

УДК 168

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫПЛАВКИ ФЕРРОСИЛИКОМАРГАНЦА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОВЫХ ВИДОВ УГЛЕРОДИСТЫХ ВОССТАНОВИТЕЛЕЙ

<sup>1</sup>А.З. ТАНАТАР, <sup>2</sup>А.Ф. ЧЕКИМБАЕВ, <sup>2</sup>С.О. БАЙСАНОВ, <sup>1</sup>А.Х. НУРУМГАЛИЕВ  
(<sup>1</sup>г. Темиртау, Карагандинский государственный индустриальный университет,  
<sup>2</sup>г. Караганда, Химико-металлургический институт им. Ж. Абишева)

Для выплавки ферросиликомарганца используются различные виды восстановителей в частности – кокс, различные виды полукокса и низкочольные марки угля. Основными требованиями к восстановителям является их низкая зольность, высокая пористость и реакционная способность, а также высокая структурная прочность. По содержанию золы восстановители должны содержать низкое количество вредных примесей (сера, фосфор) и иметь благоприятный состав основных составляющих компонентов золы [1].

Производимый в настоящее время ферросиликомарганец в условиях Аксуйского завода ферросплавов (ТНК «Казхром», г. Аксу), ТОО «ТЭМК» (г. Темиртау) и ТОО «SAT Energy» (г. Тараз) выплавляется с использованием металлургического кокса фракции 10-25 мм и добавок каменного угля

экибастузкого и карагандинского угольных бассейнов [2]. Частичная замена кокса углем способствует существенному снижению себестоимости получаемого сплава. Максимальное количество добавок угля взамен кокса составляет не более 50% по углероду. Превышение этого количества резко ухудшает технологический процесс выплавки ферросиликомарганца. Это связано с низкой пористостью угля и его адсорбционной способностью.

Использование в виде добавки каменные угли содержит до 45% золы и до 20% летучих компонентов на сухую массу. Зольная часть этих углей представлена в основном соединениями кремния и алюминия, являющимися тугоплавкими соединениями и позволяющими выплавлять сплав с гарантированным содержанием кремния. Повышенное

## Раздел 1. «Металлургия. Технологии новых материалов»

содержание оксида алюминия в составе золы играет положительную роль при выплавке, обеспечивая некоторое повышение температуры плавления шлака при оптимальных вязко-текучих характеристиках.

Основной проблемой использования углей является наличие в их составе летучих компонентов, при сгорании которых резко повышается температура отходящих газов, что негативно влияет на эксплуатацию электроподводящих элементов короткой сети рудотермической печи. Получение полукокса с использованием углей Экибастузского и Карагандинского угольных бассейнов не дали положительных результатов, вследствие использования внешних источников тепла (природный газ, электроэнергия). В отличие от данных углей, каменные угли раз-

за «Сары-Адыр» Тениз-Куржумкольского угольного бассейна отличается повышенным содержанием летучих компонентов. Это позволяет производить получение полукокса без использования внешних источников тепла, только горения летучих компонентов. Необходимо отметить, что сарыадырские угли по содержанию оксидов кремния и алюминия соответственно 60-63% и 30-35% практически идентичны карагандинским и экбастузским углям.

На лабораторной установке, моделирующей промышленную шахтную печь, была получена партия полукокса из рядового сарыадырского угля. Технический анализ и химический состав золы исходного угля и полученного полукокса представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1.

Технический состав

Название	Содержание, %			
	A <sup>c</sup>	V <sup>c</sup>	W	C
Уголь	38,1	25,0	1,7	36,9
Полукок	51,0	1,25	0,4	47,8

Таблица 2.

Химический состав золы

Содержание, %						
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>
63,3	31,36	3,1	0,8	0,1	0,089	0,9

Как видно по результатам процесса полукоксования полученный полукокс содержит не более 2-5% летучих компонентов и по содержанию углерода, а так же электрофизическим свойствам соответствует требованиям для выплавки ферросплавов [3].

Опробование полукокса в сравнении с традиционными восстановителями: коксом и углем осуществлялось при выплавке ферросиликомарганца ФСМн17 в лабораторной электропечной установке с угольным нагревателем. Выплавку производили в графитовых тиглях, температура контролировалась термопарой ВР-5/20. Выплавка сплава по различным вариантам проводилась с посте-

в течение 1,5 часа при температуре 1550°С.

Для выплавки использовались марганцевый концентрат с содержанием марганца 48,49%, кокс с содержанием углерода 83,2% и в качестве флюсующих материалов – кварцит и доломит.

Результаты проведенных испытаний выплавки ферросиликомарганца марки ФСМн17 с использованием различных видов восстановителей представлены в таблице 3.

Результаты проведенных исследований по выплавке ферросиликомарганца показывают увеличение извлечения марганца и кремния на 3,3% и 3,6% соответственно. Это является следствием развитой пористой

## Раздел 1. «Металлургия. Технологии новых материалов»

пенным набором температуры и выдержкой | структуры опытного полукокса.

Таблица 3.

### Результаты проведенных опытов

Параметры	Вариант 1	Вариант 2
Состав шихтовых материалов, г		
Марганцевая руда	100	100
Кокс	18,8	–
Уголь	29,4	–
Полукокс	–	55,1
Доломит	16,8	14,8
Кварцит	36,4	26,7
Масса сплава, г	47,8	50,3
Масса шлака, г	47,0	45,4
Кратность шлака	0,98	0,90
Основность шлака (CaO+MgO/SiO <sub>2</sub> )	0,5	0,5
Состав сплава, %		
Mn	70,3	69,6
Si	19,0	19,9
Fe	9,1	8,9
P	0,19	0,18
Извлечение в сплав, %		
Mn	69,8	73,1
Si	38,2	41,8

Необходимо отметить, что тигельные плавки сплава в лабораторной электропечи, где осуществляется косвенный нагрев не позволил увеличить извлечение ведущих элементов в сплав. В реальных промышленных условиях при выплавке сплава в электропечах рудотермического типа, где имеется фильтрующий слой холодной шихты извлечение марганца и кремния будет несомненно выше лабораторных показателей. Также положительным моментом является высокое электрическое сопротивление опытного полукокса, которое при температурах 800-1000°C превышает таковую для угля.

Таким образом, проведенные исследования показали на возможность термической переработки сарыадырского угля традиционным способом в печах шахтного типа с получением полукокса. Полученный опытный полукокс может полностью заменить смесь кокса и угля при выплавке ферросиликомарганца с увеличением извлечения марганца и кремния. Использование полукокса при выплавке сплава в промышленных электропечных установках существенно снизит температурную нагрузку на электроподводящие элементы короткой сети и оборудование системы сухой газоочистки.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гасик М.И., Лякишев Н.П., Емлин Б.И. Теория и технология производства ферросплавов. – М.: Metallurgy, 1998. – 784 с.
2. Святков Б.А., Толымбеков М.Ж., Байсанов С.О. Становление и развитие марганцевой отрасли Казахстана. – Алматы: Искандер, 2002.
3. Жучков В.И., Розенберг В.Л., Ёлкин К.С., Зельберг Б.И. Энергетические параметры и конструкции рудовосстановительных электропечей. – Челябинск: Металл, 1994. – 192 с.

УДК 621.762

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФАЗОВОГО СОСТАВА УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ, ПОЛУЧЕННОЙ МЕТОДОМ ИНТЕНСИВНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

А.Н. КАСЕНОВ, Б.Б. БЫХИН, А.Р. ТОЛЕУОВА

(г. Темиртау, Карагандинский государственный индустриальный университет)

За последние десятилетия в области создания конструкционных материалов появилось новое направление – так называемая интенсивная пластическая деформация (ИПД) металлов, которая позволяет формировать мелкозернистое, ультрамелкозернистое (УМЗ) и даже наноструктурное (НС) состояние, обеспечивающее существенное повышение комплекса механических свойств готовой продукции по сравнению с традиционными способами обработки металлов пластическим деформированием. В настоящее время в передовых научных лабораториях и институтах мира идут интенсивные поисковые экспериментальные работы по разработке новых и инновационных способов получения УМЗ и НС материалов [1,2,3]. Наибольший интерес представляет проблема получения объемных УМЗ и НС металлических материалов, в особенности из сталей [4].

Перспективы практического использования сталей с УМЗ структурой требуют более полных сведений, как об их механических свойствах, так и о механизмах формирования этих свойств. Особенно это относится к низко- и среднеуглеродистым сталям, поскольку в таких сталях получение одновременно высокой прочности в сочетании с хорошей пластичностью традиционными методами прокатки весьма затруднительно. Актуальным является выявление закономерностей структурных изменений в низко- и среднеуглеродистых сталях, а также установление связей между степенью и температурой деформации и структурным состоянием материала, т.к. это позволило бы существенным образом продвинуться в понимании протекающих процессов и прогнозировать комплекс механических свойств заготовки, полученной методом равноканального углового прессования.

Карагандинского государственного индустриального университета разработан способ реализации ИПД при сортовой прокатке с использованием системы калибров «ромб-квадрат» с недиагональным расположением ромбического калибра относительно продольной оси валков таким образом, что две противоположные стороны ромба располагаются параллельно оси валков, а две другие стороны ромба под углом к осям валков (рисунок 1б).

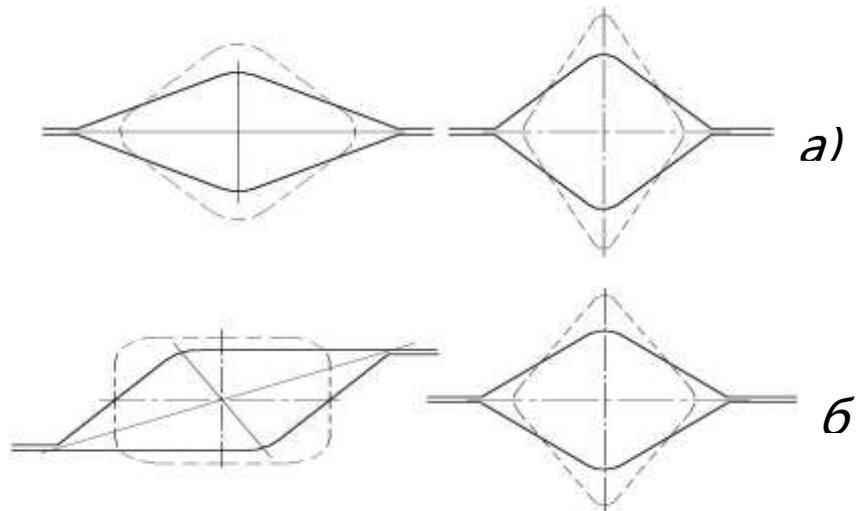
Прокатка в предлагаемой системе калибров «ромб-квадрат» с недиагональным расположением ромбического калибра осуществляется следующим образом. Исходная заготовка квадратного сечения 1 (рисунок 2), в первом проходе подается к ромбическому калибру 2 верхним и нижним основаниями параллельно осям валков. В очаге деформации заготовка подвергается интенсивной сдвиговой деформации в поперечном направлении благодаря асимметричному воздействию наклонных стенок ромбического калибра со стороны верхнего и нижнего валков и высотному обжатию на цилиндрических участках калибра валков.

В результате в очаге деформации в поперечном направлении возникают две пластические потоки вытеснения с интенсивным сдвигом с противоположными векторами течения – со стороны верхнего валка сдвиг идет слева направо, а со стороны нижнего валка – справа налево. Границей раздела этих сдвигов является плоскость большой диагонали ромба. При этом внутренние дефекты заготовки, расположенные в окрестности этой плоскости легко устраняются действием противоположно направленной сдвиговой деформации. Поскольку центр этой плоскости в процессе прокатки совпадает с осевой частью слитка или литой заго-

## Раздел 1. «Металлургия. Технологии новых материалов»

На кафедре «Обработка металлов давлением», то воздействию разнонаправленных

### Виды систем калибров «ромб-квадрат»



а – традиционная система калибров «ромб-квадрат»; б – ромбический калибр с не диагональным расположением в сочетании с традиционным квадратным калибром.

Рисунок 1.

Последовательность прокатки в предлагаемой системе калибров «ромб-квадрат» с недиагональным расположением ромбического калибра

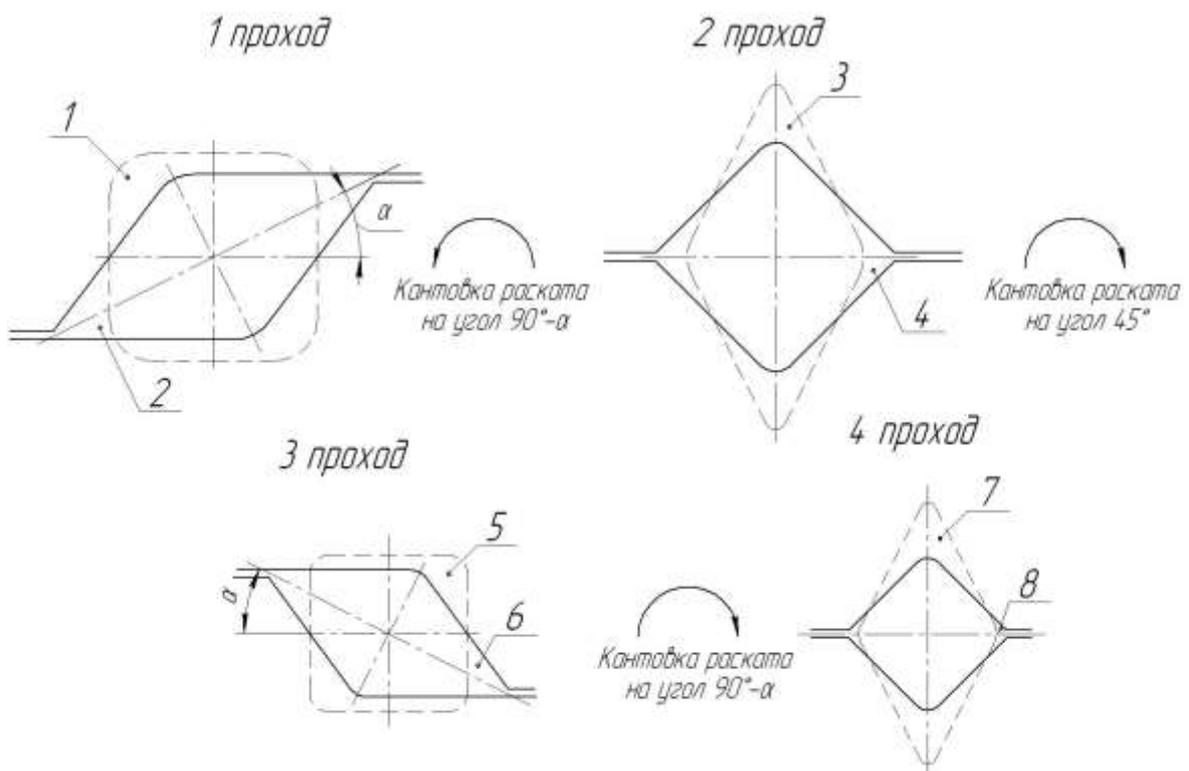


Рисунок 2.

сдвиговых деформаций подвергаются дефекты литья – осевая рыхлость, газовые пузыри и дендритная ликвация, которые дробятся, измельчаются, испытывают вращение по плоскости, одновременно подвергаясь сжатию за счет высотной деформации. В результате происходит интенсивное «залечивание» указанных дефектов исходного металла.

Далее (второй проход) полученный промежуточный раскат 3 с ромбическим сечением прокатывается в квадратном калибре 4 традиционным способом, т.е. ромбический раскат 3 кантуют против часовой стрелки на угол  $90^\circ - \alpha$  (где  $\alpha$  – угол наклона длинной диагонали ромба относительно продольной оси валков) и задают в диагонально расположенный квадратный калибр 4 с длинной диагональю перпендикулярно оси валков. Деформация металла в квадратном калибре 4 в основном осуществляется за счет высотного обжатия по толщине и ограниченного уширения за счет разделения пластического потока вытеснения относительно вертикальной оси симметрии калибра.

В следующем (третьем) проходе раскат квадратного сечения 5 предварительно кантуют на угол  $45^\circ$  и задают в ромбический калибр 6 с недиагональным расположением относительно оси валков как и в первом ромбическом калибре 2, но в отличие от него наклонные стенки калибра имеют обратный уклон, т.е. относительно вертикальной оси задаваемого в калибр раската 5 наклонные стенки калибра 6 повернуты влево. В этом ромбическом калибре 6 знак сдвиговой деформации меняется на противоположный по отношению к знаку сдвиговой деформации в первом ромбическом калибре 2. Использование знакопеременной сдвиговой деформации в свою очередь снижает интенсивность накопления поврежденности металла, а пластичность металла повышается по сравнению с монотонной деформацией.

Полученный ромбический раскат 7 кантуют по часовой стрелке на угол  $90^\circ - \alpha$  как показано в схеме и прокатывают в квадратном калибре 8 по традиционной технологии (четвертый проход).

Таким образом рассмотренные четыре прохода в предлагаемой системе «ромб-квд-

рат» образуют один полный цикл обработки со знакопеременной сдвиговой деформацией с одновременным высотным обжатием во всех четырех калибрах. Это позволит реализовать существенную проработку поперечного сечения во всем объеме прокатываемого металла с одновременным снижением вредного действия контактных сил трения в ромбических калибрах. Кантовка раската в каждом последующем проходе приводит к обновлению углов полосы непосредственно контактирующих со стенками калибров, что предотвращает локальное переохлаждение отдельных участков полосы, благодаря чему уменьшается интенсивность износа калибров.

При необходимости весь процесс прокатки можно осуществить за несколько аналогичных циклов, что зависит от требований, предъявляемых к качеству металла, и соотношению размеров исходной заготовки и конечной продукции.

Используя вышеуказанный патент РК [5] сотрудниками кафедры ОМД КГИУ была разработана новая система калибровки валков и конструкция валков для реализации ИПД применительно к условиям, 2-х клетового сортового стана Дуо 200/150 для прокатки катанки диаметром 11 мм из стали 35 при различных температурных значениях прокатки и последующего охлаждения.

### **Анализ микроструктуры стали 35.**

Микроструктурный анализ показывает, что в результате увеличения проходов происходит существенное измельчение размера как ферритных, так и перлитных зерен и в поперечном и в продольном направлениях. Ферритные зерна начинают интенсивно измельчаться, перлитные зерна также начинают делиться на блоки. При больших степенях деформации, происходят фазовые изменения также в перлитных зернах. Ферритоцементитные прослойки перлитного зерна преобразуются в мелкие зерна феррита и цементита, соответственно.

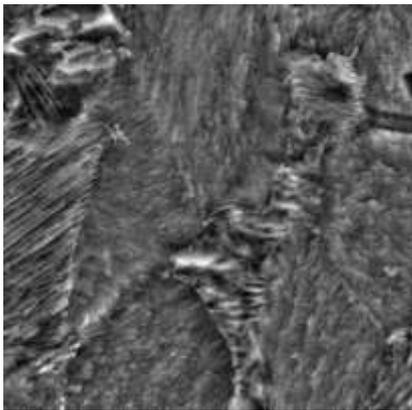
Анализ микроструктуры, полученной просмотром образцов на сканирующем электронном микроскопе показал, что в размерном отношении зерна, полученные деформированием без изменения направления прокатки полосы, практически не отличаются

## Раздел 1. «Металлургия. Технологии новых материалов»

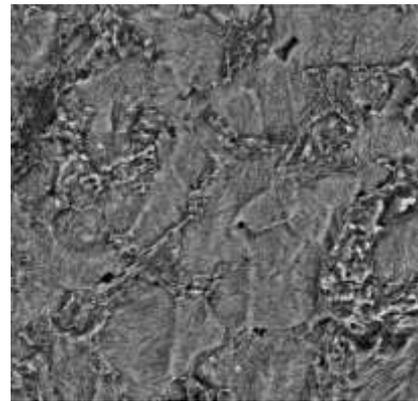
от размеров зерен полос с чередованием направления прокатки. Изучение микро-структуры осуществлялось с увеличением 15000 крат. В первом случае наблюдаются линии сброса, что видно из фотографии, приведенной на рисунке 3. В случае кантовки на 180° таких линий не наблюдается. Образование линий сброса возможно в случае превышения в некоторых зернах допустимого предела напряжений, что происходит из-за того,

что в первом случае одна и та же область воспринимает дважды максимальную деформацию, что вызывает появление линий сброса. Таким образом, можно сделать вывод о том, что кантовка образца на 180° позволяет более равномерно прорабатывать металл по всему сечению, о чем свидетельствует равномерное протравливание образца при подготовке микрошлифов, отсутствие линий сброса.

Микроструктура стали марки 35 после РКУП, СЭМ, x15000



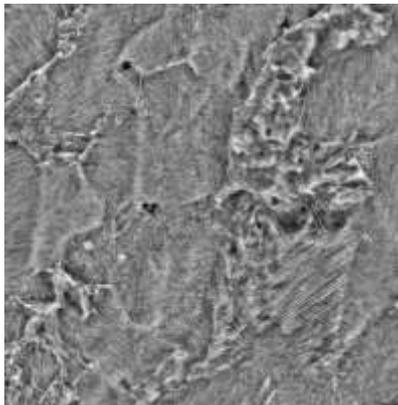
а



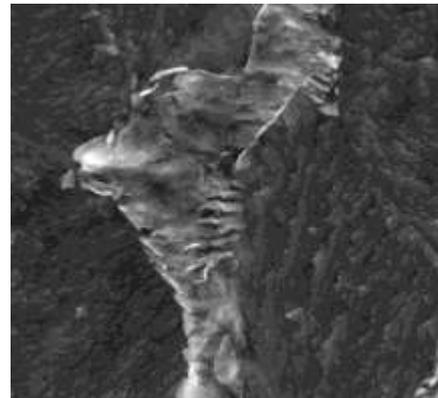
б

Рисунок 3.

Микроструктура стали марки 35 после РКУП, СЭМ, x25000



а



б

Рисунок 4.

### Влияние интенсивной пластической деформации на фазовый состав стали 35

В структуре отожженных образцов стали марки 35 присутствуют зерна перлита и феррита. Ферритные зерна окрашены в светлый цвет, а перлитные в темный. Перлит имеет пластинчатый тип, т.е. чередование прослоек

феррита и цементита, ориентировка которых свидетельствует о том, что они представляют собой единое целое зерно.

В результате проведенных исследований подтверждено, что уже после первого цикла деформирования происходит существенное измельчение структурных составляющих.

## Раздел 1. «Металлургия. Технологии новых материалов»

Структура состоит из механической смеси перлита и феррита, при этом размер зерен существенно измельчился по сравнению с исходным состоянием и достигает десятого балла. За счет высоких гидростатических давлений зерна начинают дробиться и поворачиваться относительно друг друга, а направленное течение металла в результате сдвиговой деформации обеспечивает равномерность распределения микроструктур-

ных составляющих по сечению заготовки как в продольном, так и в поперечном направлениях в отношении размера и фазового состава. При проведении дальнейшей деформации происходит существенное измельчение структурных составляющих, накопление дефектов кристаллического строения и вследствие диффузионных процессов перераспределение цементита и феррита (рисунок 5).

Микроструктура стали марки 35 после РКУП, СЭМ, х8000

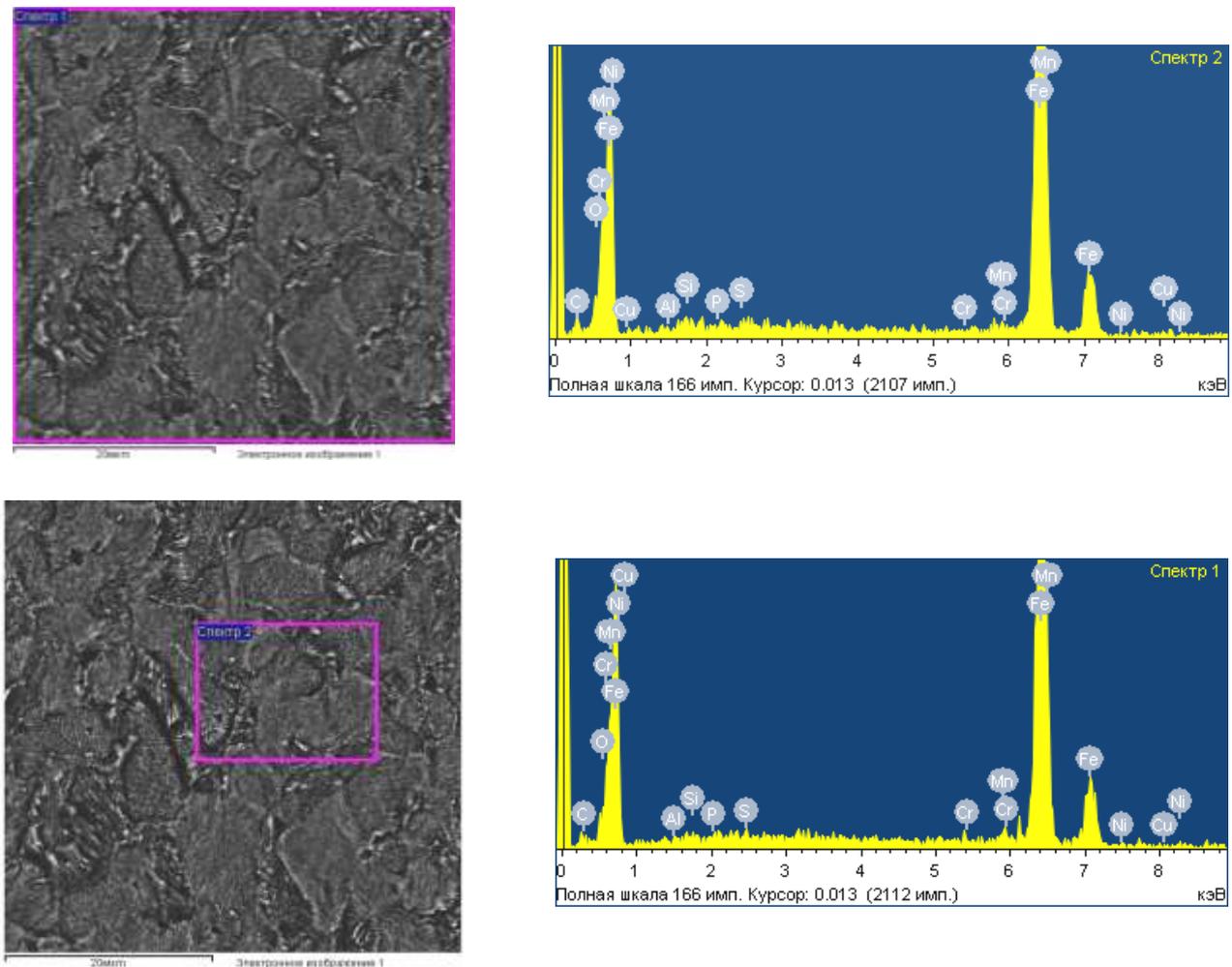


Рисунок 5.

Таблица 1.

Химический состав фаз, приведенных на рисунке 5

Номер спектра	Химический состав			
	C		Fe	
	ат. %	весов. %	ат. %	весов. %
1	2,04	2,01	97,96	97,99
2	—	—	100	100

При рассмотрении состава в различных точках заметно колебание химического состава, углерод скапливается по телу перлит-

ного зерна, но при этом наблюдаются области между зёрнами обедненные углеродом, представляющие собой феррит (спектр 1).

**Выводы:**

Анализ результатов исследования микроструктуры металла показывает, что исходная структура имеет равномерную крупнозернистую структуру, которая после интен-

сивной пластической деформации при горячей прокатке заметно измельчается. При этом измельчение зёрен происходит равномерно по всему сечению заготовки.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. R.Z. Valiev. High Pressure Physics and Technics. 18(4), 12 (2008) (in Russian) [Р.З. Валиев. Физика и техника высоких давлений. 18(4), 12 (2008)]
2. Гун Г.С., Чукин М.В., Емалева Д.Г., Копцева Н.В., Ефимова Ю.Ю., Барышников М.П. Исследование формирования субмикроструктурной структуры поверхностного слоя стальной проволоки с целью повышения уровня ее механических свойств // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2007. № 3 (26). С. 84-87.
3. Чукин М.В., Копцева Н.В., Ефимова Ю.Ю., Никитенко О.А., Барышников М.П. Повышение прочности углеродистых конструкционных сталей при деформационном измельчении структуры методом равноканального углового прессования // Инновационные технологии в металлургии и машиностроении : Сб. науч. трудов. Екатеринбург. 2012. С. 177-184.
4. Валиев Р.З., Александров И.В. Объемные наноструктурные металлические материалы. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. – 398 с.
5. Патент РК № 25272 Способ горячей прокатки слитков и непрерывнолитых заготовок. Найзабеков А.Б.; Быхин М.Б.; Ногаев К.А.; Быхин Б.Б. опубл. 15.05.13, Бюль. №5
6. Найзабеков А.Б.; Быхин М.Б.; Ногаев К.А.; Быхин Б.Б. О реализации интенсивной пластической деформации при прокатке в системе калибров «ромб-квадрат» // Сборник научных трудов VII Международной НПК «Научно-технический прогресс в металлургии». Том 2 г. Темиртау КГИУ, окт. 2013г. С.50-53.
7. Найзабеков А.Б.; Быхин М.Б.; Ногаев К.А.; Быхин Б.Б. Выбор обоснование схемы деформации, реализующих ИПД при горячей прокатке катанки. Технология производства металлов вторичных материалов. -Темиртау изд. КГИУ, 2012 №2

ӘҚК 669.15-194

**ЕЛЕК ДИСКІЛЕРІН ЖАСАУҒА АРНАЛҒАН Х12 БОЛАТ ҚАСИЕТІН ЗЕРТТЕУ**

**Д.К. МУСИН, З.Қ. НАРҚОЗИЕВА**

(Темиртау қ., Қарағанды мемлекеттік индустриялық университеті)

Кілттік сөздер: Гризли елегі, хромды болаттар, хромды балқымалардың күйі, микроқұрылымды талдау, термомықтылықты сынау, изотермиялық жасыту.

Коксохимиялық өндірісте қолданылатын білікті Гризли елегі металлургиялық фракцияларды елеу тәсілімен бөлу үшін коксты сұрыптауда қолданылады. Білікті електердің

негізгі кемшіліктері: кокстың қарқынды үйкелісіне ұшырайтын дискілері жылдам тозады. Абразивті тозу кезінде материалдың тозу бекемдігі оның қаттылығымен жоғарылайды. Сондықтан, Гризли елегі үшін зауыттарда термиялық өңделмеген сұр шойынды құйылған дискілер қолданылады, осы бөлшектің бекемдігі аз.