

## ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

---

УДК 621.771

**В. В. КЛУБОВИЧ**, акад. НАН Беларуси (ФТИ НАН Беларуси),  
**В. И. ТИМОШПОЛЬСКИЙ**, д-р техн. наук (НАН Беларуси),  
**Г. М. ЖДАНОВИЧ**, д-р техн. наук, **Л. А. ИСАЕВИЧ**, д-р техн. наук,  
**В. А. ТОМИЛО**, канд. техн. наук (БНТУ)

### ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БЕСШОВНЫХ ТРУБНЫХ ЗАГОТОВОК

Процесс изготовления бесшовных труб является одним из наиболее трудоемких в металлургическом производстве и требует наличия полой заготовки, для получения которой из сплошного деформированного тела применяют преимущественно следующие способы обработки металлов давлением:

обратное прессование (выдавливание пуансоном) заготовки или слитка круглого или многогранного сечения;

заполняющее прессование заготовки квадратного сечения (блоума);

прошивка цилиндрической заготовки на пресс-валковом стане продольной прокатки;

прошивка цилиндрической заготовки винтовой прокаткой.

Наибольшее практическое распространение получил метод прошивки винтовой прокаткой, предложенный братьями Маннесманн в 1885 г. [1]. Винтовая прокатка позволяет получать полую гильзу за один проход, а также прошивать дно и раскатывать стаканы, предварительно полученные прошивкой методом прессования.

Прошивной стан винтовой прокатки включает входную и выходную стороны и главную линию, включающую рабочую клеть с валками и направляющим инструментом. Деформация заготовки осуществляется валками и расположенной по оси стана короткой оправкой обтекаемой формы, закрепленной на длинном стержне, который вращается в упорном подшипнике. Рабочие валки могут быть дисковыми

ми, бочкообразными, грибовидными с положительным либо отрицательным углом раскатки (чашевидными). Следует отметить, что прошивные станы с дисковыми валками в настоящее время устарели и редко применяются на практике.

Прошивка заготовок в прошивных станах осуществляется в рабочих валках, расположенных под углом  $\beta$  и вращающихся в одну сторону. Благодаря этому заготовка и получаемая из нее гильза вращаются и одновременно продвигаются вперед к оправке. Точка на поверхности заготовки в процессе прошивки описывает винтовую линию. Именно поэтому прошивка заготовок в гильзу в прокатных станах называют «косой», «винтовой», «поперечно-винтовой» или «геликоидальной» прокаткой [2, 3]. В прошивные станы поступают цилиндрические заготовки или слитки. Прокатные валки в прошивных станах, как указывалось выше, выполняются различной формы, но с обязательным условием образования калибра, состоящего из двух конусов.

В рабочем положении оси валков для винтовой или косой прокатки не параллельны и не пересекаются с осью прокатываемой (прошиваемой) заготовки, а в проекциях образуют с ней углы подачи  $\beta$  и раскатки  $\gamma$ , которые на современных станах плавно регулируются. На станах с бочкообразными валками угол раскатки может быть нерегулируемым и равным нулю. Грибовидная форма валков ( $\gamma \geq 0$ ) способна обеспечивать наименьшее скольжение металла в очаге деформации, так как окружная скорость валка и ее осевая проекция растут в соответствии с ростом осевой скорости сечения трубы вследствие вытяжки. Чашеобразные валки ( $\gamma \leq 0$ ) обладают лучшей захватывающей способностью и позволяют применять повышенные углы подачи, при которых сокращается рабочее время прокатки и интенсифицируется обработка давлением деформируемого материала по всему поперечному сечению. Но, нагнетая материал в очаг деформации, они способны повышать овализацию труб, ухудшая их качество, поэтому такая форма прошивных валков применима только при небольших вытяжках ( $\mu = 1,5-2,5$ ). При  $\mu = 3$  наилучшее качество труб обеспечивают грибовидные валки. Для прошивных станов с бочкообразными валками характерны значения вытяжки  $\mu = 1,7-3,0$ .

До 1960-х годов углы подачи  $\beta$  обычно не превышали  $10^\circ$ . Известно, что ограничение величины подачи приводит к ограничению скорости прошивки и не всегда обеспечивает отсутствие дефектов на внутренней поверхности гильз. При двухвалковой прокатке оба вала имели привод от одного двигателя через редукторы и универсальные шпиндели. И. Н. Потапов и другие исследователи показали на практике возможность повышения угла подачи  $\beta$  до  $15\text{--}20^\circ$  с одновременным повышением скорости прошивки до  $1\text{ м/с}$ , частных обжатий, нагрузки на оборудование и снижением неравномерности напряженно-деформированного состояния по сечению заготовки [1].

Для практического решения задачи обеспечения возможности изменения угла подачи  $\beta_0$  от  $5$  до  $20^\circ$  валки устанавливают в пустотелых цилиндрических барабанах, способных поворачиваться вокруг оси, перпендикулярной направлению прошивки, с помощью электродвигателей, первичных редукторов и винтовых пар. В определенном положении барабаны фиксируются гидроцилиндрами, системой рычагов и клиновых запоров. Для решения задачи упрощенной замены валков барабаны имеют возможность поворачиваться на  $90^\circ$ . Кассеты с валками перемещаются по направляющим барабанов с помощью механизмов установки с нажимными винтами, расположенными на торцах барабанов с боковых сторон рабочей клетки. Перспективным направлением оптимизации процесса прокатки является одновременное и независимое перемещение валков, для уравнивания которых применяют пружины и тяги, связанные с кассетами валков.

Двухвалковые станы винтовой прокатки отличаются конструкциями направляющего инструмента, неподвижных линеек, холостых валков и вращающихся дисковых проводок, существенно усложняющих процесс прокатки.

Для более перспективных трехвалковых станов не нужен направляющий инструмент. Экспериментальные исследования, выполненные В. Я. Осадчим и другими исследователями, убедительно показали, что в них обеспечивается более надежный захват заготовки и лучшее качество получаемых гильз в силу того обстоятельства, что вероятность вскрытия полостей в заготовке перед оправкой значительно снижается [1]. Однако следует отметить, что трехвал-

ковые станы более громоздки, чем двухвалковые, и менее универсальны, так как получение в них тонкостенных гильз затруднено возможной потерей устойчивости в поперечном сечении, выражающейся в образовании треугольных раструбов. Двухвалковые станы с приводными дисками (так называемые станы Дишера) позволяют применять большие вытяжки (до 9) и получать гильзы длиной до 12 м. Однако станы Дишера сложны в изготовлении и требуют значительно большего времени для замены дисков, что экономически не выгодно при широком сортаменте гильз.

Созданные в последние годы двухвалковые прошивные станы фирмы «Mannesmann-Desmag-Meer» (MDM) с вертикальным расположением валков диаметром 1150 мм с индивидуальным редукторным 6-мегаваттным приводом каждого валка позволяют существенно минимизировать углы наклона шпинделей к оси валков, увеличить длину прокатываемых гильз до 12 м, исключают применение быстроизнашиваемых линеек и уменьшают вспомогательное время до 4–5 с, что позволяет увеличить допускаемую длину гильз [1, 2].

Для определения усилий, действующих на валки, необходимо знать площадь контактной поверхности и среднее давление на прокатываемый материал. Ширина проекции контактной поверхности в произвольном сечении очага деформации может быть определена следующим образом:

$$b = \psi \sqrt{\frac{2rR\Delta r}{R+r}}, \quad (1)$$

где  $\psi$  – коэффициент овализации;  $r$  – радиус заготовки;  $R$  – радиус валка;  $\Delta r$  – частное обжатие (для двухвалкового стана обжатие за полуоборот заготовки, зависящее от полушага винтовой линии  $t$ ). В конусе прошивки от носка оправки

$$\Delta r = t \operatorname{tg} \alpha = \pi \frac{D_H F_H \eta_0}{D F \eta_T} r \operatorname{tg} \alpha. \quad (2)$$

Здесь  $r, D, F$  – соответственно радиус заготовки, диаметр валка, площадь поперечного сечения заготовки в произвольном поперечном сечении очага деформации;  $D_H, F_H$  – диаметр валка и площадь поперечного сечения заготовки у носка оправки;  $\eta_0, \eta_T$  – коэффициенты

осевой и тангенциальной скорости заготовки, учитывающие ее скольжение по поверхности валков;  $\alpha$  – угол наклона образующей входного конуса валка к оси прокатки.

В конусе раскатки

$$\Delta r = t(\operatorname{tg} \varphi_0 - \operatorname{tg} \alpha_2) = \pi \frac{D_n F_n \eta_0}{D F \eta_T} r \operatorname{tg} \beta (\operatorname{tg} \varphi_0 - \operatorname{tg} \alpha_2), \quad (3)$$

где  $D_n$ ,  $F_n$  – соответственно диаметр валка и площадь поперечного сечения заготовки в пережиме валков;  $\varphi_0$  – угол наклона образующей конуса оправки.

Площадь проекции контактной поверхности определяли методом Симпсона.

Среднее давление винтовой прокатки сплошной заготовки можно определить по формуле А. И. Целикова [2]:

$$P = 2\sigma_s \left[ 1,25 \ln \frac{2r}{b} + 0,62 \frac{b}{L} - 0,25 \right], \quad (4)$$

которая ограничена следующим соотношением:

$$1 \leq 2r/b \leq 8,5.$$

Попытка В. С. Смирнова [1] уточнить формулу (4) привела к следующему результату:

$$P = 1,15\sigma_s (2 - \sqrt{b/2r}), \quad (5)$$

где  $\sigma_s$  – напряжение текучести при заданной температуре и скорости деформации.

Крутящий момент, который необходимо приложить к каждому рабочему валку для осуществления винтовой прокатки, может быть определен по следующей формуле:

$$M = \frac{1}{2} P (2r \sin \varphi \cos \beta + b_{cp} \cos \varphi \cos \gamma). \quad (6)$$

Здесь  $b_{cp} = F_k/L$ ;  $F_k$  – контактная площадь;  $L$  – длина контактной поверхности;  $\varphi = \operatorname{arctg} b/2r$  – угол отклонения, равнодействующий от осевой плоскости валков.

Экспериментальные исследования величины усилий при винтовой прокатке позволили установить следующие закономерности:

1) усилия на валок и оправку возрастают с увеличением диаметра исходной заготовки и гильзы, прочности прокатываемого металла, коэффициента вытяжки и с понижением температур;

2) увеличение угла наклона валков к оси заготовки ведет к снижению усилий на валки и к увеличению усилий на оправку;

3) увеличение скорости прокатки незначительно повышает усилия на валки и оправку.

Кинематика процесса винтовой прокатки сводится прежде всего к определению окружной скорости на поверхности валка:

$$V_0 = \frac{\pi D_Z n}{60}, \quad (7)$$

где  $D_Z$  – диаметр валка в рассматриваемом сечении;  $n$  – число оборотов валка.

Скорость подачи в осевом направлении

$$V_Z = V_0 \sin \beta = \frac{\pi D_Z n}{60} \sin \beta. \quad (8)$$

Скорость вращения заготовки

$$V_3 = V_0 \cos \beta = \frac{\pi D_Z n}{60} \cos \beta. \quad (9)$$

Число оборотов заготовки в минуту в рассматриваемом сечении

$$n_Z = \frac{D_Z}{\psi d_Z} n \eta_\beta \cos \beta, \quad (10)$$

где  $d_Z$  – диаметр заготовки в рассматриваемом сечении;  $\eta_\beta$  – коэффициент скольжения при вращении;  $\psi$  – коэффициент овальности заготовки.

Основной особенностью станов с грибовидными валками является непрерывное увеличение диаметра валков в очаге деформации. Вследствие этого разность между скоростью металла, выходящего из очага деформации, и скоростью валков меньше, чем в станах с бочковидными и дисковыми валками, что приводит к снижению коэффициента скольжения, повышает качество получаемой гильзы и производительность стана.

Следует отметить, что дальнейших теоретических исследований требует разработка расчета осевого усилия, действующего на оправку, величина которого зависит от геометрических параметров рабочей части оправки, валков и основных геометрических параметров контактного взаимодействия валков и заготовок. Требуется уточнения и расчет величины крутящего момента, который необходимо приложить к каждому рабочему валку для осуществления винтовой прокатки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Смирнов В. С. Поперечная прокатка. – М.: Машгиз, 1948. – 194 с.
2. Прокатные станы и технология прокатки / Под ред. А. И. Целикова. – М.: Металлургиздат, 1955. – 560 с.
3. Чекмарев А. П. и др. Прошивка в косовалковых станах. – М.: Металлургия, 1967. – 239 с.

УДК 621.762

Е. Б. ЛОЖЕЧНИКОВ, д-р техн. наук,  
А. К. ГАВРИЛЕНЯ (БНТУ)

#### МОДЕЛИ РАЗРУШЕНИЯ И ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ ИХ ДЕФОРМАЦИИ

Эффективность использования и переработки сырьевых материалов во многом зависит от их физико-химической активности, определяемой степенью их дисперсности. Высокая дисперсность материала обуславливает их относительно большую удельную поверхность и энергетическое насыщение. Это повышает их физико-химическую активность с окружающей средой, в качестве которой могут быть как другие компоненты производимого продукта, так и вводимые технологические присадки, обеспечивающие при определенных технологических условиях получение требуемого продукта, выделение энергии или разделение частиц на более мелкие, разнородные по составу частицы.

Из известных многочисленных способов и устройств механической активации-размола материала можно выделить те, которые обес-