

**ВЛИЯНИЕ ТЕНДЕНЦИИ ТРАПЕЦИЕВИДНОГО ПРОФИЛЯ
К РЕБРОВОМУ ИЗГИБУ НА ВЫБОР РЕЖИМА
ОБЖАТИЙ ПРИ ЕГО ПРОКАТКЕ**

В статье описаны некоторые теоретические результаты, которые были получены в процессе освоения на полунепрерывном стане 250 горячей прокатки меднокадмиевых трапециевидных заготовок для волочения коллекторных профилей. Профили, выпускаемые заводом по схеме прокатка + волочение, имеют толщину от 2 до 6 мм при ширине от 80 до 100 мм, угол сужения профиля по толщине составляет от $0^{\circ}40'$ до $1^{\circ}40'$ (у заготовки для волочения — до 3°). Поскольку сортамент коллекторных профилей, заготовки для которых целесообразно получать прокаткой, включает десятки позиций, то их производство должно отвечать требованиям гибкой технологии. Гибкость достигается за счет прокатки профилей плашмя в наклонных цилиндрических или слабokonических валках.

Процессу пластовой прокатки трапеции присущи негативные особенности, связанные с асимметрией распределения обжатия и скорости течения металла по ширине профиля: тенденции к поперечному смещению (угону) полосы на входе в валки и ее изгибу в горизонтальной плоскости (серпению) на выходе из валков. Угон и серпение предотвращаются соответственно задней и передней проводками, но при этом развиваются значительные усилия, вследствие чего проводки работают как силовые, т. е. принимают участие в деформации полосы. Тем самым на выбор режима прокатки накладывается требование минимизировать тенденцию к ребровому изгибу (серпению) полосы, поскольку в ситуации, когда эта тенденция значительна, ее подавление выводной проводкой вызывает опасность образования на полосе односторонней волнистости.

Определению ребрового изгиба и условий его предотвращения при прокатке тонкой полосы посвящена обширная литература [1 . . . 10 и др.], однако вопрос далеко не исчерпан. Так, ни один из известных подходов не учитывает влияние уширения, хотя при прокатке с неравномерным по ширине полосы обжатием к обычной схеме деформации добавляется изгиб полосы в очаге деформации, и поэтому поперечное течение неизбежно даже тогда, когда ширина полосы очень велика.

Простой по своему смыслу критерий равенства вытяжек по толстой и тонкой кромкам (деформационный критерий) далеко не прост в прикладном отношении: любое вертикальное волокно в составе исходного поперечного сечения при прохождении очага деформации смещается в поперечном направлении, и по-

этому вопрос о теоретическом определении вытяжки по той или иной кромке оказывается сложным. Критерий равенства продольных скоростей на выходе из очага деформации (кинематический критерий) также сложен в прикладном отношении, поскольку требует решения непростой задачи о положении нейтральной линии при прокатке, сочетающейся с ребровым изгибом полосы в пределах очага деформации¹. Таким образом, в применении к вопросам ребрового изгиба и условий предотвращения серпения целесообразен поиск новых подходов

Используем представление о том, что при ровном входе полосы условие обеспечения ровного выхода сводится к требованию: частицы металла на противоположных кромках полосы, одновременно поступающие в очаг деформации, должны одновременно выходить из него (условие равного времени деформации тонкой и толстой кромок или, что то же самое, условие стабильного массопереноса в продольном направлении прокатки). Инженерную формулировку этого условия представим в виде

$$\Delta V'_\beta / \Delta V''_\beta = (l' / l'')^k, \quad (1)$$

где $\Delta V'_\beta$ — объем металла, смещенный в уширение с одной из сторон полосы; l — длина очага деформации с этой стороны; k — некоторый положительный параметр; здесь и далее штрих относится к тонкой кромке, два штриха — к толстой.

В соответствии с (1), чем больше длина очага деформации по одной из кромок, тем больше металла должно смещаться здесь в ширину и меньше — в длину, чтобы обеспечить по этой кромке понижение вытяжки, уменьшение скорости выхода из валков и тем самым обеспечить такую же длительность прохождения очага деформации металлом, что и по противоположной кромке. Соответствие формулы (1) приведенной формулировке обеспечивается надлежащим значением величины k . В первом приближении $k = 1$, и тогда из (1) следует

$$h'_c \Delta b'_k = h''_c \Delta b''_k, \quad (2)$$

где $\Delta b'_k$ — уширение по кромке, имеющей в очаге деформации среднюю толщину h_c .

В результате теоретического анализа распределения уширения по кромкам [11] нами установлено

$$\Delta b'_k / \Delta b''_k = (l' \ln h'_0 / h'_1) / (l'' \ln h''_0 / h''_1). \quad (3)$$

Подставляя (3) в (2), получаем

$$(h'_0 / h'_1)^{l' / h'_c} = (h''_0 / h''_1)^{l'' / h''_c},$$

или, что то же самое,

¹ Используя правило замкнутых контуров И. М. Павлова [1], нетрудно показать, что при ровном входе полосы в валки кинематический критерий отсутствия серпения сводится к деформационному и наоборот.

$$\omega'_\beta \ln h'_0/h'_1 = \omega''_\beta \ln h''_0/h''_1, \quad (4)$$

где $\omega'_\beta = l'h'_c$, $\omega''_\beta = l''h''_c$ - площади проекций на вертикальную плоскость прокатки боковых поверхностей тонкой и толстой кромок соответственно (в пределах очага деформации).

Используя известный аппарат анализа формул (например [12]), нетрудно показать, что условию (4) эквивалентна формулировка

$$|\xi| = 0, \quad (5)$$

где

$$\xi = \frac{\omega''_\beta - \omega'_\beta}{\omega''_\beta + \omega'_\beta} + \frac{\ln h''_0/h''_1 - \ln h'_0/h'_1}{\ln h''_0/h''_1 + \ln h'_0/h'_1} \quad (6)$$

Из формул (5) и (6) вытекают известные в литературе выводы о возможных вариантах обеспечения ровного выхода трапецевидной полосы (например, применение конусных валков со сближающимися осями).

При использовании выводных проводок выполнение условия (5) не обязательно; но по причинам, рассмотренным выше, весьма желательно иметь

$$|\xi| = \min. \quad (7)$$

В производственных условиях прокатку ведут с выводной проводкой со стороны толстой кромки, однако условие ровного выхода полосы из валков полезно иметь в виду и при разработке режима прокатки с искусственным сдерживанием серпения. Чем ближе параметры прокатки к тем значениям, при которых выполняется условие естественного обеспечения ровности, тем меньше усилие прижатия полосы к выводной проводке и тем выше гарантия, что стремление к серпению, сдерживаемое выводной проводкой, не обернется волнистостью полосы по тонкой кромке. Из анализа формулы (6) следует, что приблизиться к условию (5) тем проще, чем толще прокатываемая полоса и больше ее обжатие. Углубленный анализ формулы (6) показывает, что снижению тенденции к серпению способствуют те же обстоятельства, которые ведут к увеличению уширения.

На полунепрерывном стане обычно стремятся равномерно загрузить все клетки, участвующие в прокатке. Тем не менее, с учетом анализа формулы (6) принцип максимально интенсивных обжатий остается предпочтительным для проходов, в которых формируется трапеция (за исключением чистового). Существенно также то обстоятельство, что чем интенсивнее обжатия при формировании трапеции, тем меньше требуется специализированных проходов и тем меньше количество комплектов валков, предназначенных для прокатки собственно трапеции. Повышенные обжатия ускоряют износ валков, что, однако, не столь существенно, так как получаемый профиль является не

товарной продукцией, а служит заготовкой под последующее волочение. Интенсивный износ чистовых валков все же недопустим, и поэтому обжатие в последнем проходе приходится смягчать.

Во избежание поперечного смещения (угона) заднего конца полосы требуется использовать вводную проводку, которая воспринимает усилие, зависящее от развитости тенденции к угону. Применительно к процессу входа заготовки в валки целесообразно рассмотреть не столько ровность, сколько стабильность, так как задача полосы перпендикулярно плоскости осей валков (ровный вход), в сущности, не является наилучшим вариантом; в общем случае полезнее задача под углом (косой вход) [3] Инженерная формулировка стабильного входа имеет вид

$$l' = l''; \quad (8)$$

следствием является требование стабилизации входа

$$\left| \frac{l' - l''}{l' + l''} \right| = \min, \quad (9)$$

которое может быть удовлетворено при косой задаче заготовки.

Выводы

Многосортаментная прокатка профилей электротехнического назначения на стане высокой производительности, достигаемой за счет прямоточности и непрерывности процесса, ставит ряд существенных задач технологического обеспечения гибкости. Технологическая гибкость полунепрерывной прокатки трапециевидных полос обеспечена применением пластовых проходов с максимальным подавлением тенденции к поперечному перемещению заднего конца и серпению переднего конца полосы. С использованием новых для теории прокатки представлений разработано и применено на практике условие минимальной тенденции к серпению, полученное в предположении, что частицы металла на противоположных кромках полосы, одновременно поступающие в очаг деформации, должны одновременно выходить из него.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Павлов И. М. Теория прокатки. М.: Металлургиздат, 1950. 610 с.
2. Выдрин В. Н. Динамика прокатных станов. Свердловск: Металлургиздат, 1960. 255 с.
3. Северденко В. П., Бахтинов Ю. Б., Бахтинов В. Б. Валки для профильного проката. М.: Металлургия, 1979. 224 с.
4. Павлов И. М. Особые условия процесса прокатки, асимметричной поперечной оси // Пластическая деформация металлов и сплавов: Сб. трудов МИСиСа. М.: Металлургия, 1969. Вып. 54. С. 60...69.
5. Павлов И. М. Поперечное перемещение полосы по бочке валков при прокатке. Там же. С. 70...76.

6. **Павлов И.М.** Действие проволок при асимметричном процессе прокатки. Там же. С. 76...78.

7. **Выдрин В.Н., Крайнов В.И., Фамбулов В.Б.** Поведение концов полосы при асимметрии процесса прокатки в горизонтальной плоскости. Сообщение 1 // Изв. вузов. Черная металлургия. 1978. №8. С. 65...68.

8. **Выдрин В.Н., Крайнов В.И., Фамбулов В.Б.** Поведение концов полосы при асимметрии процесса прокатки в горизонтальной плоскости. Сообщение 2 // Изв. вузов. Черная металлургия. 1978. №10. С. 92...94

9. **Стукач А.Г.** О прокатке листов в валках, наклоненных друг к другу // Цветные металлы. 1978. № 3. С. 71 ... 75.

10. **Вопросы** теории и практики производства клиновых фасонных профилей / Кремсов Н.А., Коппель И. А., Пономарев Л. А. и др. // Цветные металлы. 1980. № 9. С. 84...86.

11. **Хайкин Б.Е., Железняк Л.М.** Формоизменение при прокатке заготовок медных шин и меднокадмиевых трапециевидных профилей // Теория и практика производства метизов. Свердловск: УПИ. 1988. С. 73... 80.

12. **Хайкин Б.Е.** Предэкспериментальный анализ точности формул в теории обработки металлов давлением // Изв. вузов. Черная металлургия. 1981. № 1. С. 51 ...54.

*Статья поступила в редколлегию 07.12.87
в РИО - 22.09.88*