

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА СТАЛИ МАРКИ 08Ю С СОДЕРЖАНИЕМ УГЛЕРОДА МЕНЕЕ 0,02 %

*Буданов А.П., Корнилов В.Л., Стеканов П.А.,
Горбунов А.В., Шерстобитов Д.В.*

Холоднокатаные стали для особо глубокой вытяжки применяются везде, где предъявляются высокие требования к деформируемости и качеству поверхности металла. Основной областью применения этих сталей является автомобильная промышленность.

Наибольшая доля поставок холоднокатаного металла предприятиям автопрома производится по ГОСТ 9045-93г.

При производстве холоднокатаного металла марки 08Ю с содержанием углерода в интервале 0,006-0,02 % наблюдается укрупнение зерна феррита до 4 номера и увеличение цементита до 3 балла (требование ГОСТ 9045-93 оговаривает величину равноосного зерна в пределах 6-9 номера и величину зерна цементита не крупнее 2-го балла). Поэтому металл с баллом цементита более 2, не отгружается потребителю по прямому заказу. Кроме этого, дрессировка металла с укрупненным номером зерна феррита, приводит к ухудшению пластических свойств металла из-за нарушения оптимального соотношения величины зерна феррита и величины обжатия при дрессировке.

Целью настоящей работы является разработка технологии производства стали марки 08ю с содержанием углерода менее 0,02 % в пределах регламентации ГОСТ 9045-93.

Для решения этой проблемы был собран массив данных по 170 плавкам, прокатанных в ЛПЦ-10, и проведена их статистическая обработка, используя метод случайного баланса [1], так как он обладает большой разрешающей способностью, позволяющей выделить отдельно доминирующие эффекты среди очень большого числа факторов, взятых для исследования.

В качестве исследуемых факторов были использованы (см. табл. 1):

- технологические параметры горячей прокатки: температура посады слябов в методические печи (нижний предел -210°C , верхний предел -570°C); температура конца прокатки (нижний предел $-870\div 878^{\circ}\text{C}$, верхний предел $-895\div 905^{\circ}\text{C}$); температура смотки (нижний предел $-540\div 545^{\circ}\text{C}$, верхний предел $-560\div 565^{\circ}\text{C}$); относительные обжатия в последних 12-ой и 13-ой клетях (нижний предел $-30\div 32\%$, верхний предел $-39\div 41\%$); смотка полосы по группам моталок (нижний уровень -1 моталка, верхний уровень -2 моталка);

Таблица 1

Содержание химических элементов в стали

C	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	Al	N2
0,0075- 0,02	0,165- 0,21	0,015- 0,020	0,006- 0,013	0,01- 0,03	0,02- 0,04	0,02- 0,05	0,035- 0,055	0,004- 0,007

- технологические параметры холодной прокатки: суммарное обжатие при холодной прокатке (нижний уровень – 49÷51 %, верхний уровень – 65÷68 %).

В качестве параметров оптимизации установлены: величина зерна феррита и цементита.

Обработка данных, проводимого по методу случайного баланса, не требует каких-либо особых приемов - здесь могут быть использованы обычные, хорошо известные методы статистического анализа, когда результаты экспериментов представлены в терминах не регрессионного, а факторного анализа [1].

На рисунках 1, 2 представлены диаграммы полученных результатов по определению влияния выше перечисленных факторов на величину зерна феррита и балла цементита.

Производя ранжирование факторов, влияющих на величину зерна феррита и балла цементита, получены следующие зависимости (см. рисунки 3, 4)

По оси абсцисс отложены факторы в порядке убывания их ранга, по оси ординат – суммарный вклад, вносимый в общую дисперсию данным фактором и всеми менее значимыми факторами.

На основании проведенного факторного анализа установлено, что основным фактором, влияющим на формирование величины зерна феррита и цементита, является содержание углерода в стали.

Для подтверждения данных, полученных при проведении обработки методом случайного баланса, была проведена статистическая обработка вышеперечисленных факторов методом корреляционного анализа [2], по результатам которой получены следующие уравнения регрессии:

$$\text{ВЗФ} = 5,86 + 35,45 \text{ C} \quad \text{при этом } p\text{-level}=0,000021$$

где: ВЗФ - величина зерна феррита, номер;

C - содержание углерода в стали.

$$\text{БЗЦ} = 2,41 - 81,7 \text{ C} \quad \text{при } p\text{-level} = 0,00001$$

где: БЗЦ - величина зерна цементита, баллы

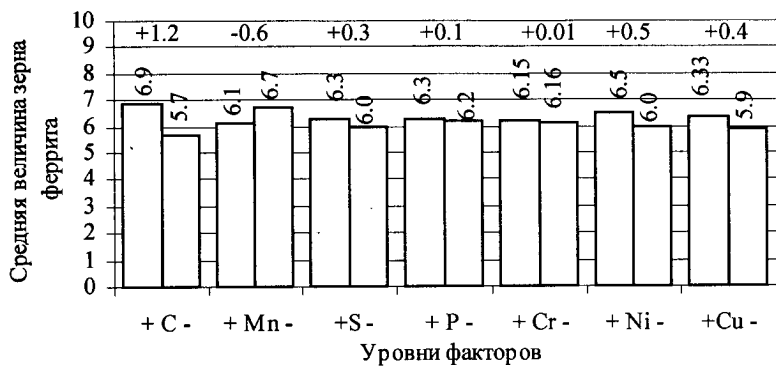


Рис. 1. Диаграмма результатов наблюдений по уровням факторов

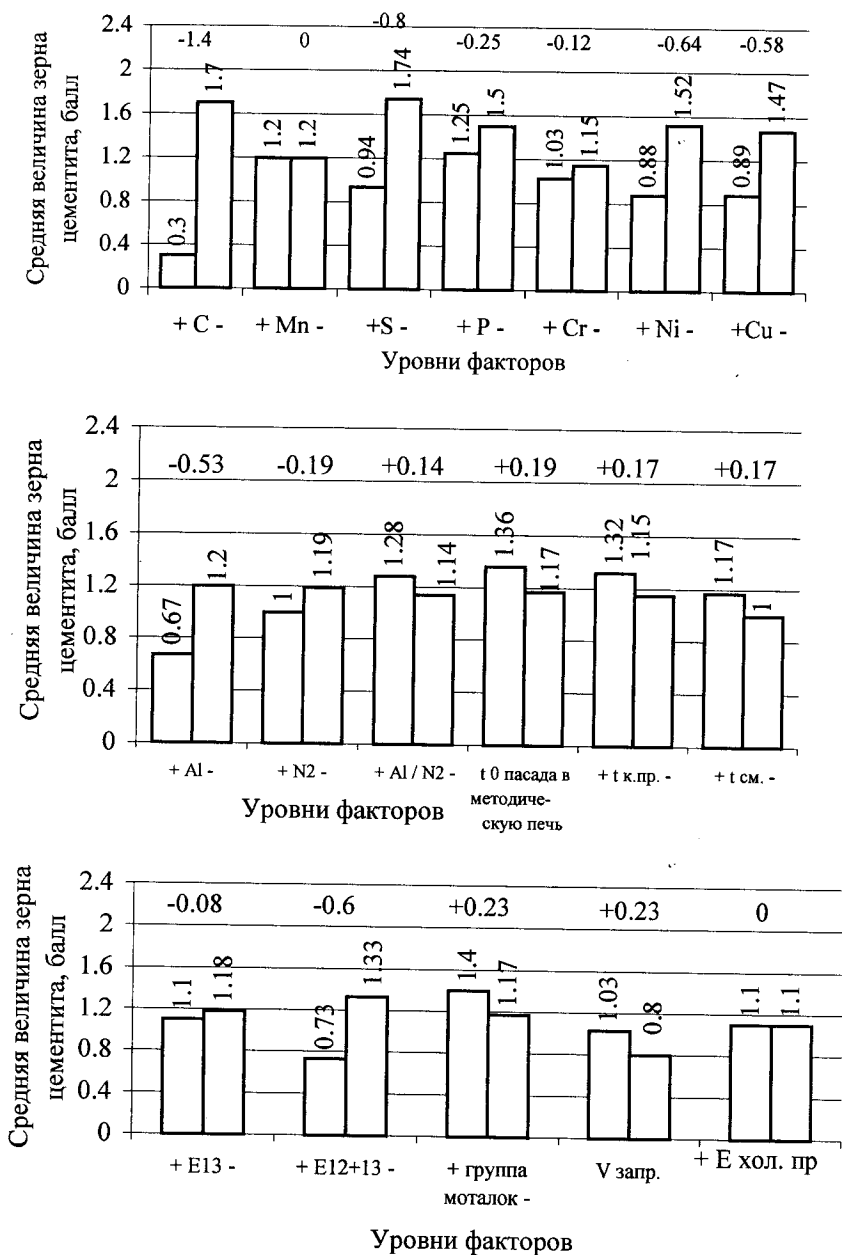


Рис. 2. Диаграмма полученных данных по уровням факторов

Величина зерна феррита

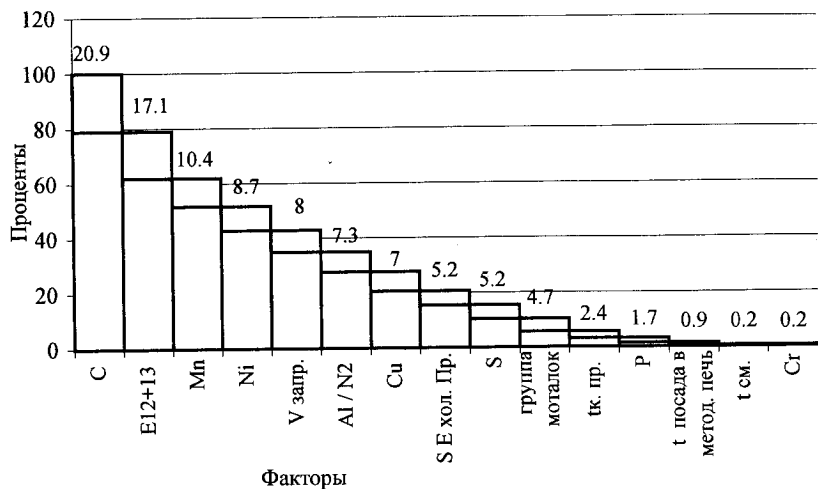


Рис. 3. Ранжирование факторов по степени их влияния на формирование величины зерна феррита

Величина зерна цементита

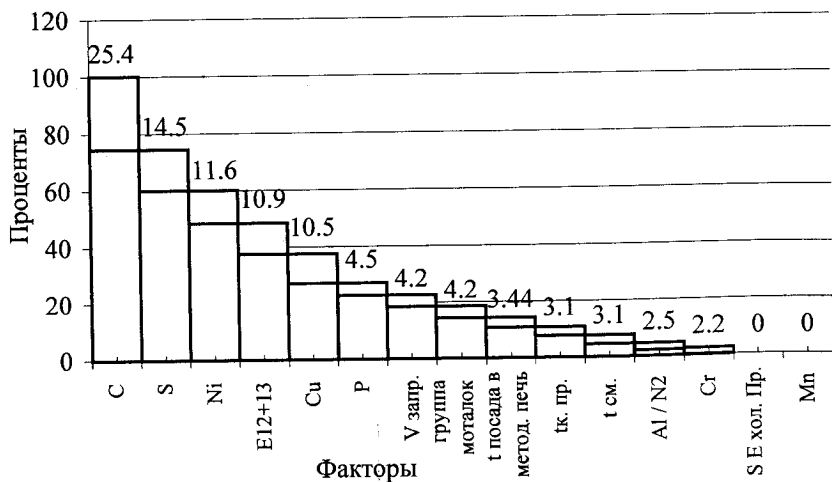


Рис. 4. Ранжирование факторов по степени их влияния на формирование величины зерна цементита, оцененного в баллах

В процессе производства стали марки 08Ю с низким содержанием углерода было обращено внимание на микроструктуру холоднокатаного металла, которая отличается от микроструктуры стали 08Ю с содержанием углерода 0,02 % и более. С увеличением зерна феррита отмечается увеличение балла цементита при неизменных температурно-скоростных режимах горячей прокатки. Цементит расположен редкими колониями с достаточно крупным размером (до 3 балла). Это объясняется тем, что в сталях с низким содержанием углерода отсутствует возможность равномерного распределения зародышеобразования цементита из растворенного углерода (из-за недостаточного количества углерода). Величина цементита выражена тем сильнее, чем меньше имеется частиц зародышеобразования цементита во время рекристаллизационного отжига.

С целью установления корреляционной зависимости между величиной зерна и баллом цементита проведена статистическая обработка данных на 170 плавках. Установлена следующая зависимость, выражена уравнением регрессии:

$$\text{ВЗФ} = 6,98 - 0,6 \text{ ВЗЦ}$$

при этом: коэффициент корреляции (r) составил $-0,70$;

дисперсия коэффициента корреляции $-0,04$

$t_{\text{расч}} = -17,5$; $t_{\text{табл}} = 3,29$ с вероятностью $\alpha = 0,99$

Отсюда $t_{\text{расч}} > t_{\text{табл}}$.

Таким образом установлена корреляционная связь между размером зерен феррита и цементита.

Условия конца горячей прокатки и способ охлаждения горячекатаных полос влияют на величину и однородность зерна феррита, а также на величину и форму и распределение выделенного цементита, а тем самым и на механические свойства полос. Температура конца прокатки значительно влияет на конечную величину и однородность зерна. Для достижения оптимальной микроструктуры полосы необходимо, чтобы температура конца прокатки была выше температуры превращения $A_{с3}$, т.е. последние проходы приходились бы на область температур однофазной аустенитной структуры, так как конечная величина зерна зависит от величины зерен аустенита перед рекристаллизацией.

Другим технологическим параметром, которым можно в производственных условиях воздействовать на величину рекристаллизованных зерен, является суммарная степень деформации при холодной прокатке. Для достижения оптимальной величины рекристаллизованного зерна и необходимых вытяжных свойств существует оптимальная степень холодной деформации. В сталях, раскисленных алюминием, эта деформация составляет 50-72 %. При суммарной деформации более 72 % сильно измельчается рекристаллизованное зерно; благодаря этому нормаль-

ная анизотропия механических свойств отожженного металла увеличивается в направлении прокатки и уменьшается в поперечном направлении [3].

С целью получения оптимальной однородной величины зерна в стали с низким содержанием углерода было изготовлено несколько опытных плавок с содержанием углерода 0,0075-0,01 % при увеличении температуры конца прокатки до 930° С вместо 860-890 °С и увеличении суммарных обжатий при холодной прокатки на 5-10 % относительно существующих. Полученные результаты по микроструктуре и механическим свойствам холоднокатаного металла представлены в таблице 2.

Таблица 2

Микроструктура и механические свойства стали марки 08Ю с низким содержанием углерода

Плавка	Размер, мм	Т к.пр, °С	Обжатие 12-13 кл. %	Обжатие при хол. прок., %	Механические свойства			Микроструктура	
					σ_t н/мм ²	σ_b н/мм ²	δ_4 %	ВЗФ	ВЗЦ
221393	3,3/1,5×1250	903	30,3	54,5	150-155	285-295	43-44	4-3 (6)	2А
	4,1/2,0×1250	890	20,5	52,5	155-160	290-295	43-44	4-3 (6)	2А
	9/1,2×1220	910	29,9	58,6	170-175	290-295	38-39	6-7 (5)	2А
224152	3,1/1,2×1440	910 935	33,6	61,3	150-155	285-290	41-44,5	6 (5)	2А
223458	4,8/2,5×1245	905 940	26,5	47,9	200-205	285-295	43,5-44	6 (5)	2а
324309	2,8/0,8×1231	911	36,0	71,4	155-160	280-295	39,0-41,5	6	2А-1в

Из таблицы 2 следует, что повышение температуры конца горячей прокатки с 890° С до 930° С и увеличение суммарного обжатия до 5 % относительно существующей технологии холодной деформации в полной мере не обеспечивают микроструктуру в пределах требований ГОСТ 9045 - 93.

Также известно [3], что в нестареющих сталях, раскисленных алюминием, большое значение имеет температура полосы перед смоткой в рулон. При этом полоса должна быть быстро охлаждена и свернута в рулон при температуре 550-600 °С. Быстрое охлаждение горячекатаных полос тормозит выпадение нитрида алюминия из твердого раствора, так как максимальная скорость их выпадения находится в области температур 750-850 °С. Нитриды алюминия выпадают лишь после последующей холодной прокатки и рекристаллизационного отжига. На

процесс выпадения нитридов алюминия во время горячей прокатки влияет также и температура нагрева слэбов, которая должна быть ниже чем 1150 °С, так как при температуре выше 1150 °С происходит полное растворение нитрида алюминия в аустените.

В связи с тем, что нагрев слэбов в методических печах ЛПЦ-10 находится в интервале температур 1240-1280 °С выделить в слэбе нитрид алюминия из аустенита не представляется возможным, поэтому была предпринята попытка увеличить температуру смотки полосы до 610-630 °С с тем, чтобы часть нитридов алюминия выделить из твердого раствора в процессе горячей прокатки и при последующем рекристаллизационном отжиге холоднокатаных рулонов, обеспечить процесс торможения роста зерна за счет блокировки их нитридами алюминия.

Для определения влияния нитридного механизма на формирование зерна феррита по технологическому переделу ЛПЦ-10 – ЛПЦ-5 была изготовлена опытная плавка 127214 марки 08Ю размером 2,6×1312 мм. Основные технологические параметры горячей и холодной прокатки, а также полученные результаты по микроструктуре и механическим свойствам холоднокатаного металла представлены в таблице 3.

Таблица 3

Микроструктура и механические свойства пл.127214

Размер	С %	t к.пр. °С	t см., °С	Об. 12-13 кл., %	Об. хол. прок, %.	Механические свойства			Микро- структура	
						σ_{T02} Н/ММ ²	σ_b Н/ММ ²	δ_4 , %	ВЗФ	БЦ
2,6/0,95× 1312	0,01	876-888	610-630	32,8	63,5	183	305	39,0	5 - 6	1А

Из таблицы 3 следует, что использование нитридного механизма не обеспечивает микроструктуру с величиной феррита 6 - 9.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В вакумированной стали марки 08Ю с содержанием углерода менее 0,02 % в процессе рекристаллизационного отжига холоднокатаных рулонов отмечается тенденция к укрупнению зерна феррита и цементита.
2. При существующей технологии основным фактором, влияющим на величину зерна феррита и балл цементита, является содержание углерода в стали.
3. Увеличение температуры конца прокатки с 890 до 930 °С и увеличение суммарного обжатия полос в процессе холодной прокатки до 5 % не обеспечивают оптимальной однородной структуры.

4. Использование нитридного механизма с целью блокировки зерен феррита в процессе их роста при рекристаллизационном отжиге в исследуемых пределах температуры смотки (610-630 °С) не обеспечивает равномерной структуры

5. Для обеспечения микроструктуры в холоднокатаной стали марки 08Ю требованиям ГОСТ 9045-93 необходимо установить нижний предел содержания углерода 0,02 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Налимов В.В., Чернова Н.А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. –М.: Наука, 1965.
2. Длин А.М. Математическая статистика в технике. –М.: Советская Наука, 1969.
3. Дедек Вл. Полосовая сталь для глубокой вытяжки. –М.: Metallurgia, 1970.