

УДК 621.771

КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ МЕТАЛЛА В ПРЕДЧИСТОВЫХ КАЛИБРАХ ПРИ ПРОКАТКЕ АРМАТУРНОЙ СТАЛИ

Иван Евгеньевич Сенюк

Студент 4 курса

кафедра «Обработка металлов давлением»

Карагандинский государственный индустриальный университет

Научный руководитель: О.Н. Кривцова,

кандидат технических наук, доцент кафедры «Обработка металлов давлением»

Ключевые слова: прокатка (rolling), арматурная сталь (reinforced steel), предчистовые калибры (pre-finished calibers), качество (quality).

Аннотация: Проведен анализ изменения глубины приконтактного слоя металла в предчистовых калибрах при прокатке арматурной стали с целью возможного определения трансформации поверхностных дефектов. По результатам сопоставления полученных данных можно сделать вывод о том, что наиболее перспективной формой предчистового калибра для выкатывания поверхностных дефектов при прокатке арматурной стали является плоский овал с двойной вогнутостью, использование которого позволит равномерно выкатывать возможные поверхностные дефекты по всей длине заготовки.

Качество сортового проката определяется рядом показателей, основными из которых являются точность геометрических размеров, кривизной, состоянием поверхности, макро- и микроструктурой, механическими свойствами [1]. Поставляемый потребителю сортовой прокат по форме, размерам и кривизне должен удовлетворять требованиям, предъявляемым соответствующими размерными стандартами, а по качеству поверхности, макро- и микроструктуре и свойствам - стандартам на поставку металла.

Объектом исследования данной работы является сортовая арматурная сталь марки 35ГС. На рисунке 1 представлены схемы возможных арматурных профилей.

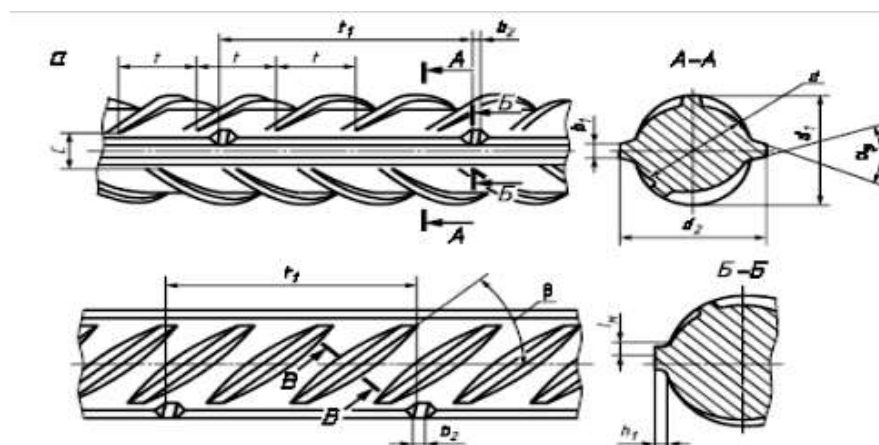


Рис. 1. Профили арматурной стали

Основные требования, предъявляемые стандартами к сортовому прокату, а именно, к рассматриваемой арматурной стали, по точности размеров, кривизне, состоянию поверхности приведены в работе [2]. Эти требования контролируют при осуществлении пооперационного

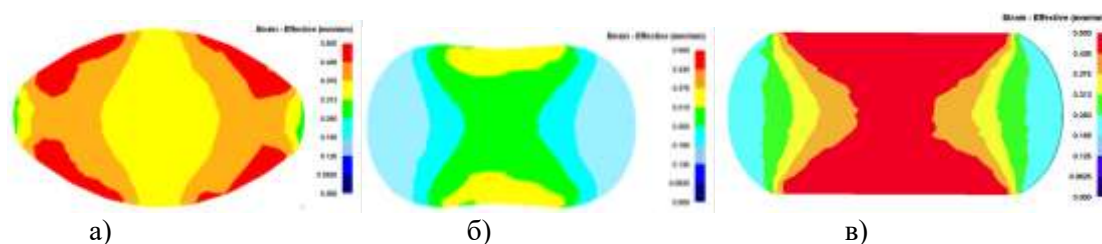
контроля на всех стадиях технологического процесса производства – нагреве, прокатке, охлаждении и отделке металла.

Для детального изучения процесса прокатки арматурного профиля было проведено компьютерное моделирование в программном комплексе «DEFORM-3D». В работах [3, 4] предложены наиболее рациональные, с точки зрения авторов, формы предчистовых калибров для прокатки арматурной стали. Однако возникает спорный вопрос относительно так называемых «переходных» профилей, которые одни авторы относят к малым профилям, а другие – к большим; в частности, профиль №20. Для данного профиля в качестве предчистового калибра предлагается как однорадиусный овал, так и плоский овал с двойной вогнутостью.

Также, в работе [5] была предложена новая калибровка для прокатки круглой и арматурной стали, главной особенностью которой является предчистовой калибр, выполненный в виде гладкой бочки. Поэтому для определения наиболее рациональной формы предчистового калибра было решено смоделировать прокатку во всех трех калибрах для того, чтобы выявить наиболее равномерное распределение накопленной деформации по сечению заготовки.

Поскольку деформация является кумулятивным параметром, при анализе всего технологического процесса весьма сложно отследить ее изменение на каком-либо определенном этапе. Поэтому, для оценки влияния формы предчистового калибра на деформированное состояние, провели единичное моделирование, т.е. моделирование только предчистового калибра [6], на основании которого была построена модель чистового калибра [7].

В результате моделирования были получены следующие результаты распределения эквивалентной деформации (рис. 2).



а) однорадиусный овал; б) плоский овал с двойной вогнутостью; в) гладкая бочка

Рис. 2. Распределение эквивалентной деформации

При прокатке в калибре в форме однорадиусного овала распределение деформации протекает крайне неравномерно. При достаточно равномерном распределении в осевой зоне, при движении металла к стенкам калибра, значения деформации резко возрастают, особенно на наклонных участках

раската. В то же время на боковых торцах, на которых после кантовки происходит формирование поперечных ребер будущей арматуры, наблюдается существенное снижение величины деформации.

При прокатке арматуры в калибре по форме плоского овала с двойной вогнутостью распределение деформации в вертикальном и горизонтальном направлениях протекает более равномерно по сравнению с однорадиусным овалом. В осевой зоне наблюдается некоторое увеличение деформации за счет вогнутостей. На боковых торцах, распределение величины деформации металла носит более равномерный характер, чем в однорадиусном овале.

При прокатке арматуры на гладкой бочке распределение деформации в вертикальном и горизонтальном направлениях протекает весьма неравномерно. При достаточно равномерном распределении деформации в осевой зоне, при движении к боковым торцам, где контакт металла с валками отсутствует, наблюдается значительное снижение ее величины.

При прокатке во всех трех вариантах предчистовых калибров распределение деформации носит неравномерный характер в вертикальном и горизонтальном направлениях.

Из рассмотренных калибров наиболее равномерное распределение деформации обеспечивает плоский овал с двойной вогнутостью, в котором разброс в вертикальном и горизонтальном направлениях примерно одинаков. В остальных двух калибрах разница разбросов довольно различная.

Важнейшим показателем современного уровня производства на предприятиях прокатного комплекса является качество поверхности выпускаемой продукции. Отсутствие поверхностных дефектов особенно важно в тех случаях, когда горячекатаные изделия в дальнейшем подвергают деформации (ковке, прессованию, волочению). Поскольку прокат без поверхностных дефектов, как правило, получить невозможно, поверхностный слой металла обычно механически удаляют в ходе отделки. Это приводит к снижению производительности стана и к повышению расходного коэффициента металла. Величина потерь металла определяется максимальной глубиной залегания дефектов [8].

На основании анализа изменения глубины приконтактного слоя металла возможно определять трансформацию поверхностных дефектов, а именно глубину их залегания.

Конечно-элементные программы расчета процессов пластической деформации позволяют определять на основании деформации отдельных элементов сетки изменение глубины поверхностного слоя. Измерив глубину слоя (размер в направлении нормали к поверхности) после моделирования ($H_{\text{слоя1}}$) можно сделать вывод о его деформации (рис. 3):

$$e_s = \ln H_{\text{слоя1}} / H_{\text{слоя0}}, \quad (1)$$

где e_s – логарифмическая деформация поверхностного слоя после прокатки; $H_{\text{слоя0}}$, $H_{\text{слоя1}}$ – глубина поверхностного слоя до и после прокатки, мм.

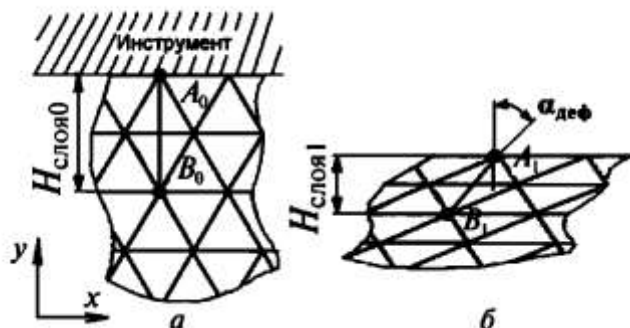


Рис. 3. Вид конечноэлементной сетки в поперечном сечении раската до (а) и после деформации (б)

Величина e_s характеризует выкатываемость дефектов – уменьшение глубины их залегания, тем самым, в конечном счете, определяет необходимую глубину зачистки готового проката.

Исследование проводили при прокатке заготовки с начальными размерами: высота заготовки $H=42,92$ мм, ширина заготовки $B=54,74$ мм (рис. 4), в трех предчистовых калибрах - однорядный овал, плоский овал с двойной вогнутостью и гладкая бочка. В качестве материала используется марка стали 35ГС. Диаметр валков по буртам равен 320 мм. Температура прокатки составляла 950°C для всех трех предчистовых калибров.

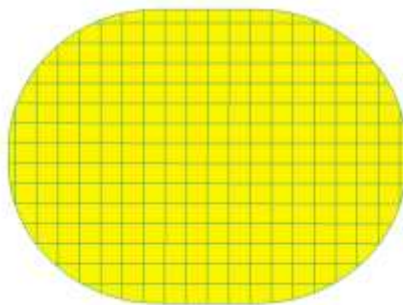
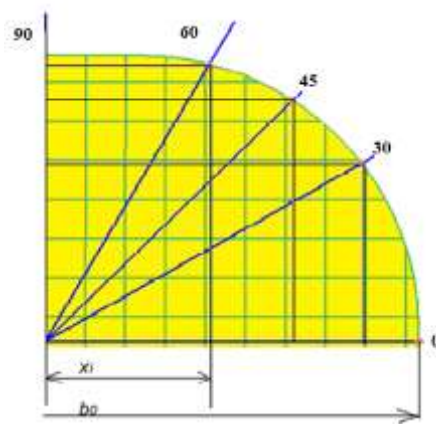


Рис. 4. Вид заготовки

Был проведен анализ изменения глубины поверхностного слоя по площади четверти заготовки (рис. 5): были выбраны пять точек под углами 0° , 30° , 45° , 60° , 90° . Проведены измерения расстояния от каждой точки до начала ординаты и абсциссы. Измерения проводились в графическом редакторе Компас-3D с учетом масштабирования элементов моделирования программного комплекса DEFORM-3D.

Рис. 5. К определению относительной координаты x_i/b_0

При прокатке заготовки в калибре в форме однорадиусного овала с усилием прокатки 184,3кН получили раскат с размерами $H=37,66$ мм, $B=61,97$ мм (рис. 6).

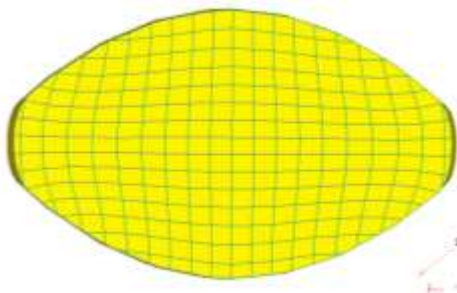


Рис. 6. Заготовка после прокатки в однорадиусном овале

Руководствуясь полученными экспериментальными данными, построили график изменения глубины поверхностного слоя: по оси абсцисс отложен относительные координаты точек поверхностного слоя до деформации x_i/b_0 , по оси ординат – логарифмическая деформация поверхностного слоя после прокатки e_s (рис. 7).

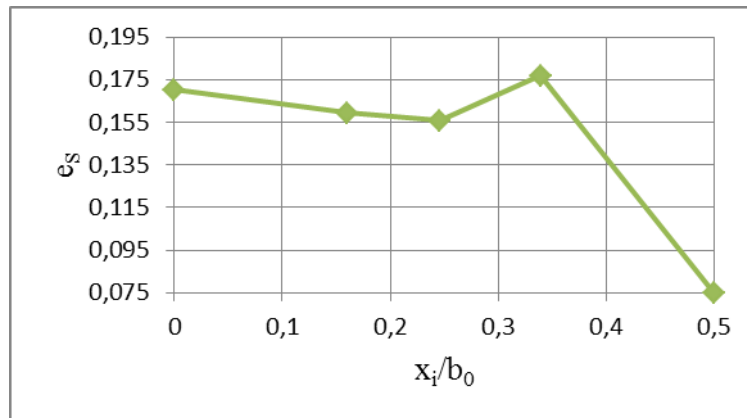


Рис. 7. Изменение глубины поверхностного слоя при прокатке в однорадиусном овале

Из построенного графика можно сделать вывод о том, что максимальная проработка поверхностного слоя происходит в зоне сечения 30° , которая соответствует наклонному участку калибра. Здесь за счет локальной направленности течения металла возникает наиболее интенсивная деформация, что в конечном итоге приводит к залечиванию возможных поверхностных дефектов. Зоны вблизи вертикальной оси прорабатываются не столь значительно, так как здесь присутствует лишь вертикальное обжатие. В точке соответствующей $0,5b_0$ (горизонтальная ось) контакт металла с валками отсутствует. Поэтому здесь наблюдается свободное течение металла в сторону бурта калибра. И, как следствие, величина логарифмической деформации невысокая.

При прокатке заготовки в калибре в форме плоского овала с двойной вогнутостью усилием прокатки 154,6 кН получили раскат с размерами $H=28,68$ мм, $B=49,68$ мм (рис. 8).

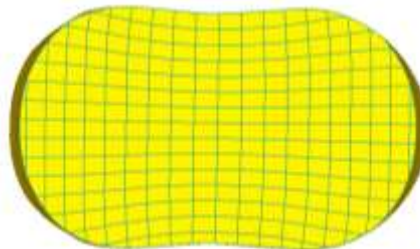


Рис. 8. Заготовка после прокатки в плоском овале с двойной вогнутостью

По полученным экспериментальным данным был построен график изменения глубины поверхностного слоя (рис.9).

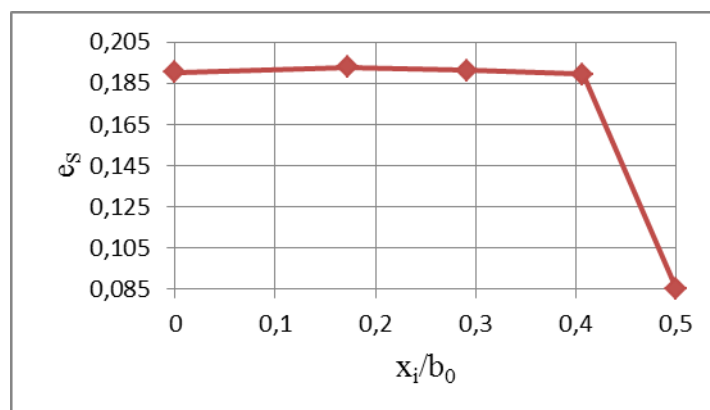


Рис. 9. Изменение глубины поверхностного слоя при прокатке в плоском овале с двойной вогнутостью

Из полученного графика следует, что в сечении с углом 60° наблюдается наибольшая прорабатываемость дефектов поверхностного слоя металла. Однако, характерным отличием прокатки в плоском овале с двойной вогнутостью по сравнению с прокаткой в однорадиусном овале является равномерность распределения деформации поверхностного слоя и закатывания возможных поверхностных дефектов. Так же, благодаря конструктивной особенности калибра, логарифмическая деформация в каждой зоне имеет практически равные значения.

После прокатки заготовки на гладкой бочке усилием 251,5 кН, получили подкат с размерами: $H=29,78$ мм, $B=61,31$ мм (рис. 10).

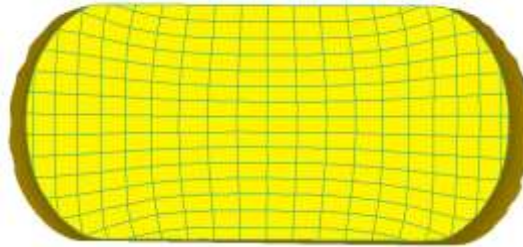


Рис. 10. Заготовка после прокатки на гладкой бочке

Используя полученные экспериментальные данные, построили график изменения глубины поверхностного слоя (рис. 11).

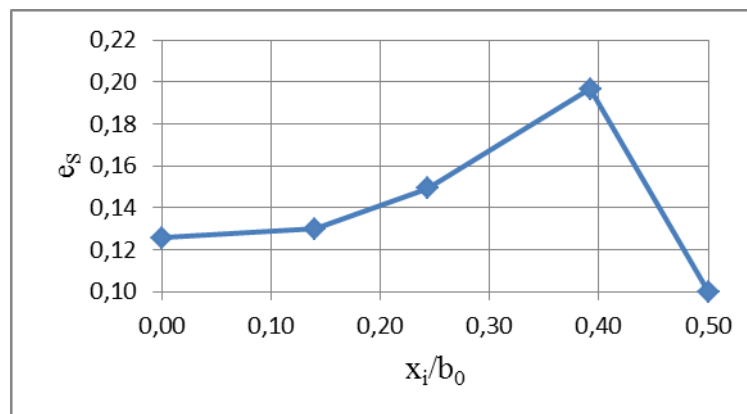


Рис. 11. Изменение глубины поверхностного слоя при прокатке на гладкой бочке

Из построенного графика следует, что в зоне сечения 30° происходит максимальная проработка поверхностного слоя. Однако поверхностные слои, находящиеся в зоне горизонтальной оси, слабо проработаны, ввиду наличия только вертикального обжатия. В точке, соответствующей $0,5B_0$ (горизонтальная ось), контакт металла с валками отсутствует. Поэтому здесь наблюдается свободное течение металла в сторону бурта калибра.

Результаты проведенного анализа изменения глубины поверхностного слоя в различных предчистовых калибрах были сведены для сопоставления на графике рис. 12.

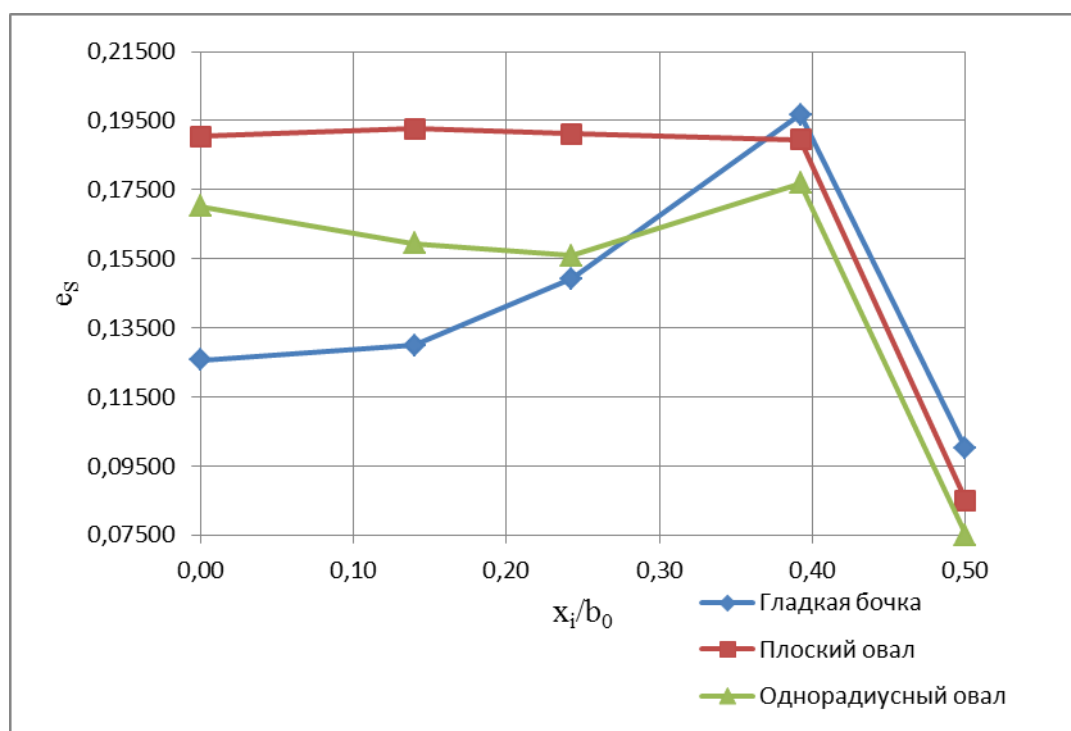


Рис. 12. Результирующие значения

Вывод:

Проведен анализ изменения глубины приконтактного слоя металла в предчистовых калибрах при прокатке арматурной стали с целью возможного определения трансформации поверхностных дефектов.

По результатам сопоставления полученных данных можно сделать вывод о том, что наиболее перспективной формой предчистового калибра для выкатывания поверхностных дефектов при прокатке арматурной стали является плоский овал с двойной вогнутостью, использование которого позволит равномерно выкатывать возможные поверхностные дефекты по всей длине заготовки.

Литература

1. *Шашков В.Б.* Прикладной регрессионный анализ. Многофакторная регрессия: Учебное пособие.- Оренбург: ГОУ ВПО ОГУ, 2003. 363 с.
2. ГОСТ 5781-82. Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. – М.: ГОС комитет СССР по стандартам, 1982.
3. *Смирнов В.К., Шилов В.А., Инатович Ю.В.* Калибровка прокатных валков. М.: Теплотехник, 2010. 490 с.
4. Технология прокатного производства. *Беняковский М.А., Богоявленский К.Н., Виткин А.И.* и др. М.: Металлургия, 1991. 423 с.
5. *Асанов В. Н., Стеблов А. Б., Тулупов О. Н.* Совершенствование калибровки валков для прокатки круглых и арматурных профилей // Сталь, 2008, №11. С. 90-92.
6. *O. Krivtsova, A. Root, E. Panin, G. Sivyakova, N. Kuzminova.* Rational form of pre-calibres at rolling of reinforcing steel. Archives of Material Science and Engineering. Volume 66, Issue 1, March 2014, Pages 39-44.
7. *Naizabekov A., Lezhnev S., Panin E., Volokitina I.* Computer modeling of the rolling process of reinforcing steel. Advanced Materials Research. Vol. 1030-1032 (2014) pp 1286-1291.
8. *Данченко В.Н., Самсоненко А.А., Ярошенко А.О.* Теоретическое исследование деформации приконтактных слоев металла при прокатке в калибрах простой формы //Сталь, 2012, №9. С.41-44.