

КОНСТРУКЦИЯ И КАЛИБРОВКА ВАЛКОВ

7. НАЗНАЧЕНИЕ И УСТРОЙСТВО ПРОФИЛЕГИБОЧНЫХ ВАЛКОВ

Профилегибочные валки (рис. 15) служат для изготовления профилей из полосового металла методом постепенногогиба и создания усилия для продвижения полосы от клетки к клетке.

На профилегибочных станах обычно применяют разборные рабочие валки, что облегчает изготовление и ремонт валков, уменьшает расход металла, необходимого

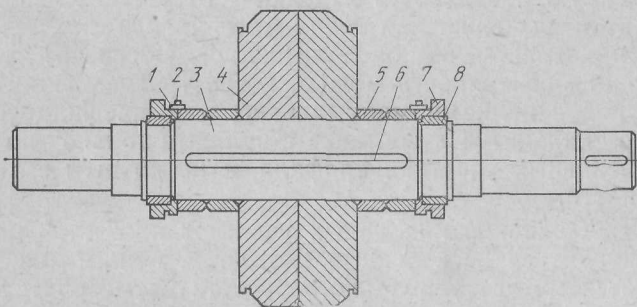


Рис. 15

Рабочий валок профилегибочного стана:

1 — стопорная планка; 2 — винт стопорной планки; 3 — вал; 4 — рабочий элемент валка; 5 — дистанционный элемент; 6 — шпонка; 7 — гайка; 8 — разрезная втулка

для их изготовления, обеспечивает унификацию профилейных элементов и резко уменьшает парк валков на стане, облегчает установку валков в клетки и освоение новых профилей; кроме того, представляется возможность изготовлять отдельные элементы, не подвергающиеся интенсивному износу, из менее стойких и более дешевых материалов.

В разборных валках с дополнительными прокладками и различным расположением элементов, изменяя установку цилиндрических и промежуточных элементов, можно получить профили разной ширины и с различным расположением гофров.

Недостатком разборных валков являются передача осевых нагрузок на зажимные гайки валков и измене-

ние ширины калибров под действием возникающих при профилировании сил.

Для производства гофрированных профилей используют также цельные валки, рабочий вал и формующая поверхность которых составляют единое целое.

К достоинствам цельных валков следует отнести возможность фиксации взаимного положения верхнего и нижнего валков, простоту настройки стана, малую величину осевой нагрузки на зажимные гайки и постоянство ширины калибров при больших осевых нагрузках.

Основные недостатки цельных валков — сложность изготовления и невозможность унификации.

Конструкция рабочих валков должна обеспечить качественную поверхность изделия — отсутствие задиrow и вмятин, особенно для таких материалов, как алюминий, пластмассы, оцинкованный лист. Обеспечить такое состояние поверхности можно, когда трение между заготовкой и валками минимальное, т. е. профилируемая полоса находится в контакте с валками только на горизонтальных участках профиля, а не по всей его поверхности.

Освобождение наклонных участков профилей может производиться несколькими методами. Одним из них является метод специального расчета размеров калибров валков для профилируемой заготовки увеличенной толщины (рис. 16, а). В этом случае калибровку профиля толщиной s мм рассчитывают для условного профиля толщиной $s + \Delta s$ мм, т. е. с зазором по периметру. При профилировании на горизонтальных участках уста-

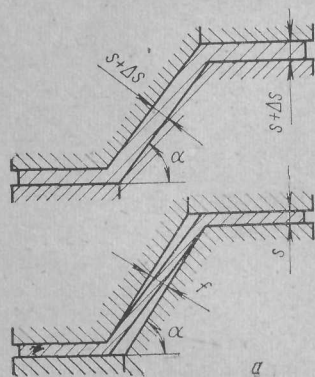
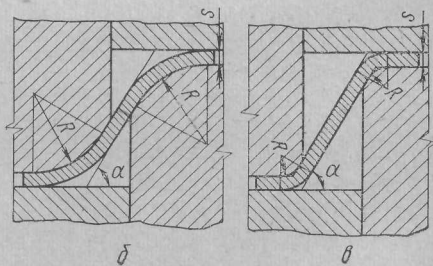


Рис. 16
Способы освобождения наклонных участков профилей



навливается зазор, равный толщине металла s , а на наклонных участках зазор равен

$$f = s + \Delta s(1 - \cos \alpha) \text{ мм},$$

где α — угол подгибки элемента.

С увеличением угла подгибки величина скольжения — разница линейных скоростей между профилем и калибрами — возрастает, но при этом одновременно возрастает и величина зазора на наклонных участках.

Другим методом освобождения наклонных участков при профилировании является применение рабочих валков без наклонных (конусных) частей (рис. 16, б, в). С целью упрощения выполнения элементов валков места закруглений предусматривают постоянного радиуса, равного внутреннему радиусу закругления на готовом профиле (рис. 16, в). В этом случае профиль имеет контакт с валками только на горизонтальных участках и в местах закруглений.

Одним из способов конструктивного выполнения валков, дающего значительный эффект, является уменьшение диаметров верхних рабочих валков. В этом случае значительно снижается масса комплекта рабочих валков и уменьшается проскальзывание профиля по валкам.

Основные диаметры верхнего и нижнего валков имеют различную величину, и соотношение между ними устанавливается в зависимости от передаточного отношения шестеренной клетки: $D_{н.в}/D_{н.н} = i$, где $D_{н.в}$ и $D_{н.н}$ — начальные диаметры соответственно верхнего и нижнего валков.

При уменьшении диаметров верхних валков минимальный верхний диаметр берут равным минимальному нижнему диаметру, т. е. $D_{\min в} = D_{\min н} = D_{\text{нач. н}}$.

Применение этого способа эффективно при изготовлении профилей с гофрами небольшой высоты (до 30 мм).

Для точной задачи полосы в валки, предотвращения смещения ее в сторону от оси профилирования применяют рабочие валки с закрытыми калибрами, которые бывают двух типов. От правильности выбора типа калибра зависят производительность, сложность настройки стана и качество профиля.

Калибры первого типа, закрытые буртами нижнего валка (рис. 17), хорошо зарекомендовали себя при поштучном профилировании в валках первых трех-четырех

клетей, где суммарный угол подгибки не превышает 40° . Недостатком этого типа закрытых калибров является необходимость увеличения диаметров буртов нижних валков с целью удержания полосы при входе в калибр, что приводит к увеличению массы нижних валков.

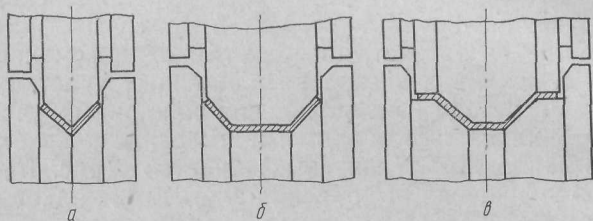


Рис. 17

Закрытые калибры первого типа для профилей: а — уголковых; б — швеллерных; в — корытных

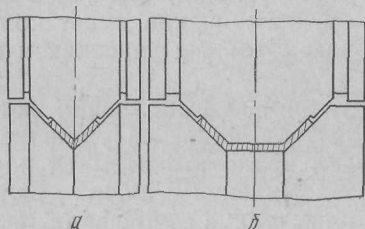


Рис. 18

Закрытые калибры второго типа для профилей:

а — уголковых; б — швеллерных

Закрытые калибры валков, замыкающие торцы, широко применяют при непрерывном процессе профилирования и при поштучном профилировании в том случае, если суммарные углы подгибки составляют $30-60^\circ$.

Кромки полок профиля фиксируются от горизонтального смещения на выходе выступами ручья верхних валков.

Закрытые калибры второго типа (рис. 18), выполняемые на верхних валках, при поштучном профилировании можно применять только в средних клетях (с углами подгибки $30-60^\circ$), так как в первых клетях они затрудняют вход жесткой полосы в калибр.

Преимуществом закрытых калибров этого типа являются минимальный расход металла на изготовление валков и лучшие условия входа жесткой полосы по нижнему валку.

Рабочие валки непрерывного стана $1 \div 4 \times 50 \div 300$ состоят из валков с набором профильных и дистанционных элементов, которые фиксируются с одной стороны буртом вала, с другой — гайкой со стопором.

Рабочие валки устанавливаются на подшипниках качения, смонтированных в подушках. На торце подушки со стороны обслуживания крепится механизм осевой регулировки валка, который обеспечивает перемещение вала с набором элементов в осевом направлении на 5 мм в каждую сторону.

В верхних подушках имеются отверстия для прохода уравнивающих пружин, которые одной стороной упираются в бурт направляющего штыря, а другой — в дно стакана подушки. Направляющие штыри закреплены в пазах проема станины.

На стане $1 \div 4 \times 50 \div 300$ основной диаметр рабочего валка принят равным 190 мм. С учетом передаточного отношения 2,515 диаметр верхнего валка составляет 478 мм.

При основном диаметре рабочего валка 190 мм наибольшая высота вреза в валок составляет не более 120 мм.

Подушки нижнего рабочего валка устанавливаются в станине на прокладках. Толщина прокладок в каждой клетке выбирается из условия горизонтальности нижней кромки профиля.

Для создания натяжения полосы между клетями предусмотрено увеличение основного диаметра профильных элементов от клетки к клетке на 0,2%.

Последние четыре клетки стана могут быть использованы как универсальные. Для этого в вертикальной плоскости горизонтальных валков между верхними и нижними подушками устанавливают вертикальные ролики.

Рабочие валки станов с поштучным процессом профилирования состоят из валов, смонтированных в подушках на подшипниках качения, и профильных элементов, надетых на валы и закрепленных с обеих сторон круглыми гайками.

Подушки нижнего рабочего валка устанавливают в станине на стационарной прокладке. Толщину прокладок выбирают в каждой клетке так, чтобы линия нижней кромки профилируемого металла оставалась горизонтальной, т. е. чтобы общая касательная к основным катающим диаметрам профильных элементов была горизонтальной. Эта касательная представляет собой линию профилирования стана.

Верхний рабочий валок устанавливается механизмом нажима с раствором между основными диаметрами

профильных элементов, равным толщине профилируемой полосы. Уравновешивание верхнего вала осуществляется пружинами с четырьмя цилиндрическими штоками, смонтированными в верхние подушки.

Первая рабочая клеть с двумя гладкими цилиндрическими валами служит для задачи полосы в стан. Диаметр вала рабочих валков стана $2 \div 7 \times 80 \div 500$ выбирают из условия прочности равным 170 мм. Максимальная высота изготавливаемых на стане профилей (глубина вреза калибра в профильные элементы) равна 160 мм.

Диаметр нижнего вала первой клетки принят равным 230 мм. Диаметр верхнего вала первой клетки принят равным 536,59 мм с учетом условий врезания калибра в профильный элемент и создания одинаковых окружных скоростей профильных элементов по основным диаметрам рабочих валков при передаточном числе 2,333 цилиндрической пары шестеренных клеток. Для создания натяжения от клетки к клетке основные — катающие диаметры нижних валков увеличиваются по направлению профилирования на 0,2—0,4% в каждой последующей клетке.

Однако отношение верхнего и нижнего основных диаметров каждой клетки должно быть постоянным и равным передаточному числу цилиндрической пары шестеренной клетки.

Упругие деформации рабочих клеток профилирующего стана

Качество гнутых профилей в значительной мере зависит от точности настройки стана.

Для правильной настройки стана необходимо предварительно определить давление металла на валки в каждой клетке при изготовлении данного профиля и зависимость изменения зазора в калибре от величины нагрузки, т. е. пружину стана.

Общая упругая деформация рабочей клетки складывается из упругой деформации рабочих валов, подшипников и их подушек, элементов нажимного устройства, станины и крышки рабочей клетки, а также зависит от зазоров между деталями.

Одной из основных составляющих пружины клетки является упругая деформация рабочих валов.

Установлено, что прогиб вала рабочей клетки стана $1 \div 4 \times 400 \div 1500$ при нагружении его сосредоточенной

силой 200 кН (20 тс), предельной в соответствии с характеристикой стана, составляет 1,49 мм.

Расхождение расчетных и фактических величин прогиба не превышает 1,25%, что упрощает разработку калибровок валков и определение технологических зазоров в калибровках при настройке стана.

Зависимости упругих деформаций валов и общей пружины клетки от давления металла на валки позволяют правильно определять технологические зазоры в калибрах валков.

Исследованиями установлено, что сумма максимальных упругих деформаций валов при небольших нагрузках составляет 25%, а с увеличением давления металла на валки до 200 кН (20 тс) увеличивается до 70% общей пружины клетки.

Влияние общей пружины клетки может быть компенсировано установкой в калибре зазора, равного разности между толщиной профилируемой полосы и пружиной клетки.

Учет общей пружины клетки при разработке технологии профилирования и настройке станов позволяет сократить время на настройку стана, а также значительно повысить качество гнутых профилей.

8. КЛАССИФИКАЦИЯ КАЛИБРОВОК ВАЛКОВ

Основные параметры калибров валков

Основная ось профиля — прямая линия, проходящая вдоль заготовки через такую точку сечения профиля, которая на всем пути профилирования не меняет своего положения (рис. 19).

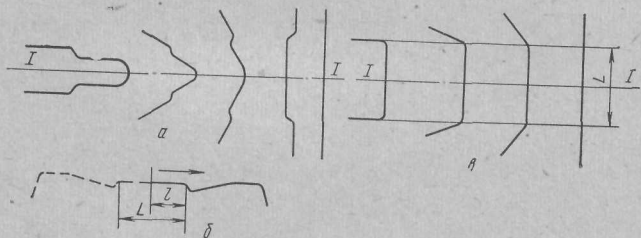


Рис. 19

Положение основной оси (I—I) и основного участка профиля

Основную ось профиля называют также осью профилирования.

При выборе основной оси профиля необходимо стремиться к тому, чтобы ось делила ширину заготовки пополам и являлась также осью симметрии профиля. Желательно, чтобы основная ось проходила через участок, параллельный оси рабочих валков. Если основная ось и ось симметрии профиля совпадают (рис. 19, а и в), число и величина изгибов по обе стороны от оси равны между собой и металл заготовки не будет стремиться перемещаться в какую-либо сторону.

При профилировании несимметричных профилей или профилей, подвергающихся деформации по разные стороны от оси, желательно распределить деформацию равномерно относительно точки, не меняющей своего положения в процессе профилирования.

Основная ось профиля физически представляет собой бесконечно узкую в продольном сечении и с высотой, равной толщине заготовки, прямую полосу материала, проходящую вдоль всей длины заготовки.

Если основная ось выбрана, как это показано на рис. 19, б, материал из-за деформации будет стремиться переместиться в направлении, указанном стрелкой, а величина l в конце профиля укоротится. Получить такой профиль можно из заготовки и двойной ширины, показанной на рис. 19, б штриховой линией ($L=2l$), и после выхода профиля из стана произвести его порезку пополам. Основной участок профиля (рис. 19, в) расположен параллельно оси рабочих валков, через который проходит основная ось профиля.

Основной участок профиля, так же как и основная ось профиля, не претерпевает деформаций и изменения своего положения в процессе профилирования, благодаря чему заготовка получает хорошую устойчивость.

Конструкция валков должна быть такой, чтобы основные ось и участок профиля не меняли своего положения вдоль оси валков при переходе от одной клетки к другой. В плоскости, перпендикулярной осям валков, основная ось профиля должна быть прямой.

Диаметр рабочего валка, который при профилировании соприкасается с основной осью профиля, называется основным. Окружные скорости основных диаметров нижнего и верхнего валков в каждой клетки должны быть одинаковыми.

Основные диаметры рабочих валков выбирают в зависимости от конструкции стана.

Горизонтальность линии профилирования в стане, которая является общей касательной к основным диаметрам рабочих валков, достигается смещением нижнего валка при помощи регулируемых прокладок, укладываемых под опорные плоскости подушек.

Основные диаметры рабочих валков должны быть в одной вертикальной плоскости, что достигается смещением нижнего валка при помощи регулируемых прокладок, укладываемых под опорные плоскости подушек, а контроль осуществляют специальным щупом с миллиметровой шкалой.

Расположение калибра в валках стана

Прежде чем разработать технологию профилирования, необходимо определить правильное расположение самого профиля по отношению к осям валков. При этом необходимо руководствоваться следующим: гарантией получения конструктивно важных размеров профиля; возможностью получения качественной поверхности (особенно для облицовочных профилей); возможностью создания правильного скоростного режима; простотой настройки стана; возможностью расположения профиля в пределах допускаемых диаметров валков; минимальным числом и простотой переходных форм.

Основные принципы разработки технологии профилирования

При проектировании машин и конструкций, в которых используются холодногнутые профили, необходимо выбирать наиболее рациональные их формы и размеры, обязательно с учетом технологических возможностей изготовления этих профилей.

Следует установить возможность изготовления данного профиля на имеющемся оборудовании, для чего необходимо сравнить размеры профиля и заготовки для него, механические свойства материала, из которого должен изготавливаться профиль, и максимально возможную высоту профилирования с технологической характеристикой профилегибочного агрегата.

Внутренние радиусы (R) закруглений в местах изгиба выбирают в зависимости от пластических свойств профилируемого металла.

Установлено, что для гнутых профилей из углеродистой стали $R_{\min} = (0,9 \div 1,1)s$, а для профилей из низколегированной стали $R_{\min} = (1,5 \div 2,0)s$, где s — толщина заготовки, мм.

Минимальная длина профиля определяется условиями его изготовления и должна быть не менее двойного расстояния между осями рабочих валков соседних клетей, чтобы полоса одновременно находилась не менее чем в двух рабочих клетях и непрерывно перемещалась вдоль линии стана.

Перед расчетом калибровки валков необходимо определить размеры профиля с учетом допускаемых отклонений на отдельные его элементы. Ширина полок и величина внутренних радиусов закруглений мест изгиба при расчете калибровок принимаются равными номинальным. Однако с целью увеличения срока службы валков при их изготовлении величина внутренних радиусов закруглений мест изгиба принимается минимальной.

Требования, предъявляемые к калибровкам валков

Выбор системы калибровки валков зависит от формы и размеров готового профиля, типа профилегибочного стана, конструкции рабочих клетей и валков, числа клетей, непрерывного или поштучного технологического процесса, прочностных характеристик исходного материала и других факторов.

Калибровкой профиля называется система последовательно расположенных калибров, обеспечивающая получение готового профиля заданных размеров.

Готовый профиль получают за несколько проходов, число которых устанавливают в зависимости от конфигурации профиля и числа гибов. Для придания профилю необходимой формы в валках вытачиваются специальные вырезы необходимой конфигурации, размеры которых определяются калибровкой валков.

Правильно разработанная калибровка валков должна обеспечить: получение профиля с чистой поверхностью в соответствии с заданными размерами; минимальные затраты валков, времени и энергии на производство профилей; получение готовых профилей, не имеющих кривизны в горизонтальной и вертикальной плоскостях и скручивания по длине; минимальные остаточные напряжения в профиле; распределение углов подгибки по

проходам при условии минимального утонения и предупреждения образования трещин в местах изгибов и волнистости по кромкам; точный расчет ширины исходной заготовки; создание наиболее рационального монтажа валков; минимальное натяжение профилируемой полосы между клетями; учет пружинения металла и изменения его величины в зависимости от принятых углов подгибки; устранение переформовки мест изгиба и перетяжек металла из одного элемента профиля в другой; достаточно высокую жесткость готового изделия; максимальную производительность агрегата.

Основные системы калибровок валков

Калибровки валков, которые можно использовать для изготовления сортовых и гофрированных холодногнутых профилей, следующие:

1) последовательная калибровка валков, предусматривающая подгибку профиля последовательно по участкам, начиная от оси профиля, с последующей подгибкой периферийных участков;

2) последовательная калибровка валков, при которой подгибка профиля начинается на крайних участках заготовки, а затем последовательно приближается к середине;

3) одновременная калибровка валков, при которой профилирование проводится путем одновременной подгибки всех элементов профиля;

4) комбинированная калибровка валков, при которой профилирование начинается постепенным изгибом всех или некоторых участков заготовки с последующей догибкой отдельно каждого участка профиля;

5) калибровка с осадкой волнистой заготовки, при которой первоначально путем изгиба образуют участки профиля с волнообразными гофрами, а в последующих клетях им придают необходимую форму изгибом и сжатием.

Последовательная калибровка с подгибкой профиля от оси к периферии

Эта калибровка предусматривает подгибку профиля последовательно по участкам, начиная выполнение профиля с середины полосы с последующим профилирова-

нием периферийных участков (рис. 20). Такая калибровка обеспечивает получение качественного профиля благодаря облегченному режиму профилирования, упрощает расчет ширины исходной заготовки и переходов, облегчает настройку стана. Кроме того, при такой калибровке процесс подгибки происходит плавно благодаря наличию свободных периферийных (незащемленных) участков. Наличие свободных участков устраняет возможность переформовки уже готовой части профиля.

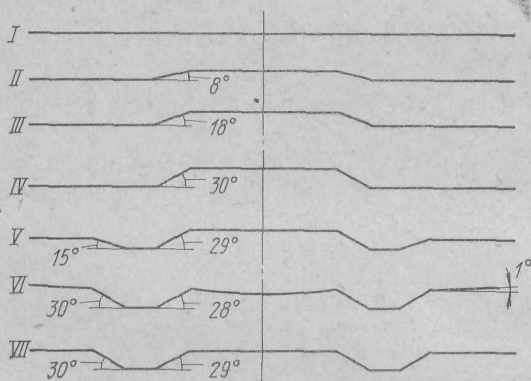


Рис. 20
Последовательная калибровка валков гофрированного профиля (I—VII—номера клетей)

К недостаткам данной калибровки валков можно отнести: наличие большого числа переходов, необходимых для получения готового профиля и, соответственно, большого числа клетей стана и рабочих валков; невозможность исправления ранее подогнутых участков профилируемой полосы.

Особенность данной калибровки валков состоит в том, что расчет переходов ведут не от готового профиля, а от исходной заготовки. Поэтому все неточности расчета ширины исходной заготовки по участкам профиля отражаются только на ширине его крайних участков.

Последовательная калибровка с подгибкой профиля от периферии к основной оси

Эту калибровку применяют в тех случаях, когда конфигурация профиля требует сначала подгибки крайних его участков и когда необходимо ужесточить кромку

профилируемой полосы до начала процесса образования средней части профиля и предотвратить образование волн по кромкам при профилировании средней части профиля. Особенно это необходимо, когда выполнение средней части профиля требует интенсивных деформаций.

К недостаткам данной системы калибровки валков можно отнести необходимость более сложного и точного расчета ширины исходной заготовки и переходов, применение большого числа рабочих валков, искривление гофров в горизонтальной плоскости в направлении к основной оси профиля¹.

Одновременная калибровка

При этой калибровке профилирование начинается одновременно по всему поперечному сечению исходной заготовки (рис. 21). Получение готовых профилей достигается при минимальном числе проходов.

Расчет переходов ведут не от исходной заготовки, а от готового профиля, что уменьшает возможность ошибок при расчете и связанных с ними в процессе профилирования перетяжек металла из одного элемента профиля в другой.

Однако расчет необходимо производить с учетом многих технологических факторов, характеристики профилируемого металла, а также толщины и марки стали исходной заготовки. Настройка стана при одновременной калибровке валков требует повышенной точности.

Деформация исходной заготовки одновременно по всему поперечному сечению требует большого усилия при подгибке и в первых и в последних клетях, так как металл во всех местах изгиба упрочняется уже в первых клетях стана.

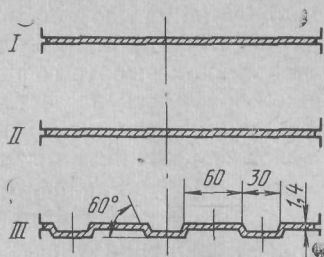


Рис. 21

Одновременная калибровка валков гофрированного профиля (I—III—номера клетей)

¹ Исправить такой дефект в стане не представляется возможным.

От принятой методики расчета размеров профиля по переходам зависит утонение металла в местах изгиба, а следовательно, и качество готового профиля. Повышенное утонение в местах изгиба вызывает появление трещин на готовом профиле. Принятый при расчетах калибровок жесткий режим профилирования с завышенными углами подгибки вызывает растяжение кромок полосы и образование волнистости.

При профилировании из толстых заготовок профилей с небольшими размерами отгибаемых элементов волнистость не наблюдается, готовый профиль изгибается в сторону, противоположную направлению подгибки в вертикальной плоскости.

Система одновременной подгибки обеспечивает уменьшение числа рабочих валков. Однако для изготовления комплекта валков металла требуется на 30% больше, так как профиль перекрывается, начиная с первой клетки, по всему поперечному сечению, а при последовательной калибровке — только в последних клетях.

Применение последовательной калибровки валков с большой дробностью деформации при производстве тонкостенных гофрированных профилей толщиной до 2 мм при небольшой высоте гофров (до 12 мм) приводило к искажению участков мест изгиба профиля. При самой тщательной настройке стана на ось профилирования этот дефект устранить не удавалось.

Анализ изменения формы и размеров профиля по переходам при такой калибровке позволил установить причины искажения участков мест изгиба профиля. Установлено, что малые углы подгибки при больших радиусах закруглений и незначительной высоте гофров, большая дробность деформации и наличие незначительных люфтов в подшипниках рабочих валков создают неблагоприятные условия для фиксации полосы относительно оси профилирования.

Применение одновременной калибровки валков для гофрированного профиля $978 \times 5,4 \times 1,4$, которая предусматривает профилирование его в одной клетки вместо применявшихся 11 клеток, позволило уменьшить массу валков в 8 раз, брак — в 6 раз, увеличить производительность стана на этом профиле на 50%, сократить время на перевалку и настройку стана в 4 раза.

Новая технология профилирования предусматривает применение подгибки элементов сечения профиля по-

стоянным радиусом, допускающим малую дробность деформации. Осуществлена принудительная задача в профилирующую клеть заготовки двумя парами валков с гладкими цилиндрическими бочками (рис. 21, клетки I и II). При жестком режиме и большой скорости поштучного процесса профилирования это позволяет удержать разнополочность профиля. Отпадает необходимость натяжения полосы между клетями.

Комбинированная калибровка

При комбинированной калибровке (рис. 22) профилирование начинается с постепенной подгибки всех или нескольких участков профиля, затем происходит до-

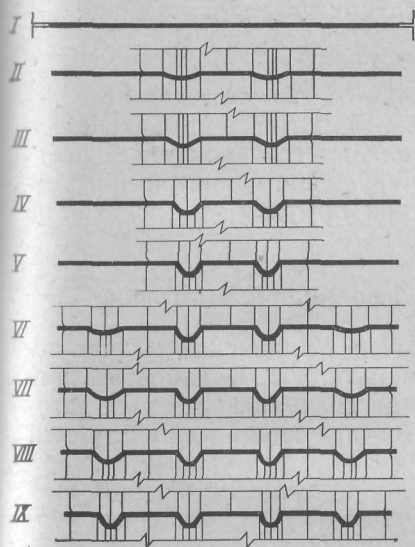


Рис. 22

Комбинированная калибровка валков гофрированного профиля (I—IX — номера клеток)

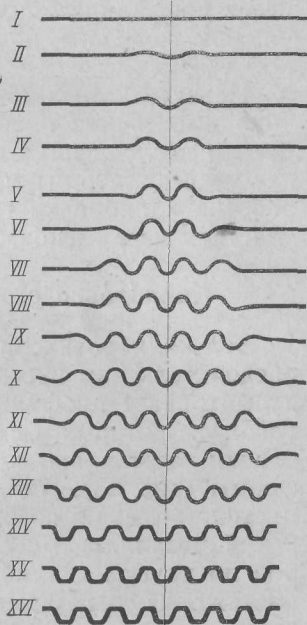


Рис. 23

Калибровка валков с осадкой волнистой заготовки (I—XVI — номера клеток)

гибка отдельно каждого участка, т. е. используются одновременная и последовательная калибровки валков. Профилирование исходной заготовки по всему попереч-

ному сечению профиля производится до определенного угла подгибки с догибкой по участкам, начиная с выполнения средней части профиля, и последующим профилированием периферийных участков.

При изготовлении гнутых профилей по этой калибровке число пар рабочих валков по сравнению с последовательной калибровкой сокращается, а по сравнению с одновременной калибровкой — увеличивается.

Преимуществом комбинированной калибровки валков является то, что она обеспечивает быструю и точную настройку стана и устойчивое положение профилируемой полосы во всех клетях относительно оси профилирования. По сравнению с последовательной и одновременной комбинированная калибровка дает возможность исправления формы и размеров профиля в процессе профилирования благодаря последовательной, начиная с середины, подгибке его участков в промежуточном сечении.

Недостатком комбинированной системы является необходимость при окончательной догибке профиля изгибать в последующих проходах ранее подогнутые соседние участки, что вызывает нарушение принятой при разработке калибровки геометрии профиля и искажение участков мест изгиба.

Калибровка с осадкой волнистой заготовки

Эта калибровка разработана Украинским научно-исследовательским институтом металлов. Калибровка предусматривает профилирование сначала волнистых заготовок, из которых в валках последующих клетей за счет осадки изготавливают профили с гофрами трапециевидной формы (рис. 23). Изготовление профилей с осадкой волнистой заготовки позволяет значительно уменьшить утонение металла в местах изгиба. При образовании гофров по другим калибровкам происходит деформация растяжения, вызывающая значительное утонение металла.

Калибровка с осадкой предусматривает получение промежуточного профиля (волнистой заготовки) по дугам больших радиусов, что обеспечивает значительно меньшие растягивающие деформации и утонение, более равномерно распределенное по периметру. Кроме того, при осадке волнистой заготовки происходит сжатие волн в вертикальном направлении. Деформация растя-

жения в местах изгиба, возникающая при профилировании вследствие обтяжки заготовки вокруг ребер валков, при всех рассмотренных выше калибровках заменяется деформацией сжатия.

Калибровка с осадкой волнистой заготовки обеспечивает получение качественных профилей по утонению мест изгиба и дает возможность на одном комплекте валков изготовить два различных профиля — волнистый и ребристый. Однако при этой калибровке невозможно профилирование тонких полос толщиной до 2 мм с большим числом гофров и могут появляться волнистость, поперечный и продольный прогибы, которые исправить настройкой профилегибочного стана нельзя.

Принципы профилирования

Калибровку валков можно рассчитать на основании одного из трех принципов. Первый принцип — радиусы закруглений принимают переменными при постоянных расстояниях между центрами дуг мест изгиба. Второй — радиусы закруглений мест изгиба принимают постоянными при переменных расстояниях между центрами их дуг. Третий — радиусы закруглений и расстояния между центрами дуг мест изгиба принимают постоянными.

Сущность первого принципа заключается в том, что радиусы закруглений мест изгиба определяют из условия постоянства ширины криволинейных участков по нейтральной оси, а размеры переходных форм определяют из условий постоянства периметра подгибаемых элементов профиля во всех проходах. Благодаря этой особенности калибровки обеспечивается свободный доступ металла к месту изгиба всех частей профиля.

Применение переменных радиусов уменьшает нагрузку на валки, износ в местах закруглений и утонение металла в местах изгиба.

При изготовлении профилей по калибровке с постоянными радиусами и переменными расстояниями между их центрами (второй принцип) начало подгибаемого участка лежит ближе к периферии и подгибка ведется от периферии к середине профилируемой полосы. При этом расстояние между центрами радиусов уменьшается.

Применение постоянных радиусов дает возможность получить дугу закругления более точной геометрии за

меньшее число проходов. Однако при этом требуется большее усилие при профилировании, увеличивается износ валков в радиусной части и сокращается возможность широкой унификации валков.

Недостаток калибровок, рассчитанных по третьему принципу, состоит в том, что подгибка мест изгиба происходит за счет металла соседних элементов профиля при постоянном расстоянии между центрами дуг изгиба и постоянных радиусах этих дуг.

Такой способ подгибки не позволяет получить швеллерные профили с углами 90° , так как эти углы обычно соответствуют калибру валков предчистовой клетки. Последние участки дуги можно получить при осевом давлении валков, а не радиальном, однако создать осевое давление в валках с горизонтальными осями не представляется возможным.

Для получения прямого угла между стенкой и полками с учетом упругого пружинения предусматривается перегиб полков до 92° .

Упругая деформация при профилировании

При холодной пластической деформации листовой заготовки происходит также упругая деформация. После выхода из валков профилируемая полоса частично восстанавливает свою форму, в связи с чем размеры профиля не совпадают с размерами калибров рабочих валков. На точность формы и размеров гнутых профилей влияет упругая деформация металла, которую нужно учитывать при расчете калибровки.

Исследования показали, что упругая деформация зависит от материала заготовки, ее толщины, радиуса и угла подгибки, зазора между валками.

Упругую деформацию сортовых и гофрированных профилей устраняют перегибом этих участков внутрь профиля, а также уменьшением зазора в последних клетках стана.

9. ВЫБОР МЕТОДИКИ РАСЧЕТА КАЛИБРОВОК ВАЛКОВ

Выбор способа калибровки, основной оси профиля, промежуточных его форм, углов подгибки составляет единый комплекс — схему профилирования.

Характерной особенностью гнутого профиля является наличие прямолинейных участков между криволинейными.

Применяются три метода расчета калибровки гнутых профилей. Первый и второй методы характеризуются гибкой по кривой постоянного радиуса, равного радиусу внутреннего закругления готового профиля. Первый метод — от периферии к центру (рис. 24,а), второй — от центра к периферии (рис. 24,б).

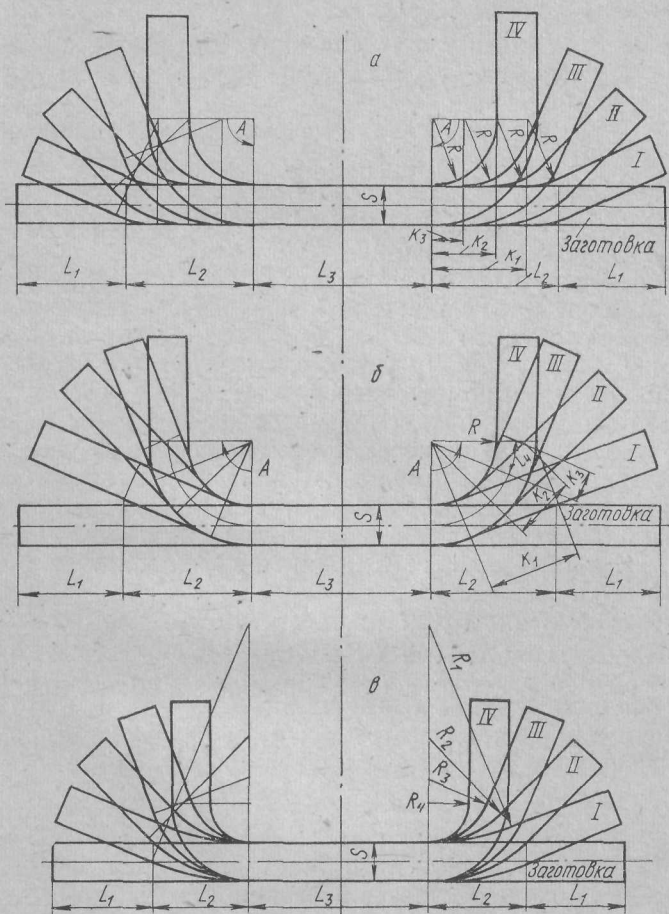


Рис. 24

Методы калибровки гнутых профилей (I—IV — последовательность процесса)

Третий метод (рис. 24, в) характеризуется постепенным уменьшением радиуса изгиба до радиуса внутреннего закругления готового профиля.

При расчете по первому методу изгибаемый прямолинейный участок k суммируется с горизонтальным участком полосы, а затем в каждом проходе изгибается участок, соответствующий углу подгибки в этом проходе.

Длину участка закругления (длину дуги) определяют по формуле

$$L_i = \pi r \alpha_i / 180,$$

где α_i — суммарный угол для данного прохода, образуемый между участками профиля при его подгибке, град;

r — радиус закругления по нейтральной линии, мм.

Длина участка, который предстоит догнуть в последующих клетях, равна $k_i = L_2 - L_1$.

Из рис. 24 видно, что участки k уменьшаются с увеличением угла подгибки.

В последнем проходе $k_i = 0$, т. е. весь прямой участок превратился в дугу. Участок k при расчете ширины калибра нижнего и верхнего валков добавляют с двух сторон к горизонтальному участку, который в процессе профилирования не изменяется.

Второй метод предусматривает изгиб прямолинейного участка k в процессе профилирования. С увеличением угла изгиба k уменьшается. Прямолинейный участок полки профиля L_1 в процессе профилирования не изменяется. Участки k прибавляют к прямолинейному участку L_1 при расчете наклонной части калибра нижнего валка.

Прямолинейный участок заготовки L_2 в процессе профилирования по третьему методу превращается в кривую заданного радиуса R_4 в результате постепенного увеличения кривизны всего участка L_2 .

Радиусы внутреннего закругления профиля в промежуточном проходе i определяют по формуле

$$R_i = \frac{L_2 \cdot 180}{\pi \alpha_i} - \chi s,$$

где L_2 — длина изгибаемого участка, которая во всех проходах остается постоянной, мм;

α_i — суммарный угол подгибки в данном проходе, град;

s — толщина полосы, мм;

x — коэффициент нейтрального слоя, зависящий от соотношения r/s (относительного радиуса);

r — внутренний радиус закругления в месте изгиба, мм.

Подгибка с постоянным радиусом представляет собой последовательное деформирование по участкам. В этом случае возрастают удельные давления, деформация приводит к изменению поперечного сечения. Значительно возрастают требования к точности изготовления валков.

При недостаточно точном изготовлении валков на закруглении готового профиля появляются выдавленные дорожки — следствие несовпадения конфигурации верхнего валка и участка профиля. При калибровке с постоянным радиусом требуется индивидуальный комплект валков для каждого профиля.

При расчете по второму методу увеличивается разность окружных скоростей, что вызывает повышенный износ валков. Затрудняется освобождение полки профиля от заземления валками, так как в последнюю очередь подгибается наиболее удаленный от уровня профилирования участок.

Разность окружных скоростей валков при расчете по первому методу во всех клетях минимальная. Полка профиля легко освобождается в любом калибре.

Наибольшее распространение получил третий метод, заключающийся в последовательной подгибке полосы переменным радиусом, т. е. в одновременном деформировании всего участка закругления. В этом случае можно получать на одном комплекте валков профили разной толщины.

Третий метод необходимо применять для профилей, имеющих промежуточные прямые участки, например для корытного профиля.

Подгибать этот профиль по первому методу нельзя. При больших толщине и поперечной жесткости это приводит к значительным утонениям в местах изгиба, появлению трещин, искажению профиля.

По третьему методу профилируются швеллеры, С-образные и гофрированные профили.

Выбор метода расчета калибровки зависит от особенностей каждого профиля: соотношения его размеров, толщины и т. д. Уголок и другие профили, формуемые «на ребро», нужно калибровать только по второму

методу. Это связано с тем, что уголок крайне неустойчив в валках и в процессе профилирования наблюдается его покачивание.

Если конечный радиус намного больше толщины стенки профиля, нужно применять подгибку постоянным радиусом, чтобы длина дуги в каждой клетке была близка к расчетной. Если конечный угол близок к 90° , применяют второй метод, если конечный угол меньше 90° , применяют первый метод.

Деформация в отдельных клетках ограничена, так как в изделии не должны возникать напряжения, вызывающие разрушения материала. Поэтому при профилировании невозможно получить большой угол за один проход.

Необходимо учитывать основное требование поштучного профилирования — обеспечение плавного захода металла в калибр. В первых клетках профиль имеет малую жесткость, закругления еще недостаточно намечены, поэтому приращение углов подгибки выбираются небольшими ($8-10^\circ$). В следующих проходах приращение углов подгибки увеличивается до $12-15^\circ$. В последних проходах из-за ухудшения условий задачи металла в калибр и значительного наклепа изогнутых участков профиля приращение углов подгибки принимают равным $2-8^\circ$.

При непрерывном профилировании вход полосы в калибры валков не оказывает влияния на схему и режим профилирования. Кроме того, можно более широко применять углы освобождения элементов профиля в валках стана. Благодаря этому значительно улучшаются энергосиловые параметры профилирования и уменьшаются энергетические потери на трение.

Расчет максимального допускаемого угла подгибки представляет определенные трудности. На основании многолетнего опыта применяют ряд методов расчета.

Для профилегибочных станов легкого типа рекомендуется выбирать углы подгибки в зависимости от толщины стальной ленты: 45° — при толщине $0,5-0,8$ мм, 30° — при $0,8-1,2$ мм и 22° — при $1,2-1,5$ мм.

Для станов среднего типа углы подгибки рекомендуется увеличивать в полтора раза, но при этом они не должны превышать 45° .

При непрерывном профилировании для подгибки элементов профиля рекомендуется применять верти-

кальные неприводные ролики. Условия подгибки вертикальными роликами наиболее благоприятны при близости изгибаемого участка профиля к вертикальному положению, т. е. при углах подгибки, близких к 90° .

При подгибке в горизонтальных валках одного элемента на 90° относительно соседнего, остающегося во всех проходах в горизонтальном положении, применяют следующий типовой режим подгибки: $0^\circ-30-60-75-90^\circ$ (при изготовлении швеллеров).

На станах, где в одной плоскости с горизонтальными валками установлены вертикальные, применяют еще более интенсивный режим подгибки: $0^\circ-30-45-60-90^\circ$.

Подгибка на углы более 45° производится вертикальными валками. При этом требуются меньшие усилия и обеспечивается лучшая подгибка элементов и углов профиля.

При одновременной подгибке соседних элементов относительно вершины угла, например при производстве уголков, профиль изготавливается только в горизонтальных валках по режиму: $0^\circ-15-30-45^\circ$.

Минимальную ширину подгибаемого элемента обычно принимают равной не менее чем трем его толщинам. С увеличением толщины и ширины полок углы подгибки за проход уменьшают.

Ослабление режима профилирования для более толстостенных профилей обеспечивает уменьшение деформаций и напряжений, возникающих в полосе на участках плавного перехода, лучшую подгибку элементов профиля и мест закруглений, а следовательно, и лучшее качество профилей.

Опыты показали, что для всего диапазона размеров и режимов подгибки характер распределения деформаций одинаков. На большей части ширины подгибаемых полок остаточные деформации в конце участка плавного перехода практически отсутствовали. Это позволяет при разработке калибровок валков выбирать более жесткие режимы подгибки, чем при поштучном процессе профилирования.

При разработке калибровок валков для стана $1 \div 4 \times 50 \div 300$ приняты следующие режимы профилирования: $0^\circ-18^\circ-33^\circ-44^\circ 30'-44^\circ$ для уголковых профилей и $0^\circ-16^\circ-33^\circ-50^\circ-65^\circ-77^\circ-87^\circ-90^\circ$ для швеллерных.

В клетях, следующих за ножницами, из-за высоких

скоростей профилирования и разрезки профилей ленточными ножницами в потоке применяют ослабленные режимы с дублированием клетей.

При поштучном профилировании для обеспечения надежного входа полосы в валки применяют менее жесткие режимы, чем при непрерывном процессе, например: $0^{\circ}-6^{\circ}-12^{\circ}-20^{\circ}-28^{\circ}-36^{\circ}-44^{\circ}15'$ — для уголка $60 \times 60 \times 4$ мм; $0^{\circ}-8^{\circ}-18^{\circ}-30^{\circ}-44^{\circ}-58^{\circ}-70^{\circ}-80^{\circ}-88^{\circ}-90^{\circ}$ — для швеллера $100 \times 60 \times 4$ мм и $0^{\circ}-8^{\circ}-18^{\circ}-30^{\circ}-42^{\circ}-54^{\circ}-66^{\circ}-78^{\circ}-88^{\circ}-90^{\circ}$ — для корытного профиля.

Число пар валков при поштучном профилировании больше, чем при непрерывном: на три — для уголков, на четыре — для швеллеров и на две — для корытных профилей, т. е. при непрерывном профилировании расход валков уменьшается на 20—30%.

Важным технологическим параметром, определяющим режим профилирования, является также радиус закругления переходных форм профиля.

В основном при разработке калибровок валков радиусы закруглений принимают переменными и рассчитывают из условия постоянства ширины мест изгиба. Для лучшего выполнения мест закругления и обеспечения большего срока службы валков без переточек расчетный радиус на криволинейных участках уменьшают до конечного во всех технологических переходах. В отдельных случаях при подгибке участков закругления с большими конечными радиусами ($r \gg s$) применяют переменные радиусы закруглений по всему маршруту профилирования.

Внутренние радиусы закруглений в местах изгиба выбирают в зависимости от пластических свойств материала полосы. Для цветных металлов, алюминия и низкоуглеродистых сталей допускается подгибка элементов на 180° без внутреннего закругления в месте изгиба.

Такую подгибку применяют лишь в тех случаях, когда этого требует конструкция профиля. Во всех остальных случаях внутренние радиусы закругления в местах изгиба для цветных металлов и низкоуглеродистых сталей следует применять равными толщине материала, т. е. $R=s$.

Для нержавеющей и низколегированных сталей внутренний радиус должен быть $R \geq 1,5s$, а при изготовле-

нии гнутых профилей из материалов с покрытиями $R = (2 \div 3)s$.

Переменные радиусы по переходам определяют аналитически.

Расчет ширины исходной заготовки

Ширину заготовки можно определить аналитическим, графо-аналитическим или графическим методами. Выбор метода расчета зависит от сложности сечения профиля. Ширину заготовки обычно определяют по длине нейтрального слоя профиля, который, как условно принято, не подвергается деформации от изгиба и поперечной вытяжки. Результаты расчета корректируют с учетом утонения металла в местах изгиба и поперечной вытяжки.

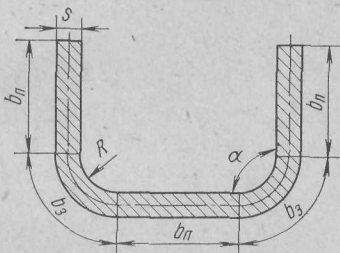


Рис. 25

К определению ширины исходной заготовки гнутого профиля

При определении ширины исходной заготовки аналитическим методом сечение профиля делят на элементарные участки (рис. 25), сумма ширин которых является шириной исходной заготовки, т. е.

$$B = \Sigma b_n + \Sigma b_3,$$

где B — ширина заготовки, мм;

Σb_n — сумма ширин прямолинейных участков, мм;

Σb_3 — сумма ширин участков закруглений, мм.

Ширину участка закругления определяют по формуле

$$b_3 = \pi r \alpha / 180,$$

где α — угол, образуемый между участками профиля при его подгибке, град;

r — радиус закругления по нейтральной линии деформации, мм.

Радиус нейтрального слоя можно определить по формуле

$$r = r + \chi s,$$

где r — внутренний радиус закругления в месте изгиба, мм;

x — коэффициент нейтрального слоя в месте изгиба, мм.

Для тонкого металла ($s \leq 1,5$ мм) в зависимости от внутреннего радиуса коэффициент нейтрального слоя колеблется от 0,2 до 0,5.

Для различных соотношений r/s принимают следующие значения x : 0,33 при $r/s < 1,5$; 0,40 при $r/s = 1,5 \div 5$ и 0,50 при $r/s > 5$.

Для расчета ширины заготовки профилей типа гнутых уголков, швеллеров и других используют эмпирическую формулу.

$$B = P_{\text{усл}} - q/2 (3s + R) \sin \alpha - k,$$

где $P_{\text{усл}}$ — условный периметр без учета закруглений, мм;

q — число закруглений;

R — радиус закругления в чистовой клетке, мм;

α — суммарный угол подгибки полки, град;

k — плюсовой допуск на заготовку, мм.

При расчете ширины исходной заготовки графо-аналитическим методом ширину наиболее сложных по конфигурации участков профиля, которую не всегда можно рассчитать аналитическим методом, определяют графически. Для этого сечение сложных участков профиля вычерчивают в увеличенном масштабе и измеряют микрометрическим циркулем или курвиметром. Ширины остальных участков профиля определяют аналитически.

При графическом методе определения ширины исходной заготовки все сечение профиля вычерчивают в увеличенном масштабе и измеряют циркулем или курвиметром. Ошибка в определении ширины заготовки тем меньше, чем больше масштаб увеличения.