

ОСОБЕННОСТИ ИЗГИБА ПОЛОСЫ В ВАЛКАХ

*Докт. техн. наук, проф. ИСАЕВИЧ Л. А.,
канд. техн. наук, доц. СИДОРЕНКО М. И., асп. ИВАНИЦКИЙ С. В.*

Белорусский национальный технический университет

Известен способ изгиба полос при гибке-прокатке на валковых станах (рис. 1). Заключается он в том, что формообразование деталей осуществляется путем поперечного изгиба с одновременным перемещением заготовки между деформирующими валками, имеющими определенный параметр настройки [1]. Создаваемая при этом кривизна зависит от параметров настройки станка: расстояние между крайними (опорными) валками и положение относительно последних верхнего (нажимного) вала.

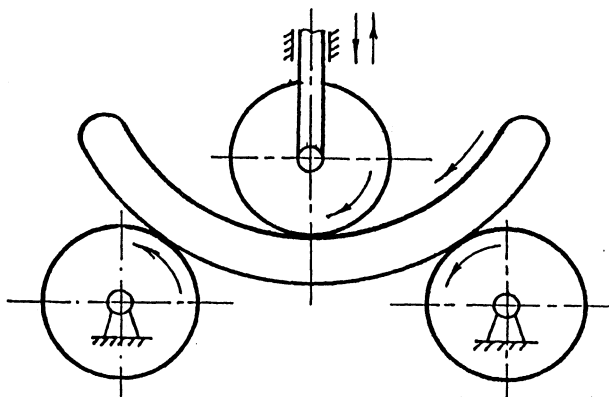


Рис. 1. Способ изгиба полосы на валковом стане

С целью выявления особенностей процесса гибки-прокатки проследим образование кривизны в некотором сечении изгибаемого элемента. Вращение валков стана благодаря силам трения вызывает перемещение заготовки в зоне деформации. Рассматриваемое сечение, перемещаясь от входного опорного к верхнему нажимному валку, проходит зону нагружения. Кривизна в нем непрерывно увеличивается и достигает максимального значения в момент

нахождения сечения под верхним нажимным валком. Созданное при этом напряженное состояние в волокнах деформированного элемента образует момент внутренних сил, уравновешиваемый моментом внешних сил при данной кривизне изгиба. После выхода из-под верхнего нажимного вала и при дальнейшем движении в направлении выходного опорного вала заготовка проходит зону разгрузки. Изменение положения рассматриваемого сечения в этой зоне сопровождается уменьшением момента внешних сил. Вследствие этого нарушается равновесие момента внутренних сил и происходит упругое восстановление металла. В результате кривизна в сечении уменьшается до величины, при которой вновь восстанавливается равновесие указанных моментов. Когда рассматриваемое сечение достигает линии контакта с опорным выходным валком, момент от внешних сил станет равным нулю, и вследствие дальнейшего пружинения произойдет самоуравновешивание момента внутренних сил. Следовательно, в зоне разгрузки изогнутый элемент по длине имеет переменную кривизну из-за различной степени пружинения.

Также при гибке-прокатке на валковых станах в случае неправильного назначения установочных параметров, когда высота сечения полосы соизмерима с расстоянием между валками, происходит проскальзывание валков относительно заготовки.

Наличие указанных недостатков приводит к браку изделия. В связи с этим представляет практический интерес разработка оптимального способа гибки-прокатки узких высоких полос на ребро, заключающегося в прокатке

с верхним или нижним давлением, т. е. когда окружные скорости или диаметры валков различны [2]. Вследствие разницы окружных скоростей валков выходящий конец прокатываемой полосы стремится изогнуться в сторону валка, обладающего меньшей окружной скоростью (рис. 2), т. е. в рассматриваемом случае в сторону верхнего валка.

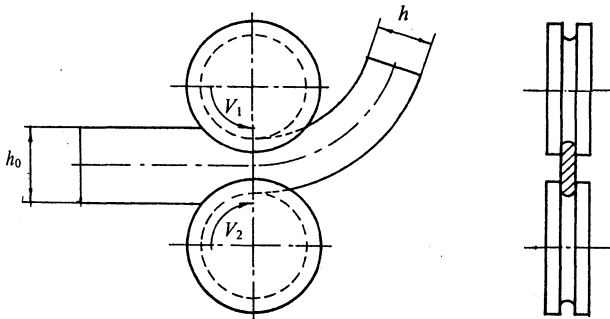


Рис. 2. Схема изгиба полосы с рассогласованием окружных скоростей валков

Примем, что вытяжка по внутренней поверхности изогнутой полосы отсутствует. Тогда эпюра линейных деформаций по длине полосы распределяется, как показано на рис. 3.

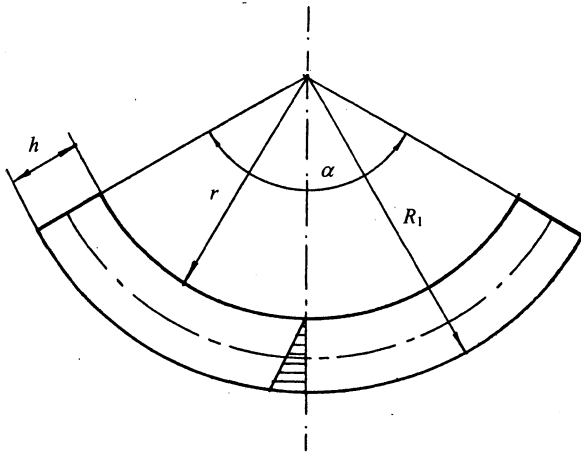


Рис. 3. Полоса после изгиба

Это значит, что

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{r}{R} \quad \text{или} \quad V_1 = V_2 \frac{r}{R}. \quad (1)$$

Из условия постоянства объема следует, что $h_0 b_0 l_0 = h b l$, но поскольку изгиб производится

в калибре шириной b_0 , уширение полосы практически отсутствует, т. е. $b = b_0$. Тогда

$$h_0 l_0 = h l. \quad (2)$$

Из рис. 3 следует, что $l_0 = r\alpha$; $l = R\alpha$.

Таким образом, можно записать, что $h_0 r\alpha = h R\alpha$ или

$$h_0 r = h R. \quad (3)$$

Решив совместно (2) и (3), получим

$$V_1 = V_2 \frac{h}{h_0}. \quad (4)$$

В свою очередь, согласно рис. 3, $R_1 = r + h$.

Тогда из последней формулы следует, что

$$h_0 r = h(r + h) \quad \text{или} \quad h_0 = \frac{h(r + h)}{r} = h \left(1 + \frac{h}{r} \right). \quad (5)$$

Момент, необходимый для изгиба полосы, определим как [2]

$$M_{\text{и}} = \frac{b h^2}{6} \sigma_{\text{т}}, \quad (6)$$

где $\sigma_{\text{т}}$ – предел текучести материала полосы.

При прокатке с рассогласованием окружных скоростей валков обеспечение изгиба полосы возможно за счет резерва сил контактного трения в зоне опережения [2]. Как известно [3], при рассогласовании окружных скоростей валков протяженность зоны опережения на валке с большей окружной скоростью уменьшается, а на валке с меньшей окружной скоростью увеличивается. Устойчивость процесса прокатки теряется, когда зона опережения на валке с большей окружной скоростью полностью исчезает. В связи с этим вся зона опережения обращается в зону чистого сдвига, в которой силы контактного трения на разных валках направлены противоположно. Это создает изгибающий момент в прокатываемой полосе, который можно представить из условия трения по Зибелю [2], как

$$M_{\text{и}} = f \sigma_{\text{т}} b l_{\text{оп}} h \pi, \quad (7)$$

где $l_{\text{оп}}$ – протяженность зоны опережения для симметричной прокатки; f – коэффициент контактного трения.

В свою очередь, согласно [2], для симметричной прокатки в отсутствие переднего и заднего натяжений $l_{\text{оп}} = \frac{1}{2} \left(l - \frac{\Delta h}{2f} \right)$.

При прокатке с рассогласованием окружных скоростей валков на верхнем валке нейтральный угол достигает значения 2γ , а на нижнем $\gamma = 0$ (рис. 4). Тогда на верхнем валке

$$l_{\text{оп}} = \left(l - \frac{\Delta h}{2f} \right). \quad (8)$$

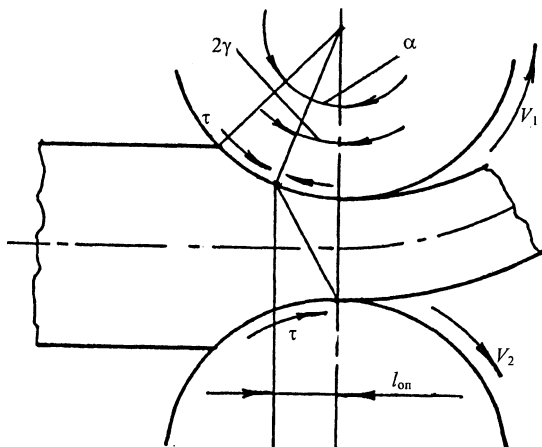


Рис. 4. Схема очага деформации

В свою очередь

$$l = \sqrt{R\Delta h + \frac{\Delta h^2}{4}}, \quad (9)$$

где R – радиус валков.

Приравняв (6) и (7), получим $\pi f \sigma_{\tau} l_{\text{оп}} b h = \sigma_{\tau} \frac{b h^2}{6}$ или

$$\pi f l_{\text{оп}} = \frac{h}{6}. \quad (10)$$

Подставив значение $l_{\text{оп}}$ из (8) в (10), получим $\frac{\pi}{2} f \left(l - \frac{\Delta h}{2f} \right) = \frac{h}{6}$, далее, заменив l его значением из (9), придем к выражению

$$\frac{\pi}{2} f \left(\sqrt{R\Delta h + \frac{\Delta h^2}{4}} - \frac{\Delta h}{2f} \right) = \frac{h}{6}.$$

После проведения некоторых преобразований получим квадратное уравнение

$$9\pi^2(1-f^2)\Delta h - 12\pi(3\pi f^2 R - h)\Delta h + 4h^2 = 0. \quad (11)$$

Решив его относительно Δh , получим

$$\Delta h_{1,2} = \frac{12\pi(3\pi f^2 R - h) \pm \sqrt{144\pi^2(3\pi f^2 R - h)^2 - 144\pi^2(1-f^2)h^2}}{18\pi^2(1-f^2)} \rightarrow \dots$$

$$\rightarrow \frac{\pm \sqrt{144\pi^2(3\pi f^2 R - h)^2 - 144\pi^2(1-f^2)h^2}}{18\pi^2(1-f^2)}. \quad (12)$$

По данному выражению рассчитывали величину Δh в зависимости от значения контактного трения. Расчет проводили для полосы высотой $h = 16$ мм и валка радиусом $R = 100$ мм, а коэффициент контактного трения f изменяли от 0,2 до 0,5. Результаты расчетов представлены на графике I (рис. 5).

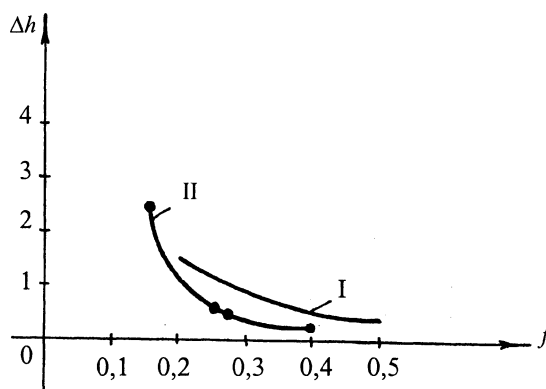


Рис. 5. Графики зависимости величины обжатия от коэффициента контактного трения: I – теоретические; II – экспериментальные данные

Из графика видно, что при повышении коэффициента контактного трения величина обжатия уменьшается.

Для экспериментальной проверки полученных результатов использовали полосы из меди, свинца и нержавеющей стали, имеющие разные коэффициенты контактного трения, которые определяли опытным путем (методом кониче-

ских бойков) [4]. Сущность метода заключается в том, что цилиндрический образец осаждали двумя одинаковыми коническими бойками.

Деформацию образцов производили в приспособлении, состоящем из пуансона и гильзы, в которую помещали сменные конические бойки. Чтобы обеспечить соосную установку образца, его торцы предварительно центрировали. Характер боковой поверхности образца после деформации определяли на просвет при помощи линейки. При вогнутой форме образца угол φ между образующими конуса занижен против искомого, а при бочкообразной – завышен. Коэффициент контактного трения определяли по формуле $f = \operatorname{tg} \frac{180^\circ - \varphi}{2}$. Формула справедлива в том случае, когда образующая образца прямолинейна.

Экспериментальным путем определили коэффициенты контактного трения: для меди $f = 0,12$; для свинца – $0,25$; для нержавеющей стали – $0,4$; для нержавеющей стали при наличии смазки – $0,26$.

Полосы брали одинаковой толщины, но с различной высотой поперечного сечения. Прокатку-гибку осуществляли в валках диаметром 200 мм. Таким образом определили влияние коэффициента контактного трения на величину обжатия, обеспечивающего изгиб полосы. Результаты экспериментов представлены на графике II (рис. 5). Очевидно, что с повышением

коэффициента контактного трения величина обжатия, необходимого для изгиба полосы, уменьшается.

Некоторое отличие теоретических и экспериментальных данных объясняется тем, что в действительности величина касательных напряжений в очаге деформации описывается вместо условия Зибеля выражением $\tau = fp_{cp}$, где $p_{cp} > \sigma_T$ – среднее нормальное контактное напряжение.

Результаты проведенной работы позволяют сделать вывод, что при прокатке с рассогласованием окружных скоростей валков, изменяя величину обжатия и коэффициент контактного трения, можно добиться изгиба полосы на ребро на необходимый радиус по всей длине полосы. Это очень важно при изготовлении деталей типа полуколец к аппарату Илизарова, применяемых для лечения ортопедотравматологических больных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лысов М. Н. Теория и расчет процессов изготовления деталей методами гибки. – М.: Машиностроение, 1966. – 236 с.
2. Целиков А. И., Никитин Г. С., Рокотян С. Е. Теория продольной прокатки. – М.: Metallurgy, 1980. – 320 с.
3. Выдрин А. В. Динамика прокатных станов. – Свердловск: Metallurgizdat, 1960. – 255 с.
4. Громов Н. П. Теория обработки металлов давлением. – М.: Metallurgy, 1967. – 297 с.