

УДК 621.771.252.002.2

**А.А.Горбанев, С.А.Воробей, П.В.Токмаков, В.Г.Раздобреев,
Д.Г.Паламарь**

**ПРОИЗВОДСТВО КАТАНКИ РАСШИРЕННОГО РАЗМЕРНОГО И
МАРОЧНОГО СОРТАМЕНТА С УЧЕТОМ РАЦИОНАЛЬНЫХ
ПАРАМЕТРОВ КАЛИБРОВ И ЗАДАННОЙ ТОЧНОСТИ ПРОКАТА**

Институт черной металлургии им. З.И.Некрасова НАН Украины

Представлены результаты исследований влияния формы и размеров калибров для прокатки катанки на размеры и качество готового профиля при изменяющихся технологических параметрах. Показано, что в промежуточных клетях проволочных и мелкосортных непрерывных станов универсальными являются однорадиусные овалы калибры. Высокая точность размеров сечения проката особенно важна для формирующего раскат основного проволочного чистового блока и для последней клетки редуционно-калибрующего блока.

Ключевые слова: катанка, калибр, форма и размеры раската, точность проката

Современное состояние вопроса. В последние годы в связи с большой насыщенностью мирового рынка катанкой ужесточаются требования потребителей к ее качеству по механическим свойствам, структуре металла и точности проката. Потребителям требуется катанка расширенного марочного и, особенно, размерного сортамента, в частности, диаметром 5,0–4,0 мм, взамен повсеместно потребляемой в настоящее время катанки диаметром 5,5 мм.

Основная масса горячекатаной катанки повсеместно используется для дальнейшей переработки волочением на проволоку различного назначения и различных диаметров, вплоть до 0,2 мм. Волочение катанки производится в холодном состоянии, при котором сопротивление деформации металла значительно больше, чем при горячей прокатке, что требует значительных энергетических и трудовых затрат. В этой связи, с целью снижения затрат на переработку, потребители хотят иметь катанку меньших размеров сечения (диаметром 5,0–4,0 мм) с отклонением диаметра не более $\pm 0,10$ мм и даже $\pm 0,08$ мм и овалностью не более 0,075–0,06 мм.

При использовании для волочения катанки меньших диаметров взамен катанки диаметром 5,5 мм значительная часть холодной деформации на волочильных станах переводится в горячую деформацию на проволочных станах. При использовании катанки диаметром 5,0 мм вместо катанки диаметром 5,5 мм доля такого перевода составляет 17 %, диаметром 4,5 мм – 33 %, диаметром 4,0 мм – 47 %. Пропорционально этому снижаются энергетические затраты.

Повышению эффективности производства проволоки из катанки меньших диаметров способствует значительно большая производительность проволочных станов по сравнению с производительностью волочильных станов. Так, скорость прокатки

катанки диаметром 5,0-4,0 мм на проволочном стане достигает 110-200 м/с, а скорость волочения катанки диаметром 5,5 мм в проволоку диаметром 5,0-4,0 мм составляет 5-8 м/с.

Для прокатки катанки диаметром 5,0-4,0 мм получают распространение непрерывные проволочные станы с установкой за основными 8-10-ти клетевыми блоками четырехклетевых редуционно-калибрующих блоков. В частности, такой блок фирмы Морган был установлен при модернизации хвостовой части проволочного стана 150 Белорусского металлургического завода (ОАО «БМЗ»). Редуционно-калибрующий блок (РКБ) стана 150 состоит из четырех клеток (№ 31, 32, 33, 34) с диаметрами валков, соответственно, 230, 205, 156 и 142 мм. Первые две клетки (№ 32 и 33) выполняют роль обжимных клеток для уменьшения сечения проката, в которых производится прокатка с коэффициентами вытяжки $\lambda = 1,2-1,321$ в зависимости от диаметра готового проката (5,5-22,0 мм). Клетки № 33 и 34 используются как калибрующие, в которых прокатку производят с малыми коэффициентами вытяжки $\lambda = 1,01-1,129$.

На стане 150 БМЗ разработана калибровка и освоена прокатка катанки диаметром 5,5 мм из заготовки сечением 125×125 мм в 32 клетях, в том числе в четырех клетях РКБ, с суммарной вытяжкой $\lambda_{\Sigma} = 645$ и средней $\lambda_{\text{ср}} = 1,4$ с точностью проката $\pm 0,2$ мм. Две клетки № 21 и 22 не задействованы и являются резервными и могут быть использованы при расширении сортамента стана в сторону уменьшения диаметра прокатываемой катанки. Дальнейшим развитием технологии на этом стане намечено освоение прокатки катанки меньших размеров, диаметром 5,0; 4,5 и 4,0 мм, что позволяет использовать этот стан для аналитических исследований в рамках выполняемой работы.

При решении задачи по освоению производства особо мелких размеров катанки высокой точности на высокоскоростном проволочном стане, наряду с исследованиями влияния возмущающих воздействий на температурно-деформационные параметры прокатки и охлаждения раската в линии основного и редуционно-калибрующего блоков, необходим правильный выбор и точный расчет формы и размеров калибров. От того, насколько правильно будет выбрана и точно рассчитана калибровка, будут зависеть размеры и качество готового профиля, а также устойчивость прокатки в заданном режиме при изменяющихся технологических параметрах (колебание температуры, натяжения, износ калибров). Особенно важным является применение точно рассчитанных круглых калибров на выходе из проволочного блока, определяющих размеры подкатов, поступающих в редуционно-калибрующий блок и в клетях РКБ, определяющих конечные размеры катанки с отклонениями диаметра не более $\pm 0,10$ мм. Применение точно рассчитанных промежуточных круглых калибров в линиях проволочного и редуционно-калибрующего

блоков будет способствовать стабилизации процесса прокатки в этих группах клетей.

Особенностью горячей прокатки круглых профилей является заметное отличие размеров и формы калибра от размеров и формы готового профиля, как вследствие температурного расширения, так и в связи с тем, что круглые калибры должны иметь горизонтальный диаметр (замеренный по ширине калибра) несколько больший, чем вертикальный диаметр (замеренный по дну калибра). Это вызвано тем, что, если калибр будет иметь форму правильного круга, то даже небольшое переполнение калибра металлом, связанное с изменяющимися технологическими условиями, может привести к образованию лампаса или «уса». Поэтому, с целью предотвращения подобных явлений и обеспечения устойчивой работы калибров, круглые калибры выполняют с развалом (или выпуском), представляющим собой дополнительную площадь сечения калибра на участке, прилегающем к разьему валков, способную вместить тот или иной объем смещенного в поперечном направлении металла вследствие неизбежного уширения и этим снизить вероятность образования лампаса или «уса». Для выполнения такой роли выпуск должен быть достаточно объемным (иметь простор на уширение) и, в то же время, при полном заполнении калибра металлом не должен выводить профиль за пределы заданного допуска. Такое двойственное назначение выпуска требует точного определения его формы и размеров.

Изложение основных материалов исследований. В практике производства круглого проката большое распространение получили выпуски, образованные касательными линиями, проведенными из точек, ограничивающих ширину круглого калибра к основной окружности калибра. Однако, такие выпуски не достаточно «объемны» и не имеют достаточного простора на уширение. Поэтому, с целью образования калибров с большим простором на уширение, выпуски выполняют радиусом, большим радиуса калибра из смещенного центра. Именно такой метод расчета и построения круглых калибров был использован фирмой Морган. В технической документации к калибрующему блоку приложены разработанные фирмой Морган таблицы с основными параметрами круглых калибров диаметром от 4,5 мм и более, из которых можно лишь в определенной степени представить методику расчета.

В связи с этим был выполнен анализ параметров круглых калибров последней клетки РКБ, представленных фирмой Морган. Результаты анализа приведены в табл. 1.

В таблице и последующем описании результатов приняты следующие обозначения: D_{np} – номинальный диаметр катанки; D_{max} – максимально допустимый диаметр катанки с учетом плюсового допуска ($\pm 0,10$ мм); D_k , R_k – диаметр и радиус калибра; W_m – ширина калибра, приведенная фирмой Морган; W_R – расчетная ширина калибра, где главным определяющим

параметром является радиус выпуска калибра; A – угол дуги круглой части калибра; S – межвалковый зазор.

Таблица 1 – Параметры элементов калибров последней клетки РКБ, рассчитанные по данным фирмы Морган

$D_{пр}$, мм	D_k , мм	W_m , мм	W_R , мм	$W_m - D_k$, мм	$W_R - W_m$, мм	$W_R - D_k$, мм	W_m/D_k	W_R/D_k	D_{max}/D_k
4,5	4,56	4,77	5,190	0,21	0,420	0,630	1,046	1,138	1,022
5,0	5,06	5,25	5,625	0,19	0,375	0,565	1,037	1,111	1,020
5,5	5,58	5,87	6,257	0,29	0,387	0,677	1,052	1,121	1,018
6,0	6,08	6,20	6,580	0,12	0,380	0,500	1,019	1,082	1,016

Выполненный анализ приведенных значений элементов калибров выявил ряд недостатков и несоответствий действительным значениям, вытекающих из геометрического построения.

1. Принятие больших радиусов выпусков, равных двум и трем радиусам калибра, определяет большую величину дуги выпуска, вследствие чего полоса в таком калибре прокатывается в малой части чисто круглого очертания ручья калибра (угол составляет $A=80-90^\circ$). Кроме этого, применение больших радиусов выпуска делает выпуски калибров приближающимися к калибрам с прямым выпуском, которые обладают очень малым простором для уширения металла.

2. В документах по калибровке валков редуционно-калибрующего блока, представленных фирмой Морган, не указано каким образом определялась ширина калибров. Предположительно можно считать, что ширину калибров принимали, ориентируясь на диаметр катанки с плюсовым допуском, которая не должна превышать плюсового допуска на прокат. Согласно приведенным данным фирмой Морган были рекомендованы следующие значения ширин калибров: 4,77; 5,25; 5,87; 6,20 мм (соответственно для катанки диаметром 4,0, 4,5, 5,0 и 6,0 мм), которые оказались больше диаметра катанки с плюсовым допуском, соответственно, на 0,17; 0,15; 0,27; 0,02 мм. При полном заполнении калибра металлом это может вывести профиль за пределы плюсового допуска. При этом следует отметить, что при одинаковом плюсовом допуске на смежные диаметры проката ширины калибров должны уменьшаться монотонно через равные промежутки по нисходящей прямой линии с увеличением диаметра прокатываемой катанки. В приведенных значениях ширин такая закономерность явно не соблюдается, что ставит под сомнение предположение о назначении величин ширины калибров строго в соответствии с диаметром проката с плюсовым допуском. В действительности, намереваясь организовать технологию производства высокоточной катанки с допуском $\pm 0,10$ мм, необходимо точно и обоснованно определять все элементы калибров, исходя из геометрического построения калибров и соответствующих

технологических параметров. Согласно геометрическому построению круглых калибров с выпуском, образованным радиусом, большим радиуса калибра, ширина калибров определяется расстоянием между точками пересечения дуг выпуска с образующей линией цилиндрического вала, проведенной по буртам калибров. В приведенных фирмой Морган данных результаты таких расчетов не приведены и они, очевидно, и не проводились. Для выяснения, какими они должны быть при принятых радиусах выпусков, W_R , и углов дуг выпусков, был выполнен поверочный расчет по выражению:

$$B_k = 2[\sqrt{R_{\text{вып}}^2 - ((R_{\text{вып}} - R_k) \sin \alpha + S/2)^2} - (R_{\text{вып}} - R_k) \cos \alpha], \quad (1)$$

где $R_{\text{вып}}$ - радиус выпуска (по рекомендациям фирмы Морган равный $2 \cdot R_k$);
 α - угол дуги выпуска, $\alpha = 90 - A/2$.

Значения α равны 41,5; 37,5; 39 и 30° для катанки диаметром 4,5; 5,0; 5,5 и 6,0 мм соответственно.

В результате выполненных расчетов были получены следующие значения ширины калибров W_R : 5,190; 5,625; 6,257; 6,580 мм для катанки диаметром 4,5; 5,0; 5,5; 6,0 мм. Как следует из сопоставления, полученные значения больше приведенных фирмой Морган значений ширины W_M на 0,420; 0,375; 0,387; 0,380 мм и, естественно, больше диаметров профиля с плюсовым допуском соответственно на 0,630; 0,565; 0,565 и 0,500 мм.

Выявленные несоответствия параметров калибров требованиям высокоточной прокатки и выбор неоправданно больших радиусов выпусков, не позволяют использовать подходы, использованные фирмой Морган для стана 150 ОАО «БМЗ» для точного расчета калибров под прокатку катанки с отклонениями по диаметру не более $\pm 0,10$ мм.

На наш взгляд наиболее правильным является определение ширины калибров, исходя из геометрического построения круглых калибров, в основу которого должно быть положено точное определение максимального размера в калибре с выпуском любой формы, который раньше других размеров калибра может вывести прокатываемый профиль за пределы плюсового допуска при полном заполнении калибра металлом, и назначение рациональной дуги (угла) выпуска, обеспечивающей прокатку полосы в круглом участке калибра на уровне не менее 110 градусов по ручью калибра и затем на этой основе определять все остальные параметры круглых калибров с выпусками любой формы и заданной точности проката.

Для расчета рациональных параметров калибров при прокатке катанки диаметром 5,5-4,0 мм применили методику построения калибров, которая, на наш взгляд, наиболее полно учитывает основные указанные подходы [Бибя В.И. Методика расчета и построения калибров с выпусками различной формы. – Металлургическая и горнорудная промышленность, 2008, № 6.]. В частности, данная методика построения круглых двухвалковых калибров учитывает допускаемые отклонения любого класса точности проката со

следующими формами выпусков калибров (рис. 1-3): прямым, образованным прямой касательной, проведенной из кромок калибра; скругленным, выполненным радиусом, большим радиуса калибра ($R_{вып} > R_k$) и скругленным, выполненным радиусом, равным радиусу калибра ($R_{вып} = R_k$) из центра O' , смещенного относительно центра калибра по осям OX и OY .

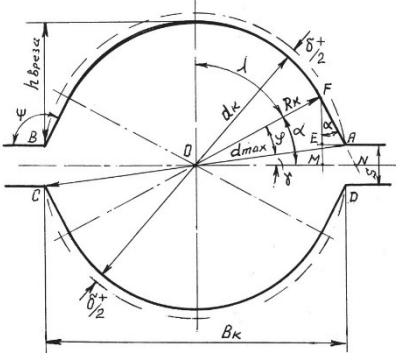


Рисунок 1 – Двухвалковый калибр с прямым выпуском

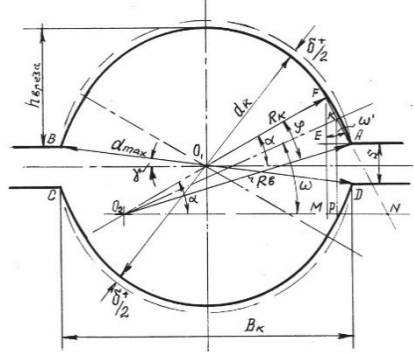


Рисунок 2 – Двухвалковый калибр с выпуском, образованным радиусом $R_{вып} > R_k$

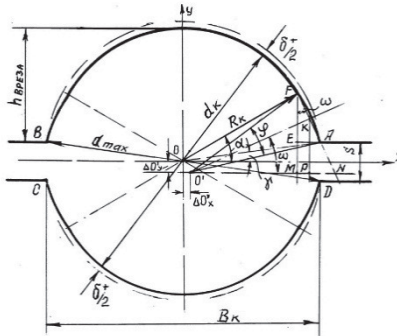


Рисунок 3 – Двухвалковый калибр с выпуском, образованным радиусом $R_{вып} = R_k$

В разработанной методике за основу расчета принято определение размера в калибре с выпуском любой формы, который раньше других размеров калибра может вывести прокатываемый профиль за пределы плюсового допуска при полном заполнении калибра металлом. Таким наибольшим размером в круглом двухвалковом калибре с выпуском любой формы является расстояние между накрест лежащими кромками калибра (на рис. 1-3 – это расстояния между точками А и С, В и D), которые, чтобы не вывести профиль за пределы плюсового допуска, не должны превышать следующего значения

$$d_{max} = (d_{np} + \delta^+) \cdot 1,013, \quad (2)$$

где d_{max} – максимальный размер в сечении калибра, мм;

d_{np} – номинальный диаметр проката в холодном состоянии, мм;

δ^+ – плюсовой допуск, мм;

1,013 – коэффициент, учитывающий температурное линейное расширения металла.

Полученное по выражению (2) значение d_{max} позволяет достоверно и точно определить требуемую ширину калибра (B_k) с учетом конкретного плюсового допуска (δ^+) и зазора между валками (S):

$$B_k = \sqrt{((d_{np} + \delta^+) \cdot 1,013)^2 - S^2} \quad (3)$$

Общими параметрами при расчетах чистовых калибров с любой формой выпуска, наряду с параметрами d_{max} , и B_k , являются диаметр или радиус калибра (d_k , и R_k), а также глубина вреза ручья (h_{ep}), которые определяются следующим образом.

Для проката с симметричным допустимым отклонением размеров по диаметру диаметр калибра определяют по номинальному диаметру проката (d_{np}):

$$d_k = 1,013 d_{np}. \quad (4)$$

Для проката с асимметричным отклонением к расчету диаметра калибра принимают средний по допускам размер, который определяют по следующему выражению:

$$d_k = \{d_{np} + ([\delta^+] - [\delta^-]) \cdot 0,5\} \cdot 1,013, \quad (5)$$

где $[\delta^+]$ и $[\delta^-]$ – абсолютные значения плюсового и минусового допусков.

Максимальный диаметр в сечении калибра (d_{max}), для прокатки профилей с асимметричным отклонением размеров определяют, как и для прокатки профилей с симметричным отклонением, по выражению (2).

Глубину вреза определяют по выражению:

$$h_{ep} = (d_k - S) / 2. \quad (6)$$

В связи с тем, что участок выпуска калибра включает несколько особых параметров, при описании методики расчетов введены следующие понятия:

– угол раскрытия калибра α – это угол части полуокружности калибра, с которого (в сторону разъема валков) начинается увеличение радиуса (диаметра) калибра по сравнению с радиусом (диаметром) основной части калибра (на рис. 1-3 – это угол, образованный лучом OF и горизонтальной осью калибра). Для калибров с прямым выпуском этот угол является и углом наклона касательной;

– угол выпуска φ – это угол сектора, на дуге которого размещается собственно выпуск калибра (на рис. 1-3 – это угол, образованный лучом OF и лучом OA);

– угол зазора (половины зазора) γ – это вспомогательный угол, образованный лучом OA и горизонтальной осью калибра.

При расчете двухвалковых круглых калибров на первом этапе расчета определяют базовые параметры, общие для двухвалковых калибров с

любой формой выпуска по выражениям (2-6). На втором этапе расчетов определяют параметры, образующие форму и размеры прямого выпуска.

В калибрах с прямым выпуском раскрытие калибра на одну сторону производится прямой линией - касательной к окружности калибра, проведенной из точки ограничивающей ширину калибра (на рис. 1 – это точки A, B, C, D).

Основным параметром прямого выпуска является угол наклона касательной α , который включает угол выпуска φ и угол зазора γ и может быть представлен как:

$$\alpha = \varphi + \gamma, \quad (7)$$

который, в конечном виде определяется по выражению:

$$\alpha = \arccos(d_k/d_{max}) + \arcsin(S/d_{max}). \quad (8)$$

Угол λ составит (см. рис. 1):

$$\lambda = 90^\circ - \alpha. \quad (9)$$

Угол для изготовления шаблона выпуска составит:

$$\Psi = 90 + \alpha. \quad (10)$$

Проведенный анализ показал, что представленные зависимости абсолютно точно отображают взаимосвязь элементов круглого калибра с прямым выпуском.

Для получения проката более близкого к форме правильного круга и с более ёмким выпуском, способным вместить больший объем смещенного металла при увеличении уширения, предпочтительно применять чистовые калибры со округленными выпусками, в частности, выполненными радиусом, большим радиуса калибра из центра O' (см. рис. 2).

В отличие от калибров с прямым выпуском, в калибрах с округленными выпусками угол раскрытия калибра α устанавливается предварительно, исходя из практической целесообразности и для определенной размерной группы проката принимается одинаковым. Наиболее употребительным можно считать угол α , равный 30° , который обеспечивает прокатку в чисто круглой части ручья калибра на участке в 120° . В некоторых случаях по усмотрению калибровщика угол α может быть назначен другим, например, $20, 25$ или 35° .

Как и для калибров с прямым выпуском, при расчете калибров с такой формой выпуска на первом этапе определяют общие параметры по выражениям (2-6), на втором этапе определяют параметры, образующие выпуск данной формы.

Для калибров с выпуском, выполняемым радиусом $R_{вып}$, большим радиуса калибра R_k , параметром, определяющим форму и размер выпуска, является величина радиуса выпуска, которая согласно схеме, приведенной на рис. 2, может быть определена как:

$$R_{вып} = L_{ак} / \sin(\varphi/2), \quad (11)$$

где $L_{ак}$ – половина хорды, стягивающей дугу контура выпуска AF ;

$\varphi/2$ – половина угла дуги выпуска AF , значение которого (согласно схеме, приведенной на рис. 2) может быть представлено как:

$$\varphi/2 = \alpha - \omega, \quad (12)$$

где ω – вспомогательный угол.

При заданных значениях угла α , величины зазора между валками S и, определенных на первом этапе расчета, значений R_k , R_{max} , B_k , величина $L_{ак}$ может быть определена по следующему выражению:

$$L_{ак} = \sqrt{(A_x - E_x)^2 + (F_y - E_y)^2} / 2, \quad (13)$$

где A_x , E_x , F_y и E_y – конструкционные точки, координаты которых согласно рис. 2 соответствуют следующим значениям:

$$A_x = B_k/2; \quad E_x = R_k \cdot \cos \alpha; \quad F_y = R_k \cdot \sin \alpha; \quad E_y = S/2.$$

Подставляя в (13) координаты точек A_x , E_x , F_y и E_y , получим выражение для определения величины $L_{ак}$:

$$L_{ак} = \sqrt{(B_k/2 - R_k \cos \alpha)^2 + (R_k \sin \alpha - S/2)^2} / 2. \quad (14)$$

Принимая во внимание равенство углов $\angle KOM(\omega) = \angle AFE = \angle AKP$ (см. рис. 2), получим вспомогательный угол ω :

$$\omega = \arctg\{(A_x - E_x)/(F_y - E_y)\}. \quad (15)$$

Подставляя в (15) координаты точек A_x , E_x , F_y и E_y , получим выражение для определения величины угла ω :

$$\omega = \arctg\{(B/2 - R_k \cos \alpha)/(R_k \sin \alpha - S/2)\}. \quad (16)$$

Величину радиуса выпуска получим, подставляя в выражение (11) выражение (12), а также заданный угол α . При принятии угла $\alpha = 30^\circ$, расчетные формулы (14) и (16) упрощаются, принимая следующий вид:

$$L_{ак} = \sqrt{(B_k - R_k \sqrt{3})^2 + (R_k - S)^2} / 4; \quad (17)$$

$$\omega = \arctg\{(B_k - R_k \sqrt{3})/(R_k - S)\}. \quad (18)$$

Проверку правильности определения $R_{вып}$ можно выполнить, решив следующее уравнение, как тождество, подставляя в него значения составляющих, полученных при прямом их определении: B_k – по (3), R_k – по (4), $R_{вып}$ по (11) и заданные значения S и α :

$$B_k = 2[\sqrt{R_{вып}^2 - ((R_{вып} - R_k) \sin \alpha + S/2)^2} - (R_{вып} - R_k) \cos \alpha]. \quad (19)$$

Равенство левой и правой частей уравнения означает правильность приведенного расчета радиуса выпуска $R_{вып}$.

Выполненный нами анализ показал, что представленные зависимости абсолютно точно отображают взаимосвязь элементов круглого калибра с выпуском, выполненным радиусом $R_{вып} > R_k$.

Еще одним вариантом построения чистового калибра с округленным выпуском может быть калибр с выпуском, выполненным радиусом, равным радиусу калибра ($R_{вып} = R_k$) из центра O' , смещенного относительно центра калибра O на величину $\Delta O'_{(x)}$ и $\Delta O'_{(y)}$ (см. рис. 3).

Преимуществом такого калибра является то, что рабочие контуры резцов и абразивных кругов, предназначенных для нарезки калибров,

выполняются в виде правильного полукруга, а выпуск калибра производится отводом резца от дна готового калибра на величину $\Delta\theta'_{(y)}$ с последующим смещением резца вправо и влево на величину $\Delta\theta'_{(x)}$ от вертикальной оси калибра.

Для данной формы калибра, как и для калибров с выпуском ($R_{вып} > R_k$), угол раскрытия калибра α назначают предварительно равным 30° или другим близким значением. Графически смещение центра дуги контура выпуска может быть получено засечками из фиксированных точек контура калибра (на рис. 3 из точки A , ограничивающей ширину калибра, и из точки F , с которой начинается раскрытие калибра).

При расчете калибров с такой формой выпуска, как и для калибров с другой формой выпуска, на первом этапе определяют общие параметры по выражениям (2-6), а на втором этапе - определяют параметры, образующие выпуск данной формы.

Дальнейшие расчеты по определению смещения центра дуги выпуска O' относительно центра калибра O производят по следующей методике.

Согласно схеме, приведенной на рис. 3, указанное смещение центра O' может быть определено как:

$$\Delta\theta'_{(x)} = B_k/2 - R_k \cdot \cos(\omega - \varphi/2); \quad (20)$$

$$\Delta\theta'_{(y)} = R_k \cdot [\sin\alpha - \sin(\omega + \varphi/2)]. \quad (21)$$

где ω – вспомогательный угол

$$\omega = \arctg\{(B_k/2 - R_k \cdot \cos\alpha)/(R_k \cdot \sin\alpha - S/2)\}; \quad (22)$$

$\varphi/2$ – половина угла выпуска ($F'O'A$)

$$\varphi/2 = \arcsin[\sqrt{(B_k/2 - R_k \cdot \cos\alpha)^2 + (R_k \cdot \sin\alpha - S/2)^2} / 2R_k]. \quad (23)$$

Конечные расчеты по определению смещения центра O' производят по выражениям (20) и (21) после подстановки в них заданного угла α и значений углов ω и $\varphi/2$, полученных по выражениям (22) и (23).

Для калибров с углом раскрытия $\alpha = 30$ выражения (22) и (23) упрощаются, принимая следующий вид:

$$\omega = \arctg\{(b_k - R_k \sqrt{3}) / (R_k - S)\}; \quad (24)$$

$$\varphi/2 = \arcsin(\sqrt{(B_k - R_k \sqrt{3})^2 + (R_k - S)^2} / 4R_k). \quad (25)$$

Проверку правильности определения смещений центра дуги выпуска $\Delta\theta'_{(x)}$ и $\Delta\theta'_{(y)}$ можно произвести, решив следующее уравнение, как тождество, подставляя в него значения составляющих, полученных при прямом их определении: B_k – по (3), R_k – по (4), $\Delta\theta'_{(x)}$ – по (20):

$$B_k = \Delta\theta'_{(x)m} + R_k \cdot \cos(\omega - \varphi/2). \quad (26)$$

Равенство левой и правой частей уравнения означает правильность определения $\Delta\theta'_{(x)}$ и, соответственно, $\Delta\theta'_{(y)}$.

С использованием приведенных выше методик расчета определены параметры чистовых калибров проволочного и редуционно-калибрующего блоков для прокатки катанки диаметрами 5,5; 5,0; 4,5 и

4,0 мм с допустимым отклонением диаметра проката $\pm 0,1$ мм. Рассмотрены два варианта калибров - с выпуском, выполненным радиусом, большим радиуса калибра ($R_{\text{вып}} > R_k$) и выпуском, выполненным радиусом, равным радиусу калибра ($R_{\text{вып}} = R_k$). Результаты расчетов приведены в табл. 2-5.

Таблица 2 – Параметры калибровки чистовой клетки основного проволочного блока для варианта $R_{\text{вып}} > R_k$

$D_{\text{пр}}$, мм	D_k , мм	S, мм	B_k , мм	$H_{\text{вр}}$, мм	R_k , мм	$R_{\text{вып}}$, мм	α , град,
7,07	7,17	1,3	7,21	2,93	3,58	4,64	30
6,43	6,52	1,3	6,54	2,61	3,26	4,47	30
5,78	5,86	1,2	5,89	2,33	2,93	4,23	30
5,10	5,21	1,2	5,23	2,01	2,61	4,27	30

Таблица 3 – Параметры калибровки РКБ для варианта $R_{\text{вып}} > R_k$

$D_{\text{пр}}$, мм	D_k , мм	S, мм	B_k , мм	$H_{\text{вр}}$, мм	R_k , мм	$R_{\text{вып}}$, мм	α , град,
5,5	5,57	1,0	5,58	2,29	2,79	3,46	30
5,0	5,07	1,0	5,07	2,03	2,53	3,30	30
4,5	4,56	1,0	4,55	1,78	2,28	3,19	30
4,0	4,05	0,85	4,07	1,6	2,06	2,92	30

Таблица 4 – Параметры калибровки чистовой клетки основного проволочного блока для варианта $R_{\text{вып}} = R_k$

$D_{\text{пр}}$, мм	D_k , мм	S, мм	B_k , мм	$H_{\text{вр}}$, мм	R_k , мм	$R_{\text{вып}}$, мм	$\Delta 0'_{(x)}$, мм	$\Delta 0'_{(y)}$, мм	α , град,
7,07	7,17	1,3	7,21	2,93	3,58	3,58	0,118	-0,190	30
6,43	6,52	1,3	6,54	2,61	3,26	3,26	0,125	-0,199	30
5,78	5,86	1,2	5,89	2,33	2,93	2,93	0,127	-0,201	30
5,10	5,21	1,2	5,23	2,01	2,61	2,61	0,140	-0,216	30

Таблица 5 – Параметры калибровки РКБ для варианта $R_{\text{вып}} = R_k$

$D_{\text{пр}}$, мм	D_k , мм	S, мм	B_k , мм	$H_{\text{вр}}$, мм	R_k , мм	$R_{\text{вып}}$, мм	$\Delta 0'_{(x)}$, мм	$\Delta 0'_{(y)}$, мм	α , град,
5,5	5,57	1,0	5,58	2,29	2,79	2,79	0,078	-0,126	30
5,0	5,07	1,0	5,07	2,03	2,53	2,53	0,082	-0,133	30
4,5	4,56	1,0	4,55	1,78	2,28	2,28	0,088	-0,141	30
4,0	4,05	0,85	4,07	1,60	2,06	2,06	0,083	-0,131	30

Заключение. Использование приведенных методик расчетов круглых калибров с выпусками различной формы обеспечивает полную согласованность и взаимосвязь всех геометрических размеров калибров и всех технологических параметров, включаемых в систему расчетов и, соответственно, получение точных и обоснованных размеров всех элементов калибра. Полученные форма и размеры круглых калибров,

определенные для номинальных размеров проката и условий прокатки, являются базовыми. Они могут корректироваться при изменении условий прокатки: марки стали с различными прочностными и пластическими характеристиками, температуры прокатки и других технологических изменений, оказывающих влияние, главным образом, на уширение металла.

Высокая точность размеров сечения проката особенно важна в последней клети редуционно-калибрующего блока (конечная продукция) и основного проволочного чистового блока, формирующего раскат, поступающий в РКБ. Точность раската обеспечивает стабильность процесса высокоскоростной прокатки катанки и получение катанки высокой точности и качественной поверхности.

Приведенную методику целесообразно применять и для калибровки промежуточных круглых калибров проволочного и редуционно-калибрующего блока, для получения точно заданных размеров сечения в промежуточных проходах, что необходимо для поддержания устойчивой стабильности процесса прокатки. Однако проведенный нами анализ показал, что рекомендуемые фирмой Морган однорадиусные овальные калибры промежуточных клетей вполне приемлемы, являются универсальными и практически повсеместно используются в проволочных и мелкосортных непрерывных станах. Площадь сечения таких калибров может широко изменяться в широких пределах путем регулирования зазора между валками и, благодаря этому, на практике один овальный калибр зачастую применяется для двух и даже трех смежных круглых калибров. В силу такой универсальности и простоты их изготовления овальные калибры не требуют детального анализа.

*Статья поступила в редакцию сборника 17.01.2017
и прошла внутреннее и внешнее рецензирование*

А.О.Горбаньов, С.О.Воробей, В.Г.Раздобрссев, П.В.Токмаков, Д.Г.Паламар

Виробництво катанки розширеного розмірного та марочного сортаменту з урахуванням раціональних параметрів калібрів та заданої точності прокату

Представлено результати досліджень щодо впливу форми і розмірів калібрів для прокатки катанки на розміри і якість готового профілю при змінних технологічних параметрах. Показано, що в проміжних клітках дротяних і дрібносортих безперервних станів універсальними є однорадіусні овальні калібри. Висока точність розмірів перетину прокату важлива для основного дротяного чистового блоку і для останньої кліті редуційно-калібрувального блоку.

Ключові слова: катанка, калібр, форма і розміри розкату, точність прокату

A.A.Gorbanev, S.A.Vorobey, P.V.Tokmakov, V.G.Razdobreev, D.G.Palamar

Manufacture of wire rods with extended dimensions and grades in the view of rational parameters of sizing and desired rolling accuracy

This article reports on the research results determining how the shapes and the dimensions of the calibers for the wire rod production influence the dimensions and the quality of the finished rolled profile with the varying changes in the technological parameters. It is shown that one-radial oval calibers are universal in the intermediate stands of wire and small-section continuous mills. The high accuracy of the cross-sectional dimensions of the rolled stock is especially important for the forming core of the main wire finishing unit and for the last stand of the reduction-sizing unit.

Keywords: wire rod, gauge, shape and dimensions of rolling, rolling accuracy