

## КАЛИБРОВКА ВАЛКОВ ДЛЯ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ ПРОВОЛОКИ ВЗАМЕН ВОЛОЧЕНИЯ

*В статье предложена методика расчета калибровки валков для получения круглой и шестигранной стали малых размеров путем холодной прокатки в трехвалковых клетях взамен волочения.*

В Украине, как и в России проволоку малых размеров производят исключительно методом волочения. Применительно к высокопрочным сталям и сплавам, а также к сплавам с особыми свойствами метод волочения нельзя признать совершенным. Частные вытяжки ограничены и лимитируются в основном прочностью переднего конца. Скорость волочения также ограничена и не превышает 2,0...2,5 м/сек. Из-за наклепа через каждые две-три протяжки необходимо производить отжиг с последующим травлением подката. В качестве примера ниже приведены маршруты волочения проволоки из стали марки ШХ-15 на заводе «Серп и Молот». В кружок взяты проходы, после которых осуществляются отжиг и травление.

$$9,0 - 8,0 - \textcircled{7,0} - 6,1 - \textcircled{5,2} - 4,5 - \textcircled{4,0} - 3,4 - \textcircled{3,0} - \textcircled{2,5} - 2,1 - 1,7$$

Это существенно усложняет технологический процесс, повышает себестоимость продукции. Увеличиваются неблагоприятные воздействия на обслуживающий персонал и окружающую среду.

Поэтому в мире все больший интерес проявляют к замене волочения более производительным и дешевым способом холодной прокатки. Судя по литературным данным, первые попытки в этом направлении были предприняты еще в 20–30-е годы прошлого столетия [1], но без особых успехов.

В конце 40-х, начале 50-х годов во ВНИИметмаше был сконструирован и изготовлен 12-клетевой стан непрерывной прокатки тонкой проволоки из специальных марок сталей и сплавов [2]. Длина стана от оси разматывателя до моталки составляла всего 6,35 м. Он имел два типа клеток — с горизонтальным и вертикальным расположением валков, чередующихся одна за другой. Количество рабочих клеток — 12, количество валков в клетке — 2, диаметр рабочих валков — 140 мм, длина бочки валков — 70 мм, диаметр исходной заготовки — 6,0...8,0, диаметр готовой проволоки — 1,7...2,0, скорость прокатки в последней клетке — 2...3 м/сек., мощность двигателя рабочей клетки — 7,9 л.с.

На стане удалось получить проволоку диаметром 1,8 мм из катанки диаметром 8 мм без промежуточных отжигов из сплава Х12Н60. При этом суммарная вытяжка составила около 20, а суммарное обжатие — 95%.

К сожалению, в статье отсутствуют данные о точности, полученной проволоки. Неизвестна также дальнейшая судьба стана.

Решающий успех в деле широкого промышленного освоения технологии холодной прокатки проволоки малых диаметров был достигнут германской фирмой Фур (Fuhr) и особенно итальянской фирмой Проперци (Properzi) [3].

Станы фирмы Проперци содержат, как правило, 12 клеток с групповым приводом мощностью 300...400 л.с., смонтированных на сварном основании. Все клетки трехвалковые. Валки (ролики) диаметром 170 мм расположены под углом 120° по отношению друг к другу. По желанию заказчика несколько последних клеток могут иметь индивидуальный привод. Стан весьма компактен, его габаритные размеры 1×4 м без учета

моталок, электропривода и эмульсионной системы. Не случайно он получил название стана микропрокатки.

Такие станы предназначены для прокатки проволоки диаметром 1,7...1,8 мм из катанки диаметром 8,0...9,0 мм из цветных и черных металлов, в т.ч. из высоколегированных и высокоуглеродистых марок сталей. Скорость прокатки в последней клети достигает 30 м/сек. Опасения в части возможности получения прокаткой проволоки правильной геометрической формы оказались необоснованными. Фирма гарантирует точность размеров проволоки в пределах  $\pm 0,03$  мм.

При замене волочения холодной прокаткой устраняются подготовительные операции и проблемы с заправкой волочильного стана, обеспечиваются большая стойкость рабочих валков по сравнению с волоками, чистота и отсутствие дефектов поверхности, уменьшается наклёп прокатываемого металла при том же обжатии, лучше контролируется упрочнение металла, устраняется обрывность проволоки. Существенно сокращаются энергетические, материальные и трудовые затраты на деформацию, термообработку и травление. Увеличиваются частные и суммарные обжатия, более точно поддерживается температурный режим прокатки. Значительно увеличивается производительность процесса по сравнению с волочением.

Все это способствовало тому, что многие проблемы, связанные с волочением практически всех марок нержавеющей сталей, высоколегированных и высокоуглеродистых сталей, подшипниковых и сварочных сталей, были упразднены. Для особо труднодеформируемых сталей и сплавов фирма предлагает нагревательные устройства индукционного или электродного нагрева до 700...800<sup>0</sup>С.

В Украине ЗАО «Южпромтехника» освоило производство станов подобного типа. Первый такой стан уже несколько лет находится в работе, на нем осваивается технология холодной прокатки проволоки из различных сталей и титана. В стадии изготовления еще несколько таких станков.

Одним из наиболее сложных вопросов при разработке и освоении технологии холодной прокатки проволоки малых размеров является выбор системы калибровки, т.к. удержать привалковой арматурой профиль малых сечений весьма проблематично, а в большинстве случаев — невозможно. Необходима система калибровки, при которой устойчивость раската в калибре обеспечивалась бы соответствием конфигурации сечения раската и калибра, а роль вводной арматуры сводилась бы к направляющим устройствам типа воронок скольжения.

На упомянутом стане ВНИИметмаш использовали системы ромб-ромб и ромб-квадрат. Не останавливаясь на анализе этих систем, отметим, что для трехвалковых клетей они непригодны.

На стане фирмы Фур использована, судя по рекламным материалам, система трехгранных калибров для шестигранных раскатов. Удержать такой профиль в нужном положении в трехгранном калибре весьма сложно при последовательном чередовании разъемов калибра. Кроме того, при такой системе последовательно деформируют только по три грани профиля. Поэтому форма и размеры сечения профиля в значительной мере зависят от размеров и формы подката, определяющих его положение относительно центра калибра, как в черновых, так и чистовых клетях. Получить профиль высокой точности в этой системе достаточно сложно.

В известной мере это относится и к системе круг-трехгранник, используемой фирмой Прорерци. Здесь тоже весьма проблематично удержать в заданном положении трехгранный профиль в круглом калибре. Хотя по утверждению фирмы трехроликовые проводки необходимы лишь на входе нечетных клетей, а на остальных используют направляющие проводки в виде простых воронок скольжения.



В связи с изложенным, представляет несомненный интерес система шестигранник-шестигранник, используемая при производстве горячекалиброванной стали в трех-валковых клетях [4]. Только применительно к условиям холодной прокатки профилей малых сечений целесообразно чередовать шестигранные калибры правильной геометрической формы с неравноугольными шестигранными калибрами. Достоинством этой системы, в частности, является возможность получения круглых и шестигранных профилей разных размеров в одних и тех же валках, за исключением валков последней клети.

При прокате круглой проволоки последние один-два калибра выполняются круглыми.

В этой системе профиль надежно центрируется углами калибра и в то же время исключается переполнение калибра даже при повышенных обжатиях. Это наглядно видно из рис.1, на котором изображена схема первых трех калибров. В качестве заготовки используют катанку диаметром, равным диаметру круга, описанного вокруг шестигранника.

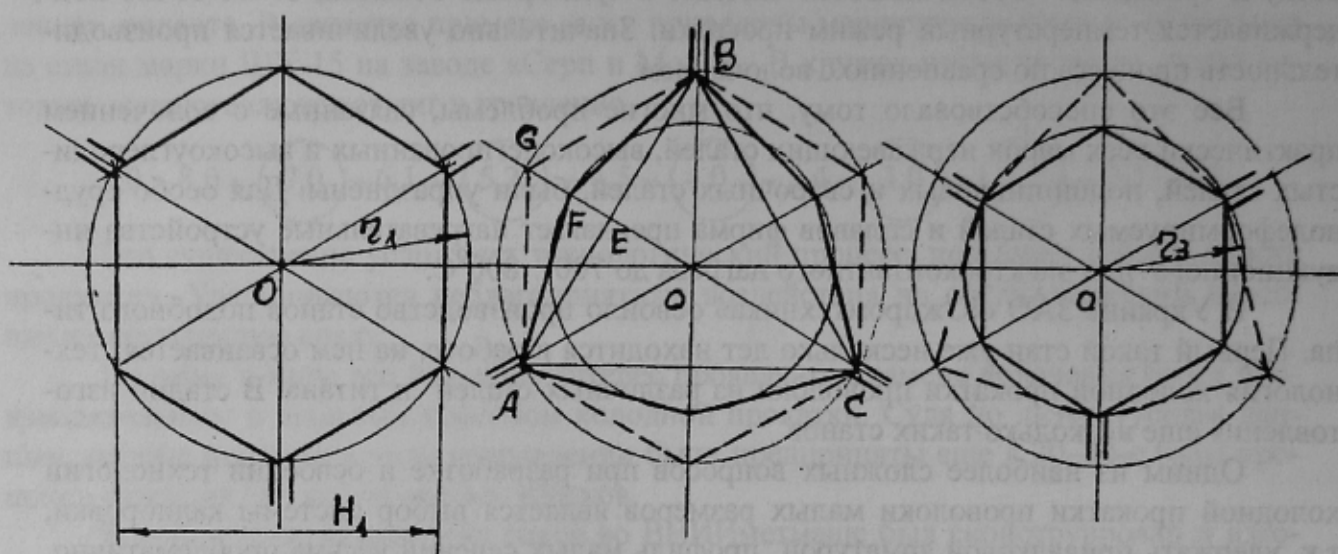


Рис. 1. Схема первых трех калибров

Согласно рис.1 размеры и площадь первого калибра — равноугольного шестигранника (и последующих нечетных) будут:

- радиус описанного круга  $r_1$ ;
- высота шестигранника  $H=2r_1 \times \cos 30^\circ=1,732r_1$ ,
- площадь шестигранника  $S_p$  равна площади шести треугольников OAG:

$$S_p = 6 \cdot \frac{r_1}{2} \cdot r_1 \cdot \cos 30^\circ = 2,6r_1^2.$$

Площадь второго калибра — неравноугольного шестигранника  $S_H$  (и последующих четных) равна площади равнобедренного треугольника ABC плюс площади трех треугольников ABF:

$$S_H = S_{ABC} + 3 S_{ABF}.$$

Из рис.1 следует, что  $S_{ABC}=BE(r_1+EO)$ , где  $BE=r_1 \sin 60^\circ=0,866r_1$ , а  $EO=r_1 \sin 30^\circ=0,5r_1$ . Тогда  $S_{ABC}=0,866 r_1(r_1+0,5r_1)=1,299r_1^2$ .

$$S_{ABF} = BE \cdot EF,$$

где  $EF=r_1-FG-OE=r_1-(r_1-r_3)-0,5r_1=r_3-0,5r_1$ .

Тогда  $S_{ABF}=0,866 r_1(r_3-0,5r_1)=0,866r_1 r_3 -0,433 r_1^2$ .

Следовательно  $S_H = 1,299 r_1^2 + 3(0,866 r_1 r_3 - 0,433 r_1^2) = 2,6 r_1 r_3$ .

Зная, как определяются площади равно- и неравноугольных шестигранников, приступаем к расчету собственно калибров в следующей последовательности:

1. Площадь поперечного сечения заготовки —  $S_0 = \pi r_1^2$ .
2. Площадь поперечного сечения проволоки —  $S_{12} = \pi r_{12}^2$  (принимаем 12-клетевой стан).
3. Суммарное обжатие —  $\varepsilon = \frac{S_0 - S_{12}}{S_0} \cdot 100\%$ .
4. Суммарный коэффициент вытяжки —  $\mu_{1-12} = \frac{S_0}{S_{12}}$ .
5. Коэффициент вытяжки в первом калибре —  $\mu_1 = \frac{3,14 r_1^2}{2,6 r_1^2} = 1,21$ .
6. Коэффициент вытяжки в чистовом калибре принимаем  $\mu_{12} = 1,05 \dots 1,10$ , в предчистовом —  $\mu_{11} = 1,15 \dots 1,20$ .
7. Площадь первого калибра —  $S_1 = 2,6 r_1^2$ .
8. Площадь десятого калибра —  $S_{10} = S_{12} \cdot \mu_{11} \cdot \mu_{12}$ .
9. Суммарный коэффициент вытяжки во 2...10-м калибрах —  $\mu_{2-10} = \frac{S_1}{S_{10}}$ .
10. Средний коэффициент вытяжки во 2...10-м калибрах —  $\mu_{cp2-10} = \sqrt[9]{\mu_{2-10}}$ .

Частные коэффициенты вытяжки во 2...10-м калибрах можно принять равными среднему коэффициенту вытяжки или дифференцировать их по клетям.

11. По частным коэффициентам вытяжки определяем площадь калибров:

$$S_{11} = S_{12} \cdot \mu_{12}, \quad S_{10} = S_{11} \cdot \mu_{11} \text{ и т.д.}$$

12. По найденным площадям нечетных калибров определяем радиусы кругов, описанных вокруг равноугольных шестигранников, и вычерчиваем шестигранные калибры —  $S_{pi} = 2,6 r_i^2$ , откуда  $r_i = \sqrt{\frac{S_{pi}}{2,6}}$ .

13. Размеры и форму неравноугольных (четных) калибров определяем по описанным радиусам смежных кругов — для второго калибра  $r_1$  и  $r_3$ , для четвертого  $r_3$  и  $r_5$  и т.д.

14. По найденным радиусам описанных кругов и площадям калибров определяем абсолютные и относительные обжатия —  $\Delta h_1 = r_1 - \frac{H_1}{2} = 0,134 r_1$ ;  $\Delta h_2 = \Delta h_3 = r_1 - r_3$ ;

$\Delta h_4 = \Delta h_5 = r_3 - r_5$  и т.д.  $\varepsilon = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \cdot 100\%$ ;  $\varepsilon_2 = \frac{S_1 - S_2}{S_1} \cdot 100\%$  и т.д., где индексы обозначают номер прохода (клетки).

15. Углы захвата по клетям —  $\alpha_i = \sqrt{\frac{\Delta h_i}{r_i}}$ , рад.

16. Скорость прокатки по клетям рассчитываем против хода прокатки, задавшись скоростью прокатки в последней клетке —  $V_{11} = \frac{V_{12}}{\mu_{12} \cdot K}$ ;  $V_{10} = \frac{V_{11}}{\mu_{11} \cdot K}$  и т.д., где  $K$  — коэффициент натяжения раската между клетями, равный 1,01...1,03.

17. В заключении определяем силовые параметры процесса по одному из известных методов, например [4].

Построение калибров. Предложенная схема калибров практически исключает переполнение калибров, т.к. в местах разъема обжатие равно нулю. Более того, как показывает практика прокатки горячекалиброванной стали [4], за счет обжатия смежных участков профиля в местах разъема образуется даже некоторая утяжка. Тем не менее во избежание переполнения калибра при использовании катанки с плюсовым допуском в первых калибрах целесообразно предусмотреть выпуск (рис.2). Начало выпуска в первом и последующих нечетных калибрах конструктивно примем на расстоянии  $1/3$  радиуса описанного круга от т. А, т.е.  $AB = \frac{1}{3}r_1$ . Тогда центральный угол  $\beta$  (угол выпуска) будет равен  $20^\circ$ . Высоту выпуска примем равным  $1/5$  АВ с тем, чтобы угол при вершине С был тупым во избежание появления поверхностных дефектов, а высота выпуска перекрывала плюсовой допуск, т.е.  $AC = \frac{1}{15}r_1$ .

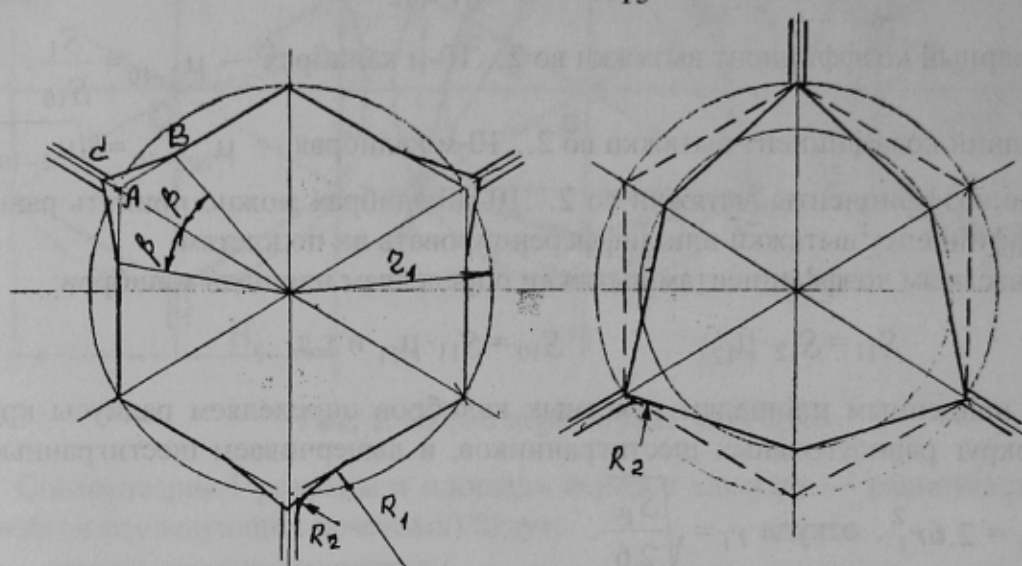


Рис. 2. Схема построения калибров

Радиусы оформления выпуска принимаем конструктивно:  $R_1 = \frac{2}{3}r_1$  и  $R_2 = \frac{1}{5}r_1$ .

Во втором и последующих четных неравноугольных калибрах во избежание образования острого угла выпуск не делаем, а только оформляем грани радиусом  $R_2$ .

Поле допускаемых отклонений для катанки диаметром 6,5 мм равно  ${}^{+0,3}_{-0,5}$  мм, или на сторону плюсовой допуск будет 0,15 мм. По предложенной методике высота выпуска равна  $\frac{1}{15}r_1$ , т.е. 0,22 мм и перекрывает плюсовой допуск.

Таким образом, разработанная калибровка валков для холодной прокатки круглой и шестигранной стали мелких размеров в трехвалковых клетях в системе равноугольный-неравноугольный шестигранник обеспечивает получение высокоточных профилей, надежную устойчивость раската в калибрах. При этом привалковой арматуре отводится роль простых направляющих устройств. Система калибровки позволяет



получать шестигранные и круглые профили разных размеров в одних и тех же комплектах валков, кроме валков чистовых клетей. Замена волочения прокаткой обеспечивает более высокую производительность, снижение энергетических, материальных и трудовых затрат.

### Список литературы

1. Гинзбург П.С. Прокатка специальных сортов стали. — М.: Металлургиздат, 1933.
2. Победин И.С., Байраков В.И., Дрозд В.Г. Исследование непрерывной холодной прокатки тонкой проволоки на 12-клетевом стане // Прокатные станы. Исследование, расчет конструирование и освоение. — М.: Машгиз, 1956.
3. Properzi G. Continuos Properzi or ContinuosCompani // Transfil Europe, 1993.
4. Гладков Г.А., Долженков Ф.Е., Прищенко Л.Н. Прокатка особоточных профилей. — М.: Металлургия, 1979.

© Долженков Ф.Е., 2003

КАШАЕВ В.В. (ДОННТУ)

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СХЕМ КАЛИБРОВКИ МЕЛКОСОРТНЫХ И ПРОВОЛОЧНЫХ СТАНОВ

*В данной работе сделана попытка, дать математическое выражение основным показателям, характеризующим рациональность и экономичность схемы калибровки. Для решения задачи с помощью ЭВМ разработана блок-схема алгоритма, составлена и отлажена программа.*

Вопросы математической формализации рациональности технологического процесса прокатки являются актуальными, позволяющими создать основы для анализа и динамического управления процессом. Учитывая, что модернизация оборудования и технологии является быстрым и экономичным путем реализации новых идей, необходимость в алгоритме оценки рациональных объемов и направлений такой работы очевидна. Не менее значимым и полезным мог бы оказаться алгоритм экспертной оценки эффективности работы сортовых станов в сфере консалтинговых услуг.

Расчет режима прокатки является одной из сложнейших оптимизационных задач технологической подготовки. Сложность задачи объясняется необходимостью учета большого количества технологических ограничений, применения процедур расчета энергосиловых параметров прокатки, использования экономической оценки режима. Специфика стана накладывает существенный отпечаток на математическую формализацию задачи расчета режима прокатки и алгоритм ее решения. Однако можно выделить некоторые единые принципы. Рассчитанный режим прокатки является основой при составлении технологической карты прокатки. Ее составляющие делят на четыре группы. В первую группу включают параметры режима деформаций металла, вторую — настроечные характеристики клетей, третью — ГОСТы (ДСТУ) и допуски на профиль, четвертую — технико-экономические показатели режима прокатки. Кроме того, особо выделяются группы марок стали и диапазоны длины исходной заготовки, которые существенно влияют на показатели режима обработки проката.

Из выше сказанного следует, что решение задач, по оценке технико-экономической рациональности режимов прокатки, на том или ином типе стана, требует индивидуального подхода. Поэтому в литературе встречаются попытки оптимизации, например, сортаментных рядов проката [1] с учетом экономических элементов,