

обычной прокатке составляет 0,007 мм, в случае прокатки с задним натяжением — 0,005 мм и в режиме буксования валков — 0,002 мм. Таким образом, способ прокатки в режиме буксования валков позволяет существенно уменьшать продольную разнотолщинность листовых материалов. Кроме того, при этом значительно снижается шероховатость поверхности прокатанных листов и лент. Так, при исходной шероховатости лент из стали 10, колеблющейся по параметру Ra от 1,00 до 0,63 мкм, и поверхности бочки валков около 0,63 мкм после прокатки обычным способом параметр шероховатости Ra составлял от 0,63 до 0,50 мкм, а в режиме буксования валков — от 0,160 до 0,125 мкм. Такое существенное различие в шероховатости объясняется эффектом сглаживания микронеровностей при интенсивном скольжении металла по валкам в режиме буксования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Целиков А. И., Никитин Г. С., Рокотян С. Е. Теория продольной прокатки. — М.: Металлургия, 1980. — 315 с.
2. Пат. РФ № 2006298 С1. Способ прокатки полосы / Л. А. Исаевич, С. И. Борбух, Фань Куй, В. А. Хлебцевич. — Оpubл. в 1994. Бюл. № 2.
3. Исаевич Л. А., Фань Куй. Теоретическое исследование напряженного состояния при продольной прокатке // Весці АНБ. Сер. фіз.-тэхн. навук. — 1994. — № 3. — С. 42—47.

УДК 621.77

А. Б. СТЕБЛОВ, докт. техн. наук (АП КЖИ № 214),
Д. В. ЛЕНАРТОВИЧ (БГПА)

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ХОЛОДНОДЕФОРМИРОВАННОЙ АРМАТУРЫ

При производстве железобетонных ненапряженных конструкций на АП КЖИ № 214 используется арматура класса А1, А400, А500С диаметром от 6 до 36 мм, основным поставщиком которой является Белорусский металлургический завод. Поставляемая арматура имеет высокие потребительские свойства и полностью удовлетворяет всем показателям качества. Следует заметить, что Белорусский металлургический завод очень редко производит арматуру диаметром 6 и 8 мм, тогда как спрос на нее в Беларуси составляет соответственно 7700 и 18 000 т в год. Заводы железобе-

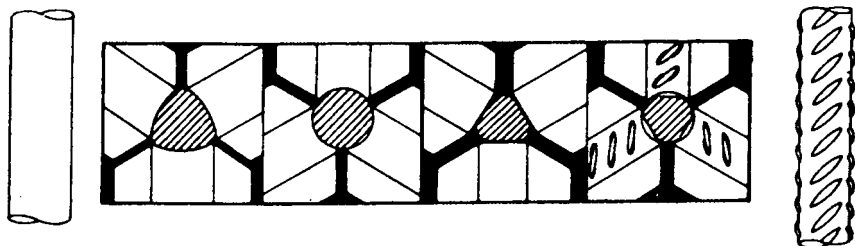


Рис. 1. Схема деформирования катанки в трехвалковых клетях

тонных изделий взамен арматуры малых диаметров вынуждены использовать арматуру диаметром 10 мм и выше. Масса одного погонного метра периодического профиля № 10 больше, чем № 8, в 1,56 раза, а № 6 — в 2,78 раза. По этой причине перерасход металла на заводах ЖБИ Беларуси составляет около 49000 т в год. Одной из причин невозможности удовлетворить потребительский спрос по арматуре малых диаметров является снижение производительности стана при ее прокатке. Так, наиболее ходовая арматура № 12 Ат500 прокатывается на стане 320/150 с производительностью 109 т/ч.

При прокатке арматуры № 8 производительность стана 70 т/ч, арматуры № 6—53,7 т/ч.

Известно, что в России на некоторых заводах производят арматуру малых диаметров (3—8 мм) способом холодной деформации из подката диаметром 8 и 12 мм. Процесс деформирования (рис. 1) заключается в последовательной прокатке — волочении в трехвалковых клетях.

Одновременно с получением профиля нужного сечения повышается и класс прочности арматуры, так как в процессе прокатки происходит наклеп и, как следствие, увеличение предела текучести и временного сопротивления разрыву. Аттестация служебных свойств арматуры производится по ТУ 14-1-5372—99 «Сталь холоднодеформированная периодического профиля для армирования железобетонных конструкций». Стоимость оборудования фирмы «Koshe» для производства холоднодеформированной арматуры составляет 1 000 000 DM.

На АП КЖИ № 214 разработана технология получения холоднодеформированной периодической арматуры, эквивалентной диаметрам 6 и 8 мм. Для этого используется стандартное оборудование для правки и порезки катанки на мерные длины. В процессе отработки технологии были проведены исследования по изуче-

нию влияния степени деформации на изменение механических свойств гладкой арматуры А1 из стали Ст.Зсп.

Известно [1], что изменение физического предела текучести σ_T (МПа) от относительной степени деформации, %:

$$\epsilon = (h_0 - h_1)/h_0 = 1 - h_1/h_0, \quad (1)$$

где h_1, h_0 — высота полосы до и после обжатия, мм, может быть представлено в виде

$$\sigma_T = \sigma_T^0 + A\epsilon^n, \quad (2)$$

где σ_T^0 — значение предела текучести до начала холодного деформирования.

Согласно выводам авторов [2], основным фактором, влияющим на изменение механических свойств в процессе холодной прокатки, является $\sum \epsilon$ — суммарная относительная степень деформирования. С ростом степени деформации увеличивается упрочнение, происходит упорядочение ориентировки зерен и образование текстуры, изменение механических и физических свойств. Установлено, что наиболее интенсивное изменение σ_T происходит до $\sum \epsilon = 30$ %. Количество проходов при постоянном суммарном обжатии не оказывает существенного влияния на изменение свойств холоднокатаных сталей.

Для проведения исследований были отобраны образцы катанки диаметром 5,5 мм Ст.Зсп с углеродным эквивалентом $C_{\text{экр}} = 0,32$:

$$C_{\text{экр}} = C + 0,25 Mn + 0,1 Si. \quad (3)$$

Образцы длиной 300 мм последовательно прокатывались в холодном состоянии на экспериментальном стане с гладкими валками диаметром 200 мм. Степень относительной деформации варьировалась от 5 до 50 %, после чего образцы испытывались на разрывной машине ПР-200. Они были отобраны из одного витка катанки. Каждое испытание проводилось на трех образцах.

После статистической обработки результатов механических испытаний получены следующие зависимости (рис. 2) и уравнения:

$$\left. \begin{aligned} \Delta\sigma_T &= 23,6\epsilon^{0,58}, & r &= 0,67; \\ \Delta\sigma_B &= 36,2\epsilon^{0,4}, & r &= 0,89; \\ \Delta\delta_5 &= 199,6\epsilon^{-0,82}, & r &= 0,94, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где $\Delta\sigma_T$, $\Delta\sigma_B$ — изменение предела текучести и предела прочности, МПа; $\Delta\delta_5$ — изменение относительного удлинения от степени деформации ϵ , %; r — парный коэффициент корреляции.

Из рис. 2 видно, что при возрастании ϵ разница между пределом текучести и пределом прочности снижается.

Известно, что при правке холоднотекучей арматуры на правильно-отрезном станке обычно происходит скручивание полученного арматурного профиля вдоль оси на $360\text{--}720^\circ$ на один погонный метр проката. Было проведено исследование по влиянию степени скручивания образцов на изменение механических свойств. Образцы, взятые из одного витка катанки, скручивались на 360° с последующим испытанием на разрыв. Установлено, что приращение предела текучести не превышает 5 МПа, а предела прочности — 10 МПа, что несущественно и в расчетах может не учитываться.

Ранее на основе статистической обработки данных входного контроля гладкой арматуры диаметром от 5,5 до 16 мм из стали 3 сп/пс в 1997—1999 гг. были получены следующие корреляционные уравнения:

$$\left. \begin{aligned} \Delta\sigma_T &= 202,9 + 507,3 C_{\text{экр}}, & r &= 0,77, & \delta_{\text{ош}} &= 16,4 \text{ МПа}; \\ \Delta\sigma_T &= 404,6 - 6,3 d_0, & r &= 0,89, & \delta_{\text{ош}} &= 17,1 \text{ МПа}; \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где $\delta_{\text{ош}}$ — ошибка уравнения при доверительной вероятности $\rho = 0,95$; d_0 — диаметр исходной катанки, мм.

Аналогичные уравнения получены для σ_B — предел прочности, МПа; δ_5 — относительное удлинение, %.

Наиболее часто встречающиеся плавки из стали Ст.3сп производства Белорусского металлургического завода имеют содержание углерода $C = 0,16\%$; $Mn = 0,57\%$; $Si = 0,18\%$; $C_{\text{экр}} = 0,32$. На основе уравнений (4), (5) получено обобщенное уравнение регрессии для $\sigma_T = f(C, d, \epsilon)$, которое имеет вид:

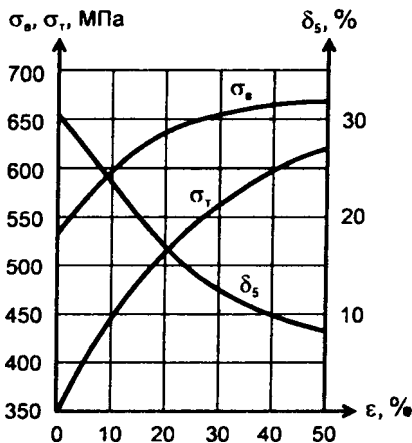


Рис. 2. Приращение предела текучести в зависимости от степени деформации

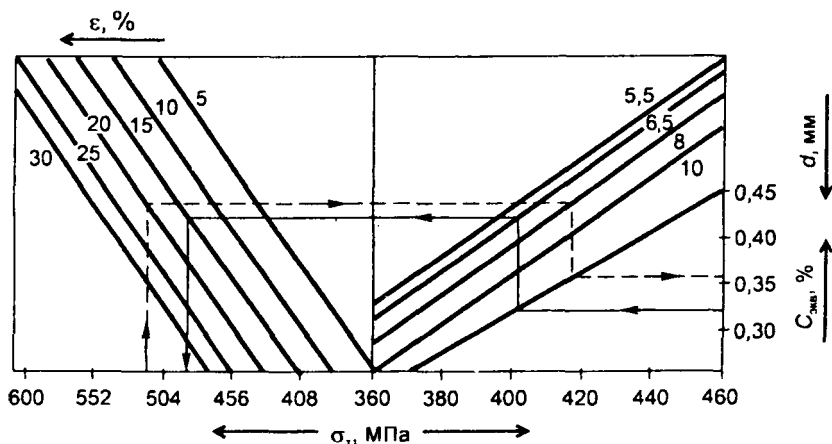


Рис. 3. Определение σ_T

$$\sigma_T = 262,3 + 427,3 C_{\text{экв}} + 23,6\varepsilon^{0,58} - 5,95d_0, \quad (6)$$

$$r = 0,72, \delta_{\text{ош}} = 19,6 \text{ МПа.}$$

Для наглядности выражение (6) можно представить в виде номограммы (рис. 3).

Согласно уравнению (6) и номограмме, можно установить, что при получении холоднодеформированной арматуры диаметром 6 мм из подката диаметром 6,5 мм при $C_{\text{экв}} = 0,32$ имеем $\sigma_T = f(C, d)$ на уровне 485 МПа, т. е. приращение предела текучести около 140 МПа.

Аналогичные расчеты выполняются для σ_B и δ_5 . Выражение для расчета степени относительной деформации, согласно уравнению (1), используется для определения относительного обжатия $\Delta h = h_0 - h_1$ в процессе прокатки полосы в гладких валках. При прокатке арматуры в закрытых калибрах ε следует определять исходя из следующего выражения:

$$\varepsilon = 1 - \frac{d_1^2}{d_0^2}, \quad (7)$$

где d_0, d_1 — начальный и конечный диаметры проката, мм.

При прокатке катанки 6,5 мм до номинального диаметра $d_n = 5,5$ мм ($\varepsilon = 40\%$) $\Delta\sigma_T$ составит 200 МПа. Номинальный диаметр арматурного проката периодического профиля соответствует номинальному диаметру равновеликого по площади поперечного сечения гладкого арматурного проката.

Аналогично выполняются расчеты для относительного удлинения. Задавшись требуемым приемочным числом $\sigma_T = 500$ МПа для арматуры класса Аг500С по ТУ РБ 047778771-001—97 и $\delta_5 \geq 14\%$, получим, что для обеспечения требуемых механических свойств арматуры $d_n = 7,1$ мм (рис. 4) углеродный эквивалент должен быть не менее 0,36 [3].

Одним из известных методов повышения прочностных характеристик горячекатаной углеродистой стали является увеличение доли элементов Cr, Cu, Ni в пределах требований ГОСТ 380—96.

Согласно исследованиям авторов [4, 5], прочностные характеристики горячекатаного металла могут быть повышены за счет присутствия в металле карбидов и нитридов ванадия и титана, что возможно при содержании этих элементов в стали в пределах 0,06—0,09 % каждого.

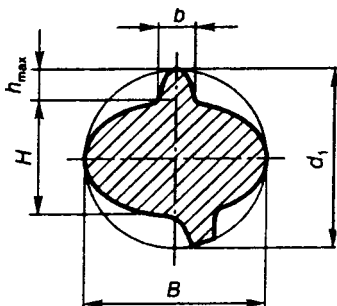


Рис. 4. Поперечное сечение арматурного профиля

ЛИТЕРАТУРА

1. Шевакин Ю. Ф., Шайкевич В. С. Обработка металлов давлением. — М.: Металлургия, 1972. — 245 с.
2. Третьяков А. В., Трофимов Г. К., Зюзин В. И. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением. — М.: Металлургия, 1964. — 221 с.
3. Пат. ВУ 771 С1. Арматурный стержень периодического профиля / А. Б. Стеблов, В. Ф. Дышлевич, А. Н. Бондаренко и др.
4. Жадан В. Т., Маневич В. А. Совершенствование технологии прокатки на основе комплексных критериев качества. — М.: Металлургия, 1989. — 93 с.
5. Development of Microalloyed Pearlitic Steels for Wire Drawing application / В. W. Cordon et al., Developments in the Drawing of Metals, Conference Proceedings, London, 1983, The Metals Society, London. — P. 228—234.