

М. Е. Докторов, Н. М. Докторова

## Особенности формообразования гнутых профилей в валках стана

*Предложены формующие универсальные клетки многоклетевого стана, в которых боковые формующие валки установлены наклонно к уровню профилирования. Разработана методика определения оптимальных углов наклона боковых формующих валков и формы их рабочей поверхности, позволяющая, с учетом особенностей профиля и рекомендуемого способа формовки, применять более интенсивные режимы формообразования профиля, сократить число технологических переходов, уменьшить перепад окружных скоростей в калибре валков, а также сблизить направления и величины скорости движения материальных точек вращающихся валков и перемещаемых материальных точек деформируемой заготовки в местах контакта. Это сближение улучшает условия формообразования профиля и его качество, дает возможность уменьшить количество формующих рабочих клеток многоклетевого стана.*

**Ключевые слова:** гнутый профиль проката, заготовка, профилирование, качество, клеть, стан, валок, калибр, ось вращения валка, наклон валка

Профилирование относится к весьма прогрессивному технологическому процессу механической обработки металлов давлением, в котором предусмотрено ступенчатое и последовательное по технологическим переходам, постепенное формоизменение по длине листовой заготовки, продольно перемещаемой во встречно вращающихся сопряженных по клетям валках профилегибочного стана путем подгибки ее участков в гнутый профиль проката. Обычно, при разработке технологии, создании и совершенствовании оборудования, инструмента и технологической оснастки для профилирования, с целью повышения эффективности процесса, разработчики стремятся одновременно с повышением производительности и улучшением качества продукции к максимальному сокращению числа технологических операций-переходов, уменьшению необходимых для их выполнения формующих рабочих клеток многоклетевого стана, а также формообразующих профилей валков и технологической оснастки. Это возможно при максимально допустимом формоизменении исходной заготовки в каждом технологическом переходе, оптимальных энергозатратах при профилировании и получении продукции требуемого качества. Весь процесс формообразования гнутого профиля заданной конфигурации из исходной плоской заготовки удобно разделить на технологические переходы – операции, каждая из которых соответствует частичному формообразованию профиля в валках одной рабочей клетки многоклетевого стана. Обычно, такое формообразование в каждой упомянутой клетке ограничивается предельно допустимыми технологическими параметрами деформирования металла участков заготовки мест изгиба и плоских подгибаемых и неподгибаемых элементов формируемого профиля. Предусмотрено ограничение приращения изменений кривизны и толщины мест изгиба с тем, чтобы предупредить их повышенное утонение (утолщение), возможное нарушение целостности материала и ухудшение качества поверхности, в том числе защитно-декоративного покрытия деформиру-

емой заготовки (при его наличии), а также ограничение возможного неравномерного изменения длины отдельных участков профиля в его поперечных сечениях. Максимальное формообразование в каждом переходе на участке плавного перехода ограничено также принятыми предельно допустимыми углами относительной подгибки смежных элементов будущего профиля и предельно допустимыми поперечными перемещениями кромок формируемой заготовки, отражающими режим деформирования и позволяющими получить качественный профиль без продольного изгиба, винтообразного скручивания, искажения формы отдельных элементов, торцов и готового профиля в целом. Кроме того, величину рекомендуемого максимального формообразования дополнительно корректируют в соответствии с: техническими требованиями, предъявляемыми к профилю; механическими свойствами материала; технологической схемой формовки; техническими возможностями оборудования и инструмента; принятым процессом профилирования (непрерывным – со стабильным и надежным процессом формообразования профиля и его сложной отрезкой после формовки либо поштучным – с простой и надежной порезкой заготовки на заданную длину перед профилированием и последующим нестабильным, более трудоемким, процессом формообразования из нее профиля в валках), а также в соответствии с: соблюдением благоприятных для формообразования будущего профиля условий, например, за счет дополнительного приложения к нему формующих усилий со стороны валков и технологической оснастки; применением закрытых калибров с дополнительными, центрирующими формируемый профиль (тороидальными, плоскими, цилиндрическими, коническими и другой формы) участками инструмента; дополнительным использованием вспомогательных формующих приводных и не приводных валков; применением универсальных многовалковых клеток; созданием надежных и благоприятных условий для захвата заготовки валками и продольного стабильного ее

перемещения; приложением к заготовке необходимого тягового усилия; применением оптимального натяжения заготовки между формующими клетями; созданием для формоизменения заготовки благоприятных условий деформирования металла; обеспечением оптимальных энергосиловых, скоростных и других технологических параметров процесса профилирования.

Установлено [1-3], что на многоклетевом профилильном стане при ступенчатом (по технологическим переходам/проходам), постепенном и последовательном (по длине изготовленного гнутого профиля из продольно перемещаемой листовой металлческой заготовки в сопряженных по калибрам формующих валках), а также в большей степени при интенсивном формообразовании, достаточно трудно в изготовлении сложных профилей (в том числе кососимметричных, несимметричных и с многоэлементными полками, стенками и отбортовками), можно наблюдать следующие явления: поперечное смещение формируемого профиля с продольной оси профилирования; винтообразное его скручивание и продольный изгиб; нестабильность по длине формы и основных размеров профиля; образование продольной волнистости на плоских стенках; искажение формы предварительно образованных в предшествующих переходах участков; появление задиры, забоин и смятия поверхности на формируемых участках заготовки вблизи торца и продольных кромок, в местах контакта с валками, а также образование других дефектов. Во многих случаях упомянутые недостатки обусловлены такими факторами, как: различная длина траектории перемещения материальных частиц формируемой заготовки; неравномерное перемещение и деформирование металла заготовки в поперечных сечениях и по длине при формовке на участках плавного перехода и потеря при этом устойчивости отдельными тонкостенными элементами профиля; сложная, в том числе несимметричная, схема приложения формирующих усилий к профилю в валках; продольная кривизна, разнотолщинность и другие дефекты заготовки; ненадежная фиксация движущейся и одновременно формоизменяющейся заготовки от поперечного смещения с продольной оси профилирования в двух-, трех-, четырех- и более валковых калибрах рабочих клетей стана; разновременная встреча периферийных и центральных участков в поперечных сечениях формируемой заготовки с валками; неодновременное, вследствие этого, приложение к заготовке встречно направленных формирующих сил; разновременное начало подгибки и деформирования формоизменяемых участков заготовки, неуравновешенность прикладываемых к ним для встречной подгибки моментов сил.

Анализ возможного применения различного вида оборудования и инструмента свидетельствует о том, что при непрерывном и поштучном способах изготовления профилей широкого сортамента, в том числе сложных в изготовлении замкнутого контура, крупногабаритных с многоэлементными стенками и отбортовками, с элементами двойной толщины, широкополочных и несимметричных, со сравнительно

большой степенью несимметричности и разнополочности универсальные многовалковые клетки можно использовать более эффективно, чем двухвалковые, что позволяет расширить технологические возможности оборудования и инструмента, улучшить условия формообразования профиля и его качество, в том числе за счет применения в клетки дополнительных, отдельно установленных, образующих калибр валков. При этом возможно применение более интенсивных режимов формообразования профиля, сокращение числа технологических переходов, уменьшение количества необходимых для их выполнения формирующих рабочих клетей многоклетевых стана, формообразующих профиль валков и технологической оснастки. Кроме того, улучшается качество несимметричных профилей вследствие создания одновременного начала встречной подгибки обеих полок профиля на одинаковых расстояниях от плоскости калибра, уменьшения перепада окружных скоростей в калибре валков и сближения направлений и величин скорости движения материальных точек вращающихся валков и перемещаемых материальных точек деформируемой заготовки в местах ее контакта с валками, а также благодаря более благоприятному для подгибки элементов профиля приложению к ним формирующих сил со стороны валков и созданию необходимых изгибающих и крутящих моментов. В некоторых случаях, например, при изготовлении широкого сортамента листовых и сортовых профилей в первых технологических переходах, когда суммарные углы подгибки не превышают  $\pm(30\div 40)$  град., целесообразно применение обычных двухвалковых клетей.

В процессе профилирования габаритная ширина формируемого профиля, как правило, ступенчато уменьшается от максимального значения, равного ширине исходной заготовки, до заданного, равного ширине готового профиля. Листовой металл исходной заготовки, формоизменяясь на участках плавного перехода по технологическим переходам, перемещается, в том числе поперечно, в направлении от кромок периферийных участков к центральному. При этом габаритная высота профиля увеличивается от минимального значения, равного толщине заготовки, до высоты промежуточного профиля и далее – до заданного значения, равного высоте готового профиля. Иногда при изготовлении профилей замкнутого контура или с элементами двойной толщины их высота может достигать максимума в промежуточных технологических переходах, а затем уменьшаться до высоты готового профиля, равной, например, двум толщинам заготовки. Следует отметить, что толщина плоских участков готового профиля соответствует или близка толщине исходной заготовки, а криволинейных участков – может существенно (более чем на  $10\div 20$  %) изменяться: для открытых профилей – в сторону утонения, а для закрытых – утолщения. Суммарные углы подгибки по переходам возрастают в направлении профилирования от нуля градусов на плоской заготовке до заданных на готовом профиле (обычно от 45 до 180 град.). Относительные внутренние радиусы кривизны в мес-

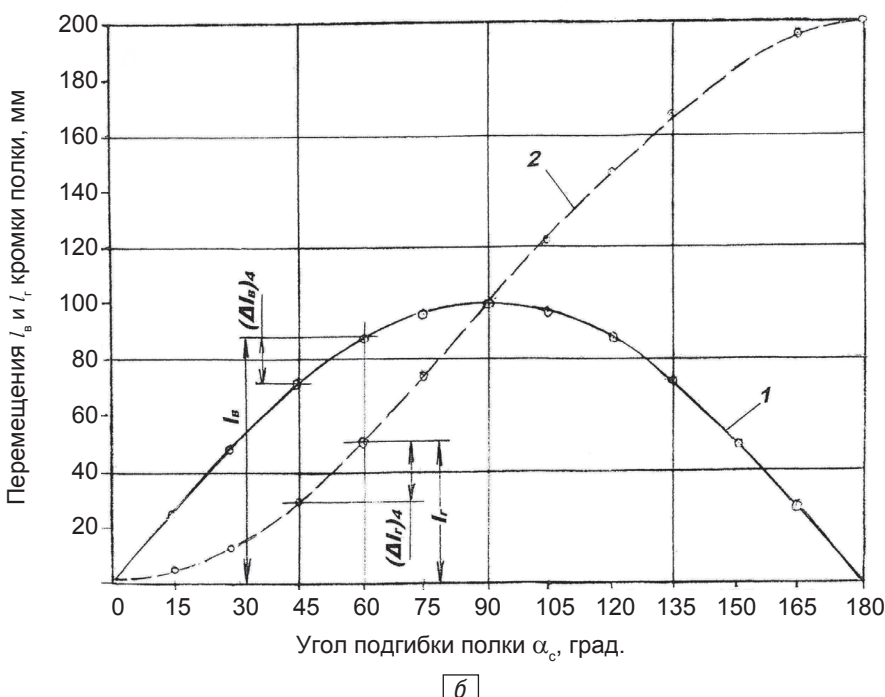
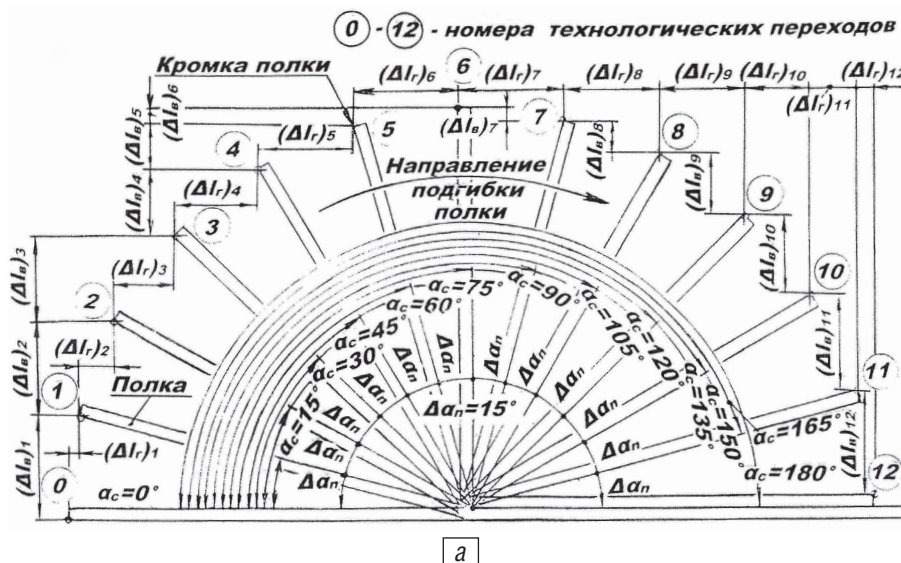
тах изгиба уменьшаются от исходных на плоской заготовке до заданных на готовом профиле (до 2÷3), а при необходимости уменьшение возможно и до нуля.

Из условия ступенчатой подгибки по технологическим переходам в двухвалковых клетях стана плоской полки будущего профиля на угол 180 град. относительно горизонтальной стенки, расположенной в калибрах валков на уровне формовки, следует, что материальные точки кромки полки будут перемещаться, в первом приближении, по винтовой траектории (по отрезкам дуг) на цилиндрической поверхности, описанной радиусом, который равен ширине подгибаемой полки  $b_n$  (рис. 1, а, б). Несложно определить, что при одинаковых углах подгибки по переходам (например,  $\Delta\alpha_n = 15$  град.) необходим стан с 12-ю ( $180 / 15 = 12$ ) формующими клетями. По приведенным на рис. 1, б графикам суммарных перемещений кромки формообразуемого профиля видно, что вертикальная составляющая  $l_v$  (график 1) монотонно возрастает в диапазоне углов от 0 до 90 град., а затем, изменив знак на противоположный, уменьшается и при суммарном угле подгибки  $\alpha_c = 180$  град.  $l_v = 0$ . При этом горизонтальная суммарная составляющая перемещения  $l_r$  (график 2) непрерывно возрастает во всем диапазоне изменения суммарного угла  $\alpha_c$  подгибки от 0 до 180 град. Необходимо обратить внимание на противоположные направления вертикального перемещения  $l_v$  до и после угла 90 град., а также на минимальное изменение интенсивности при подгибке на угол 90 град. Интенсивность изменения суммарной составляющей горизонтального перемещения  $l_r$ , в отличие от вертикального  $l_v$ , достигает максимума при  $\alpha_c = 90$  град. и минимума – при  $\alpha_c = 0$  град. или 180 град. Нужно отметить, что экстремальные приращения за проход вертикальных перемещений кромки полки  $\Delta l_v$  (рис. 2, а) и горизонтальных  $\Delta l_r$  (рис. 2, б) наблюдаются при подгибке полки на различные суммарные углы  $\alpha_c$ , то есть в разных технологических переходах.

Благодаря изучению особенностей перемещения материальных точек кромки и поверхностных слоев подгибаемой полки в горизонтально расположенных валках каждой клетки стана можно сделать вывод о том, что в каждом проходе вертикальная составляющая перемещения  $\Delta l_v$  осуществляется в плоскостях вращения охватывающих валков с относительно

небольшими энергопотерями на трение, в то время как поперечная составляющая перемещения  $\Delta l_r$  происходит в горизонтальном (аксиальном) направлении валков со значительными энергопотерями. В связи с этим при разработке оборудования желательнее стремиться к установке валков в рабочих клетях стана таким образом, чтобы составляющие максимального перемещения материальных точек профиля находились в плоскостях, перпендикулярных оси вращения охватывающего валка, а минимальные перемещения осуществлялись в аксиальном направлении.

Анализ эффективного применения формующих валков и различных конструкций клетей стана [1-12] свидетельствует о том, что в первых технологических переходах для подгибки периферийных участков формуемой заготовки относительно, например, центрального, горизонтально расположенного, ее

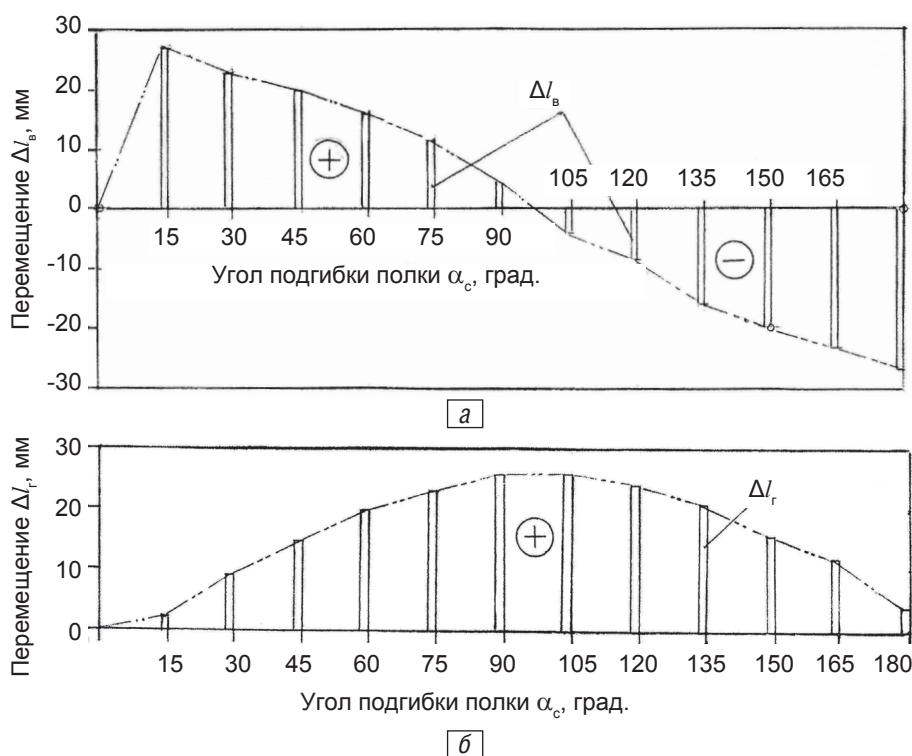


**Рис. 1.** Схема ступенчатого по переходам формообразования элемента двойной толщины с подгибкой полки на угол 180 град. (а) и зависимость суммарной величины вертикального  $l_v$  (1) и горизонтального  $l_r$  (2) перемещений кромки полки шириной 100 мм от угла подгибки  $\alpha_c$  (б)

участка на суммарные углы от нуля до  $\pm(30\div 40)$  град., а в промежуточных и чистовых проходах – в диапазоне углов  $\pm(140\div 180)$  град., когда вертикальные перемещения кромок подгибаемых полок профиля максимальны и горизонтальные перемещения несущественны, можно рекомендовать двухвалковые клети с горизонтально расположенными сопряженными на уровне формовки (профилирования) валками 1 и 2 (рис. 3, а). С целью уменьшения габаритов оборудования и металлоемкости валков отношение основных диаметров верхнего и нижнего валков  $D_{о.в} / D_{о.н}$  принимают равным или близким к единице, а углы  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  наклона продольных осей вращения верхнего и нижнего валков к уровням формовки – равными нулю. При этом, по меньшей мере один из спаренных по калибру валков в клети, преимущественно охватывающий, выполняют приводным. Для центрирования формируемого профиля 3 в рабочей клети и стане на охватывающем профиле нижнем валке 2 предусмотрены цилиндрические бурты, закрывающие калибр и ограничивающие рабочими поверхностями плоских торцов поперечное смещение формируемой заготовки с продольной оси профилирования. Применительно как к непрерывному, так и поштучному процессам формовки, в том числе к сложным в изготовлении несимметричным профилям, разработаны способы формовки, конструкции оборудования и валков, в рабочих ручьях которых выполнены дополнительные конические элементы, обеспечивающие одновременное начало встречно-направленной подгибки обеих полок, а в плоскости калибра – дополнительное центрирование профиля и догибку полок на заданные углы [6]. Разработаны расчетные технологические схемы калибров валков для изготовления швеллеров, в том числе с гофрами на стенке профи-

ля и несимметричных. Показано, что равенство расстояний от точек встречи участков заготовки с валками до плоскости их калибра существенно улучшает условия формообразования профилей и их качество. Этого достигают за счет подбора режима формовки профиля, диаметральных размеров и угла наклона образующей поверхности дополнительных конусов в рабочих ручьях валков. Разработаны и предложены конструкции закрытых калибров для двухвалковых клетей, обеспечивающие надежное центрирование формируемой заготовки в рабочих ручьях валков, клетях и на стане. Важно отметить, что при закрытии калибра валков необходимо направляющие цилиндрические бурты устанавливать на охватывающих участках калибра валков, предупреждая встречную направленность движения подгибаемых участков профиля, в том числе кромок, и вращающихся валков в местах их контакта.

Установлено, что при размещении формируемого профиля в рабочих валках на стане следует учитывать не только форму и габаритные размеры промежуточных профилей, но и их расположение относительно охватывающих участков валков в рабочей клети. При этом рекомендовано стремиться к созданию на участках контакта заготовки с охватывающим участком валка максимального перемещения материальных точек подгибаемого элемента профиля в плоскостях, перпендикулярных оси вращения валка, то есть радиальному и тангенциальному направлениям перемещения, а также минимальному перемещению – в параллельном оси вращения валка направлению (аксиальному). Обеспечить такое формообразование профиля можно, например, путем применения в рабочей многовалковой универсальной клети стана отдельно стоящих и наклоненных под определенным углом к уровню формовки валков для подгибки полок



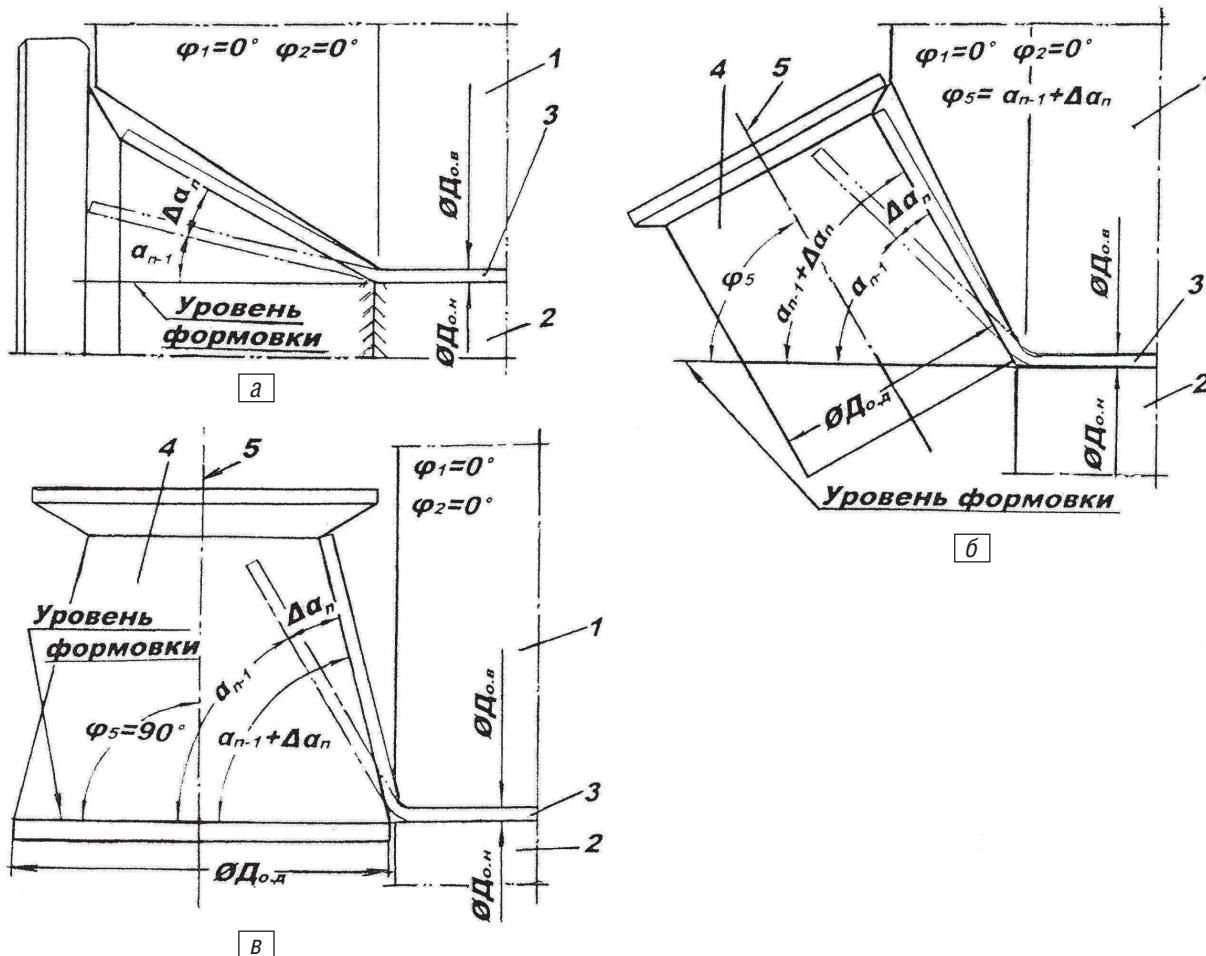
профиля. Тогда в промежуточных, предчистовых и чистовых проходах для подгибки периферийных участков профиля на суммарные углы в диапазонах  $\pm(30\div 90)$  и  $\pm(90\div 150)$  град. целесообразно применять трех- и четырехвалковые универсальные клети с двумя горизонтальными валками 1 и 2 для формообразования центрального участка профиля и, по меньшей мере, одним наклонно или вертикально установленным охватывающим валком 4 для подгибки периферийного участка профиля 3 (рис. 3, б и в). Следует отметить, что для формообразования симметричных профилей универсальная клетка будет содержать четыре валка, два из которых – боковые охватывающие, предназначенные для подгибки периферийных участков профиля, а два других, спаренных по калибру, валка – для формообразования центрального участка профиля.

**Рис. 2.** Изменение приращений перемещений  $\Delta l_b$  (а) и  $\Delta l_r$  (б) кромки полки шириной 100 мм за проход от суммарного угла  $\alpha_c$  при угле подгибки  $\Delta\alpha_n = 15$  град.

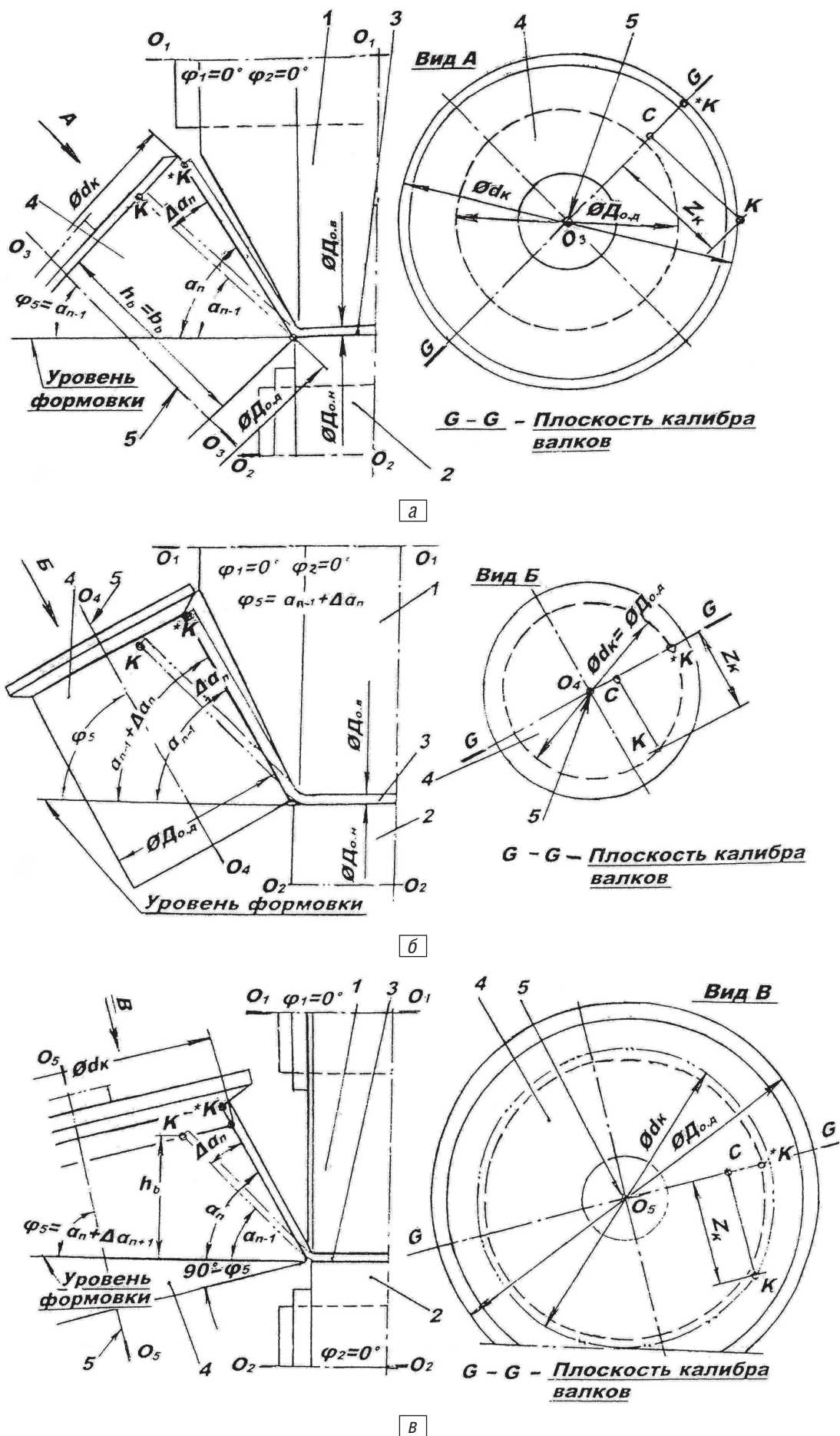
Здесь отношение основных диаметров  $D_{o,в} / D_{o,н}$  верхнего 1 и нижнего 2 валков в зависимости от высоты формируемого профиля 3 и вреза рабочих ручьев в валки можно принимать как равным, так и большим единицы, а углы наклона продольных осей вращения верхнего и нижнего валков к уровню формовки  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  – равными нулю. Наклон оси вращения 5 бокового дополнительного охватывающего валка 4 выполняется под углом  $\varphi_5 \neq 0$  с таким расчетом, чтобы при профилировании на участке калибра, образованного, в том числе, рабочей поверхностью упомянутого валка 4, материальные точки формируемой заготовки смещались максимально в радиальном направлении и минимально – в аксиальном. При этом основной диаметр  $D_{o,д}$  упомянутого валка 4 определяют конструктивно с учетом особенностей формируемого профиля, принятого способа формовки, технических характеристик рабочей клетки, в том числе при необходимости одновременного начала встречно-направленной подгибки обеих полок, а в плоскости калибра – дополнительного центрирования профиля и догибки полок на заданные углы, а также подключения к приводу стана наклонно или перпендикулярно установленных к уровню профилирования формирующих валков. Следует отметить, что наклон образующей рабочей поверхности участка калибра валка для подгибки периферийного участка (полки) профиля к уровню

(плоскости формовки) профилирования находят суммарным углом подгибки  $\alpha_{n-1}$  в предшествующем проходе и его приращением  $\Delta\alpha_n$  при подгибке в рассматриваемом (см. рис. 3, а-в). Тогда, при установке периферийного валка 4 вертикально и расположении его продольной оси вращения 5 под углом 90 град. к горизонтально расположенной плоскости формовки получают наиболее эффективную схему подгибки на суммарные углы 90 град. и близкие к нему углы, появляется возможность производить подгибку на максимальные углы за проход (схема в). Важно отметить, что глубина вреза рабочих ручьев в тело валков и диаметральные их размеры существенно уменьшаются, что дает возможность приблизить места контакта формируемой заготовки к плоскости калибра валков, а в некоторых случаях, например при изготовлении неравнополочных профилей, – обеспечить одновременное начало формообразования обеих полок в трехвалковых универсальных клетях стана.

Обычно, центральный участок профиля, к примеру его стенку, размещают на уровне формовки, а сопряженные с нею полки подгибают на уровне формовки относительно упомянутой стенки. В рассматриваемой  $n$ -й промежуточной универсальной клетке многоклетевого стана охватывающие валки для подгибки полок формируемого профиля на угол  $\alpha_n$  могут быть наклонены к уровню формовки под



**Рис. 3.** Схемы расположения валков в рабочей клетке стана при формообразовании швеллера в первых переходах (а), промежуточных (б) и окончательных (в): 1 и 2 – верхний и нижний горизонтальные валки соответственно; 3 – формируемый профиль; 4 – дополнительный охватывающий валок; 5 – ось его вращения



**Рис. 4.** Примеры расположения в  $n$ -й формующей клетке стана верхнего 1 и нижнего 2 горизонтальных валков относительно формируемого профиля 3 и наклонно установленных, охватывающих профиль, валков 4 с возможностью их вращения относительно осей 5, наклоненных к уровню формовки: под углом подгибки  $\alpha_{n-1}$  полки профиля в предшествующей ( $n-1$ )-й клетке (а); под углом  $(\alpha_{n-1} + \Delta\alpha_n)$  в рассматриваемой  $n$ -й клетке (б); под углом подгибки полки  $(\alpha_n + \Delta\alpha_{n+1})$  в последующей ( $n+1$ )-й клетке (в)

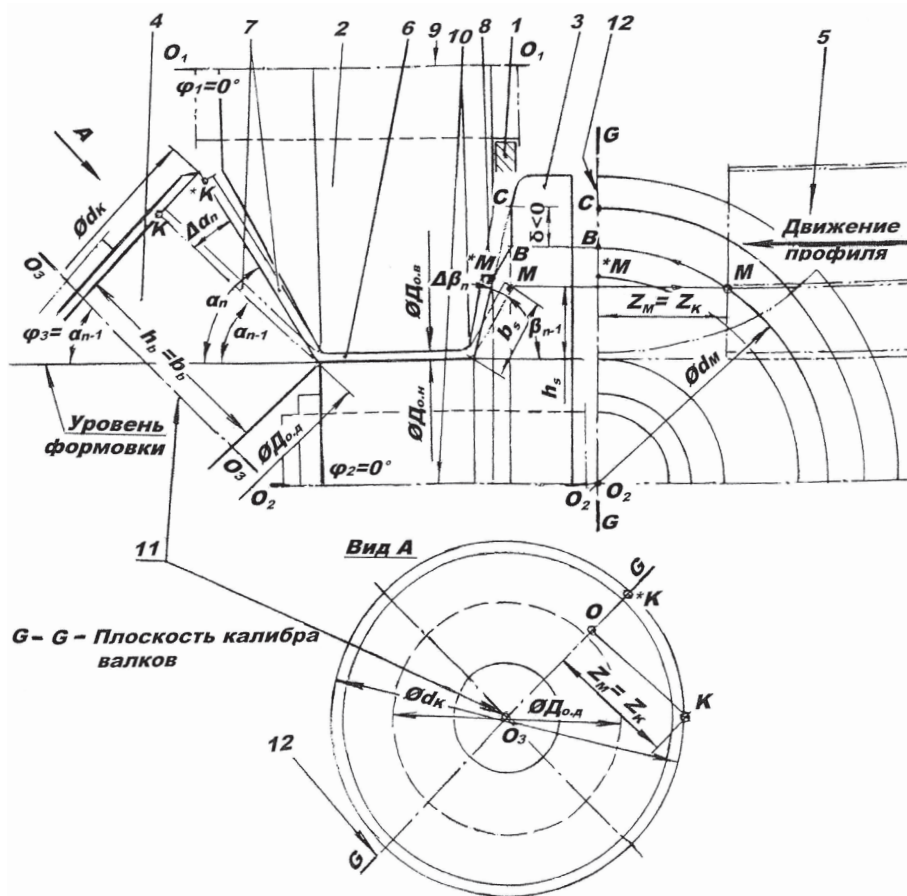
соответствующими углами подгибки полки профиля, а именно: под углом  $\alpha_{n-1}$  – в предшествующем  $(n-1)$ -м переходе,  $\alpha_n$  – в рассматриваемом  $n$ -м и  $\alpha_{n+1}$  – в последующем  $(n+1)$ -м переходе (рис. 4). Тогда, для угла наклона продольной оси  $O_3-O_3$  вращения валка в формующей келти, равного углу подгибки полки профиля  $\alpha_{n-1}$ , валок будет иметь форму усеченного конуса, меньшее основание которого будет размещено со стороны места изгиба подгибаемой полки профиля, большее основание – со стороны кромки, а рабочая коническая поверхность валка будет выполнена с углом наклона ее образующей к оси валка под углом подгибки полки  $\Delta\alpha_n$  в рассматриваемом переходе (см. рис. 4, а). При этом угол наклона образующей валка в калибре к уровню формовки равен  $\alpha_{n-1} + \Delta\alpha_n$ . Интересно отметить, что глубина вреза калибра в боковой наклоненный валок будет составлять величину  $h_6 = b_b \cdot \tan\Delta\alpha_n$ , в то время как для горизонтального валка глубину определяют из равенства  $h_r = b_b \cdot \sin(\alpha_{n-1} + \Delta\alpha_n)$ . Из сравнительного анализа приведенных зависимостей видно, что вследствие большего значения  $\sin(\alpha_{n-1} + \Delta\alpha_n)$ , чем  $\tan\Delta\alpha_n$  глубина вреза калибра  $h_6$  в боковой наклоненный валок будет практически всегда меньше, чем глубина вреза калибра  $h_r$  в горизонтальный валок. Тогда перепад диаметров валка на участке калибра для подгибки полки и перепад окружных скоростей, вызывающий пробуксовку и энергопотери на трение, на этом участке для бокового наклоненного валка будет меньшим, чем для сравниваемого горизонтального валка.

При установке бокового охватывающего валка таким образом, что угол наклона его продольной оси  $O_4-O_4$  вращения будет равен углу подгибки полки  $\alpha_n$  в рассматриваемой  $n$ -й келти упомянутый валок должен иметь форму прямого цилиндра, рабочая поверхность которого выполнена цилиндрической с углом наклона ее образующей к оси  $O_4-O_4$  валка, равным нулю, а к уровню формовки – равным  $\alpha_n = \alpha_{n-1} + \Delta\alpha_n$  (см. рис. 4, б). Важно отметить, что калибр не врезается в валок, перепад диаметров валка на участке калибра для подгибки полки и перепад окружных скоростей, вызывающий пробуксовку и энергопотери на трение на этом участке, для цилиндрического бокового валка будет меньшим, чем для горизонтального или конического валка, наклоненного к уровню формовки под углом  $\alpha_{n-1}$ .

При установке бокового валка таким образом, что угол наклона его продольной оси  $O_5-O_5$  вращения будет соответствовать углу подгибки полки  $\alpha_{n+1} = \alpha_n + \Delta\alpha_{n+1}$  в последующей келти валок в рассматриваемой  $n$ -й келти должен

иметь форму усеченного конуса, меньшее основание которого будет размещено со стороны кромки подгибаемой полки, большее основание – со стороны места изгиба подгибаемой полки, а рабочая коническая поверхность валка будет выполнена с углом наклона ее образующей к оси  $O_5-O_5$  валка, равным  $\Delta\alpha_{n+1} = \alpha_{n+1} - \alpha_n$  и в калибре – к уровню формовки под углом  $\alpha_n = \alpha_{n+1} - \Delta\alpha_n$  (см. рис. 4, в). В некоторых случаях предложенная конструкция универсальной келти дает возможность производить подгибку периферийных участков профиля на различные углы (например, 80 и 100°) при установке продольных осей валков под одинаковым углом к уровню формовки (например, 90°) и изменении направления конусности валка при сборке на 180 град. Приведенные выше технические решения особенно эффективны в промежуточных и чистовых келтях профилегибочного стана.

Применительно, в большей степени, к неустойчивому поштучному процессу формовки трудоемких в изготовлении неравнополочных профилей предложена принципиально новая схема универсальной трехвалковой рабочей келти (рис. 5) профилегибочного стана, в станине 1 которой установлены сопряженные по калибру горизонтальные верхний 2 и нижний 3 валки и наклоненный к уровню формовки боковой охватывающий валок 4, предназначенные, например, для изготовления неравнополочного швеллера 5, содержащего стенку 6, большую 7 и меньшую 8 полки. Продольные оси вращения  $O_1-O_1$ , 9



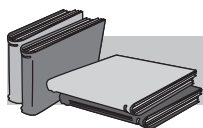
**Рис. 5.** Схема универсальной формующей келти: 1 – станина; 2-4 – валки (соответственно верхний, нижний, боковой); 5 – профиль; 6 – стенка; 7 – большая и 8 – меньшая полки; 9, 10 – оси вращения валков; 11 – ось, наклоненная под углом  $\varphi_3 = \alpha_{n-1}$ ; 12 – плоскость калибра валков

и  $O_2-O_2$  10 соответственно горизонтальных валков 2 и 3 расположены параллельно между собой и к уровню формовки ( $\varphi_1$  и  $\varphi_2$  равны нулю), а ось вращения  $O_3-O_3$  11 вала 4 размещена под углом подгибки большей полки профиля в предшествующей клети ( $\varphi_3 = \alpha_{n-1}$ ). При этом валок 4 для подгибки большей полки 7 профиля 5 выполняют конусным с углом наклона образующей его рабочей поверхности в калибре к уровню формовки, равным  $\alpha_{n-1} + \Delta\alpha_n$ . Следует отметить, что оси вращения всех трех формирующих валков  $n$ -й рассматриваемой клети расположены в одной плоскости G-G 12 калибра валков 2-4. Для подгибки меньшей полки 8 профиля 5 на рабочем валу нижнего охватывающего вала 3 установлен формирующий конусный дисковый элемент с углом наклона образующей его рабочей поверхности к оси 10 вращения, равным суммарному углу подгибки меньшей полки. Для подгибки большей полки 7 профиля 5 на заданный угол  $\alpha_n$  формирующий элемент бокового охватывающего вала 4 выполнен в виде усеченного конуса с наклоном образующей его рабочей поверхности к продольной оси 11 вращения под углом подгибки  $\Delta\alpha_n$  в рассматриваемом проходе. Для изготовления симметричных гнутых профилей в  $n$ -й рассматриваемой клети следует применять, по меньшей мере, четыре вала, два из которых (боковые охватывающие) – для подгибки

периферийных участков профиля и два (спаренных по калибру) – для формообразования центрального участка профиля. При этом основные диаметры  $D_{о.д}$  упомянутых валков определяют конструктивно с учетом особенностей формируемого профиля и принятой схемы рабочей клети стана.

### Выводы

При формообразовании профилей в промежуточных и чистовых технологических переходах в валках на контактных участках наблюдается существенное отличие направлений перемещений металла формируемого профиля и валков, что приводит к повышенным энергопотерям, ухудшению качества профилей, повышенному расходу и износу валков и необходимости применения дополнительных технологических переходов. Для устранения этих недостатков предложены рабочие универсальные клети, в конструкции которых применены отдельно установленные под углом к уровню профилирования валки для подгибки периферийных участков профиля. Разработана методика определения углов наклона валков и геометрической формы их рабочей поверхности. Даны рекомендации по применению отдельных видов формирующих клетей в стане в зависимости от углов подгибки периферийных участков профиля.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Тришевский И. С., Докторов М. Е. Теоретические основы процесса профилирования // М.: Металлургия, 1980. – 288 с.
2. Производство и применение гнутых профилей проката / И. С. Тришевский, Г. В. Донец, В. И. Мирошниченко, М. Е. Докторов и др. // М.: Металлургия, 1975. – 536 с.
3. Roll forming handbook / Edited by George T. Halmos. – Boca Raton, London, New York: Taylor & Francis Group, 2006. – 573 с.
4. Пунин В. И., Докторов М. Е. Особенности и технология изготовления несущих металлических панелей из гофрированного листа // Изв. ВУЗов. Машиностроение. – 2013. – № 4. – С. 79-83.
5. Докторов М. Е., Пшеничная Н. В. Оптимизация поштучного процесса производства несимметричных гнутых профилей // Производство гнутых профилей проката. – Харьков: УкрНИИМет, 1986. – С. 63-76.
6. Докторов М. Е. К вопросу улучшения качества гнутых профилей проката // Металл и литье Украины. – 2010. – № 4. – С. 26-36.
7. А. с. 1072949, СССР. 4 В 21 D 5/06. Валок рабочей клети профилигибочного стана / И. С. Тришевский, М. Е. Докторов, Н. В. Пшеничная и др. – Оpubл. 15.02.1984, Бюл. № 6.
8. А. с. 1303213, СССР. 4 В 21 D 5/06. Валок рабочей клети профилигибочного стана / М. Е. Докторов. – Оpubл. 15.04.1987, Бюл. № 14.
9. А. с. 1077680, СССР. 4 В 21 D 5/06. Валок рабочей клети профилигибочного стана / И. С. Тришевский, М. Е. Докторов, Н. В. Пшеничная и др. – Оpubл. 07.03.1984, Бюл. № 9.
10. Докторов М. Е., Докторова Н. М., Докторов С. Е. К вопросу улучшения условий формообразования гнутых профилей в валках // Металл и литье Украины. – 2012. – № 9. – С. 20-28.
11. А. с. 1593727, СССР. 4 В 21 D 5/06. Клеть профилигибочного стана / М. Е. Докторов, Н. В. Пшеничная, С. А. Батурин, С. А. Чиж. – Оpubл. 23.09.1990, Бюл. № 35.
12. Пат. 2015770, Россия. 5 В 21 D 5/06. Профилигибочный стан / М. Е. Докторов. – Оpubл. 15.07.1994, Бюл. № 13.



## Анотація

Докторов М. Ю., Докторова Н. М.

### Особенности формообразования гнутых профилей у валках стана

Запропоновано формуючі універсальні кліті багатоклітьового стану, в яких бічні формуючі валки встановлено похило до рівня профілювання. Розроблено методику визначення оптимальних кутів нахилу осі обертання бічних формуючих валків і форми їх робочої поверхні, що дає змогу (з урахуванням особливостей профіля та прийнятого способу формування): застосовувати більш інтенсивні режими формоутворення профіля; скоротити число технологічних переходів; зменшити перепад окружних швидкостей в калібрі валків і зблизити напрямки та величини швидкості руху матеріальних точок обертючих валків і точок, які переміщуються, заготовки, яка деформується, в місцях контакту. Це зближення покращує умови формоутворення профілю та його якість, надає можливість зменшити кількість формуючих робочих клітей багатоклітьового стану.

## Ключові слова

гнутий профіль прокату, заготовка, профілювання, якість, кліть, стан, валок, калібр, вісь обертання валка, нахил валка

## Summary

Doktorov M. Ye., Doktorova N. M.

### Features of forming rolled formed sections in the rolls of the mill

Proposed form of the universal rolling mill stand, which additionally set obliquely to the level of profiling side forming rolls. The technique of determining the optimal tilt angles of rotation of the axis of the side forming rolls and forms of their work surface that allows taking into account the characteristics of the formed profile and accepted method of molding a more intensive modes of shaping profile, reduce the number of operating steps, to reduce the difference in the caliber of the circumferential velocity of the rolls and the direction of pull together and the magnitude of the velocity of the material points of rotating rolls and moved the material points of the deformable workpiece at the contact points. This improves the conditions shaping the profile and quality, reduces the amount of work stands forming mill.

## Keywords

roll formed section, workpiece, roll forming, quality, stand, mill, roll, caliber, axis of the roll, slope of the roll

Поступила 13.11.13

### ВНИМАНИЮ АВТОРОВ!

Редакция журнала «**Металл и литье Украины**»  
принимает рукописи на русском языке  
при наличии номера УДК.

Статьи обязательно должны содержать  
на **3-х языках** (русском, украинском и английском)  
фамилии, имена, отчества авторов,  
название статьи, аннотации, ключевые слова