



Influence of a forward tension is theoretically investigated at a rolling of the periodic profiles used as elastic elements of spring suspension brackets. The power balance of rolling process with a tension is analyzed. Dependences for definition of a critical corner and size of its increment are received at a rolling with a forward tension.

Л. А. ИСАЕВИЧ, В. А. КОРОЛЬ, Д. М. ИВАНИЦКИЙ, В. И. ПУШКЕВИЧ, БНТУ

УДК 621.771

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЕРЕДНЕГО НАТЯЖЕНИЯ ПРИ ПРОКАТКЕ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ В НЕПРИВОДНЫХ ВАЛКАХ

Продольная прокатка периодических профилей, являясь нестационарным процессом, характеризуется изменяющейся по длине проката толщиной. В связи с переменной величиной обжатия по длине проката меняется давление, действующее на валки. Это вызывает изменение упругой деформации элементов рабочей клетки в процессе прокатки, что, в итоге, приводит к отклонению от заданных размеров толщины по длине деформируемого профиля.

Известно, что давление металла на валки при прокатке зависит от площади контакта металла с валками и значений, действующих в очаге деформации напряжений. Поскольку площадь контакта предопределяется геометрией очага деформации и возрастает по мере увеличения обжатия, то, очевидно, снижение усилия прокатки можно достигнуть уменьшением нормального контактного напряжения в очаге. Такой путь возможен при условии гидростатического давления в очаге деформации за счет, например, изменения соотношения между компонентами напряжений или схемы напряженного состояния, переходя от одноименной к разноименной. Реально это осуществляется путем увеличения натяжения по мере роста обжатия. С увеличением натяжения наблюдается значительное снижение нормального контактного напряжения, причем применение заднего натяжения вызывает более эффективное снижение давления по сравнению с передним.

Проанализируем способ прокатки в неприводных валках полос переменной толщины с огибанием полосой подвижной профильной оправки, как показано на рис. 1 [1]. После прокатки полосу разгибают и получают лист рессоры параболического профиля.

Данный способ можно интерпретировать как прокатку с одним приводным валком бесконечного

диаметра (оправка) и вторым – неприводным. Из теории прокатки с одним неприводным валком известно, что могут наблюдаться три стадии процесса, отличающиеся друг от друга строением очага деформации и действующими усилиями:

- Первая стадия возникает при малых степенях деформации и характеризуется наличием на обоих контактных поверхностях металла с инструментом зон опережения и отставания, причем зона опережения на подвижной оправке меньше, чем на неприводном валке. На этой стадии полоса движется быстрее, чем оправка, и поэтому трудно обеспечить получение требуемых размеров по толщине профиля.

- Вторая стадия возникает по мере роста обжатия и уменьшения зоны опережения на оправке до нуля, т. е. характеризуется наличием на оправке только зоны отставания, а на неприводном валке – зон отставания и опережения. Как на первой, так и на второй стадиях для осуществления процесса прокатки не требуется приложения переднего на-

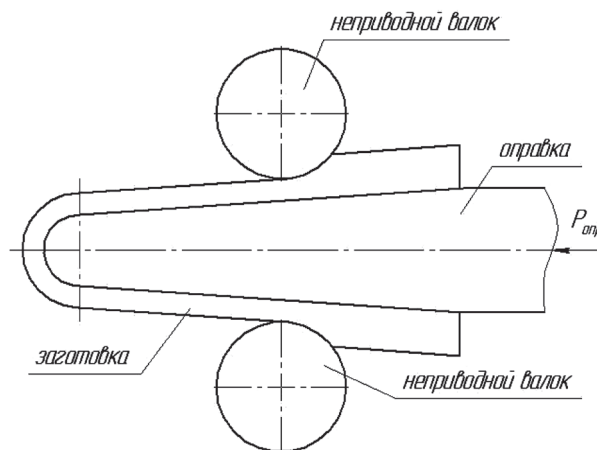


Рис. 1. Схема прокатки в неприводных валках

тяжения. Следует отметить, что вторая стадия отличается неустойчивостью процесса прокатки.

- На третьей стадии прокатка возможна только при приложении переднего натяжения, величина которого растет с увеличением обжатия, при этом зона отставания на неприводном валке уменьшается и когда она достигнет нуля, третья стадия заканчивается, неприводной валок останавливается и прокатка переходит в режим волочения.

Таким образом, при кажущейся своей простоте процесс прокатки является нестационарным с точки зрения необходимости приложения переднего натяжения и его величины. На первой и второй стадиях оно отсутствует, на третьей постепенно увеличивается с ростом обжатия. Изменяется также и схема напряженного состояния в очаге деформации. На первых двух стадиях – это схема всестороннего неравномерного сжатия, на третьей – сжато-растянутая схема с наличием двух сжимающих и одного (продольного) растягивающего напряжений.

Учитывая, что прокатка происходит в горячем состоянии, наличие растягивающих напряжений приводит к появлению в металле микротрещин, его разрыхлению и, как следствие, снижению механических свойств получаемых изделий. Для обеспечения высоких механических свойств проката необходимо управлять величиной переднего натяжения.

С другой стороны, при горячей прокатке происходит рекристаллизация и рост зерна. Этот процесс ускоряется при увеличении температуры. Следовательно, при более высоких температурах снижается сопротивление деформации (усилие прокатки), но падают механические свойства.

Поэтому для получения качественных изделий необходимо прокатку производить при температурах нагрева прокатываемого металла (выше температуры фазовых превращений на 50–70 °С). Для стали 50ХФА она составляет порядка 800–850 °С вместо применяемых в настоящее время 950–980 °С, что позволит резко снизить скорость рекристаллизации и уменьшить величину зерна. При этом по сравнению с обычной прокаткой следует снизить давление металла на валки путем регулируемого натяжения и изменения схемы напряженного состояния.

Процесс прокатки с натяжением рассмотрим с точки зрения энергетической теории взаимодействия полосы и валков, в основе которого лежит закон сохранения энергии. Наличие переднего или заднего натяжений вносит определенные изменения в энергетический баланс процесса прокатки. Действительно, переднее натяжение следует рас-

сматривать как активную силу, способствующую процессу прокатки. Действие переднего натяжения аналогично действию груза T_1 , переброшенного через блок (рис. 2). Этот груз при своем перемещении производит полезную работу. Таким образом, мощность переднего натяжения N_1 по своему характеру аналогична мощности N_B на бочке валков и при составлении энергетического баланса должна к ней приплюсовываться.

Очевидно, что под действием натяжения концов полосы изменяется схема напряженного состояния в очаге деформации, в частности, уменьшается величина контактных напряжений и изменяется характер их распределения вдоль очага деформации.

Из изложенного выше можно предположить, что энергетический баланс процесса прокатки с натяжением запишется следующим образом:

$$N_1 = N_\phi + N_T + N_B, \quad (1)$$

где N_ϕ – мощность, затрачиваемая на формоизменение полосы; N_T – мощность, затрачиваемая на трение; N_B – мощность на бочке валка.

Мощность переднего натяжения при этом равна [2]:

$$N_1 = T_1 V_1 = \sigma_1 w_1 v (1 + s), \quad (2)$$

где T_1 – внешняя сила, приложенная к выходящему из валков (переднему) концу полосы; V_1 – поступательная скорость выходящего из валков (переднего) конца полосы; σ_1 – напряжение натяжения переднего конца полосы; w_1 – площадь поперечного сечения полосы после прокатки; v – окружная скорость валков; s – опережение полосы.

Мощность N_B на бочке валка, мощность трения на контактной поверхности N_T и мощность формоизменения N_ϕ определяют по известным формулам из теории прокатки [2]. После подстановки значений всех соответствующих мощностей в равенство (1) и простых преобразований получим ве-

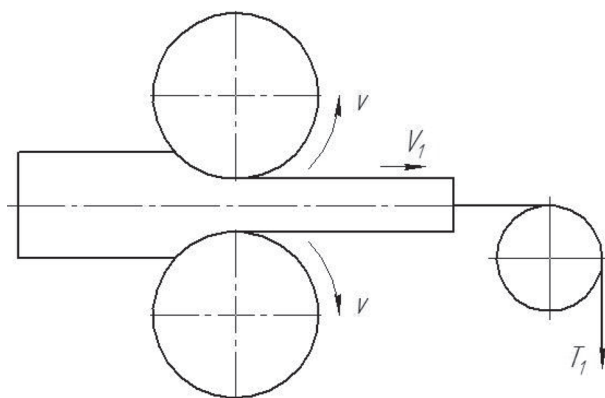


Рис. 2. Схема действия переднего натяжения при прокатке

личину критического угла при прокатке с натяжением

$$\gamma_n = \sqrt{\frac{h_1}{R}} \operatorname{tg} \frac{\tau_c}{2\tau_{c2}} \times \left\{ 2 \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{\Delta h}{h_1}} - \frac{1}{2} \sqrt{\frac{h_1}{R}} \left[\frac{\sigma_0}{16} \left(\frac{\Delta B}{\Delta h} \right)^2 + \frac{\sigma_s}{\tau_c} \right] \times \right. \\ \left. \times \ln \frac{h_0}{h} + \sqrt{\frac{h}{R}} \left(\frac{\sigma_1 - \sigma_0}{2\xi_c} \right) \right\}, \quad (3)$$

где h_0, h_1 – соответственно толщина полосы до и после прокатки; Δh – абсолютное обжатие полосы; ΔB – абсолютное уширение полосы; R – радиус бочки вала; σ_0 – напряжение натяжения в прокатываемой полосе при входе в валки; τ_c – усредненное значение напряжения контактного трения; σ_s – предел текучести.

Если принять равномерное распределение сил трения τ_c вдоль дуги прокатки (что справедливо для условия трения $\tau_c = f\sigma_s$, где f – коэффициент трения между полосой и валком при отсутствии наклепа), то получим более простую зависимость

$$\gamma = \sqrt{\frac{h}{r}} \operatorname{tg} \frac{1}{2} \left[\operatorname{arctg} \sqrt{\frac{\Delta h}{h_1}} - \frac{\sigma_s}{2\varepsilon_c} \sqrt{\frac{h_1}{R}} \ln \frac{h_0}{h_1} + \sqrt{\frac{h_0}{R}} \left(\frac{\sigma_1 - \sigma_0}{2\tau_c} \right) \right]. \quad (4)$$

Найдем приращение критического угла γ , вызванное влиянием переднего натяжения:

$$\Delta\gamma = \gamma_n - \gamma. \quad (5)$$

После преобразований, учитывая небольшую погрешность от замены тангенс угла величиной самого угла, получаем следующее выражение:

$$\Delta\gamma = \frac{h_1}{4R} \frac{\sigma_1}{\tau_c}. \quad (6)$$

При условии контактного трения в виде $\tau_s = fp_s$ выражение (6) примет вид

$$\Delta\gamma = \frac{h_1}{4fp_c R} \sigma_1, \quad (7)$$

где p_c – среднее удельное давление на контактной поверхности.

Выясним физическую сущность влияния натяжения на критический угол γ и, следовательно, на опережение полосы. Примем условие на контакте в виде $\tau = f\sigma_s$. Тогда можно считать удельные силы трения не зависящими от схемы напряженного состояния, т. е. от натяжения полосы.

Выводы

При приложении натяжения к переднему концу полосы энергия на деформацию металла при прокатке поступает не только через валки, но и через передний конец полосы, увеличив общий энергетический баланс прокатки. Такое изменение происходит с увеличением критического угла и опережения. При этом мощность на бочке вала, а, следовательно, и энергия, получаемая от двигателя прокатного стана, уменьшается при одновременном увеличении расхода энергии на деформацию полосы.

Литература

1. Способ изготовления заготовок изделий с переменным по длине профилем и устройство для его осуществления: пат. Респ. Беларусь № 434 МКИ В21 Н7/00. / А. В. Степаненко, В. А. Король, Г. А. Исаевич. Офиц. бюл. № 1 // Изобретения, полезные модели. Промышленные образцы. 1995. № 1. С. 30.
2. Целиков А. И., Гришков А. И. Теория прокатки. М.: Металлургия, 1970.