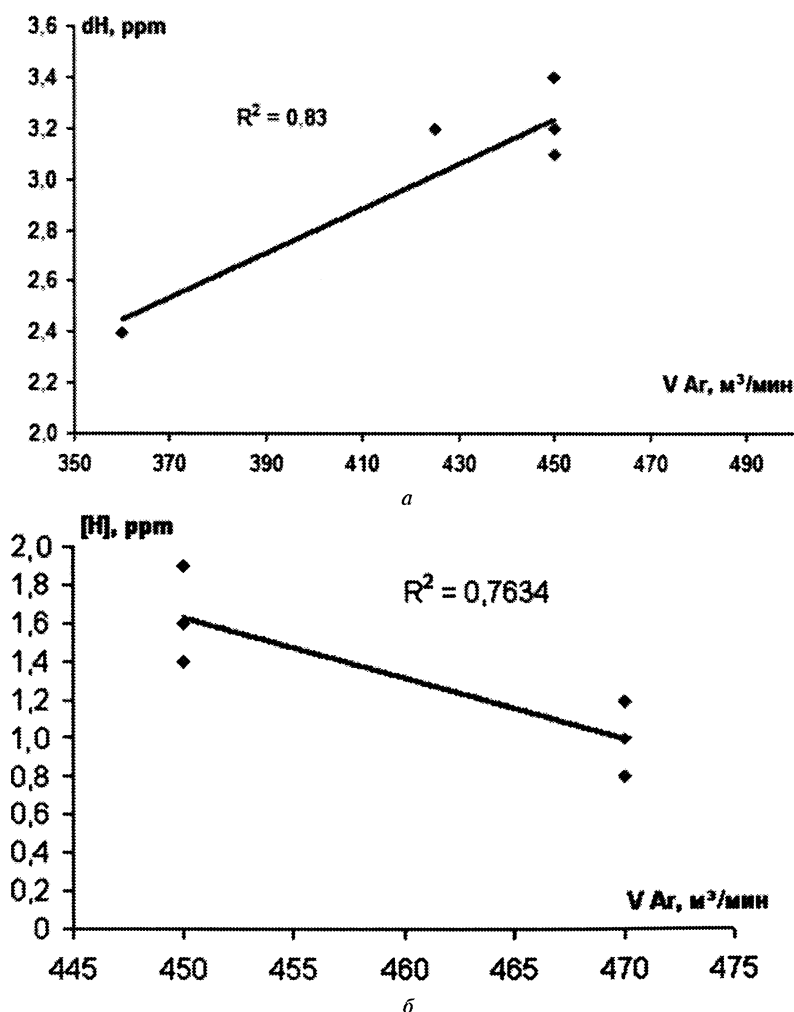


Рис. 2. Влияние скорости продувки аргоном на конечное содержание водорода для раскисленных (а) и уменьшение его содержания для нераскисленных (б) марок сталей

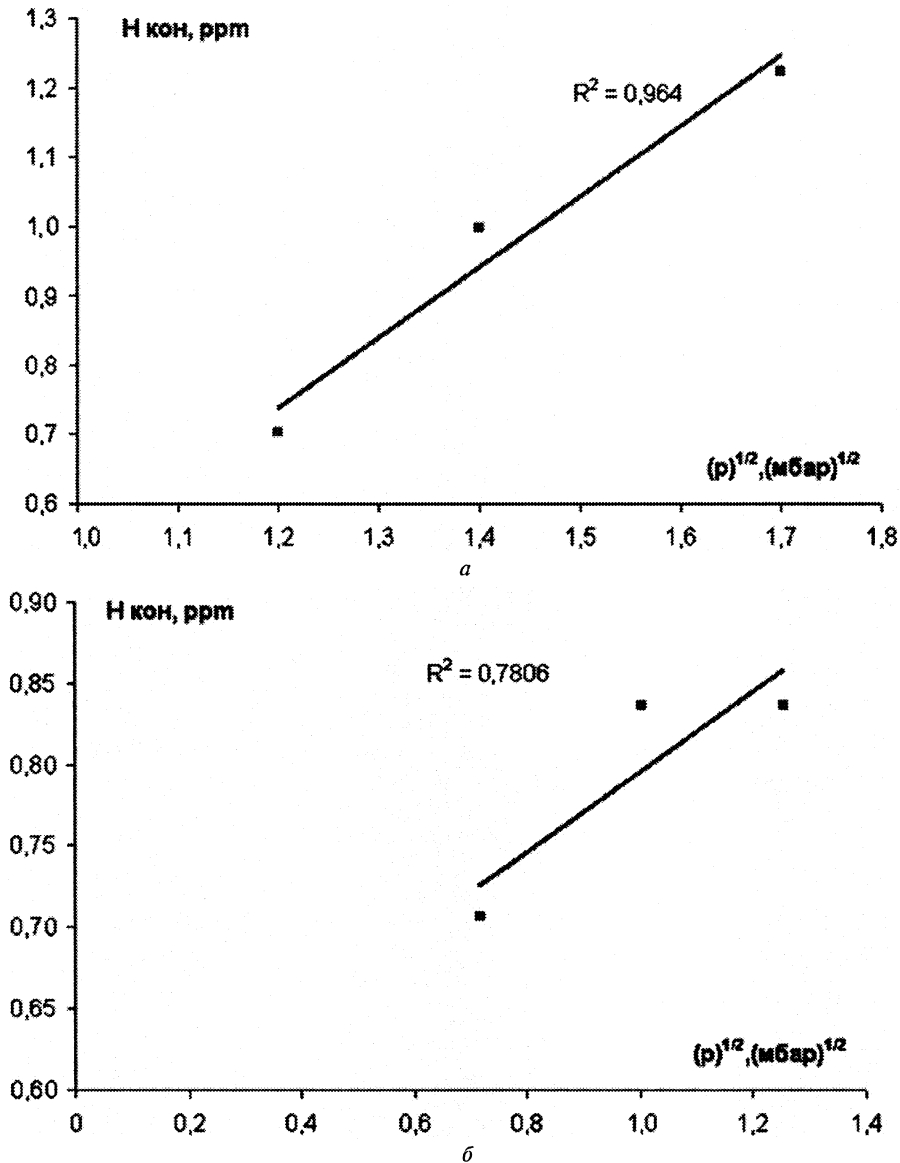


Рис. 3. Зависимость конечного уровня водорода для раскисленных (а) и нераскисленных (б) марок сталей от квадратного корня рабочего давления вакуумирования

ление. В то же время для нераскисленных марок стали корреляция с квадратным корнем давления значительно ниже корреляции с величинами, отражающими совместное влияние кинетических (время обработки) и термодинамических (остаточное давление в камере вакууматора) параметров. Даже при одновременном учете влияния времени обработки и давления зависимости для нераскисленных марок сталей значительно менее выражены. Следует отметить, что при одновременном построении данных плавки при различном расходе аргона результаты в гораздо меньшей степени подчиняются линейной зависимости, что еще раз подтверждает необходимость раздельного анализа влияния разных факторов.

По всей видимости, в случае обработки раскисленных сталей выделяющийся газ состоит преимущественно из водорода, парциальное давление которого напрямую связано с содержанием его в металле по закону Сивертса. В то же время

для нераскисленных марок стали конечное содержание водорода в большей мере зависит от режима обработки расплава и параллельно идущего процесса раскисления стали. Таким образом, при переходе от раскисленных к нераскисленным маркам стали влияние кинетических параметров возрастает и начинает в еще большей степени превалировать над термодинамическими. Необходимо отметить также, что для плавки № 34922 со временем вакуумирования 10 мин и расходом аргона 470 л/мин конечное содержание водорода составило наименьшую величину (0,8 ppm) по всей серии раскисленной стали марки 20. Этот факт подтверждает важность не только начального содержания водорода, но также и кинетических параметров, таких, как время обработки и расход аргона на перемешивание.

Среди комплексных параметров, одновременно учитывающих кинетические и термодинамические факторы процесса вакуумирования,

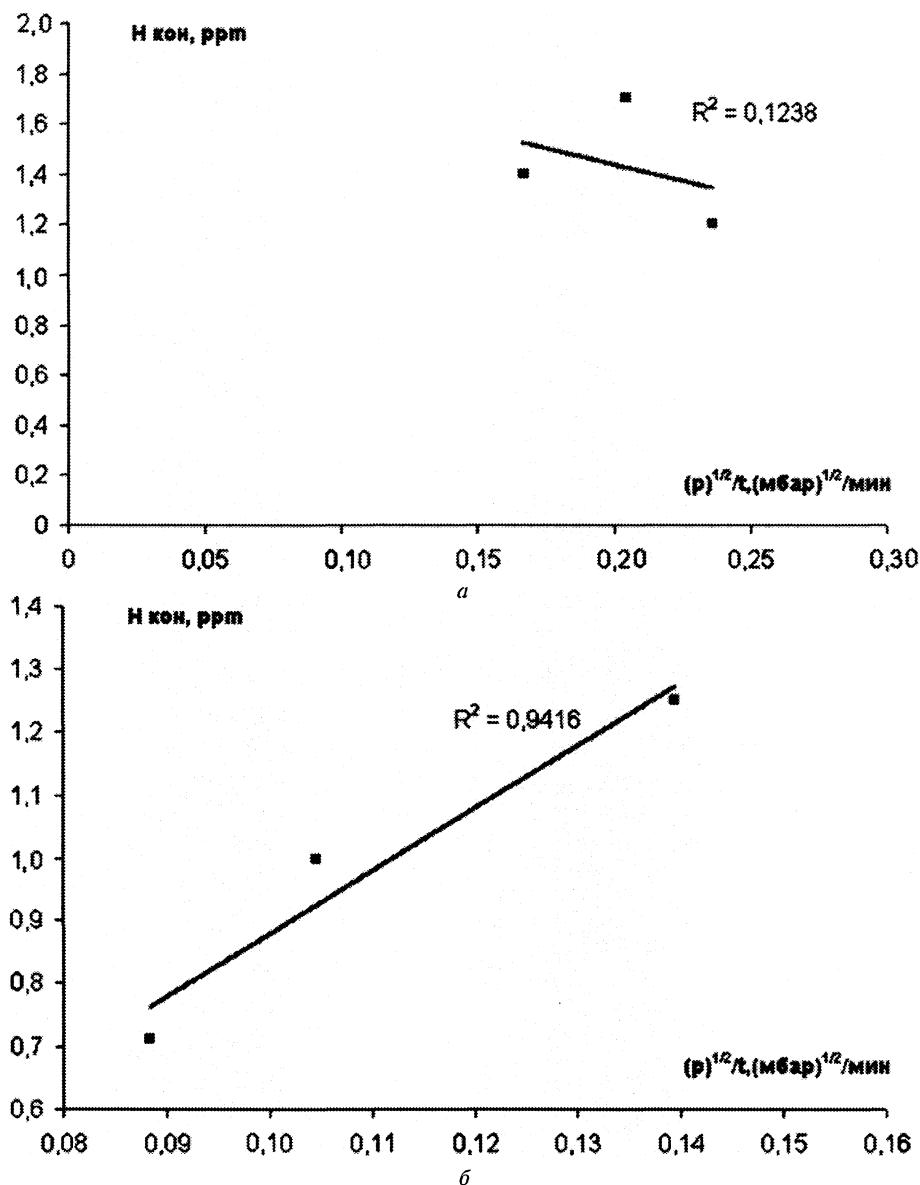


Рис. 4. Зависимость конечного уровня водорода для раскисленных (а) и нераскисленных (б) марок сталей от отношения квадратного корня рабочего давления вакуумирования к времени обработки

наиболее показательным для обеих групп сталей является соотношение давления и времени обработки:  $p/t$ .

Таким образом, процесс вакуумирования стали зависит от различной группы параметров, дальнейшее исследование которых предполагается выявить на следующих этапах работы.

#### Деазотация при вакуумировании

Одна из целей настоящей работы — изучение пределов удаления азота при вакуумировании стали. Как показывают результаты проведенных экспериментальных исследований, при обработке как кордового, так и углеродистого сортамента сталей удаление азота является незначительным: степень деазотации колеблется от 1,0 до 26% и в среднем составляет 10,7–11,5% (см. таблицу).

Незначительный объем экспериментальных данных по обработке раскисленных марок стали не позволяет сделать достаточно достоверных

выводов о степени деазотации металла в зависимости от раскисленности металла. Однако видно, что средняя степень деазотации при обработке кордового сортамента сталей незначительно превышает среднее значение при обработке раскисленной стали. Известно, что кислород оказывает двойное влияние на кинетику деазотации металла: с одной стороны, являясь поверхностно-активным элементом, он блокирует поверхность и препятствует десорбции азота с поверхности расплавленной стали. Доля поверхности, занятой растворенным кислородом, зависит от его концентрации в металле и при 50 ppm (максимальное значение для выполненных экспериментальных исследований) составляет примерно 30%. Таким образом, даже при максимальном содержании кислорода среди экспериментальных плавок влияние блокировки им поверхности вряд ли оказывает значительное влияние на степень удаления азота.

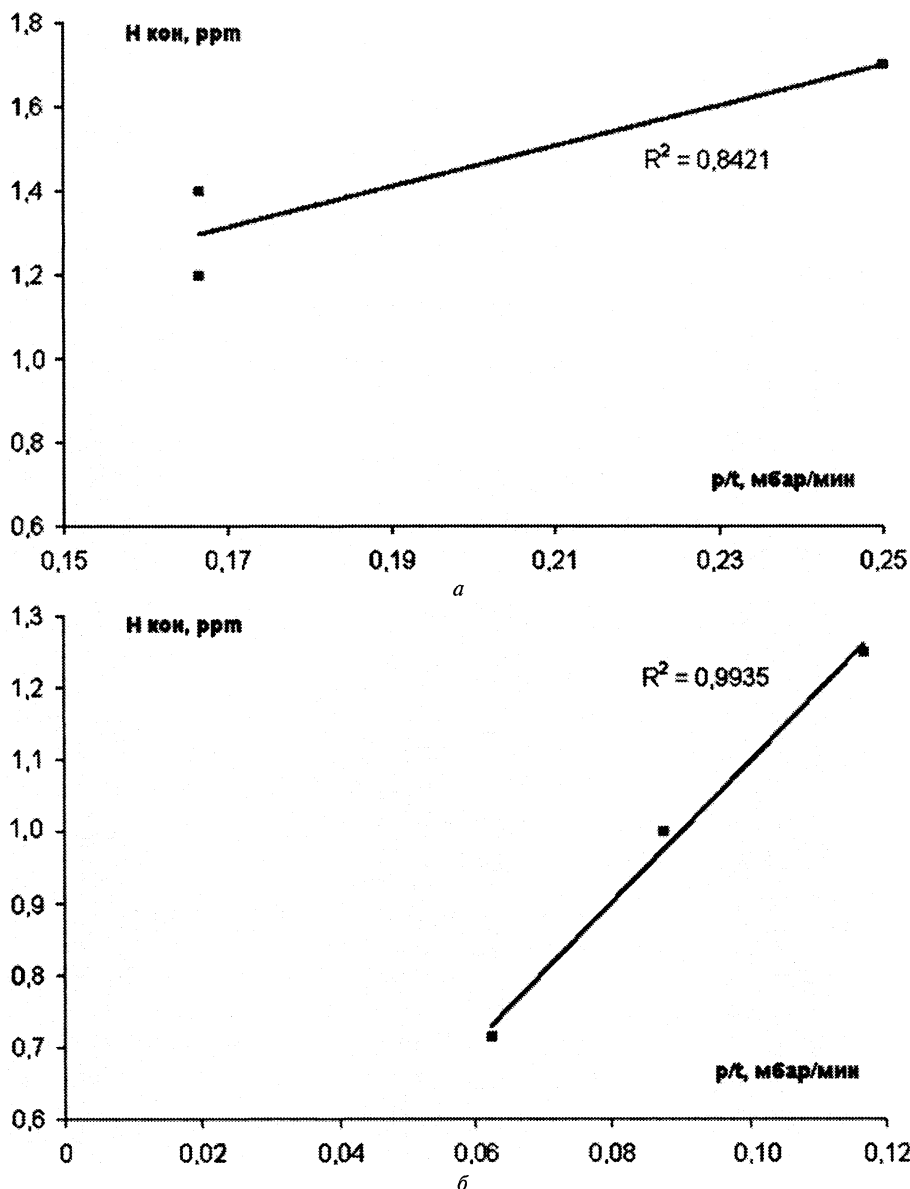


Рис. 5. Зависимость конечного уровня водорода для раскисленных (а) и нераскисленных (б) марок сталей от отношения рабочего давления вакуумирования к времени обработки

**Результаты изучения деазотации для раскисленных и нераскисленных групп марок сталей**

Тип стали	Номер плавки	Содержание азота, ppm		Степень деазотации	Среднее значение
		до обработки	после		
Раскисленная	33313	93	84	9,68	10,73
	33314	93	94	-1,08	
	33345	81	70	13,58	
	33347	82	65	20,73	
Нераскисленная	39436	35	30	14,29	11,49
	39437	45	33	26,67	
	35029	45	44	2,22	
	35030	49	44	10,20	
	35031	45	40	11,11	
	35032	45	43	4,44	

С другой стороны, повышенное содержание кислорода, растворенного в стали, способствует бурному протеканию реакции обезуглероживания

металла. Мелкие пузырьки выделяющегося монооксида углерода с развитой поверхностью интенсифицируют процесс удаления азота. По всей

видимости, для нераскисленных марок стали влияние второго фактора преобладает, тем не менее, недостаточный объем экспериментальных данных не позволяет сделать надежных заключений.

#### **Выводы**

1. Экспериментально исследованы характеристики процесса вакуумирования в РН-вакууматоре РУП «БМЗ». Определены профили давления вакууматора, расход аргона, температура металла, начальные и конечные содержания водорода, кислорода, углерода и азота для различных плавок кордового сортамента сталей.

2. В случае нераскисленных марок стали основными параметрами, оказывающими влияние на конечное содержание водорода, являются сложные характеристики, одновременно учитывающие время и давление обработки под вакуумом. В то же время для раскисленных марок стали более важными параметрами являются начальное содержание водорода, остаточное давление в камере и время обработки.

3. Для обоих классов сталей важное влияние, помимо времени обработки, оказывает скорость продувки аргоном, что убедительно свидетельствует о том, что процесс деводороживания, кроме термодинамического контроля, в значительной степени зависит от кинетических факторов: расхода аргона на перемешивание, времени обработки под вакуумом.

4. Установлено, что при переходе от раскисленных к нераскисленным маркам стали влияние кинетических параметров (расход аргона, время обработки) возрастает и начинает в еще большей степени превалировать над термодинамическими (начальное содержание водорода, остаточное давление).

#### **Литература**

1. Кнюппель Г. Раскисление и вакуумная обработка стали. М.: Металлургия, 1984.
2. Линчевский Б.В., Соболевский А.Л., Кальменев А.А. Металлургия черных металлов. М.: Металлургия, 1986.