

ИЗУЧЕНИЕ ПРИЧИН ОБРАЗОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ДЕФЕКТОВ В СТАЛЬНОМ ПРОКАТЕ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

Ольга Александровна Морозова

студент 5 курса, очная форма

*Российская Федерация, г. Москва, Московский Государственный Технический
Университет имени Н.Э.Баумана, кафедра «Материаловедение в машиностроении»*

Научный руководитель: Л.В. Тарасенко

доктор технических наук, профессор кафедры «Материаловедение в машиностроении»

Данная работа была выполнена по заказу предприятия ОАО «Ижсталь» с целью выяснения причин образования поверхностных дефектов типа «раскатанный пузырь» (РП) на катаных полуфабрикатах углеродистых сталей.

Такие дефекты не одно десятилетие допускались на катаных полуфабрикатах, выпускаемых на металлургических заводах Советского Союза. В настоящее время на предприятии ОАО «Ижсталь» ужесточились требования по качеству поверхности полуфабрикатов ввиду появления зарубежных заказов.

В прокате существуют различные виды дефектов, одним из которых является дефект, называемый «раскатанный пузырь» (РП). По ГОСТ 21014-88 «раскатанный пузырь» представляет собой дефект поверхности в виде прямолинейной продольной тонкой трещины различной протяженности и глубины, образовавшейся при раскатке (расковке) наружного или подповерхностного газового пузыря слитка или литой заготовки (рис.1,2). Дефект часто располагается группами. Иногда встречаются единичные дефекты. На микрошлифе полость дефекта имеет форму мешка, обычно заполнена окалиной и располагается перпендикулярно или под различными углами к поверхности заготовки. К дефекту прилегает обезуглероженная зона с четкими границами, насыщенная мелкими частицами оксидов.

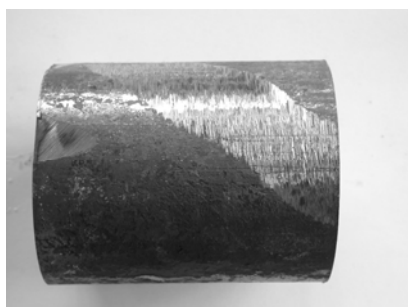


Рис. 1. Общий вид прокатанного прутка с механической зачисткой по дефекту

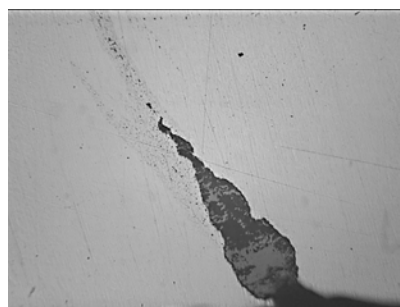


Рис. 2. РП при микроанализе (x90)

В настоящем исследовании требовалось выяснить, на какой стадии производства появляется дефект, не закладывается ли он при выплавке. Поэтому в задачу работы входило изучение различных дефектов, образующихся в полуфабрикатах на разных стадиях выплавки.

Материалом исследования являются шесть плавов двух сталей, стали 45 и стали 20Г2, химический состав которых приведен в табл.1 и табл.2.

Табл.1

Химический состав стали 20Г2 (%)							
C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
0.18 - 0.26	0.17 - 0.37	1.3 - 1.6	до 0.25	до 0.035	до 0.035	до 0.25	до 0.2

Табл.2

Химический состав стали 45 (%)							
C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
0.18 - 0.26	0.17 - 0.37	0.5 – 0.8	до 0.25	до 0.04	до 0.035	до 0.25	до 0.25

Наиболее тщательно были изучены все этапы разливки сталей от электропечи до сифонной разливки (табл. 3). Сифонная разливка проводится следующим образом: расплав выливается в центральный канал, из которого металл поступает в шесть изложниц, соединенных с этим каналом. Таких установок две: первый «куст» и второй «куст». Во время разливки на каждом «кусте» отбирается проба – «литник».

Табл. 3.

Место отбора образца в технологической цепи разливки стали 45(C45R) (плавка № 8038).

Марки- ровка образца	Место отбора образца в технологической цепи
1	Плавка. Проба по электропечи ложкой, после полного расплавления шихты. Металл раскислен ферросилицием в ложке.
2	Плавка. Проба из электропечи ложкой при скачивании шлака. Металл раскислен ферросилицием в ложке.
3	Плавка. Проба из электропечи перед выпуском металла, после скачивания шлака и предварительного раскисления ферросилицием.
4	Плавка. Из ковша, после выпуска из эл.печи (при выпуске давали 15 кг Al на струю), но до присадки на шлак кокса и Al сечки
5	При обработке на АКП. В начале процесса, после наведения шлака.
6	При обработке на АКП. В конце процесса, перед отдачей на разливку.
8038 1	Разливка. При наполнении прибыльной части первого куста.
8038 2	Разливка. При наполнении прибыльной части второго куста.
01	Разливка. Литник с первого куста.
02	Разливка. Литник со второго куста.

Исследованы образцы, отобранные по стадиям технологического цикла разливки. Дефекты были изучены следующими методами:

1. макроанализ и микроанализ с целью определения вида, дефектов, их расположения и количества,
2. спектральный локальный с целью определения химического состава дефектов-включений,

3. рентгеноструктурный анализ шлаков и поверхности РП с целью установления вероятности попадания частиц шлаков в места РП.

Исследование образцов, отобранных при выплавке и разливке сталей (плавки №№8038, 8052, 8056, 8058, 8068, 8071) проводили после полировки, без травления, на микроскопе Неофот-21 с различным увеличением.

Поле наблюдения структуры было выбрано на половине радиуса образца согласно схеме на рис. 3.

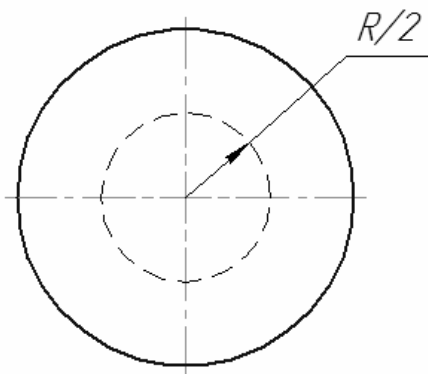


Рис. 3. Область наблюдения структуры цилиндрических образцов, отобранных на этапе выплавки и разливки опытных плавов.

По виду, количеству и характеру распределения включений в объеме отобранных проб металла предложена классификация макростроения по нескольким типам (табл. 4).

Табл. 4.

Классификация макростроения отобранных образцов по виду и распределению дефектов.

Тип I	Дефекты почти отсутствуют
Тип II	Мало дефектов, распределены равномерно
Тип III	Дефекты распределены неравномерно
Тип IV	Умеренное количество дефектов малого и среднего размера
Тип V	Много дефектов разного размера
Тип VI	Много мелких дефектов, распределены равномерно
Тип VII	Дефекты особой формы

Некоторые характерные типы макроструктуры по количеству, виду и распределению дефектов наблюдаемых на полированных и нетравленных шлифах образцов представлены на рис. 4-5.

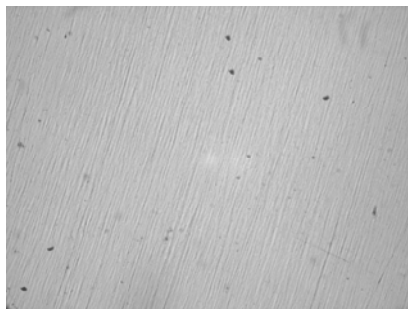


Рис. 4. Тип I. Дефекты почти отсутствуют (x25).

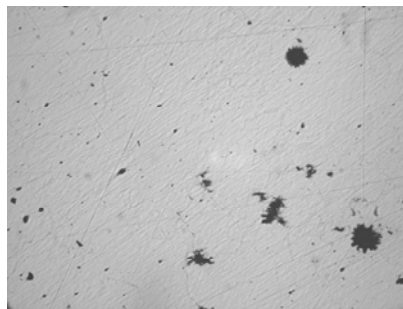


Рис. 5. Тип V. Много дефектов разного размера (x25).

Для количественной оценки размеров включений и занимаемой ими доли в плоскости шлифа использовали автоматизированный программный комплекс «Нексис». Поле наблюдения представляло собой прямоугольник размером 2,5 x 3,3 мм. На исследуемых образцах подсчитывали количество и средний размер дефектов, и затем программа рассчитывала долю дефектов от всего объема металла. Такие подробные измерения приведены на каждую из шести плавов. В табл. 5 приведён пример количественного анализа дефектов на плавке № 8038 (сталь 45, а обобщение расчётов по всем плавкам приведено на рис. 6.

Табл. 5.

Количественный анализ размера и площади дефектов образцов литой стали 45 (плавка №8038).

Маркировка образца	Место отбора образца в технологической цепи	Тип макро-структуры	Кол-во дефектов (на выбранной площади шлифов)	Размер, мм (среднее)	Средняя доля в объеме, $\% \cdot 10^{-3}$
1	Плавка. Проба по электропечи ложкой, после полного расплавления шихты. Металл раскислен ферросилицием в ложке.	Тип V	230-282	0,017	2,930
2	Плавка. Проба из электропечи ложкой при скачивании шлака. Металл раскислен ферросилицием в ложке.	Тип III	142-174	0,013	1,630
3	Плавка. Проба из электропечи перед выпуском металла, после скачивания шлака.	Тип II	240-306	0,008	0,625
4	Плавка. Из ковша, после выпуска из эл.печи (при выпуске давали 15 кг Al на струю).	Тип II	240-306	0,008	0,625
5	При обработке на АКП. В начале процесса, после наведения шлака.	Тип I	58-74	0,009	0,790

6	При обработке на АКП. В конце процесса, перед отдачей на разливку.	Тип I, VII	184-218	0,011	1,170
8038 1	Разливка. При наполнении прибыльной части первого куста.	Тип IV	142-174	0,013	1,630
8038 2	Разливка. При наполнении прибыльной части второго куста.	Тип I	58-74	0,009	0,790
01	Разливка. Литник с первого куста.	Тип I	58-74	0,009	0,790
02	Разливка. Литник со второго куста.	Тип III	142-174	0,013	1,630

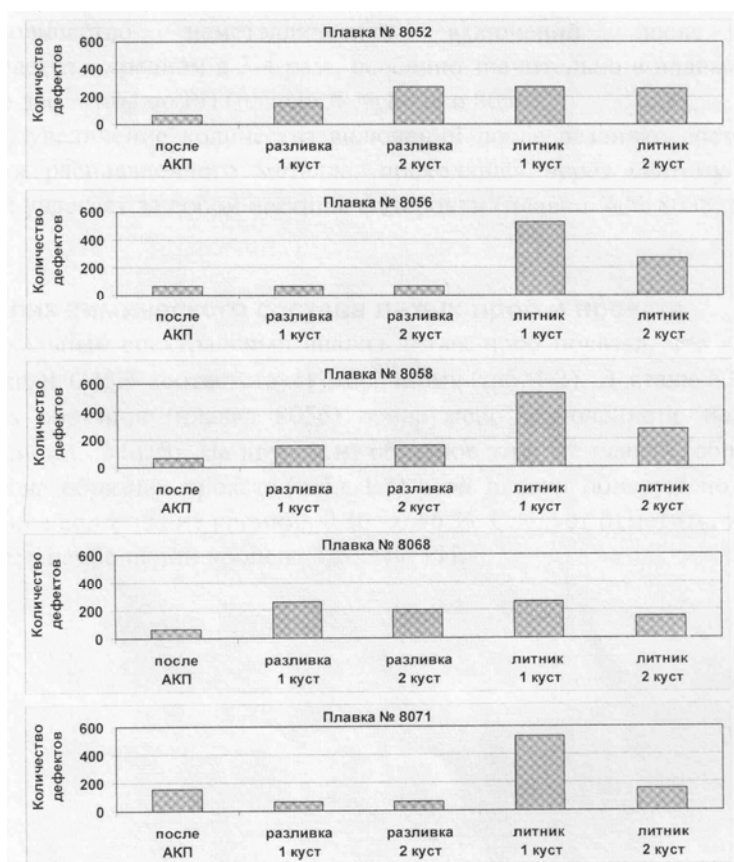


Рис. 6. Изменение количества дефектов на различных стадиях разливки

Наибольшее количество дефектов наблюдается в литниках разливки первого «куста». При микроанализе было обнаружено, что некоторые дефекты имеют различную морфологию и являются, очевидно, неметаллическими включениями.

Для образцов исследуемых плавов был проведен спектральный анализ на содержание химических элементов: углерода, хрома, марганца, никеля и кремния. Измерение содержания элементов проводили на атомно-эмиссионном спектрометре с лазерным возбуждением "СПЕКС ЛАЭС МПро", работающем по принципу микроспектрального определения химического состава материала в точке размером 0,1-0,15 мм и глубиной

испарения до 0,2 мм. Точечное испарение обеспечивается лазерным испарителем. Управление работой установки компьютерное. При одном разряде в точке определяли только содержание углерода, погрешность измерения до 15 %.

Анализируемая область будет представляла собой квадрат размерами 7х7 мм, на который приходилось по 25 измерений (рис. 7).

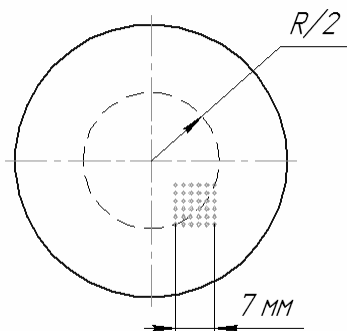


Рис. 7. Область наблюдения структуры цилиндрических образцов, отобранных на этапе выплавки и разливки опытных плавок.

Результаты исследования показали, что микроструктурно обнаруживаемые дефекты разделяются на две группы: образцы, где химический состав соответствует среднему составу стали, и образцы, где наблюдается повышенное содержание кремния и хрома, которые представляют собой, очевидно, неметаллические включения (табл. 6).

Табл. 6

Химический состав по хрому, марганцу, никелю и кремнию образцов некоторых плавок

Номер измерения		Образец 8052-2				Образец 8058-1			
		Cr	Mn	Ni	Si	Cr	Mn	Ni	Si
1-25	среднее	0,18	0,69	0,13	0,29	0,31	1,29	0,31	0,38
	«выпады»	-	0,85(7)	0,18(2)	0,34(2)	0,37(11)	1,37(3)	0,36(3)	0,42(3)
				0,17(3)	0,35(4)		1,41(8)	0,36(8)	0,44(8)
				0,15(7)	0,32(7)		1,45(10)	0,37(11)	0,47(11)
				0,15(9)	0,33(11)		1,76(11)		
				0,17(14)	0,32(13)				
				0,15(22)	0,34(15)				
				0,15(23)					

Исследование шлаков проведено с целью выяснения, не попадают ли частицы шлака в литой металл, а далее в прокат, где они могут являться причиной образования РП. Шлаки так же были отобраны на различной стадии разливки (табл. 7).

Табл. 7

Этапы отбора шлаков при выплавке		
№ плавки/ марка стали	№ шлака	Этап выплавки, на котором произведен отбор шлаков
8038/Сталь 45	1	Из электропечи, после полного расплавления шихты
	2	Из электропечи после скачивания шлака
	3	Из электропечи после скачивания шлака и предварительного раскисления ферросилицием
	4	Из ковша, после выпуска из электропечи, до присадки кокса и алюминиевой сечки
	5	АКП, в начале процесса, после наведения шлака
	6	АКП, в конце процесса, перед отдачей на разливку
8052/Сталь 45 8086/Сталь 45 8056/20Г2 8058/20Г2 8071/20Г2	1	Из электропечи после скачивания шлака и предварительного раскисления ферросилицием
	2	Из ковша, после выпуска из электропечи, до присадки кокса и алюминиевой сечки
	3	АКП, в начале процесса, после наведения шлака
	4	АКП, в конце процесса, перед отдачей на разливку

Предварительно был проведен осмотр шлаков для установления их морфологии и цвета (табл. 8).

Табл. 8

Морфология и цвет шлаков.

Сталь	№ плавки	№ шлака					
		1	2	3	4	5	6
Сталь 45 (C45R)	8038	Порошок черный	Порошок серо-черный	Твердый темно-серый пористый	Стеклообразный черно-зеленый	Порошок светло-серый	Твердый светло-серый
	8052	Стеклообразный зеленый	Стеклообразный черный	Твердый темно-серый	Твердый серо-голубой		
Сталь 20Г2 (S355J2G3)	8056	Стеклообразный иссиня-черный	Стеклообразный серо-зеленый	Стеклообразный серо-зеленый	Твердый серый матовый		
	8058	Порошок черный	Твердый серый	Твердый темно-серый	Твердый серо-зеленый		
	8071	Вязкий темно-серый	Твердый стеклообразный серый	Твердый пористый серый	Твердый серо-зеленый		

Для фазового анализа были отобраны характерные по морфологии и цвету шлаки, идентичные для различных плавов.

Рентгеновский фазовый анализ проведен на компьютеризированном аппарате ДРОН-4 в кобальтовом K_{α} – излучении. Скорость вращения

счетчика составляла 2 и 4 °/мин. Рентгенограммы, полученные от шлаков различной морфологии и цвета, представлены на рис. 8-10; данные дифрактограммы плавки 8038-6 стали 20Г2 - в табл. 9; данные по межплоскостным расстояниям всех образцов – в табл. 10.

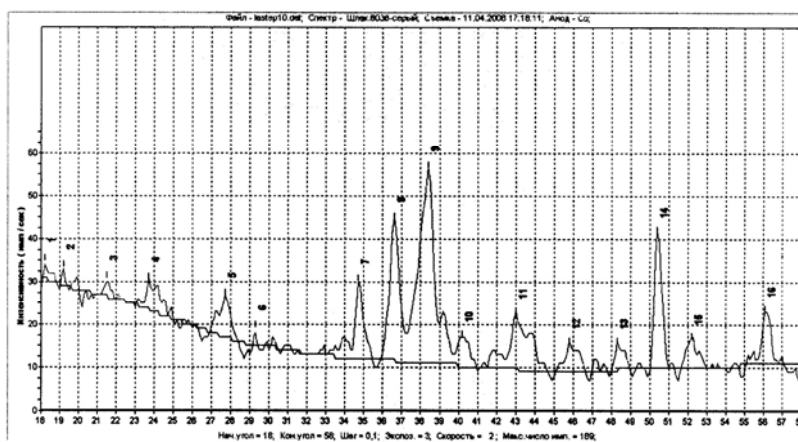


Рис. 8. Дифрактограмма шлака плавки 8038-3 (тв., темносерый)

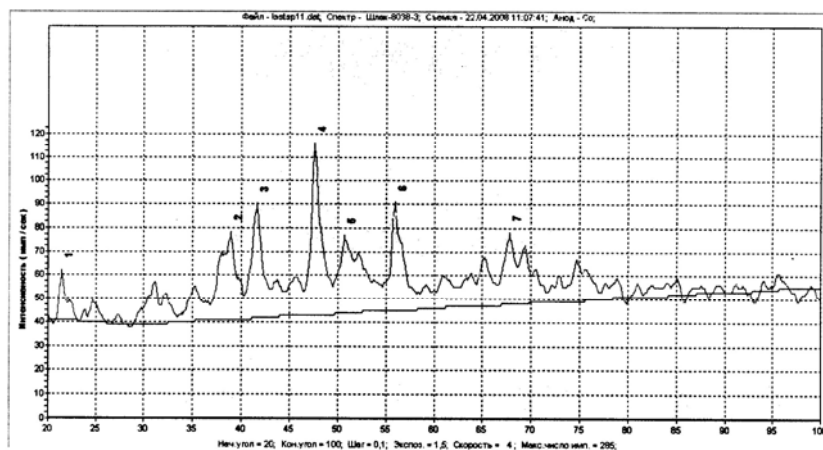


Рис. 9. Дифрактограмма шлака плавки 8052-3

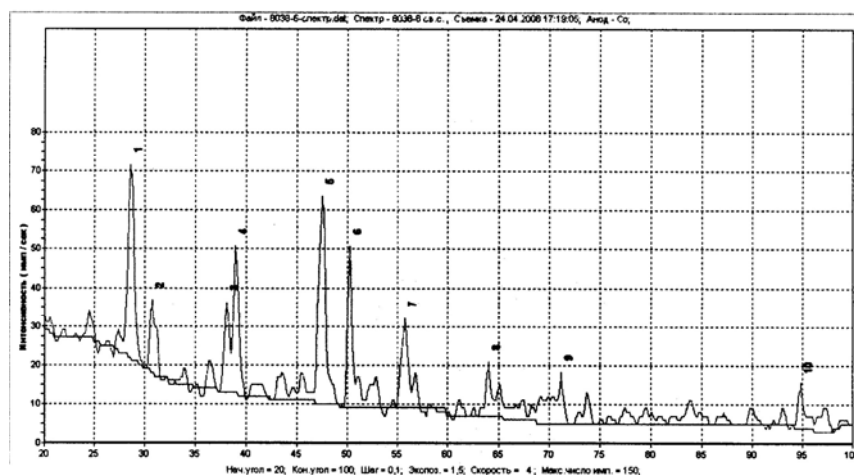


Рис. 10. Дифрактограмма шлака 8038-6 (тв., светлосерый)

Табл. 9

Данные дифрактограммы 8038-6 (стали 20Г2)

№ п/п	Угол	Площадь	Интенсивность	Полушир.	Межплоск.	% Макс.
1	28,6	19,07	48	0,7150	3,6239	92,31
2	30,7	9,69	17	0,7750	3,3814	32,69
3	38,1	7,59	21	0,6800	2,7424	40,38
4	38,9	15,14	37	0,6250	2,6881	71,15
5	47,5	17,41	52	0,7800	2,2225	100,00
6	50,2	11,09	40	0,5150	2,1101	76,92
7	55,7	8,97	22	0,8450	1,9161	42,31
8	64	5,03	13	0,6250	1,6891	25,00
9	71,2	3,08	11	0,6050	1,5377	21,15
10	94,8	4,91	10	0,7950	1,2160	19,23

Табл. 10

Межплоскостные расстояния фаз на дифрактограммах шлаков

№ п/п	Образец 8038-3		Образец 8038-3 с/з		Образец 8052-1 с		Образец 8038 с		Образец 8038-1	
	2teta	d	2teta	d	2teta	d	2teta	d	2teta	d
1	21,40	4,82(25)	24,70	4,18(30)	20,40	5,05(35)	18,20	5,65(10)	18,60	5,53(55)
2	38,90	2,68(50)	28,90	3,58(80)	22,40	4,61(20)	19,20	5,36(10)	23,60	4,39(60)
3	41,60	2,52(65)	36,10	2,88(55)	26,30	3,93(35)	21,50	4,79(10)	33,10	3,14(45)
4	47,60	2,21(x)	37,40	2,79(90)	28,20	3,67(20)	23,70	4,35(15)	34,30	3,03(45)
5	50,70	2,09(45)	41,20	2,54(20)	31,00	3,34(20)	27,70	3,73(20)	36,30	2,87(55)
6	55,90	1,91(60)	43,00	2,44(45)	32,10	3,23(20)	29,30	3,53(10)	38,20	2,74(75)
7	67,80	1,60(40)	44,10	2,38(30)	32,70	3,17(20)	34,70	3,00(40)	39,00	2,68(80)
8			48,10	2,19(60)	33,90	3,07(35)	36,60	2,85(70)	42,10	2,49(70)
9			50,10	2,11(x)	35,20	2,96(45)	38,40	2,72(x)	45,20	2,33(50)
10			52,50	2,02(30)	36,30	2,87(45)	40,20	2,60(15)	49,00	2,16(x)
11			55,20	1,93(25)	38,80	2,69(x)	43,00	2,44(30)	49,80	2,13(50)
12			58,10	1,84(20)	40,10	2,61(30)	45,80	2,30(15)	52,70	2,02(55)
13			63,80	1,69(20)	45,80	2,30(25)	48,30	2,18(15)	55,20	1,93(60)
14			67,40	1,61(20)	49,00	2,15(30)	50,40	2,10(70)		
15			73,70	1,49(40)	50,00	2,11(70)	52,20	2,03(10)		
16			76,90	1,43(15)	52,00	2,04(45)	56,10	1,90(30)		
17			81,00	1,37(20)	54,70	1,94(45)				

Расшифровка рентгенограмм показала присутствие различных оксидов (табл. 11).

Табл. 11

Фазовый состав шлаков в Стали 45

№ плавки	№ шлака, цвет, морфология	Основная фаза	№ рисунка
8038	1, черный порошок	FeO	6
	2, порошок серо-черный	MnO·Fe ₂ O ₃	7
	3, твердый, темно-серый пористый	MnO	8
	4, стеклообразный, черно-зеленый	SiO ₂ -тридимит	9
	5, порошок светло-серый	MgO	10
	6, твердый светло-серый	Fe ₂ O ₃	11
8052	1, стеклообразный зеленый	Cr ₂ O ₃	12
	2, стеклообразный черный	MgO	13

В отобранных образцах была вскрыта внутренняя поверхность «раскатанных пузырей» (рис. 11). Внутренняя поверхность пузырей – коричневого цвета, окислена. Видны участки желтого цвета – отложения неметаллической фазы. Участки серого цвета представляют собой «долом».

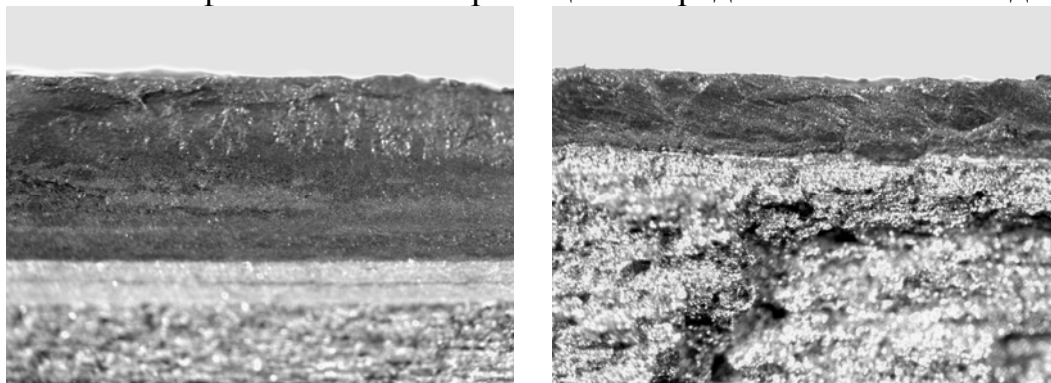
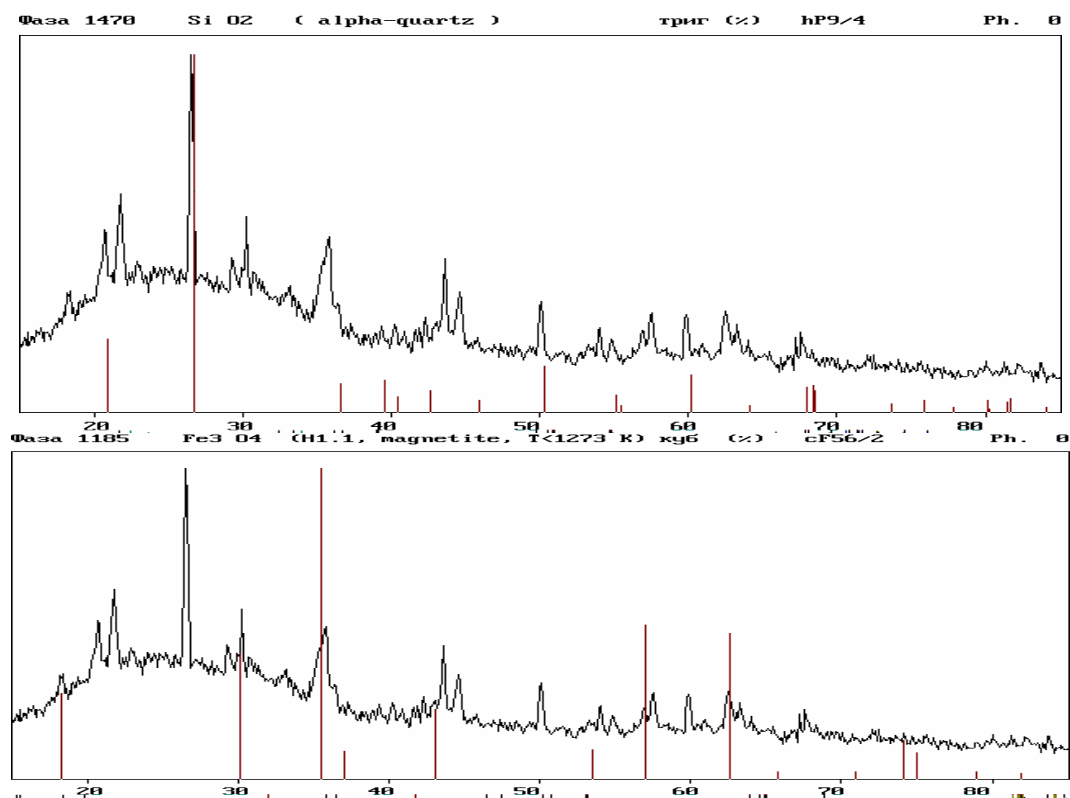


Рис. 11. Макроструктура внутренней поверхности «раскатанного пузыря» после его вскрытия (разлома)

Фазовый анализ внутренней поверхности пузырей проводили методом рентгеноструктурного анализа на рентгеновском дифрактометре ДРОН-6 в монохроматизированном Cu-K_α излучении. Расшифровка спектров проводилась с помощью пакета программ MIS&S.

Фазовый состав всех образцов однороден. Основными фазами являются $\alpha\text{-Fe}$, Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , а также SiO_2 в двух модификациях – кварц и тридимит.

На рисунке 12 изображена рентгенограмма вскрытой внутренней поверхности.



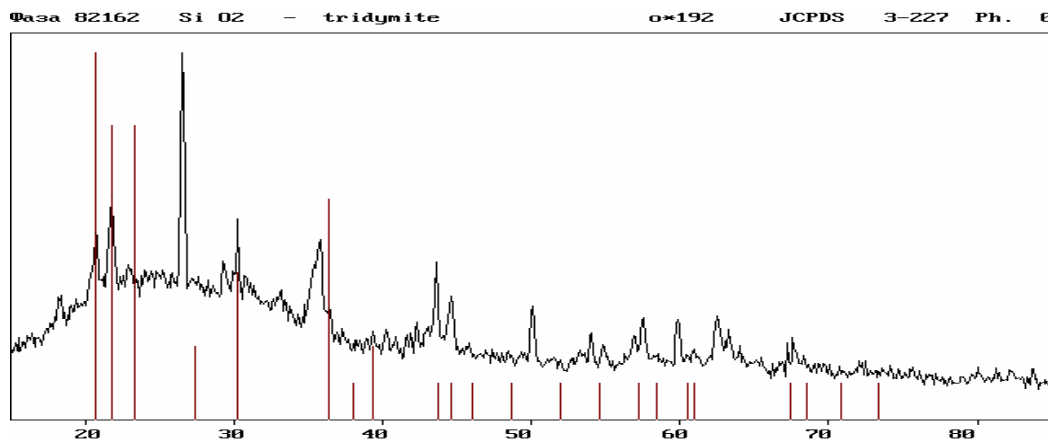


Рис. 12. Рентгенограмма вскрытой внутренней поверхности «раскатанных пузырей» проката кв. 60 стали 20Г2

На основании проведенных анализов и данных по составу фаз материалов, используемых в производстве стали, можно предположить, что обнаруженные неметаллические включения не являются шлаковыми частицами. Обнаруженные в составе неметаллических включений химические элементы и фазы могут являться продуктами раскисления металла ферросилицием или алюминием и неусвоенными шлаком, либо происходят от огнеупорных материалов, применяемых в процессе разливки стали. Дальнейшее исследование должно быть посвящено технологическим этапам прокатки.

Список литературы:

1. *Прокат черных металлов. ГОСТ 21014-88.* Издательство стандартов -М.:1988.-62с.
2. сайт www.metaltrade.ru/steelinfo/20g2.htm.