

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ТРЕЩИН НЕПРЕРЫВНОЛИТОГО СЛЯБА ПРИ ЧЕРНОВОЙ ПРОКАТКЕ НА ШИРОКОПОЛОСНОМ СТАНЕ

*Песин А.М., д.т.н., профессор, Салганик В.М., д.т.н., профессор, Пустовойтов Д.О.
ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», кафедра
обработки металлов давлением, г. Магнитогорск, Россия*

При производстве трубной заготовки на широкополосных станах горячей прокатки большие потери металла связаны с тем, что значительная часть готовых полос поражена поверхностными дефектами. Наличие поверхностных дефектов проката в значительной мере связано с нарушениями технологии сталеплавильного производства. Чаще других встречаются дефекты поверхности металла типа «плена» и «трещина». Основным местом, пораженным данными дефектами, является ребровая зона сляба. Данная зона имеет наименьшую температуру поверхности на участке разгиба МНЛЗ, а в сочетании с глубокими складками, образованными от возвратно-поступательного движения кристаллизатора, наиболее подвержена появлению поперечных трещин (Рис.1а), размеры которых могут достигать нескольких миллиметров. Каждый характерный поверхностный дефект непрерывнолитого сляба в случае его невыявления и неудаления трансформируется в дефект поверхности полосового проката. Для части марочного сортамента, преимущественно из трубных марок сталей, доля пораженных такими дефектами полос может достигать 25 – 30%.

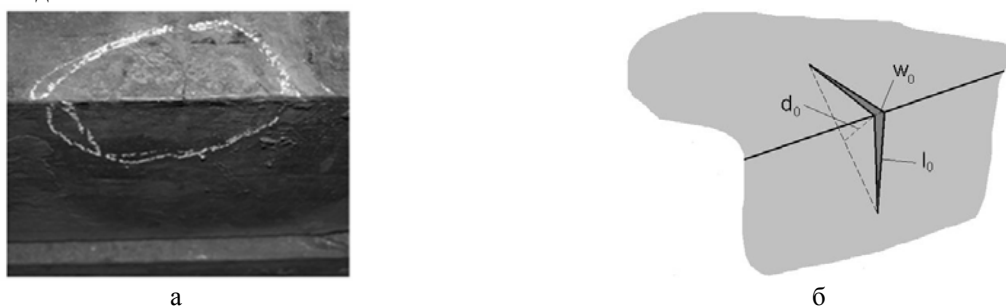


Рис. 1. Поперечная угловая трещина на поверхности непрерывнолитого сляба (а) и схематическое представление дефекта (б)

Целью данной работы является экспериментальное и численное исследование механизма формоизменения поверхностных поперечных трещин сляба при горячей прокатке.

Моделирование формоизменения поперечных трещин сляба (Рис. 1б) при горячей прокатке проводили методом конечных элементов в программном комплексе **DEFORM-3D**. При моделировании были приняты следующие допущения: рассматриваемый процесс является симметричным, изотермическим; валки несжимаемые; материал полосы считается однородным, изотропным; деформируемая среда – вязкопластическая. Трение описывали по закону Shear. Показатель трения задавали постоянным и равным 0,8. В качестве уравнения сопротивления деформации для стали X70 (0,07C-1,7Mn-0.03V-0.07Nb)) использовали функцию:

$$\sigma_s = 1530 u^{0,1019} \varepsilon^{0,1344} e^{-0,00253t}, \quad (1)$$

где u - скорость деформации, 1/с; ε - истинная деформация; t - температура, °С.

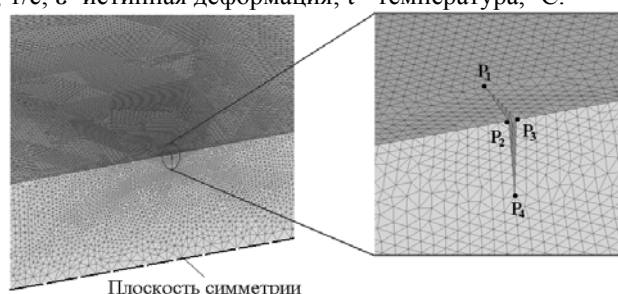


Рис. 2. Модель сляба с поперечной угловой трещиной

Прокатку сляба в черновой группе стана 2000 вели в горизонтальных валках за пять проходов (Табл. 1). Деформацию сляба в вертикальных валках не рассматривали.

Таблица 1. Условия прокатки

Параметр	Номер прохода				
	1	2	3	4	5
Радиус рабочих валков, мм	700	590	590	590	590
Обжатие, %	20,0	15,0	23,0	23,7	30,0
Скорость прокатки, м/с	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5
Температура, °С	1170	1153	1130	1090	1060

Начальные размеры сляба: толщина – 250 мм, ширина – 1000 мм, длина – 500 мм. Начальные размеры поперечной угловой трещины (Рис. 2): длина трещины в направлении толщины сляба $l_0 = 20$ мм, длина трещины в направлении прокатки $w_0 = 1,5$ мм, глубина залегания трещины $d_0 = 14,1$ мм. Ввиду симметрии рассматривали $1/4$ модель сляба. Количество элементов составило 180845, а число узлов – 40089. В области трещины выполнено сгущение сетки с коэффициентом 0,04.

В результате исследования получено (Рис. 3), что в процессе деформации происходит раскрытие берегов трещины в направлении прокатки: расстояние между точками P_2 и P_3 увеличивается от 1,5 мм в исходном состоянии до 21,3 мм после пятого прохода. При этом точка P_4 выходит на контактную поверхность с рабочим валком. После прокатки поперечная угловая трещина сляба трансформируется в дефект в виде складки размером P_1P_3 (Рис. 3, д), располагающийся на лицевой поверхности раската в прикромочной области. При этом размер дефекта равен длине исходной трещины со стороны широкой грани сляба (расстояние между точками P_1 и P_3).

Любые трещины на поверхности сляба являются концентраторами напряжений, которые могут привести к разрушению материала при прокатке. Возможность дальнейшего развития трещин при прокатке сляба оценивали с использованием критерия Cockroft–Latham. Этот критерий обеспечивает хорошее согласование при предсказании местоположения разрушения при наличии растягивающих напряжений. Модель основана на уравнении:

$$\int_0^{\varepsilon} \frac{\bar{\sigma}_{\max}}{\sigma_i} d\varepsilon = C, \quad (2)$$

где $\bar{\sigma}_{\max}$ – максимальное главное растягивающее напряжение; σ_i – интенсивность напряжений; ε – интенсивность деформаций; C – константа материала.

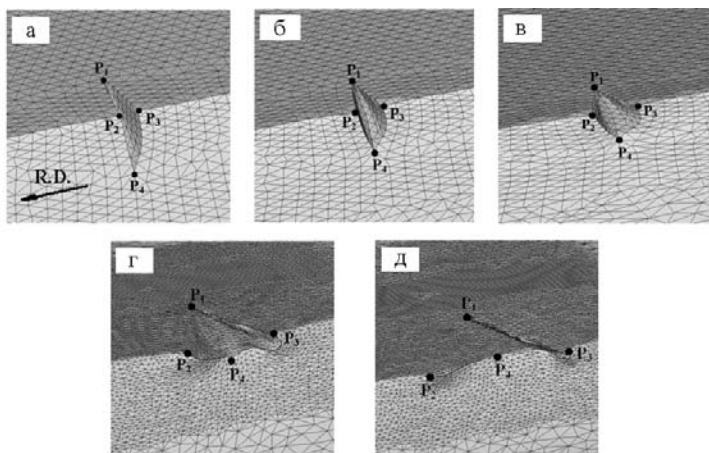


Рис. 3. Трансформация дефекта: а – после 1-ого прохода; б – после 2-ого; в – после 3-его; г – после 4-ого; д – после 5-ого (R.D. – направление прокатки)

Полученные максимальные значения критерия Cockroft–Latham изменяются в пределах от 0,312 в первом проходе до 0,624 в последнем (Рис. 4). Высокие значения этого показателя говорят о неблагоприятной схеме напряжённо-деформированного состояния в этой области и возможности дальнейшего роста поперечных угловых трещин сляба при прокатке. Для определения критических значений этого показателя, при которых произойдёт рост трещин, в дальнейшем планируется проведение специальных лабораторных исследований на пластометре.

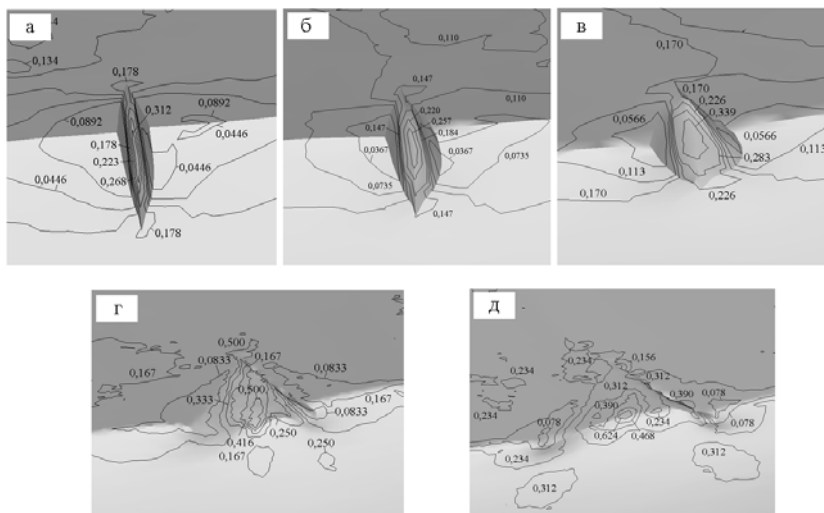


Рис.4. Значения критерия Cockroft–Latham в области дефекта: а – при прокатке в первой клет; б – то же во 2-ой; в – то же в 3-ой; г – то же в 4-ой; д – то же в 5-ой

Экспериментальное исследование формоизменения поперечной угловой трещины сляба при прокатке в горизонтальных валках проводили на лабораторном стане дуо (радиус рабочих валков 75 мм). В качестве материала для моделирования использовали свинцовый сляб со следующими начальными размерами: толщина – 30 мм, ширина – 180 мм, длина – 380 мм. Прокатку вели со скоростью 86 мм/с в соответствии с режимом обжатий, представленным в табл. 2. На поверхность свинцового сляба была нанесена V-образная угловая трещина шириной $w_0=0,5$ мм и длиной $l_0=4$ мм.

На рис. 5 хорошо видно раскрытие поперечной угловой трещины после каждого деформационного прохода. После прокатки трещина трансформируется в дефект в виде складки на лицевой поверхности. Таким образом, формоизменение поперечной угловой трещины при прокатке, рассчитанное методом конечных элементов, имеет тот же характер формоизменения, что и в лабораторном эксперименте.

Таблица 2. Режим прокатки свинцового сляба на лабораторном стане

Номер прохода	0	1	2	3	4	5
Толщина, мм	30,0	25,0	21,0	17,5	14,5	10,0
Обжатие, %	-	16,7	16,0	16,7	17,1	31,0

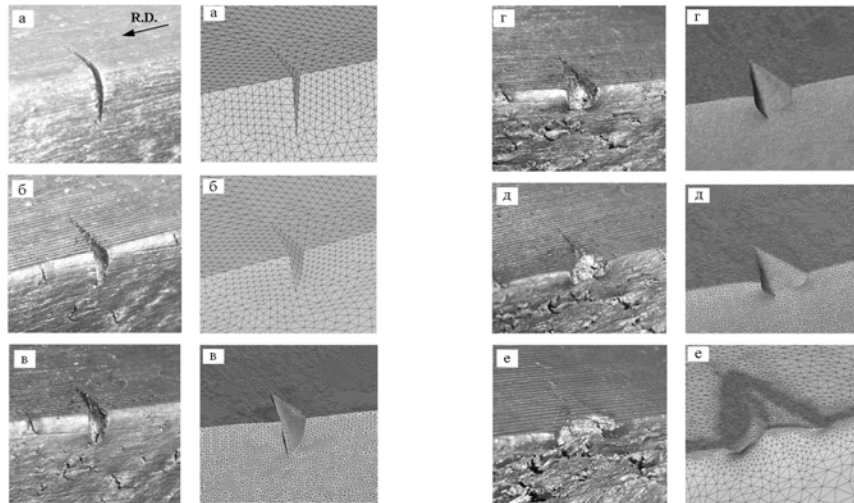


Рис. 5. Сравнение результатов эксперимента и МКЭ: а – начальная форма дефекта; б – форма дефекта после 1-ого прохода; в – то же после 2-ого; г – то же после 3-его; д – то же после 4-ого; е – то же после 5-ого

Выводы

В работе показан механизм трансформации поперечных угловых трещин сляба в дефекты поверхности полосового проката. Результаты численного моделирования методом конечных элементов показали высокую сходимость с результатами лабораторной прокатки свинцовых образцов. В данной работе возможность развития поперечных трещин сляба в процессе деформации оценивали с использованием критерия Cockcroft–Latham, который учитывает только характеристики НДС. Для определения критических значений этого показателя, при которых произойдет рост трещин, в дальнейшем планируется проведение специальных лабораторных исследований на пластометре.