

УДК 621.771

Анализ условий формирования структуры и механических свойств углеродистой полосовой стали на литейно - прокатном комплексе

Алдунин Анатолий Васильевич^(*)

alav@bmstu.ru

Половинко Владислав Эдуардович

p0lovinkoea@yandex.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрены показатели качества структуры и механические свойства полос углеродистой полосовой стали, производимой на литейно-прокатном комплексе. Показано, что механические свойства соответствуют требованиям стандарта, а коэффициент вариации по размеру зерна феррита превышает значение, соответствующее однородной структуре. Анализ режимов прокатки толстых полос в непрерывной чистовой группе комплекса с помощью диаграммы рекристаллизации стали близкого химического состава показал узкое место в технологии прокатки. Улучшить структуру и механические свойства полосового проката можно за счет научно обоснованного распределения обжатий по проходам в чистой группе клеток литейно-прокатного комплекса.

Ключевые слова: углеродистая полосовая сталь, горячая прокатка, литейно-прокатный комплекс, разнотернистость зерна феррита, механические свойства, распределение обжатий по проходам

Analysis of conditions of structure formation and mechanical properties of carbon strip steel at casting and rolling complex

Aldunin Anatoly Vasilievich^(*)

alav@bmstu.ru

Polovinko Vladislav Eduardovich

p0lovinkoea@yandex.ru

BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. The quality indicators of the structure and mechanical properties of strips of carbon strip steel produced at the foundry and rolling complex are considered. It is shown that the mechanical properties meet the requirements of the standard, and the coefficient of variation in ferrite grain size exceeds the value corresponding to a homogeneous structure. An analysis of the rolling modes of thick strips in a continuous finishing group of the complex using a diagram of the recrystallization of steel of similar chemical composition showed a bottleneck in the rolling technology. It is possible to improve the structure and mechanical properties of strip rolled products due to a scientifically based distribution of compression along the aisles in a clean group of crates of the foundry and rolling complex.

Keywords: carbon strip steel, hot rolling, casting and rolling complex, different grain sizes of ferrite grain, mechanical properties, distribution of compression across the aisles

Введение. Известно, что структура горячекатаных полос во многом определяется условиями прокатки в чистовой группе непрерывного широкополосного стана (НШС) [1]. Совмещение процессов литья и прокатки по ряду технико-экономических показателей выгодно отличается от условий производства горячекатаных полос на НШС [2]. Однако при использовании на литейно-прокатном комплексе (ЛПК) тонкослябовой машины непрерывного литья к снижается степень проработки металла, что может влиять на однородность его структуры. Известно, что разрушение конструкций во многом определяется качеством исходных материалов, включая неоднородность его структуры, в том числе разнотернистость [3, 4]. Повышенная разнотернистость может приводить к снижению ударной вязкости и относительного удлинения, а также увеличению разброса временного сопротивления и предела текучести [5].

Материалы и методы. Для анализа условий формирования структуры и механических свойств использовали образцы от полос углеродистой стали 20 толщиной 5–12 мм, производимых на литейно-прокатном комплексе АО «ОМК» (рис. 1).

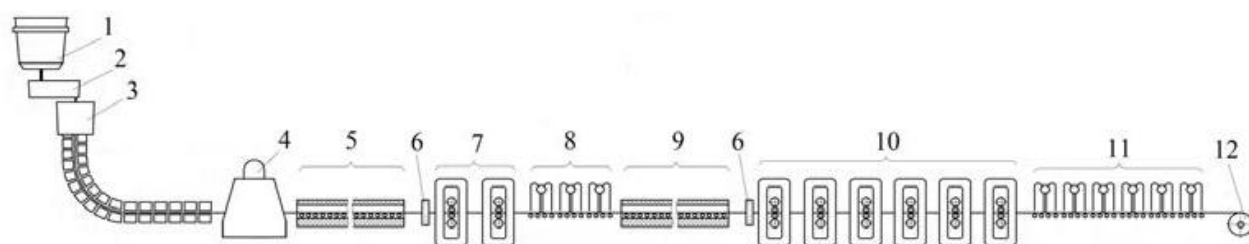


Рис. 1. Схема расположения оборудования ЛПК АО «ОМК»:

1 — сталеразливочный ковш; 2 — промежуточный ковш; 3 — машина непрерывного литья заготовок; 4 — маятниковые ножницы; 5 — туннельная печь; 6 — эджер; 7 — черновая группа клетей; 8 — установка промежуточного охлаждения; 9 — подогреваемый рольганг; 10 — чистовая группа клетей; 11 — отводящий рольганг с установкой охлаждения; 12 — моталка

Требования к химическому составу этой стали определены ГОСТ 1050–2013 (табл. 1).

Таблица 1

Химический состав стали 20 по ГОСТ 1050–2013

Массовая доля элементов, %							
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
			не более				
0,17–0,24	0,17–0,37	0,35–0,65	0,030	0,035	0,25	0,30	0,30

Механических свойств полос углеродистой стали 20 толщиной 5–12 мм соответствуют требованиям ГОСТ 1577–2022 [6]. Средний размер зерна феррита $\bar{d}$ равен 10,5 мкм при среднеквадратическом отклонении S около 6 мкм, объемная доля перлита P — около 21 %. Однако коэффициент вариации v_d

по размеру зерна феррита превышает значение 0,5, характерное для однородной структуры, и для полос толщиной 8 и 12 мм он составляет 0,58 и 0,57 соответственно (табл. 2).

Таблица 2

Результаты исследования структуры образцов горячекатаных полос стали 20 и их механические свойства

h, мм	$\bar{d}$, мкм	S, мкм	v_d	П, %	Механические свойства			
					σ_B , Н/мм ²	σ_T , Н/мм ²	δ_5 , %	КСУ ⁻⁷⁰ , Дж/см ²
8	10,6	6,2	0,58	20,6	480	335	34	115
12	9,8	5,6	0,57	21,9	460	300	35	121

При прокатке каждой полосы автоматизированная система ЛПК производит запись скорости, температуры, толщины раската и других технологических параметров по ходу прокатки. Это позволяет анализировать условия прокатки производимых полос.

Для первичного анализа условий формирования структуры полос стали 20 использовали, представленную на рис. 2, диаграмму рекристаллизации близкой по химическому составу стали СтЗсп [7].

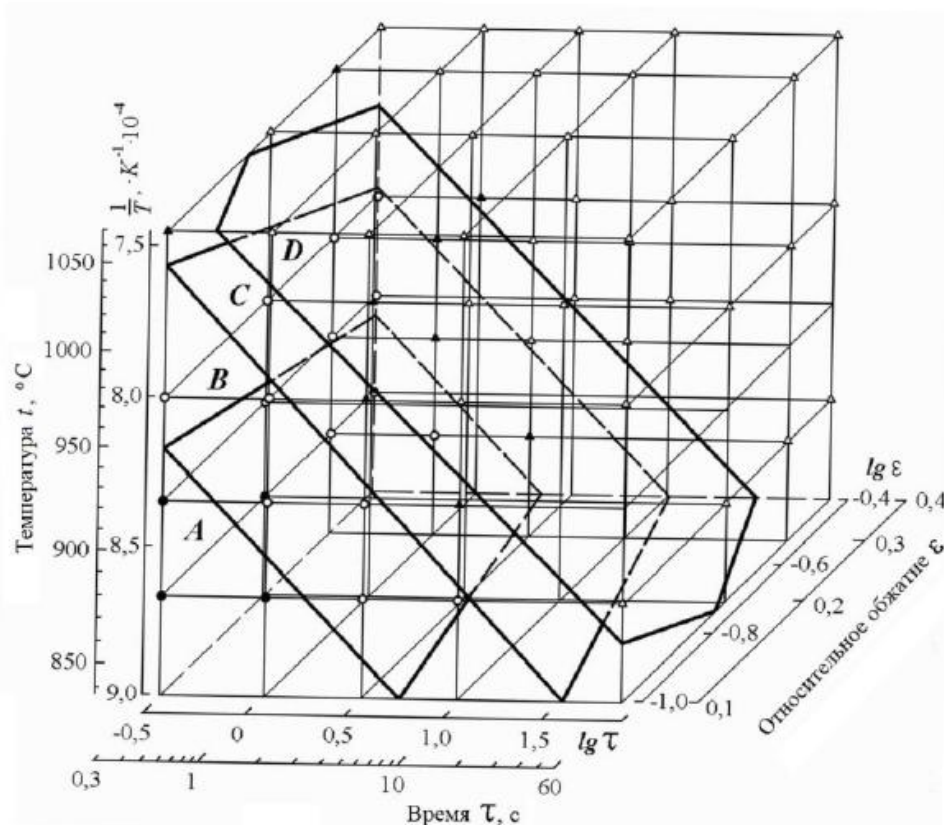


Рис. 2. Диаграмма рекристаллизации аустенита стали СтЗсп:

Области: А — наклепанного состояния; В — первичной рекристаллизации; С — инкубационного периода собирательной рекристаллизации; D — собирательной рекристаллизации

Границы областей диаграммы в спрямляющих координатах описываются уравнениями:

$$\frac{1}{T} \cdot 10^4 = 0,6733 \cdot \lg \tau + 0,3914 \cdot \lg \varepsilon + 8,9202 \quad \text{— для границы } A - B; \quad (1)$$

$$\frac{1}{T} \cdot 10^4 = 0,7728 \cdot \lg \tau + 0,7922 \cdot \lg \varepsilon + 8,6647 \quad \text{— для границы } B - C; \quad (2)$$

$$\frac{1}{T} \cdot 10^4 = 0,6433 \cdot \lg \tau + 0,6710 \cdot \lg \varepsilon + 8,3123 \quad \text{— для границы } C - D, \quad (3)$$

где T — температура, К; τ — время, с; ε — относительное обжатие.

Результаты. Анализ условий формирования структуры аустенита в межклетевых промежутках непрерывной чистовой группы ЛПК при прокатке полосовой стали 20 толщиной 8 и 12 мм выполнили с применением уравнений (1)–(3). При расстояниях между клетями непрерывной чистовой группы 5,5 м междеформационные паузы по ходу прокатки полосы толщиной 8 мм изменялись от 6,5 до 2,1 с, а полосы толщиной 12 мм — от 7,3 до 3,1 с.

Результаты анализа приведены на рис. 3. Состояние структуры в конце каждого межклетьевого промежутка обозначали условными знаками.

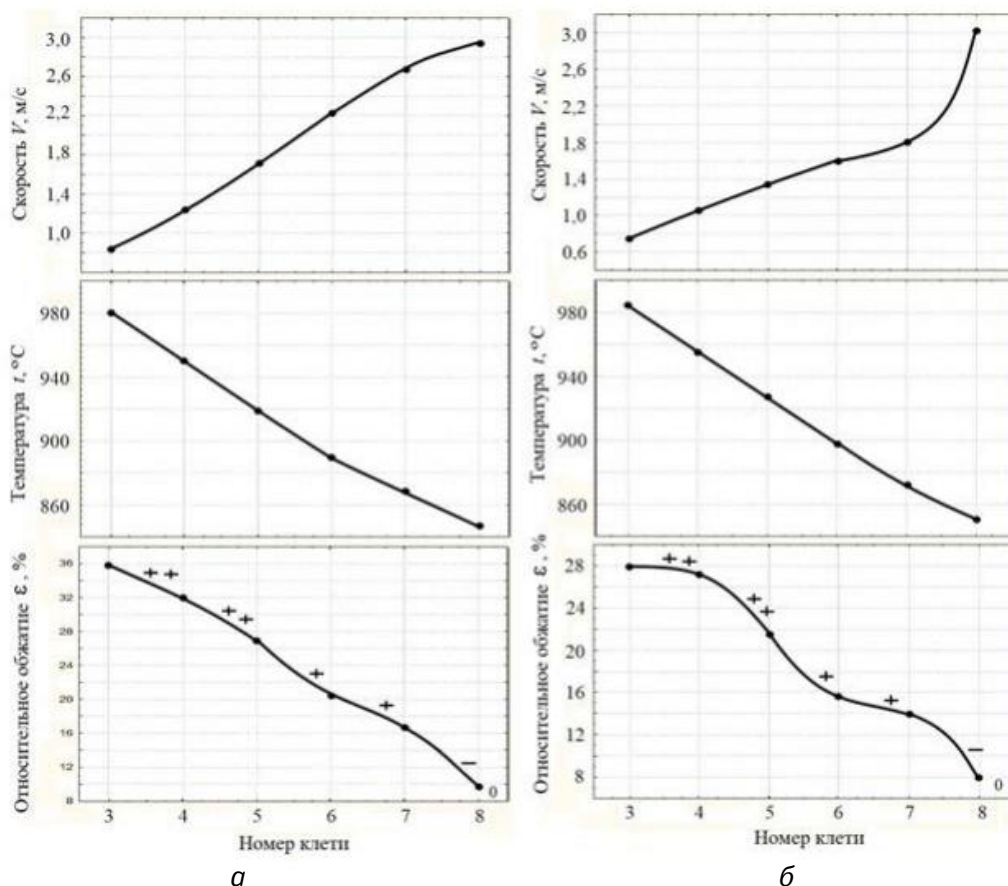


Рис. 3. Результаты анализа условий формирования структуры аустенита в межклетевых промежутках непрерывной чистовой группы клетей ЛПА:

++ — завершенная первичная рекристаллизация и собирательный рост зерна; + — завершенная первичная рекристаллизация; - — незавершенная первичная рекристаллизация; 0 — наклепанное состояние

Как видно из рис. 3, процесс формирования структуры аустенита после каждого обжата раската зависит от относительного обжата, температуры и междеформационной паузы.

Обсуждение полученных результатов. Предварительный анализ условий формирования структуры аустенита в непрерывной чистовой группе ЛПА показал, что при прокатке полос углеродистой стали 20 в первых двух промежутках после прохождения первичной рекристаллизации получает развитие собирательный рост зерна, в следующих двух успевает завершиться первичная рекристаллизация, в последнем — первичная рекристаллизация не успевает пройти полностью и формируется разнотермическая структура, а в результате завершающего обжата получается наклепанное состояние металла.

Заключение. Таким образом, причиной повышенной разнотермичности стали в готовой полосе является недостаточное относительное обжатие при прокатке в предпоследней клетке непрерывной чистовой группы ЛПА. Научно-обоснованное распределение обжатий по клетям чистовой группы можно будет выполнить после физического моделирования условий прокатки полос на ЛПА.

Список источников

- [1] Шаталов Р.Л., Колесников А.Г., Алдунин А.В., Мунтин А.В. *Управление качеством полос и листов при горячей прокатке*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2023, 277 с.
- [2] Мунтин А.В. Передовые технологии совмещенного процесса непрерывного литья тонких слябов и горячей прокатки стальной полосы. *Металлург*, 2018, № 9–10, с. 43–51.
- [3] Кудря А.В., Соколовская Э.А. Прогноз разрушения материалов с неоднородной структурой. *Физика металлов и металловедение*, 2022, т. 123, № 12, с. 1334–1346.
- [4] Ковалева И.А., Ходосовская Н.А., Оборев М.В. Влияние разнотермичности металла на механические свойства бесшовных горячекатаных труб. *Литье и металлургия*, 2020, № 1, с. 31–33.
- [5] Кудря А.В., Соколовская Э.А., Траченко В.А. и др. Измерение неоднородности разрушения в конструкционных сталях с разнотермической структурой. *МиТОМ*, 2015, № 4, с. 12–18.
- [6] Алдунин А.В., Половинко В.Э. Анализ структуры и механических свойств полос углеродистой стали, производимых на литейно-прокатном комплексе. *Заготовительные производства в машиностроении*, 2024, т. 22, № 10, с. 467–470.
- [7] Алдунин А.В., Русаков А.Д., Трайно А.И. *Исследование и разработка технологий производства стальных полос*. Saarbrücken, LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014, 170 с.