

УДК 669.017:669.15-194.018.26

А.Ю.Путноки\*, В.Т.Тилик\*, В.Г.Иванченко\*\*, В.З.Куцова\*\*\*,  
Т.В.Котова\*\*\*, А.А.Черноиваненко\*\*\*

## СТРУКТУРА, РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ И СВОЙСТВА ГОРЯЧЕКАТАНОЙ ЛИСТОВОЙ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ 08ПС

*ОАО «МК Запорожсталь», \*\* ИЧМ НАН Украины,  
\*\*\*Национальная металлургическая академия Украины*

Целью данных исследований является изучение распределения элементов в структуре низкоуглеродистой стали 08пс, окончание прокатки которой происходило в области температур ферритной структуры, и его влияние на формирование структуры и свойств металла. Изучены свойства, структура и распределение химических элементов по сечению горячекатаной листовой низкоуглеродистой стали, прокатанной в области температур ферритного состояния металла. Показано, что более высокие значения предела прочности и текучести наблюдаются при прокатке в области температур ферритного состояния.

**прокатка, листовая низкоуглеродистая сталь 08пс, ферритная структура, распределение химических элементов, предел прочности**

**Современное состояние вопроса.** Листовой прокат толщиной менее 2 мм из низкоуглеродистой стали является важнейшим конструкционным материалом в автомобильной промышленности и других ведущих отраслях машиностроения [1]. В последние годы возросла потребность в горячекатаном тонколистовом прокате, происходит увеличение объема производства стального листа толщиной меньше 2 мм. Выпуск горячекатаной особотонкой листовой продукции планируется вести на уровне требований, предъявляемых к качеству холоднокатаного листа. Даже частичное использование потребителем горячекатаного листового проката взамен холоднокатаного той же толщины дает значительный экономический эффект за счет снижения затрат на дополнительные переделы (холодная прокатка, отжиг и др.).

Существенным недостатком при прокатке особотонких полос на непрерывных широкополосных станах является невозможность соблюдения оптимальных температурных режимов окончания горячей прокатки (обжatie в интервале критических температур  $A_{r3} - A_{r1}$  приводит к образованию разнoзернистой структуры, не отвечающей требованиям ГОСТ 16523) [2]. Крупное зерно и разнoзернистость может привести к неравномерной деформации металла при растяжении и стать причиной образования разрывов. Равномерная структура необходима также в горячекатаных полосах, которые могут быть рентабельным подкатом для станов холодной прокатки. Смешанная структура с крупными зepнами феррита в поверхностных слоях полосы, которая неравномерно деформируется на станах холодной прокатки со степенью обжатия 70–80%, может вызвать поперечные трещины по боковым кромкам полосы [3]. Холодной прокаткой не устраняется крупнозернистость, полученная при горячей прокатке; при неравномерных зepнах

в горячекатаной полосе аналогичные зерна образуются и в холоднокатаных листах. Подкат со структурой, состоящей из неравномерных по величине или мелких зерен, плохо деформируется, происходят разрывы полос [4].

В работах [3,5] указано, что поверхностная разнотерность может быть связана с неодинаковым химическим составом по сечению полосы, а ферритная прокатка при температуре ниже точки  $A_1$  в области однофазной ферритной структуры металла обеспечит получение равномерной структуры осособотонких полос. Однако, данных о влиянии ферритной прокатки на микроструктуру и механические свойства низкоуглеродистых сталей недостаточно, нет полного представления о ее влиянии на качество металла, поэтому актуальными являются исследования особенностей формирования микроструктуры и механических свойств осособотонкой листовой низкоуглеродистой стали при низких температурах окончания прокатки.

**Целью данных исследований** является изучение распределения элементов в структуре низкоуглеродистой стали 08пс, окончание прокатки которой происходило в области температур ферритной структуры, и его влияние на формирование структуры и свойства металла.

**Методика исследования.** Исходной заготовкой для прокатки служили карточки толщиной 2,07мм, из низкоуглеродистой стали 08пс, химический состав которой приведен в табл.1.

Таблица 1. Химический состав низкоуглеродистой стали 08пс

Содержание химических элементов, % (по массе)								
C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Al
0,08	0,3	0,01	0,03	0,023	0,04	0,03	0,03	0,02

Экспериментальные исследования температурных условий прокатки осуществляли на лабораторном стане 280 по режиму с нагревом до 1000<sup>0</sup>С и прокаткой образцов за 1 и 2 прохода с последующим охлаждением на воздухе (табл.2). Размер зерен феррита, а также толщину поверхностного крупнозернистого слоя измеряли с помощью микроскопа «Neophot–21» по методике количественной металлографии Салтыкова [5], а также с помощью компьютерного обеспечения – программы Adobe Photoshop CS2. Микротвердость феррита в центральных и поверхностных зонах полосы из стали 08пс определяли с помощью прибора ПМТ–3 по ГОСТ 9450–76 при нагрузке 30 г и увеличении х485, как среднюю величину из 50 замеров. Точность замера диагоналей отпечатка составляет 0,3% наименьшего деления шкалы микрометра. Твердость образцов определяли методом Роквелла по стандартной методике. Измерение механических свойств проводили на универсальной машине «Инстрон» в соответствии с ГОСТ 1497–84 на образцах, вырезанных вдоль направления прокатки.

Распределение элементов в структуре низкоуглеродистой стали 08пс изучали с помощью электронного микроскопа JSM «JEOL» 7000F с системой рентгеновского микроанализа при увеличении 200 крат. Исследования проводили в режиме вторичных электронов (SEI).

Напряжение  $U = 20$  кВ. Время анализа составляло  $t=60$  сек. Диаметр пучка составлял  $1 \dots 1,5$  мкм. В качестве эталонов были выбраны чистые образцы по Fe, Mn, Ti, Cr (чистота составляла 99,99%). Для Si в качестве эталона выбрано соединение  $\text{SiO}_2$ , для Al –  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , для S –  $\text{FeS}_2$ , для P – CaP, для Ca –  $\text{CaP}_2$ .

Таблица 2. Механические свойства образцов стали 08пс

Температурно-деформационные режимы прокатки	$\sigma_B$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	HRB	Микротвердость вдоль направления прокатки, МПа		Микротвердость поперек направления прокатки, МПа	
				поверхностная зона	центральная зона	поверхностная зона	центральная зона
$T_{\text{нагр}} = 600^\circ\text{C}$ $T_{1\text{пр}}(T_{\text{кп}}) = 600^\circ\text{C}$ $\sum \varepsilon = 7,2\%$	460	410	77	1226	1129	1160	1128
$T_{\text{нагр}} = 1000^\circ\text{C}$ $T_{1\text{пр}} = 750^\circ\text{C}$ $T_{2\text{пр}}(T_{\text{кп}}) = 600^\circ\text{C}$ $\sum \varepsilon = 16,4\%$	450	375	85	1070	1337	1042	1098

Примечание:  $T_{\text{нагр}}$  – температура нагрева листовой стали;  $T_{1\text{пр}}(T_{\text{кп}})$  – температура прокатки листовой стали в первом проходе;  $T_{2\text{пр}}(T_{\text{кп}})$  – температура прокатки листовой стали во втором проходе, соответствующая температуре окончания прокатки;  $\sum \varepsilon$  – суммарная степень деформации металла.

**Изложение основных материалов исследования.** Образец стали 08пс толщиной 1,92 мм, прокатанный по режиму с нагревом до  $600^\circ\text{C}$  в один проход при той же температуре (табл.2), характеризуется равномерной структурой по всему сечению полосы. Размер зерна феррита составляет 5–15 мкм (рис.1). Образец толщиной 1,73 мм, обработанный по режиму с нагревом до  $1000^\circ\text{C}$  и прокаткой в первом проходе в двухфазной области аустенита и феррита ( $Ar_1$ – $Ar_2$ ), во втором проходе – в области температур ферритной прокатки (табл.2), отличается разнотернистостью по всему сечению полосы (рис.2). В поверхностной зоне полосы обнаружен крупнозернистый слой толщиной 300–350 мкм. Размер ферритного зерна в этом слое 15–160 мкм, в центральной зоне 10–60 мкм.

В образце стали 08пс, прокатанном за один проход в ферритной области температур, наблюдаются более высокие значения предела прочности и предела текучести, но более низкие значения твердости (табл. 2).

Значения микротвердости феррита в поверхностных зонах превышают значения, полученные в центральных участках полосы. В образце, деформированном за два прохода, окончание прокатки которого происходило в области температур ферритного состояния, значения микротвердости феррита вблизи поверхности ниже, чем в центре полосы.

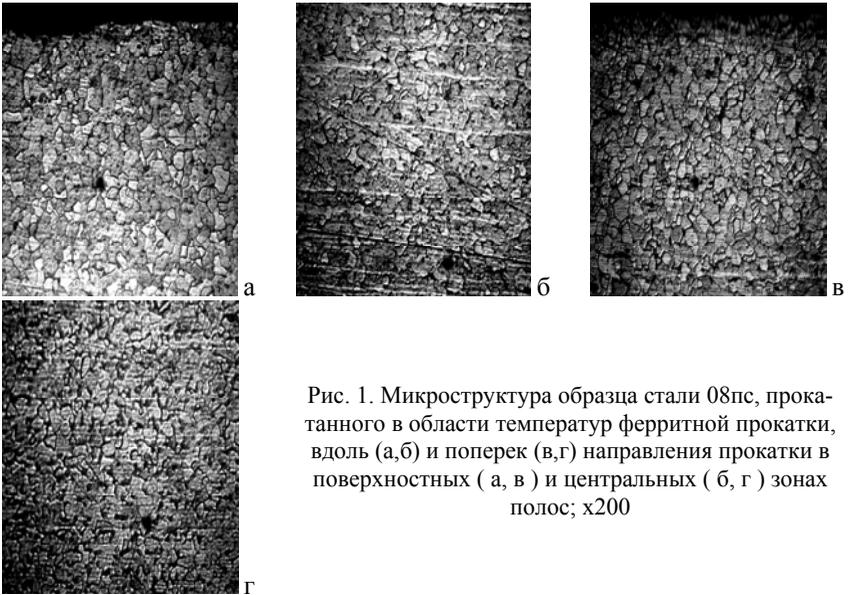


Рис. 1. Микроструктура образца стали 08пс, прокатанного в области температур ферритной прокатки, вдоль (а,б) и поперек (в,г) направления прокатки в поверхностных ( а, в ) и центральных ( б, г ) зонах полос; x200

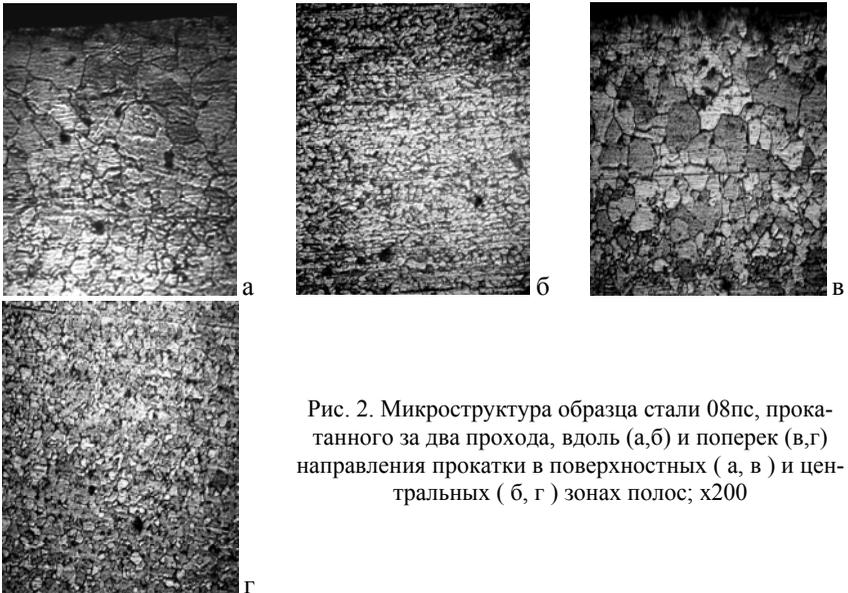


Рис. 2. Микроструктура образца стали 08пс, прокатанного за два прохода, вдоль (а,б) и поперек (в,г) направления прокатки в поверхностных ( а, в ) и центральных ( б, г ) зонах полос; x200

На рис.3–6 показана качественная картина распределения элементов в структуре низкоуглеродистой стали 08пс в поверхностных и центральных зонах полос, исследованных вдоль направления прокатки. Аналогичные

результаты получены и при исследованиях, проведенных поперек направления прокатки. Данные рис.3, 4 свидетельствуют о неравномерном распределении элементов в поверхностной и центральной зонах образца, прокатанного в области температур ферритной структуры. В точках 3, 4, 6 наблюдаются спектры только Fe и C (рис.3), в точках 1, 2, 5 – интерференционные максимумы Al, Mn, C, S, Si, Cr, Fe.

Результаты исследований распределения элементов в поверхностной зоне (рис.4) свидетельствуют о неравномерном распределении элементов в области, прилегающей к поверхности полосы (т.2,3,6). Ближе к центру (т.4,5), наблюдаются интерференционные максимумы Fe, Mn, Al, Cr.

При исследовании распределения элементов в структуре образца стали 08пс, прокатанного за два прохода, характеризующейся неравномерным зерном феррита, наличием поверхностного слоя крупных зерен, наблюдается относительно равномерное распределение элементов (рис.5,6). Интерференционные максимумы C, Mn, Cr, Fe наблюдаются почти во всех исследуемых точках.

### **Выводы.**

1. Прокатка за один проход при температуре ниже точки  $A_{r1}$  в области однофазной ферритной структуры металла обеспечила получение равномерной структуры по всему сечению полосы. Образец, обработанный по режиму деформационно–термической обработки с нагревом до  $1000^{\circ}\text{C}$  и прокаткой за два прохода, отличается разнотернистостью по всему сечению полосы.

2. Более высокие значения предела прочности и текучести наблюдаются при прокатке в области температур ферритного состояния. Значения микротвердости в поверхностной зоне образцов стали 08пс при обработке по данному режиму выше значений, полученных в центральных участках полосы. Значения микротвердости, полученные в поверхностном крупнозернистом слое образца, прокатанного за два прохода, ниже значений, полученных в центре полос с мелкозернистой структурой.

3. Поверхностная разнотернистость в структуре образца, начало прокатки которого проводили в двухфазной, а окончание – в однофазной ферритной области температур, не связана с равномерностью распределения химических элементов по сечению полосы: распределение элементов в образце относительно равномерное в отличие от образца стали 08пс с равномерной структурой, прокатанного в один проход в области температур ферритного состояния.

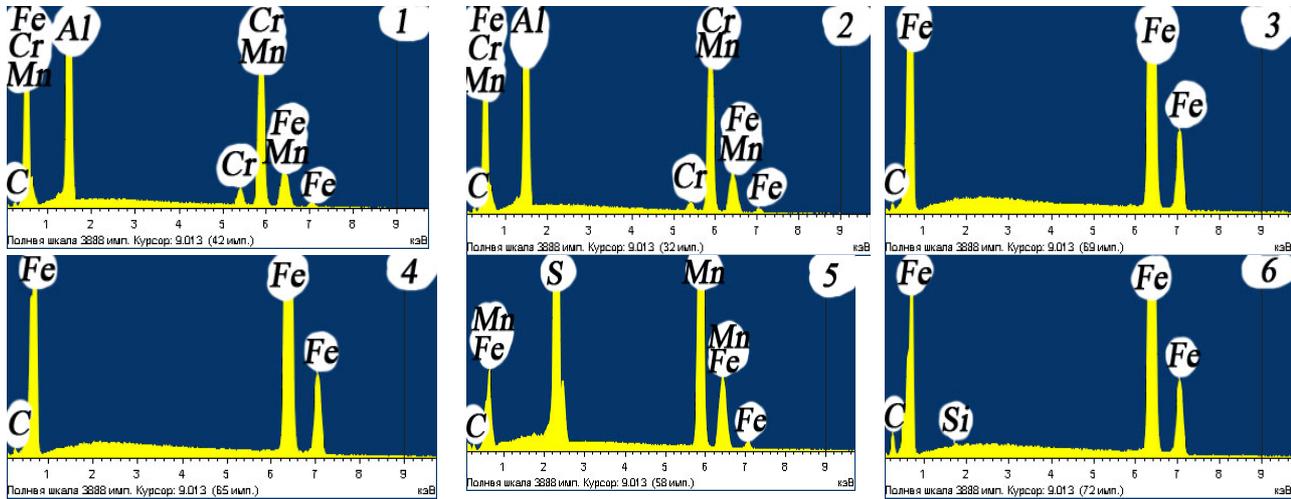
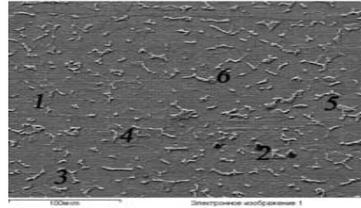


Рис. 3. Распределение элементов в структуре центральной зоны образца стали 08пс, прокатанного в ферритной области и исследованного вдоль направления прокатки

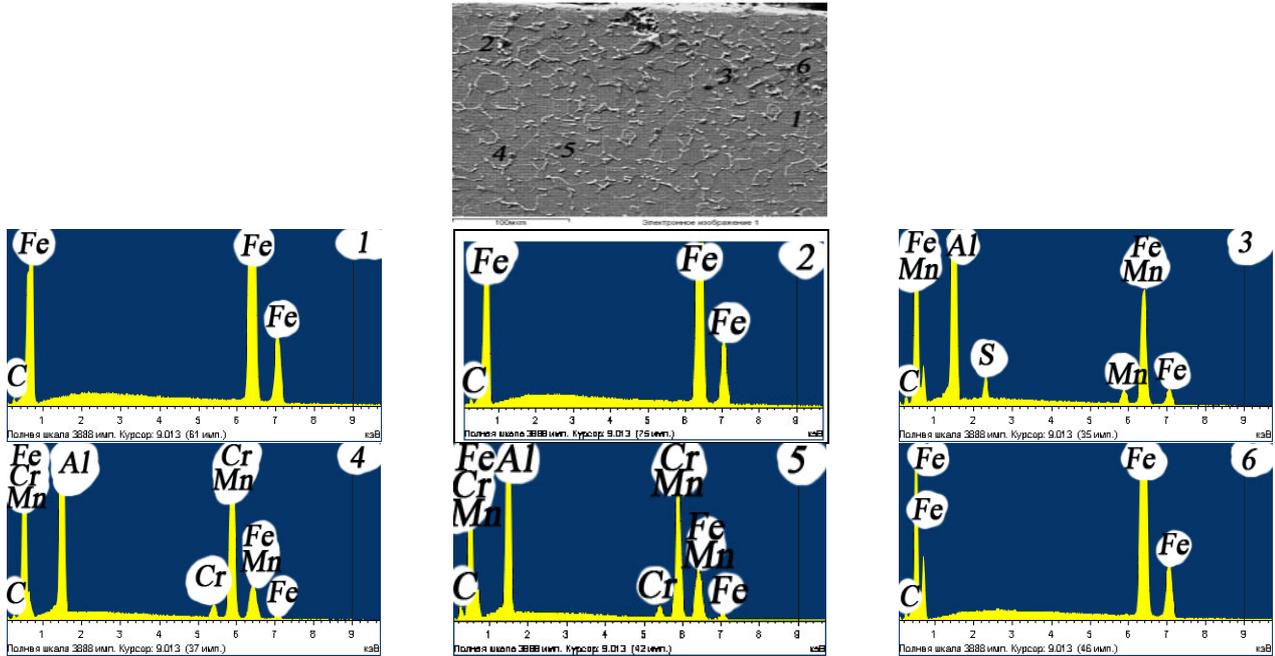


Рис. 4. Распределение элементов в структуре поверхностной зоны образца стали 08пс, прокатанного в ферритной области и исследованного вдоль направления прокатки

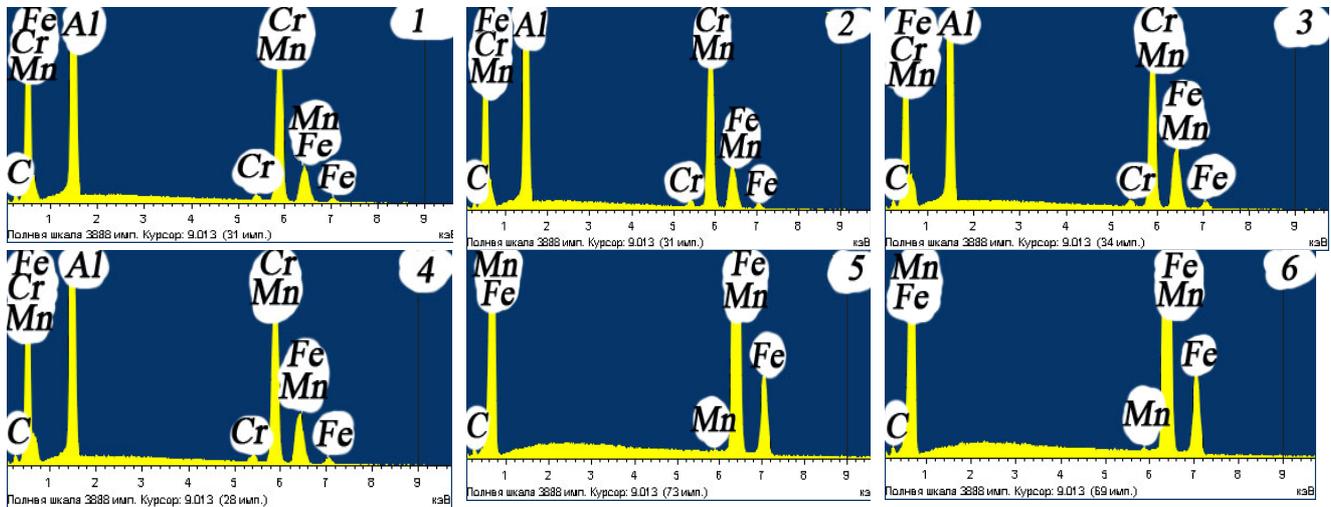
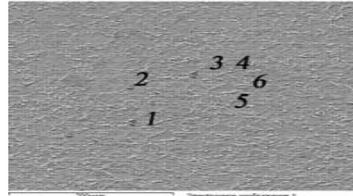


Рис. 5. Распределение элементов в структуре центральной зоны образца стали 08пс, прокатанного в аустенито-ферритной и ферритной областях, исследованного вдоль направления прокатки

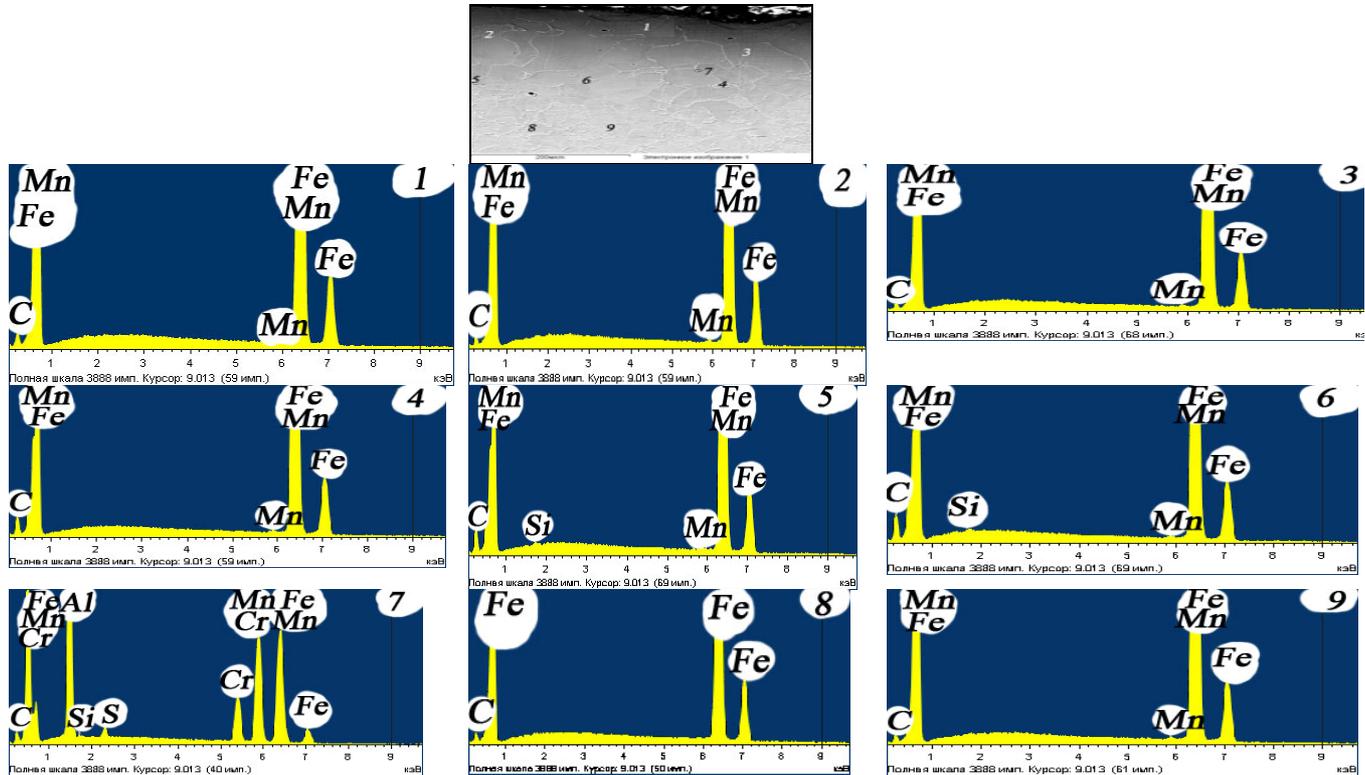


Рис. 6. Распределение элементов в структуре поверхностной зоны образца стали 08пс, прокатанного в аустенит-ферритной и ферритной областях, исследованного вдоль направления прокатки

1. *Структура и свойства автолистовой стали* / В.Л.Пилюшенко, А.И. Яценко, А.Д.Белянский и др. – М.: Металлургия. – 1996. – 164с.
2. *Литвиненко Д.А.* Холоднокатаная нестареющая сталь. – М.: Металлургия, 1968. – 168с.
3. *Дедек Вл.* Полосовая сталь для глубокой вытяжки. – М.: Металлургия, 1970. – 208с.
4. *Прокатка автолистовой стали* / Ф.А.Ксензук, Н.А.Трощенко, А.П.Чекмарев, М.М.Сафьян. – М.: Металлургия. – 1969. – 296с.
5. *Губенко С.И., Парусов В.В.* Деформация металлических материалов. – Дн–ск: Арт–пресс, 2006. – 316с.
6. *Салтыков С.А.* Стереометрическая металлография. – М.: Металлургия, 1970. – 376с.

*Статья рекомендована к печати:  
 Ответственный редактор  
 раздела «Прокатное производство»  
 канд.техн.наук И.Ю.Приходько  
 рецензент канд.техн.наук Л.Г.Тубольцев*

***А.Ю.Путнокі, В.Т.Тілік, В.Г.Іванченко, В.З.Куцова, Т.В.Котова,  
 А.А.Черноіваненко***

**Структура, розподіл елементів і властивості гарячекатаної листової низьковуглецевої сталі 08пс**

Метою дослідження є вивчення розподілу елементів в структурі низьковуглецевої сталі 08пс, закінчення прокатування якої відбувалося в області температур феритної структури, і його вплив на формування структури і властивостей металу. Вивчено властивості, структуру і розподіл хімічних елементів за перетином гарячекатаної листової низьковуглецевої сталі, прокатої в області температур феритного стану металу. Показано, що вищі значення межі міцності і текучості спостерігаються при прокатуванні в області температур феритного стану.