

В результате неравномерного по ширине полосы обжатия, часть листа теряет устойчивость и появляется волнистость по кромкам или коробоватость посередине листа. Для устранения такого дефекта применяют правку листов растяжением. Силу правки рекомендуется [1], определять из условия достижения по всей ширине листа предела текучести то есть

$$\sigma = \frac{P_p}{A} = \sigma_T$$

откуда
$$P_p = \sigma_T A \quad (1)$$

где A – площадь сечения всего листа, $A=bh$.

Однако, более детальный анализ напряженно-деформированного состояния листа с волнистостью (коробоватостью) показывает, что полная сила правки складывается из силы, необходимой для удлинения ровной части листа на величину, равную длине волны волнистой (S) части листа и изгиб волнистой (коробоватой) части листа.

Предполагая, что волнистость имеет форму синусоиды, длину синусоиды можно определить [2]

$$S = \int_0^{\lambda} \sqrt{1 + (y')^2} dx, \quad (2)$$

где: $y = y_{\max} \sin(kx + \alpha)$,

y_{\max} – амплитуда волны синусоиды,

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad \text{– волновое число,}$$

λ – длина волны синусоиды (период),

α – начальная фаза; в нашем случае полагаем $\alpha = 0$.

После подстановки и интегрирования (2) [3]

$$S = \lambda + \frac{1}{2} y_{\max}^2 k^2 \left(\frac{\lambda}{2} + \frac{\sin 2k\lambda}{4k} \right) \quad (3)$$

Удлинение ровной части листа складывается из упругой ($\Delta l_{упр}$) и пластической ($\Delta l_{пл}$) деформации

$$\Delta l_{\Sigma} = \Delta l_{упр} + \Delta l_{пл} \quad (4)$$

Упругая составляющая имеет место до нагрузки, соответствующей пределу пропорциональности, исчезает после снятия нагрузки и может быть определена на основании закона Гука

Так как упругая деформация исчезает после снятия нагрузки, то она не может быть использована в процессе осуществления технологического процесса правки растяжением.

Пластическая (остаточная) деформация появляется при достижении нагрузки, соответствующей пределу текучести (σ_T) и может быть определена с использованием методов теории пластичности [4].

В зависимости от марки стали, при достижении предела текучести, на диаграмме растяжения может образоваться площадка текучести. Деформация, соответствующая началу и концу площадки текучести, может быть определена экспериментально в процессе лабораторных испытаний образца из материала полосы.

Если суммарное удлинение полосы к моменту начала упрочнения (окончание площадки текучести) достаточно для компенсации удлинения волнистой части листа, то сила правки может быть определена с использованием уравнения (1). Однако в качестве площади сечения листа берется только та часть листа, которая не охвачена волнистостью (коробоватостью).

Если суммарного удлинения ровной части полосы не достаточно для компенсации удлинения волнистой части листа при достижении конца площадки текучести, то сила правки определяется в этом случае с учетом упрочнения материала листа [4], используя лабораторную диаграмму испытания на растяжение образца из материала полосы.

Точного математического описания диаграммы растяжения на участке упрочнения не существует, поэтому диаграмму на этом участке аппроксимируют либо прямой ($\sigma = E_T \varepsilon$), либо степенной ($\sigma = E_T \varepsilon^m$) функцией; (где $E_T = \tan \beta_1$ - модуль упрочнения материала; β_1 - угол наклона аппроксимирующей прямой на участке упрочнения).

Однако, так как любая аппроксимация вносит некоторую погрешность в описание лабораторной диаграммы испытания на растяжение, предлагается расчет вести с использованием диаграммы растяжения без ее аппроксимации в следующем порядке.

Определяется по (4) полное (суммарное) требуемое абсолютное удлинение, а по диаграмме растяжения – сила, соответствующая этому удлинению. При этом, принимается пластическая составляющая равная длине волны волнистой части полосы ($\Delta l_{nl} = S$)

$$\Delta l_{\Sigma} = \Delta l_{упр} + S \quad (5)$$

Если требуемое суммарное абсолютное удлинение оказывается больше абсолютной деформации, соответствующей концу площадки текучести, то расчет предлагается вести с использованием напряжений, соответствующих величине суммарного удлинения с учетом упрочнения материала полосы. Это напряжение берется из диаграммы растяжения образца материала полосы

$$\sigma_{\Sigma} = \frac{P_{\Sigma}}{A_{обр}} , \quad (6)$$

где P_{Σ} – сила, обеспечивающая суммарную абсолютную деформации образца,

$A_{обр}$ – начальная (исходная) площадь сечения образца.

Сила растяжения ровной части полосы определяется исходя из условия достижения в ровной части полосы этого напряжения

$$P_p = \sigma_{\Sigma} \times A_{пол} , \quad (7)$$

где $A_{пол}$ – площадь сечения ровной части полосы.

2. Выравнивание волнистой части полосы

2.1. Силу для выравнивания волнистой части полосы определим, используя теорию упруго – пластического изгиба [5] без учета упрочнения материала.

Напряжение для достижения пластического изгиба

$$\sigma = \frac{M_{нл}}{W_{нл}} = \sigma_T , \quad (8)$$

где $W_{нл} = \frac{bh^2}{4}$, [5]; $M_{нл} = P_u \times y_{\max}$.

После подстановки в (8) и преобразований, продольная сила изгиба волнистой части полосы

$$P_u = \frac{\sigma_T \times W_{нл}}{y_{\max}} \quad (9)$$

Полная сила правки

$$P_{\Sigma} = P_p + P_u \quad (10)$$

2.2. Предельный изгибающий момент с учетом упрочнения материала при напряжениях, равных пределу прочности материала [6]

$$M_u = W_x (\sigma_{вр} - \sigma_T) + \sigma_T \times W_{нл} = P_u \times y_{\max} , \quad (11)$$

где: $W_x = \frac{bh^2}{6}$,

Продольная растягивающая сила из (11)

$$P_u = \frac{M_u}{y_{\max}} , \quad (12)$$

Сравнительный анализ определения силы правки полосы 1200*1,5мм на которой при прокатке образовалась волна с амплитудой $y_{\max}=15$ мм и

длиной волны $\lambda=750$ мм на кромках, шириной $b/4$ с двух сторон показал, что сила правки по [1] составляет 543,6 кН, а сила правки растяжением ровной части полосы по предлагаемой методике – 458.6 кН и изгиба волнистой части полосы без учета упрочнения – 6,8 кН. Расхождение с [1] составляет 16,8 %.

Список литературы: 1.Машины и агрегаты металлургических заводов. Т.3.\ Целиков А.И., Полухин П.И., Гребенник В.М. и др.-М.: Металлургия, 1981, 576с. 2. Мышкис А.Д. Лекции по высшей математике. «Наука», М.-1969г. 640с. 3. Смолянский М.Л. Таблицы неопределенных интегралов. «Наука». М.-1965г., 110с. 4. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. «Машиностроение», М; 1968. 328с. 5. Шевченко Ф.Л. Механика упруго-деформируемых систем. Ч.1\ Донецк: -ДонНТУ, 2006.-293с. 6. Степин П.А. Сопrotивление материалов. М. «Высшая школа