



УДК 621.771.068

**В.С. Некипелов, А.В. Шикин**  
АО «НПК «Взрывобезопасность», г. Москва,  
г. Москва, Россия  
E-mail: vnekipelov@bk.ru  
Дата поступления 20.05.2019

## ОСНОВЫ РАСЧЕТА ПРОЦЕССОВ ФОРМИРОВАНИЯ ВИТКОВ ПРОКАТА И ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НАМОТКИ

### Аннотация

Разработаны основы теоретических расчетов процессов намотки проката, как известных, так и вновь создаваемых. Введены понятия «технологический критерий» процесса намотки и «зона формирования витка». Технологический критерий характеризует связь и соотношение между основными технологически значимыми параметрами процесса намотки и позволяет энергетически оценивать процесс виткообразования по каждому профилю из сортамента, а также возможности расширения сортамента для каждого типа намоточных устройств.

Критерий позволяет конструкторам, не прибегая к сложным математическим расчетам, на стадии проектирования определять требования к машинам, а также состав комплекса оборудования на участках намотки прокатных станов.

Промышленные испытания теоретически разработанных инновационных процессов, применяемых в таком оборудовании, например, как виткообразователи и трайб-аппараты, показали их работоспособность и высокую надежность, позволяющие производить намотку проката ранее невозможную на известных типах устройств.

**Ключевые слова:** намотка, виткообразование, моталка, виткообразователь, трайб-аппарат, термоупрочнение, катанка, арматура

### Введение

В последние годы, наблюдается устойчивая тенденция к росту скоростей прокатки и массы заготовок [1, 2]. Это обеспечивает рост производительности и снижение затрат, как при производстве, так и у потребителя [3]. В бунтах получают стальную катанку [3] и катанку из цветных металлов и сплавов [4], мелкий сорт [4], лист [5], полосы и ленты [5-7], а также трубы [8]. От качества формирования витков зависит и качество самого проката, поскольку намоточное оборудование непосредственно участвует в технологии производства [9]. Таким образом, намоточные и виткообразующие машины играют роль не только оборудования, позволяющего получать продукт в компактном виде, но и обеспечивающего технологию получения заданного качества. При этом ранее оборудование для намотки проката рассматривалось лишь как адьюстаж [5,6].

Возросшие скорости прокатки, что особенно характерно для проволочных прокатных станов [10] (декларируемые компаниями рекордные скорости прокатки достигают до 140 м/с и масса заготовок до 3...3,5 тонн), а также строительство станов непрерывной прокатки – диктуют необходимость снижения потерь, связанных с аварийными и профилактическими простоями [3,11], требует высокой надежности всего оборудования прокатного стана [12]. Поскольку бунты формируют непосредственно в линии стана, надежность работы оборудования участка виткообразования во многом определяет надежность работы прокатного стана в целом.

Намотка получаемого металлического продукта может применяться и в различных других типах производственных линий, причем скорости производства могут быть достаточно высокими. Для линий производства аморфных металлических лент они, например, могут составлять до 45 м/с [13]. Интересует производителей и

возможность формирования витков для целей их термообработки на конвейере в линиях волочильных станов.

Сказанное выше показывает обоснованность рассмотрения намоточных и виткообразующих машин в качестве основного технологического оборудования, надежность работы и технологические возможности которого определяют качество, сортмент и производительность прокатного стана.

Классифицировать указанные машины удобно по основному признаку – условию подачи проката в устройство. В соответствии с этим, существуют два больших класса таких машин. Существуют также различные комбинированные, а также машины других типов [14,15], однако, применение их весьма ограничено.

Отличительный признак первого класса – тангенциальная подача проката на вращаемое приемное устройство (барабан). В свою очередь, этот класс подразделяется на две группы:

- машины, в которых прокат наматывают во внутреннюю полость барабана (моталки типа Гаррета [4]);
- машины, в которых прокат наматывается на наружную поверхность барабана (шпульные моталки [6]).

В этих устройствах собираемый бунт вращается совместно с барабаном моталки.

Отличительный признак второго класса машин – подача проката вдоль оси вращения моталки. Сформированный бунт и/или каждый отдельный виток неподвижны относительно земли. Этот класс также можно подразделить на две группы:

- машины, формирующие целиком бунт (моталки типа Эденборна [4]);
- машины, формирующие спираль отдельных витков проката с укладкой на конвейер (виткообразователи типа Эденборна [3]).

### Основы расчета

Сегодня существует настоятельная потребность в реконструкции без изъятия старого оборудования, оптимизации его работы, направленные на расширение сортмента, повышение качества намотки, полу-

чения компактных бунтов, повышения равномерности свойств проката по его длине [9], обеспечения качества концевых витков, сокращения плановых и неплановых простоев и т.д.

Семейство намоточных машин разнообразно, однако, до сих пор отсутствовала единая методика, позволяющая оптимальным образом рассчитывать и подбирать необходимую технологию намотки и оборудование, чтобы обеспечить все требования производства. В классических работах, как правило, рассматриваются частные случаи намоточного оборудования и решаются частные задачи [4,16,17,18].

Для решения этой задачи и была разработана методика расчета всех параметров процесса намотки проката для всех основных типов намоточных устройств. Данная методика по созданной математической модели позволяет рассчитывать все технологические параметры процесса намотки, определять применимость того или иного процесса намотки для конкретного производства, а также проводить экспериментальное масштабное моделирование таких процессов [19,20,21]. В настоящей статье методика расчета не приводится ввиду того, что она имеет в большей степени академическое, а не прикладное значение и несет большой объем вычислений. Наибольшее значение для проектирования конструкций машин имеет «технологический критерий», понятие которого вводится ниже.

Расчётные схемы представлены на рисунке 1. Здесь  $d\mathbf{F}_r$  – вектор равнодействующей силы,  $d\mathbf{F}_e$  – вектор переносной силы инерции,  $d\mathbf{F}_k$  – вектор кориолисовой силы инерции,  $d\mathbf{T}$  – вектор силы натяжения,  $d\mathbf{F}_и$  – вектор силы сопротивления изгибу,  $d\mathbf{N}$  – вектор реактивной силы,  $d\mathbf{F}_T$  – вектор силы трения.

Общее уравнение движения проката в зоне формирования витка для всех типов намоточных устройств в векторном виде будет иметь вид:

$$d\mathbf{F}_r = d\mathbf{F}_e + d\mathbf{F}_k + d\mathbf{T} + d\mathbf{F}_и + d\mathbf{N} + d\mathbf{F}_T \quad (1)$$

Под «зоной формирования витка» понимается траектория движения проката от начала его пластического деформирования

в виток до полностью сформированного витка. Введено также понятие «технологического критерия» процессов намотки и формула для расчета его значения, позволяющего на стадии проектирования оборудования определять возможность намотки каждого профиля по сортаменту и проектировать оборудование с учетом особенностей профиля, его прочностных характеристик, скорости прокатки.

Технологическим критерием  $k$  является соотношение между кинетической энергией проката и работой, необходимой на его деформацию в виток:

$$k = A_k / A_u, \quad (2)$$

$A_k$  – кинетическая энергия проката,  
 $A_u$  – работа, необходимая для деформации проката в виток.

Для катанки, например, наматываемой на устройствах типа Эденборна, это выражение имеет вид:

$$k = 2,353\gamma \frac{V^2 R}{d \cdot \sigma_T}, \quad (3)$$

где  $\gamma$  – плотность материала проката;

$d$  – диаметр проката;

$V$  – скорость прокатки;

$R$  – радиус формируемых витков;

$\sigma_T$  – напряжение текучести металла при температуре намотки.

Для других типов устройств легко определить значение  $k$  по выражению (2).

Таким образом, величина  $k$  характеризует связь и соотношение между основными технологически значимыми параметрами процесса намотки и действительно может рассматриваться как технологический критерий процесса намотки/формирования витков. Эта же величина также может быть использована как критерий подобия при моделировании.

Очевидно, что при значениях  $k > 1$  кинетической энергии проката будет достаточно для пластического деформирования его в виток. При этом не требуется никакого дополнительного силового воздействия на прокат в зоне формирования витка, например, воздействия механического.

В случае  $k < 1$  для формирования витков требуется дополнительное силовое воздействие. Дополнительный силовой фактор

может быть приложен к прокату в виде распределенной нагрузки в зоне формирования витка, как, например, в виткоформирующих проводках машин типа Эденборна, а также сосредоточенной нагрузкой на границе этой зоны. Для последнего случая – растягивающей нагрузкой, как, например, в шпульных моталках; сжимающей и изгибающей нагрузкой, как на моталках типа Гаррета; или же прокат должен быть предварительно изогнут в подающей проводке.

Кроме того, для моталок с осевой подачей, в прокате могут быть созданы крутящие напряжения, превышающие крутящие напряжения от скручивания проката в моталке и направленные в противоположную сторону, о чем будет сказано ниже.

### Влияние параметров процесса на траекторию движения проката в зоне формирования витка

Расчеты процесса виткообразования по математической модели показали, что изменение любого из параметров процесса – размера проката, прочностных характеристик материала, скорости прокатки ведет к изменению траектории движения в зоне формирования витка. Аналогично ведет себя прокат на устройствах типа Гаррета. Для шпульных устройств, при гарантированном положительном натяжении проката, траектория практически прямолинейна.

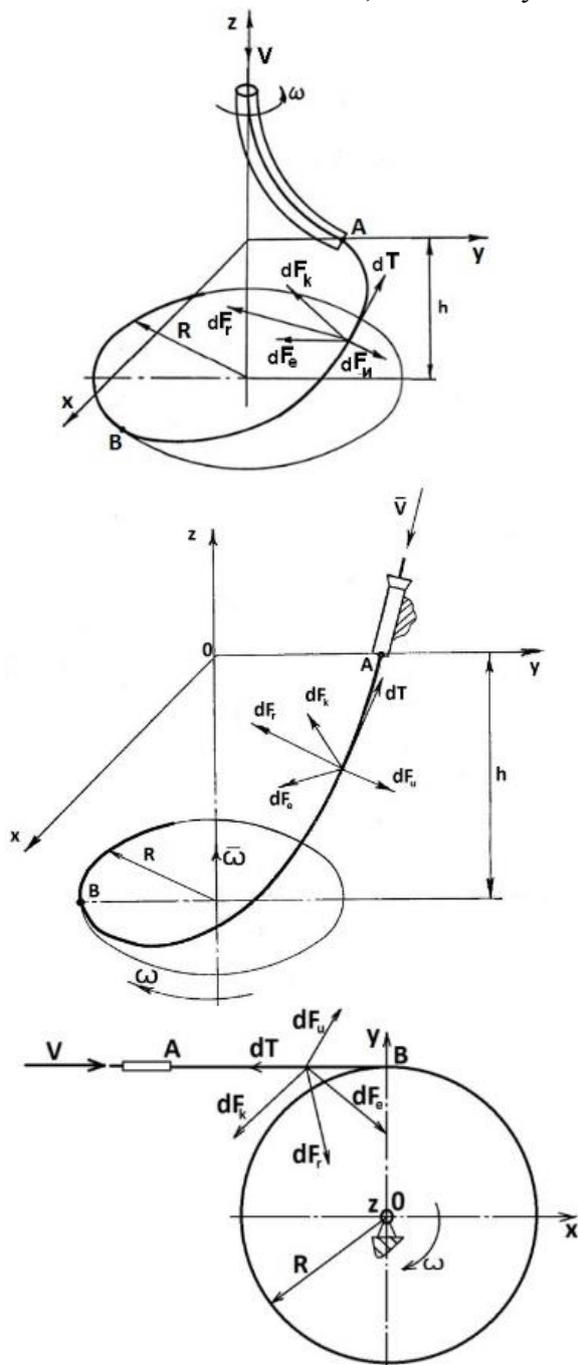
Для устройств с осевой подачей проката это наглядно демонстрируют расчетные кривые траектории его движения в зоне формирования витка (рисунки 2 - 4). Поскольку форма виткоформирующей проводки для машин типа Эденборна должна строиться на основе траектории проката, данный факт показывает невозможность создания унифицированной проводки для всего сортамента. К тому же невозможно учесть все изменения и колебания параметров – скорости прокатки, температуры и размеров проката в процессе производства. А поскольку сортамент проволочных прокатных станов достаточно широк, создание парка таких проводок для каждого прокатываемого материала и типоразмера просто экономически нецелесообразно. Следова-

тельно, такой метод виткообразования рационально применять при относительно невысоких скоростях, когда влияние инерционных (динамических) сил незначительно.

### Промышленные испытания

Как было сказано, при достаточно высоких скоростях проката, что достижимо на машинах с осевой подачей, витки могут

формироваться без механического воздействия за счет лишь накопленной кинетической энергии, под действием инерционных (динамических) сил. Таким образом, влияние динамических сил, которое негативно сказывается на процессе в существующих конструкциях виткообразователей, будет использовано для достижения положительной цели.



а) неинерциальная система координат, вращающаяся с угловой скоростью  $\omega$

б) инерциальная система координат, неподвижная относительно земли

в) инерциальная система координат, неподвижная относительно земли

Рисунок 1. Расчетные схемы процесса формирования витка: а) устройства с осевой подачей, б) устройства типа Гаррета, в) шпульные устройства. Область, ограниченная точками АВ – зона формирования витка,  $h$  – высота зоны формирования витка,  $R$  – радиус формируемых витков,  $V$  – линейная скорость проката (скорость прокатки),  $\omega$  – угловая скорость вращения проводки или барабана моталки

Такой процесс является принципиально новым [22] и может быть условно назван процессом виткообразования под действием инерционных или динамических сил. Реализуется такой процесс с помощью виткоформирующей головки специальной конструкции. Варианты таких конструкций представлены на рисунке 5.

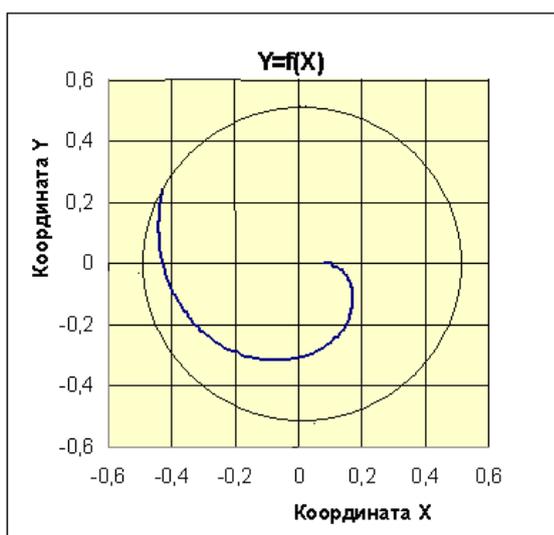
Следующей проблемой, над которой долгое время работали конструкторы и технологи [23,24], является намотка тяжелых (более №10) арматурных термоупрочненных профилей класса 500 и выше на виткообразователях проволочных станков. Здесь возникали две сложности: криволинейная виткоформирующая труба типа Эденборна общей длиной до 4000 мм создает повышенное сопротивление движению жесткого проката, что может приводить к его застреванию внутри трубы и остановке процесса; вторая сложность – остаточные упругие напряжения кручения в витках проката, которые препятствуют его нормальной укладке на конвейер после виткообразователя.

Согласно нашим работам первая сложность решается применением процесса виткообразования под действием инерционных или динамических сил, где

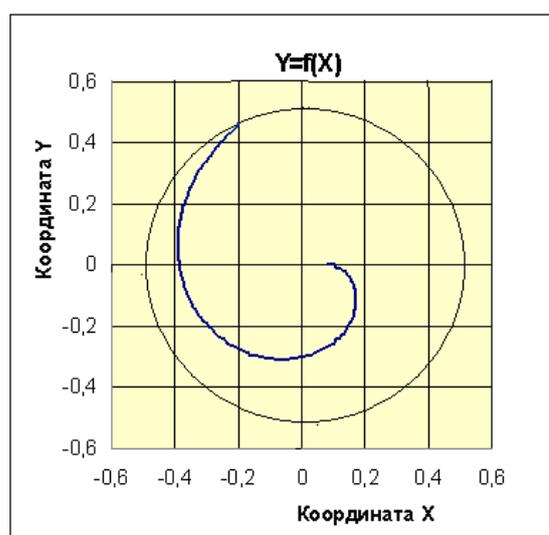
используется короткая 500-600 мм длиной виткоформирующая проводка, вторая – специальной конструкции трайб-аппаратом с возможностью перекоса роликов [25].

Поскольку методика расчетов и обе вышеуказанные разработки являлись инновационными, требовалось их экспериментальное подтверждение, что наилучшим образом обеспечивают промышленные испытания.

*Технология формирования витков действием инерционных (динамических) сил* предполагает значительное повышение надежности и расширение технологических возможностей виткообразователей проволочных прокатных станков, как для существующих станков, так и для новых со скоростями прокатки до 120 м/с и выше. Виткоформирующая головка новой конструкции имеет консольный вылет не более 300 мм и массу до 35 кг, не требует динамической балансировки, позволяет значительно снизить сопротивление движению проката в виткоформирующей трубе, дает возможность формировать витки переменного диаметра для образования компактного бунта и улучшения условий охлаждения витков на конвейере и многое другое.

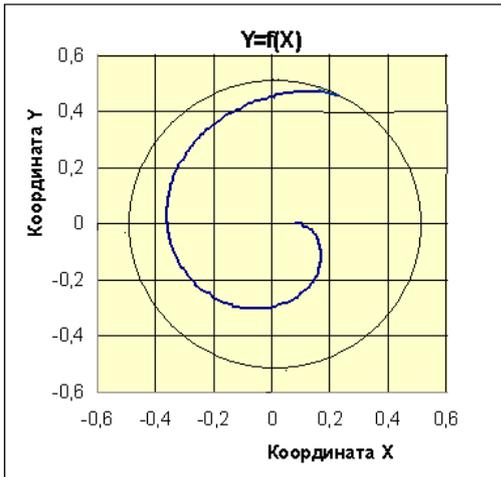


Скорость прокатки  $V = 45$  м/с

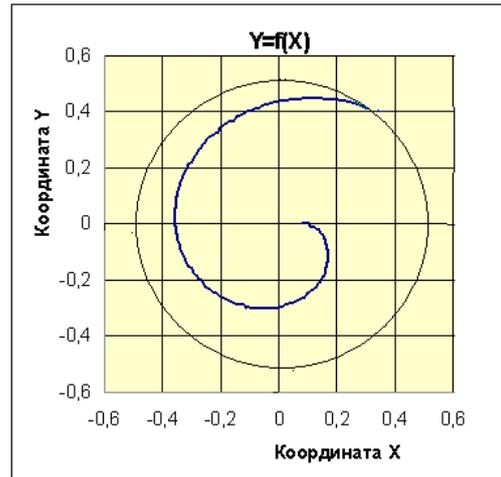


Скорость прокатки  $V = 52$  м/с

Рисунок 2. Изменение траектория движения проката №10мм с пределом текучести 300 МПа при изменении скорости прокатки

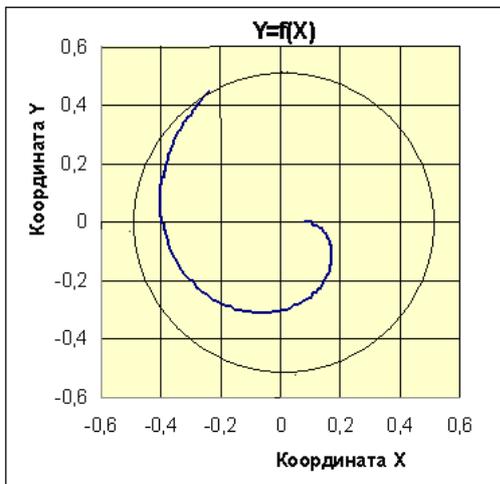


Предел текучести 300 МПа

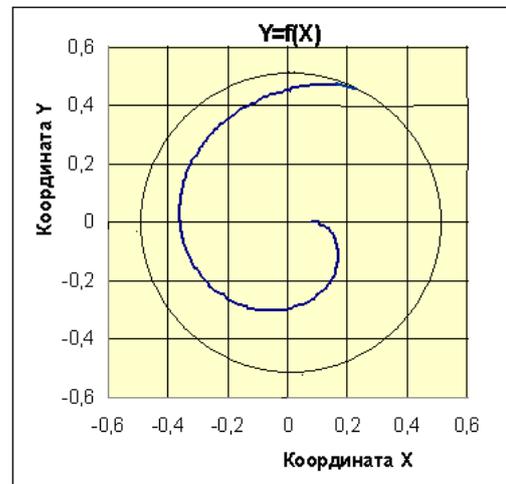


Предел текучести 150 МПа

Рисунок 3. Изменение траектория движения проката №7мм со скоростью прокатки 100 м/с при изменении предела текучести материала

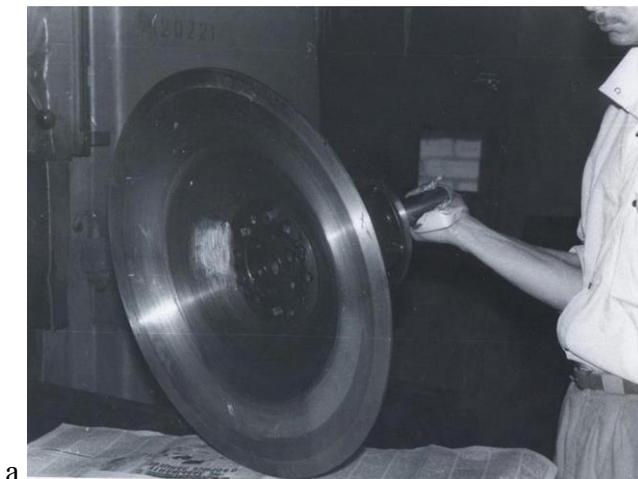


Диаметр проката  $\Phi 7$  мм



Диаметр проката  $\Phi 5,5$  мм

Рисунок 4. Изменение траектории движения проката со скоростью прокатки 100 м/с с пределом текучести материала 300 МПа при изменении диаметра проката



а



б

Рисунок 5. Примеры различных модификаций конструкции виткоформирующей головки

Испытания данной технологии были проведены на стане 150 ЧерМК (г.Череповец) при скоростях прокатки до 60 м/с (рисунок 6), а также на стане 150 ММЗ (г.Рыбница) при скоростях до 102 м/с (рисунок 7).

С помощью расчетов по формуле (3) были рассчитаны критерии  $k$  (в таблице 1 представлены некоторые предельные значения  $k$ ), слева и справа от косой черты – для проката с пределом текучести при температуре намотки 40 и 300 МПа соответственно.

Как видно из таблицы, величина критерия  $k$  при скоростях прокатки до 60

м/с для профилей №10, 11 и 12 с пределом текучести 300 МПа - менее 1, что явно недостаточно для качественного формирования и укладки витков на конвейер. Испытания на проволочном прокатном стане 150 ЧерМК полностью подтвердили это. Остальные профили формировались в витки и укладывались качественно. Была подтверждена также и точность методики расчета процесса формирования витка (рисунок 8) совпадением расчетной и реальной траектории движения проката. Была показана и возможность формирования витков переменного диаметра (рисунок 6).

Таблица 1

Значения технологического критерия для различных профилей с различными прочностными характеристиками, прокатываемых с разными скоростями

Диаметр катанки, мм	5,5	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0
$k$ для стана 150 ЧерМК при скоростях до 60 м/с	114/12	105/10	48/3,6	25/1,9	13/1,0	12/0,8	11/0,6	10/0,4
$k$ для стана 150 ММЗ при скоростях до 100 м/с	420/56	271/36	122/16	63/8,5	35/4,6	20/2,7	13/1,7	8/1,1

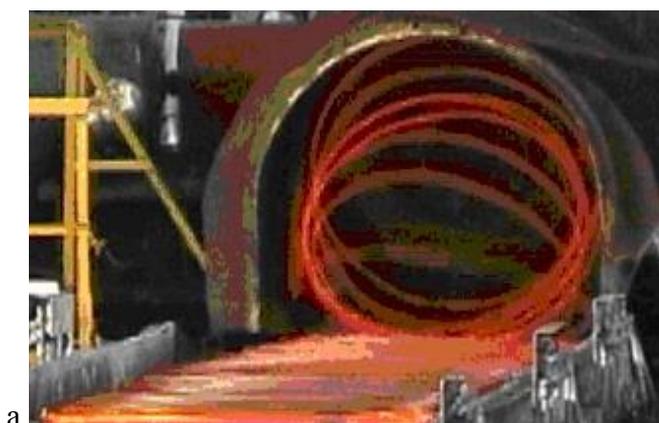
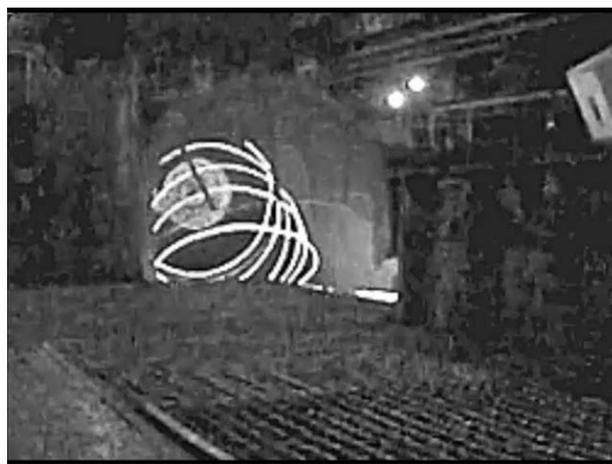


Рисунок 6. Фото промышленных испытаний при скоростях прокатки до 60 м/с: а – намотка горячего проката, б – формирование витков переменного диаметра

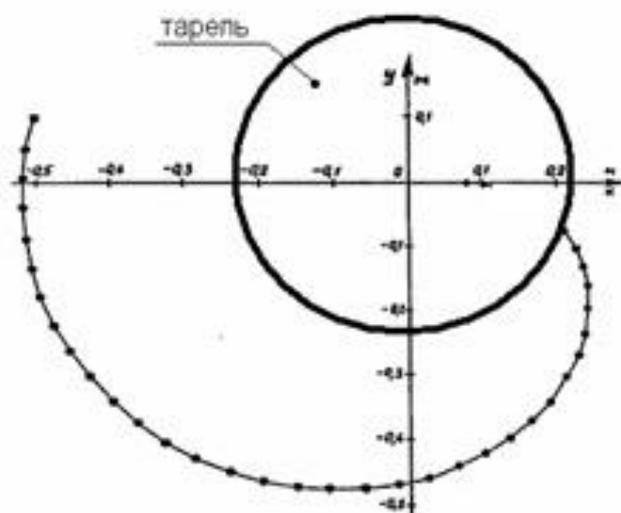


а



б

Рисунок 7. Фото промышленных испытаний при скоростях прокатки до 102 м/с



а



б

Рисунок 8. Совпадение расчетной (а) траектории проката в зоне формирования витка с реальной (б) траекторией (фотофиксация)

*Технология намотки термоупрочненного арматурного проката.* В формировании витков проката, помимо собственно наматывающего оборудования (моталки или виткообразователя) участвует также и трайб-аппарат. Как было сказано выше, при высоких значениях предела текучести материала проката (свыше 250...300 МПа) при температуре намотки остаточные упругие крутящие напряжения препятствуют качественной укладке витков на конвейер (рисунок 9).



Рисунок 9. Существующая технология. Негативное влияние остаточных упругих напряжений кручения в прокате на укладку витков (арматурная сталь №10 класса А500)

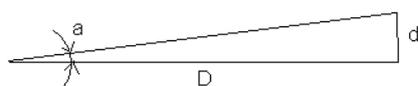
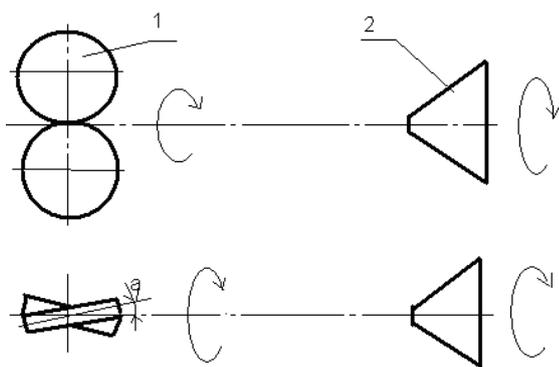


Рисунок 10. Схема работы трайб-аппарата для разгрузки катанки от скручивающих нагрузок на участке «трайб-аппарат – виткообразователь» (от напряжений кручения): 1 – ролики трайб-аппарата, 2 – виткообразователь,  $\alpha$  – угол перекоса ролика

Для того, чтобы в витках при их формировании на виткообразователях не появлялось крутящих напряжений, каждое сечение проката в процессе намотки должно поворачиваться вокруг своей продольной оси на тот же угол, на который оно поворачивается в виткообразователе. Обеспечить это может трайб-аппарат с возможностью перекоса осей роликов на необходимые углы. Принципиальная схема роликов такого трайб-аппарата приведена на рисунке.10.

Перед началом прокатки ролики перекашивают на угол  $\alpha$ , определяемый для каждого диаметра проката из сортамента по формуле [25]:

$$\alpha = \arctg (d / D), \quad (4)$$

где  $\alpha$  – угол установки перекоса ролика,  
 $d$  – диаметр катанки,  
 $D$  – диаметр витка.

При работе трайб-аппарата по этой схеме, упругопластические деформации кручения в катанке переносятся с участка «трайб-аппарат – виткообразователь» на участок «система водо-воздушного охлаждения – трайб-аппарат» и полностью разгружают виткообразователь от работы по

скручиванию проката. При этом витки будут качественно укладываться на конвейер (рисунок 11).

Кроме этого, как было упомянуто выше, такое конструктивное решение трайб-аппарата может применяться и для формирования витков проката при значениях технологического критерия  $k < 1$ . В этом случае угол перекоса роликов трайб-аппарата должен устанавливаться исходя из соотношения:

$$\alpha > \arctg (d / D). \quad (5)$$



Рисунок 11. Новая технология. Качественная укладка термоупрочненной арматурной стали №10 класса А500 при оптимальном угле перекоса роликов трайб-аппарата

Тогда прокат будет выходить из моталки или виткообразователя с крутящими напряжениями, сворачивающими его в виток. Заданный диаметр витков можно получать варьируя углом перекоса роликов  $\alpha$ , а также соотношением скоростей прокатки и намотки. Расчет необходимого угла перекоса роликов не представляет трудностей и может быть выполнен, например, на основе методики, изложенной в [26] для расчета пружин или аналогичным ей.

### Выводы

Разработаны основы теории и методика расчета процессов намотки проката, позволяющие как рассчитывать основные технологические параметры всех известных процессов намотки, так и разрабатывать новые процессы и оборудование. Введено понятие «технологического критерия» процесса намотки и приведена формула для его расчета. На основе теории разработаны принципиально новые технологические

процессы намотки для виткообразователей проволочных прокатных станов.

Технологический критерий процесса намотки позволяет на стадии проектирования оборудования или стадии технологического планирования расширения сортамента действующего оборудования определять возможность намотки и корректировать состав оборудования для этой цели.

Методика расчетов подтверждена экспериментально в линиях действующих станов. Новые процессы намотки прошли промышленные испытания, подтвердив свою надежность и расширенные технологические возможности. Они позволяют производить как намотку горячего проката при скоростях прокатки до 100 м/с и выше, так и намотку термоупрочненного арматурного профиля класса 500 и выше.

#### Библиографический список

1. Top wire rod mill performances at MMK, Russia // Danieli News n.147 New Edition September 2006, Danieli Group, p.46
2. Vibration-free wire rod coiling at speeds above 100 mps.// Danieli News n.147 New Edition September 2006, Danieli Group, p.42
3. Высокоскоростная прокатка катанки / Кугушин А.А., Попов Ю.А. М.: Металлургия, 1982. 144 с.
4. Новые проволочные и сортовые моталки современных станов и установок непрерывного литья и прокатки металлов / Акатов А.И., Ротов И.С., Тепляков Б.В.// Труды института. Всесоюзный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт металлургического машиностроения им. Акад. А.И.Целикова. 1979. Вып. 60. С.107-115.
5. Механическое оборудование прокатных и трубных цехов: Учебник для вузов / Королев А.А.: 4-е изд., М.: Металлургия. 1987. 480 с.
6. Машины и агрегаты для производства и отделки проката: Машины и агрегаты металлургических заводов. Т.3. / Целиков А.И., Полухин П.И., Королев А.А. и др. М.: Металлургия. 1981. 576с.
7. Дрейфующая металлургия / Борисов В. // Металлоснабжение и сбыт. 2006, Вып. 11, С.60-65.
8. Исследование процесса смотки горячих труб в бунты: В сб. Создание и исследование машин и агрегатов для производства труб / Акатов А.И., Тепляков Б.В., Ротов И.С. // Труды института. Всесоюзный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт металлургического машиностроения им. Акад. А.И.Целикова. 1981. С.76-82.
9. Неоднородность механических свойств арматурного проката в мотках по его длине: В сб. науч. трудов Строительство, материаловедение, машиностроение. / Гунькин И.А., Журавлев И.И., Левченко Г.В. и др. // Днепропетровск. РИА «Днепр-VAL». 2004. С.250-254.
10. Современное состояние и тенденции развития производства катанки / Тищенко В.А. // Сталь. 2002. Вып. 10, С.46-51.
11. 110-mps wire rod line at Ori Martin, Italy // Danieli News n.145 March 2006. Danieli Group. p.32.
12. Новое оборудование для намотки катанки // Металлург. 2002. Вып. 9, С.36-37
13. Пат. 2256519 Российская Федерация, МПК В21В 47/00. Способ намотки тонкой ленты в рулон и устройство для его осуществления / В.С.Некипелов, заявитель и патентообладатель В.С.Некипелов. Б.И.2005, №20.
14. Giulio Properzi. *Guide device for wire rod*. Patent USA no. 3,906,772, 1975.
15. Giulio Properzi. *Method and apparatus for collecting wire rod or like at the outlet of rolling mills*. Patent USA no. 4,109,879, 1978.
16. Математическая модель процесса формирования бунта в моталках проволочных станов / Алимов С.И. // Труды ВНИКИ Цветметавтоматика.М.: 1973. Вып. 3. С.22-29.
17. Конструкция и расчет машин и механизмов прокатных станов. Королев А.А.// М.: Металлургия. 1985. 376 с.

18. Основы механики нити. Минаков А.П. // Труды Московского Текстильного института. Том IX. Вып. 1. 1941. 88 с.
19. Моделирование процесса смотки катанки: В сб. Совершенствование металлургических машин. / Некипелов В.С., Ротов И.С., Акатов А.И. и др. // Труды института. Всесоюзный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт металлургического машиностроения им. Акад. А.И.Целикова. М., 1989, С.105-108.
20. Методы подобия и размерности в механике. Седов Л.И.// М.: Наука. 1977. 440с.
21. Теория подобия и моделирование процессов обработки металлов давлением. Чижиков Ю.М. //М.: Металлургия. 1970. 296с.
22. Промышленные испытания процесса намотки катанки действием динамических сил/ Некипелов В.С., Лукьянов А.В., Карпухин И.И. и др. // Сталь. 2004. №7. С.41-44.
23. Опробование производства арматурной стали класса 500 в бунтах / Бондаренко А.Н., Щербаков В.И., Курбатов Г.А. // Сталь. 2002. №10, С.60-61.
24. Прогнозирование и стабилизация структуры и свойств термоупрочненной арматурной стали: Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. Левченко Г.В, Воробей С.А., Ноговицын А.В. и др. // Сб. научн. трудов. Металловедение и термическая обработка. Вып. 7. Г.Днепропетровск. 2004. С.138-144.
25. Производство термоупрочненного арматурного профиля класса 500 на проволочном прокатном стане/ Некипелов В.С., Колесников А.Г., Шикин А.В.// Бюллетень «Черная металлургия». 2018. №3. С.65-67.
26. Соппротивление материалов / Феодосьев В.И. М.: Издательство МГТУ имени Н.Э.Баумана. 2001. 592 с.

---



---

*Information about the paper in English*

**V.S. Nekipelov, A.V. Shikin**

Vzryvobezопасnost Research&Production Company

Moscow, Russia

E-mail: vnekipelov@bk.ru

Received 20.05.2019

**COILING PROCESS DESIGN BASICS AND PILOT TESTING OF INNOVATIVE COILING PROCESSES**

**Abstract**

The authors of this paper developed theoretical design basics for coiling processes (both known and new processes). The paper introduces the concepts of 'process criterion' of the coiling operation and 'coil forming zone'. The process criterion describes the relationship between the key parameters of the coiling process and helps analyse the energy involved in the coiling operation by product type, as well as possible expansion of the assortment for each type of coilers.

This criterion saves designers the need to resort to complex mathematical calculations by enabling them to define the requirements to coilers at the design stage and select the equipment for coiling stations at rolling mills.

Pilot testing of the designed innovative processes integrated in such units as laying coilers and wire feeders demonstrated their effectiveness and reliability enabling such coiling operations that would not be possible before with the coilers available.

**Keywords:** Coiling, coil forming, coiler, laying coiler, wire feeder, thermal strengthening, rolled wire, rebars

---