

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПРОКАТКИ

Л.С. КОХАН, *д-р техн. наук, проф.*

Ю.А. МОРОЗОВ, *канд. техн. наук, доц.*

*Московский государственный вечерний металлургический институт,
111250, Москва, Лефортовский вал, дом 26, т. 8(495)361-14-80; akafest@mail.ru*

Окончательный выбор режима прокатки связан с возможностью увеличения нагрузки при сохранении сплошности материала. Основным критерием, определяющим момент разрушения, является величина сдвиговой деформации, которая не должна превышать ресурс пластичности данного материала.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: прокатка, сдвиговая деформация, диаграмма пластичности.

Возможность увеличения нагрузки на материал или интенсификация режима прокатки связана с сохранением сплошности материала. Основным критерием, определяющим момент разрушения материала, является величина сдвиговой деформации, которая не должна превышать ресурс пластичности данного материала. Согласно методу Колмогорова В.Л., совокупность деформаций удлинения ε_l и обжатия определяют величину деформации сдвига [1]

$$\lambda = 2\sqrt{\varepsilon_l^2 + \varepsilon^2} + \varepsilon_l \varepsilon . \quad (1)$$

Тогда по условию постоянства объема и пренебрегая уширением

$$(1 + \varepsilon_l)(1 - \varepsilon) = 1,0 \text{ тогда } \varepsilon_l = 1/(1 - \varepsilon) - 1 = \varepsilon / (1 - \varepsilon).$$

Степень использования запаса пластичности определяется предельной величиной деформации сдвига, обуславливающей разрушение материала [2]

$$\psi = \lambda / \lambda_p \leq [\psi].$$

Оценочным критерием выбора λ_p является показатель жесткости напряженного состояния, равный отношению среднего контактного напряжения к интенсивности касательных напряжений $\tau_{xz} = \sqrt{3} \sigma_T$

$$k_{ж} = \frac{\sigma_{ср}}{\tau_{xz}} = \frac{\bar{\sigma}_l - \bar{\sigma}_z}{\sqrt{3}} \cong \frac{\bar{\sigma}_{ср} - 1 - \bar{\sigma}_H}{\sqrt{3}}. \quad (2)$$

Интенсивность сдвиговой деформации при разрушении для некоторых марок сталей при холодной прокатке может быть определена по диаграмме пластичности, изображенной на рис. 1 [3].

Рассмотрим холодную прокатку полосы размерами $2,0 \times 200$ мм из стали 08кп мм в валках с катающим радиусом $R = 250$ мм и обжатием 20%.

Соответствующий угол захвата (рис. 2)

$$\alpha = \sqrt{h_0 \varepsilon / R} = \sqrt{2,0 \cdot 0,2 / 250} = 0,04 \text{ рад } (2,292^\circ).$$

Далее переходим к силовым расчетам с использованием однохордовой модели Целикова А.И. Использование технологической смазки при прокатке устанавливает коэффициент трения $f = 0,08 \dots 0,1$, тогда параметр прокатки

$$\delta = 2f / a = 2 \cdot 0,09 / 0,04 = 4,5.$$

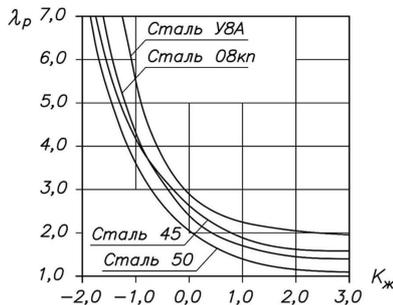


Рис. 1. Зависимость величины сдвиговой деформации от показателя жесткости напряженного состояния (диаграмма пластичности)

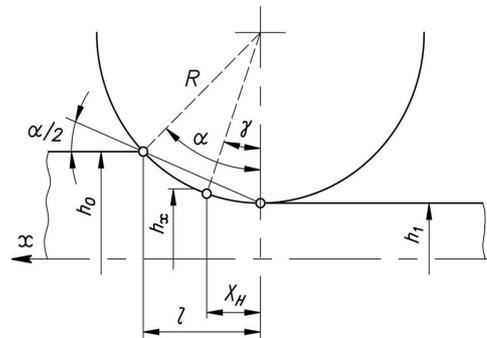


Рис. 2. Расчетная схема к определению среднего давления

Коэффициент упрочнения металла

$$K = 1 + \frac{1}{2} \varepsilon = 1 + \frac{1}{2} 0,2 = 1,1.$$

Высота нейтрального сечения, характеризующая выравнивание линейной скорости полосы в очаге деформации относительно окружной скорости валков (при прокатке без натяжения)

$$\frac{h_0}{h_H} = \left(\sqrt{K + \frac{\delta^2 - K}{(1 - \varepsilon)^\delta} - K} \right)^{\frac{1}{\delta}} = \left(\sqrt{1,1 + \frac{4,5^2 - 1,1}{(1 - 0,2)^{4,5}} - 1,1} \right)^{\frac{1}{4,5}} = 1,1425.$$

Относительное давление в нейтральном сечении (рис. 3)

$$\bar{\sigma}_H = \frac{1}{\delta} \left[(\xi_0 \delta - K) \left(\frac{h_0}{h_H} \right)^\delta + K \right] = \frac{1}{4,5} \left[(1,0 \cdot 4,5 - 1,1) 1,1425^{4,5} + 1,1 \right] = 1,62 .$$

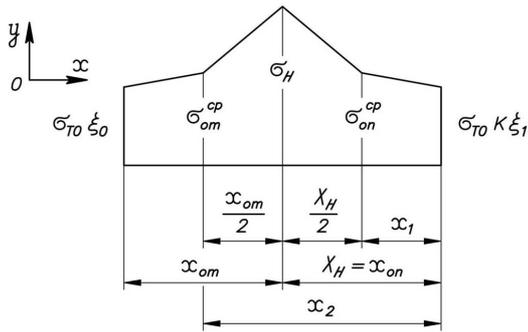
При толщине полосы на выходе из очага деформации

$$h_1 = h_0 (1 - \varepsilon) = 2,0 (1 - 0,2) = 1,6 \text{ мм}$$

нейтральный угол

$$\gamma = \arccos \left(1 - \frac{h_H - h_1}{2R} \right) = \arccos \left(1 - \frac{2,0}{2 \cdot 250} \right) = 1,408^\circ .$$

Горизонтальная проекция дуги захвата



$$l = \sqrt{R h_0 \varepsilon} = \sqrt{250 \cdot 2,0 \cdot 0,2} = 10,0 \text{ мм.}$$

Координата длины в нейтральном сечении и протяженность зон опережения и отставания

$$X_H = x_{он} = R \sin \gamma = 250 \sin 1,408 = 6,144 \text{ мм;}$$

$$x_{от} = l - x_{он} = 10,0 - 6,144 = 3,856 \text{ мм.}$$

Координаты середины каждой зоны

$$x_1 = \frac{x_{он}}{2} = \frac{6,144}{2} = 3,072 \text{ мм,}$$

$$x_2 = X_H + \frac{x_{от}}{2} = 6,144 + \frac{3,856}{2} = 8,072 \text{ мм.}$$

Рис. 3. Расчетная эпюра напряжений прокатки

Толщина полосы в середине зон опережения и отставания

$$h_{от}^{cp} = h_1 + 2 \left(R - \sqrt{R^2 - x_1^2} \right) = 1,6 + 2 \left(250 - \sqrt{250^2 - 3,072^2} \right) = 1,638 \text{ мм;}$$

$$h_{от}^{cp} = h_1 + 2 \left(R - \sqrt{R^2 - x_2^2} \right) = 1,6 + 2 \left(250 - \sqrt{250^2 - 8,072^2} \right) = 1,861 \text{ мм.}$$

Относительное давление в середине каждой зоны

$$\bar{\sigma}_{от}^{cp} = \frac{1}{\delta} \left[(\xi_0 \delta - K) \left(\frac{h_0}{h_{от}^{cp}} \right)^\delta + K \right] = \frac{1}{4,5} \left[(1,0 \cdot 4,5 - 1,1) \left(\frac{2,0}{1,861} \right)^{4,5} + 1,1 \right] = 1,289 ;$$

$$\bar{\sigma}_{он}^{cp} = \frac{1}{\delta} \left[(\xi_0 \delta + K) \left(\frac{h_{он}^{cp}}{h_1} \right)^\delta - K \right] = \frac{1}{4,5} \left[(1,0 \cdot 4,5 + 1,1) \left(\frac{1,638}{1,6} \right)^{4,5} - 1,1 \right] = 1,139 .$$

Принимая во внимание напряжение в нейтральном сечении, среднее давление по зонам отставания и опережения

$$\bar{\sigma}_{от} = \frac{\xi_0 + 2 \bar{\sigma}_{от}^{cp} + \sigma_H}{4} = \frac{1,0 + 2 \cdot 1,289 + 1,62}{4} = 1,299 ;$$

$$\bar{\sigma}_{он} = \frac{\sigma_H + 2 \bar{\sigma}_{он}^{cp} + K \xi_1}{4} = \frac{1,62 + 2 \cdot 1,139 + 1,1 \cdot 1,0}{4} = 1,25 .$$

Общее среднее относительное давление прокатки при $\gamma/\alpha = 0,614$

$$\bar{\sigma}_{\text{cp}} = \bar{\sigma}_{\text{от}} \left(1 - \frac{\gamma}{\alpha} \right) + \bar{\sigma}_{\text{он}} \frac{\gamma}{\alpha} = 2,299(1 - 0,614) + 1,25 \cdot 0,614 = 1,269.$$

Далее переходим к исследованию устойчивости процесса прокатки. Величина деформации сдвига (1)

$$\lambda = 2\sqrt{\varepsilon_l^2 + \varepsilon^2 + \varepsilon_l \varepsilon} = 2\sqrt{0,25^2 + 0,2^2 + 0,25 \cdot 0,2} = 0,781,$$

где продольная деформация удлинения

$$\varepsilon_l = \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} = \frac{0,2}{1 - 0,2} = 0,25.$$

Коэффициент жесткости напряженного состояния (2)

$$k_{\text{ж}} = \frac{1,269 - 1 - 1,62}{\sqrt{3}} = -0,78.$$

Предельная степень сдвиговой деформации при разрушении может быть установлена по соответствующему графику на рис. 1 или по аппроксимационной формуле для стали 08кп

$$\begin{aligned} \lambda_p &= 0,04 k_{\text{ж}}^4 - 0,24 k_{\text{ж}}^3 + 0,611 k_{\text{ж}}^2 - 1,05 k_{\text{ж}} + 2,36 = \\ &= 0,04(-0,78)^4 - 0,24(-0,78)^3 + 0,61(-0,78)^2 - 1,05(-0,78) + 2,36 = 3,679. \end{aligned}$$

Тогда степень использования ресурса пластичности

$$\psi = \lambda / \lambda_p = 0,78 / 3,679 = 0,212.$$

Предельное значение ресурса пластичности по Колмогорову В.Л. составляет $[\psi] \leq 0,25$ [1], что допускает прокатку по выбранному режиму обжатия без разрушения. Аналогичные расчеты, сделанные для указанных условий прокатки, устанавливают предельную величину обжатия 23% при котором $\psi = 0,246$. Вследствие этого, во избежание разрушения материала и появления трещин на прокате, оценка сплошности материала является целесообразной.

Л и т е р а т у р а

1. Колмогоров В.Л. Механика обработки металлов давлением. – М.: Металлургия, 1986. – 688 с.
2. Aldunin A.V. Optimizing Hot Strip Rolling in Terms of the Metal Structure and Plasticity // Steel in Translation, 2008, Vol. 38, No. 5, pp. 362-365.
3. Aldunin A.V. Rational Configuration of Finishing Group and Winding Unit for a Continuous Broad-Strip Mill // Steel in Translation, 2009, Vol. 39, No. 1, pp. 7-10.

R e f e r e n c e s

1. Kolmogorov V.L. Mechanika obrabotki metallov davleniem. – М.: Metallurgiya, 1986. – 688 p.
2. Aldunin A.V. Optimizing Hot Strip Rolling in Terms of the Metal Structure and Plasticity // Steel in Translation, 2008, Vol. 38, No. 5, pp. 362-365.
3. Aldunin A.V. Rational Configuration of Finishing Group and Winding Unit for a Continuous Broad-Strip Mill // Steel in Translation, 2009, Vol. 39, No. 1, pp. 7-10.

INTENSIFICATION OF PROCESSES OF ROLLING

L.S. Kohun, Yu.A. Morozov.

Moskovskiy gosudarstvenniy vecherniy metallurgicheskii institut, Moscow

The final choice of a mode of rolling is connected with possibility of increase in loading at preservation of a discontinuity of a material. The main criterion defining the moment of destruction, the size of shift deformation which shouldn't exceed a resource of plasticity of this material is.

KEY WORDS: rolling, shift deformation, plasticity chart.