

ВЛИЯНИЕ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЛИСТОВОЙ СТАЛИ 10ХФТБч

Предложен метод определения влияния напряженно-деформированного состояния металла на структурные превращения низколегированной стали 10ХФТБч. На базе решения пространственной задачи теории пластичности, экспериментальных исследований механических характеристик низколегированной стали, структурного состояния металла после деформации, показана связь параметров напряженного состояния, термомеханической обработки и структурных изменений в очаге деформации. Экспериментально-теоретический метод можно использовать для разработки технологических режимов прокатки новой марки стали с заданными механическими характеристиками под заказ.

Ключевые слова: математическая модель, пластическая среда, напряжения, сталь 10ХФТБч, пластометр Gleeble-3800.

Одним из путей увеличения прочностных свойств низколегированных сталей, подвергаемых контролируемой прокатке, является использование сталей с двухфазной структурой [1]. Характер структуры, а следовательно, и уровень свойств, формирующихся при контролируемой прокатке, зависит от условий проведения горячей пластической деформации и режимов последующего охлаждения. Известно, что снижение температуры окончания деформации обеспечивает повышение прочностных свойств низколегированных сталей с феррито-перлитной структурой [2]. Основной причиной такого эффекта является измельчение ферритного зерна. В работе рассматривается, какое влияние температура пластической деформации, осуществляемая в аустенитном состоянии, оказывает на величину зерна низколегированной стали 10ХФТБч с феррито-перлитной структурой.

Цель работы – оценки влияния горячей прокатки в условиях производства на деформирование структуры горячекатаной листовой стали 10ХФТБч.

Влияние степени деформации на структурообразование металла стали 10ХФТБч оценивали путем горячей прокатки образцов (моделей). Используя разные

методы оценки структурного состояния сталей, результаты рассчитывали по пяти образцам для каждой стали, что позволило обеспечить статистическую значимость показателей с ошибкой в пределах 5 %. Результаты, полученные от проведенного эксперимента, приведенные в таблице 1, показывают, все образцы, прокатанные с различной степенью деформации, имели высокую разнородность.

Результаты проведенных исследований показывают, что неравномерность деформации при горячей прокатке может существенно влиять на процесс структурообразования в момент формоизменения [3]. Причем разнородность может как повышаться, так и понижаться под влиянием развития температуры в очаге интенсивной деформации. При разработке технологического процесса горячей прокатки листовых сталей для изготовления дисков колес автомобилей необходимо учитывать неравномерность деформаций по сечению и, соответственно, повышение разогрева центральной части слябов. В этом случае ряд авторов предложили методики и вывели соответствующие формулы, одну из которых (1) можно использовать для расчета температуры разогрева центральной части слябов [4].

Таблица 1 – Зависимость величины зерна от степени и температуры деформации образцов стали 10ХФТБч

Температура деформации $T, ^\circ\text{C}$	Степень деформации образцов														
	$\varepsilon_1 = 0,85$			$\varepsilon_2 = 0,75$			$\varepsilon_3 = 0,65$			$\varepsilon_4 = 0,55$			$\varepsilon_5 = 0,45$		
	Балл зерна по зонам образца														
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
770	3–4	4–5	5	3–4	4–5	5	3–4	5	5	5	5	6	4	4–5	5
800	3	3–4	4–5	3–4	4–5	5	4	5	5	5	5	6	4	4	5
850	7	7	7–8	6–7	7–8	7	6–7	7	8	7	8	8	6–7	7	7
900	4	5–6	6	5–6	6	7	5–6	6	7	5	7	7	5	6	6
950	4	5	6	5	5	6	5	5	6	5	6	7	5	6	6

Примечание. Площадь исходного образца $F = 20 \times 60 = 1200 \text{ мм}^2$. В образцы подводили термонару. После горячей прокатки образцы охладили на воздухе.

$$t = \theta(t_n - t_0) + t_0, \quad (1)$$

$$\theta = 1 + \frac{\alpha \cdot 4\sigma_{SH} \cdot L_n \left[\ln \frac{H_n}{H_k} + \frac{1}{9} \left(\frac{L_n}{H_k} - \frac{L_n}{H_k} \right) \right]}{c - \rho \cdot H_n (t_n - t_0)}, \quad (2)$$

где θ – значение безразмерной температуры;

t_n и t_0 – температура начальной деформации и окружающей среды соответственно;

α – коэффициенты «выхода тепла», $\alpha = 0,85 \div 0,95$;

σ_{SH} – истинное сопротивление деформированию, способствующее скорости деформации природы ε'_H и ε'_0 ;

H_n и L_n – высота и длина исходной заготовки;

H_k и L_k – высота и длина конечного проката;

C – удельная теплоемкость стали;

ρ – плотность металла заготовки.

Для определения σ_{SH} на практике используют выражение (3), которое учитывает скорость деформации заготовки:

$$\sigma_{SH} = \sigma_0 + \ln \frac{\varepsilon'_H}{\varepsilon'_0}, \quad (3)$$

где σ_{SH} – истинное сопротивление деформации, соответствующее скорости природы ε'_H и образца ε'_0 ;

Следует отметить, что сравнение экспериментальных результатов с расчетными результатами показало удовлетворительную сходимость, которая не превышала 5 %. Максимальный разогрев центральной части исследуемых образцов, замеряемый с помощью термопар в момент горячей деформации, составил 952 °С при исходной температуре 900 °С.

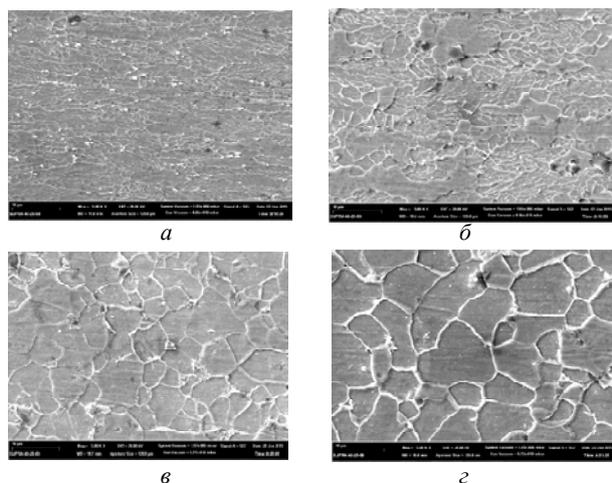


Рис. 1. Микроструктуры низколегированной стали 10ХФТБ4 после деформации 50% при температуре 770 °С (а), 800 °С (б), 850 °С (в) и 900 °С (з) и скоростью деформации 100 с^{-1} , $\times 5000$

Нормализация, проведенная при 900 °С, существенно не устранила разнотерность. Увеличение степени деформации способствует возрастанию разнотерности с 4...6 балла до 3...8 балла, а повышение скорости деформации с 10 м/с до 100 м/с не привело к заметному изменению величины зерна. Более того, в зоне интенсивной деформации наблюдали некоторое увеличение зерен с 7 до 6 и даже до 5 балла. Это связано с более интенсивным разогревом центральной части сечения проката. Максимальный разогрев третьей зоны сечения, измеренный с помощью термопары при горячей деформации, повышался на 25...30 °С.

Зависимость между величиной зерна, температурой и степенью деформации представлена на рис. 2. При малых степенях деформации (обычно не более 15 %) величина зерна не зависит от степени деформации. Этот участок диаграммы называют порогом рекристаллизации. С ростом температуры величина порога рекристаллизации уменьшается. При некоторой критической степени деформации, характерной для данной температуры, величина зерна резко возрастает, затем с дальнейшим ростом деформации снова уменьшается. Отсюда следует важный вывод: для получения мелкозернистой структуры стали необходимо избегать критических степеней деформации.

Вид кривой, связывающей величину зерна со степенью деформации, является результатом следующих обстоятельств. При малых деформациях (соответствующих порогу рекристаллизации) последняя протекает внутри зерен, так что границы между зернами не нарушаются. Поэтому непосредственное соприкосновение соседних кристаллитов и взаимная перестройка их решетки для образования общего нового зерна затруднены. В этих условиях величина зерна не зависит от степени деформации. Когда степени деформации равны критическим, начинается межкристаллическая деформация, однако число обломов зерен – центров кристаллизации еще невелико. В связи с этим число вновь образовавшихся зерен также мало, но зато величина их значительна (критическая величина зерна). Склонность к росту зерна обусловлена происходящим при этом уменьшением уровня потенциальной энергии в связи с сокращением протяженности границ зерен и их искаженности. В дальнейшем с ростом деформации число центров кристаллизации продолжает возрастать, а величина зерен вследствие взаимных помех при их росте уменьшается.

На рис. 2 показано, что при данной степени деформации величина зерна увеличивается с ростом температуры. Объясняется это тем, что при высоких температурах происходит выравнивание ориентировки всех кристаллитов, за счет чего мелкие зерна сливаются в более крупные.

Полученные данные хорошо согласуются с современными представлениями о механизмах структурообразования в зависимости от температуры деформации стали. Согласно этим представлениям [5, 6], при температуре деформации 770 °С преобладающим механиз-

мом измельчения структуры является фрагментация, заключающаяся в разбиении аустенитных, а также ферритных зерен единой исходной ориентации на разориентированные субзерна (фрагменты) малоугловыми дислокационными границами деформационного происхождения. При более высоких температурах реализуются два конкурирующих механизма – фрагментация и начальные процессы динамической рекристаллизации аустенита. За счет формирования феррита при температуре 770 °С наблюдаются минимальные значения твердости, максимальные значения твердости в сочетании с малым размером структурного элемента наблюдаются после деформации 850 °С со степенью деформации 50 %.

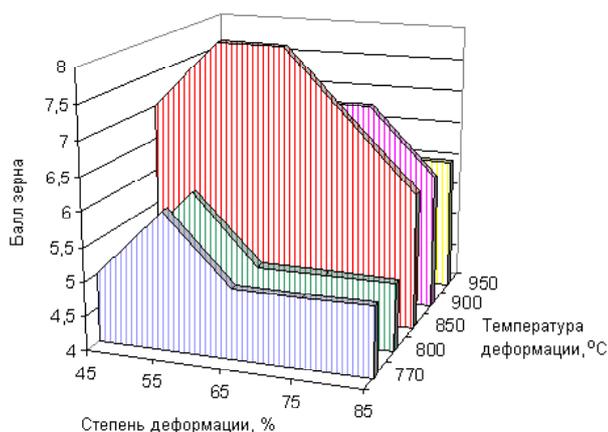


Рис. 2. Диаграмма рекристаллизации низколегированной стали 10ХФБТч

Вывод

При соответствующем выборе режимов на стали одного и того же состава могут быть получены повышенные прочностные или пластические свойства за счет изменения структурного состояния, что позволяет управлять получением заданного комплекса свойств, а в перспективе – из стали унифицированного химического состава получать либо листовую прокат различной категории прочности, либо листовую прокат с различными вязко-пластическими свойствами в зависимости от условий эксплуатации.

Список литературы

1. Designing High Performance Steels with Dual-Phase Structures / J. Koo, V. Bungazu, R. Narasimha, G. Thomas // Metal Progress. – 1979. – P. 67–71.
2. Контролируемая прокатка / [В. И. Погорельский, Д. А. Литвиненко, Ю. И. Матросов, А. В. Иваницкий]. – М. : Metallurgy, 1979. – 184 с.
3. Бернштейн М. Л. Структура деформированных металлов / М. Л. Бернштейн. – М. : Metallurgy, 1977. – 432 с.
4. Матросов Ю. И. Влияние дробной деформации в $\gamma+\alpha$ и α -областях на механические свойства стали 09Г2 / Ю. И. Матросов, В. Н. Филимонов, М. Л. Бернштейн // Известия вузов. Черная металлургия, 1979. – № 11. – С. 115–119.
5. Рыбин В. Н. Принципы формирования микроструктуры в процессе пластического нагружения / В. Н. Рыбин // Проблемы материаловедения. – 2002. – Т. 29, № 1. – С. 11–33.
6. Kelly G. Ultrafine grained ferrite formed by interrupted hot torsion deformation of plain carbon steel / G. Kelly, H. Beladi, P. Hodgson // ISIJ International. – 2002. – № 42 (12). – P. 1585–1590.

Одержано 24.05.2015

Шейко С.П., Третьяк В.І., Демченко М.М. Вплив гарячого прокатування на формування структури листової сталі 10ХФБТч

Запропоновано метод визначення впливу напружено-деформованого стану металу на структурні перетворення низколегованої сталі 10ХФБТч. На базі рішення просторової задачі теорії пластичності, експериментальних досліджень механічних характеристик низколегованої сталі, структурного стану металу після деформації показано зв'язок параметрів напруженого стану, термомеханічної обробки і структурних змін в осередку деформації. Експериментально-теоретичний метод можна використовувати для розробки технологічних режимів прокатки нової марки сталі із заданими механічними характеристиками під замовлення.

Ключові слова: математична модель, пластичне середовище, напруги, сталь 10ХФБТч, пластометр Gleeble-3800.

Sheyko S., Tretiak V., Demchenko N. The influence of hot rolling on the structure of sheet steel 10XФБТч

A method is proposed for determination of the influence of the stress-strain state of metal on structural transformations in low-alloy steel 10XФБТч. Based on the solution of spatial problems of the theory of plasticity, experimental research of mechanical characteristics of low alloy steel, structural state of the metal after deformation, the relation between the parameters of the stress state, thermomechanical processing and structural changes in the deformation zone is shown. Experimentally-theoretical method can be used for the development of technological modes of rolling a new steel grade with specified mechanical properties under the order.

Key words: mathematical model, plastic environment, stresses, steel 10XФБТч, plastometer Gleeble-3800.