

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРЕБУЕМОГО КАЧЕСТВА ГЛУБИНЫ НАСЕЧКИ НА СТАЛЬНОЙ АРМАТУРЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ РАЗМОТОЧНОГО АППАРАТА

В работе приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований влияния параметров работы электроприводов стана по производству высокопрочной арматуры на глубину насечки. Показано, что существующая на действующих станах система управления электроприводами агрегатов не обеспечивает требуемые параметры глубины насечки. На основании моделирования натяжения в проволоке, создаваемого электроприводами стана, и статистической обработки показателей глубины насечки получены следующие научные результаты: доказана тесная корреляционная связь между изменением величины момента торможения электродвигателя размоточного аппарата и параметрами глубины насечки на арматуре; определены допустимые интервалы изменения натяжения на входе в клеть профилирования; предложена методика целесообразного изменения момента торможения электродвигателя размоточного аппарата для стабилизации натяжения в проволоке на входе в клеть профилирования при изменении радиуса заполнения катушки проволокой; определены дополнительные технологические требования к электроприводу стана; получены эмпирические выражения требуемого изменения момента электродвигателя размоточного аппарата. По итогам промышленной апробации разработанных технических решений получено снижение доли несоответствующей арматуры диаметром 5 мм с 7,2 до 1,1 % и арматуры диаметром 9,8 мм с 5,8 до 0 %.

Ключевые слова: высокопрочная арматура, глубина насечки, система управления, стан, электропривод размоточного аппарата.

ВВЕДЕНИЕ

Арматурный прокат для железобетонных конструкций, получаемый способом холодной деформации на станах по производству арматуры (СПА) типа ISF 5, является одним из самых массовых видов продукции черной металлургии в Российской Федерации. Технология производства высокопрочной стабилизированной арматуры, оборудование и системы управления электроприводами отдельных агрегатов СПА постоянно совершенствуются в направлении повышения качества продукции, производительности станов и снижения себестоимости арматуры. Однако, по данным служб контроля качества часть арматуры, предназначенной для изготовления ответственных изделий, например железобетонных шпал, переназначается для изготовления менее ответственных железобетонных изделий по причине несоответствия глубины насечки требуемым технологическими картами параметрам. Потери заявленного производства могут достигать пяти и более процентов от общего объема производства [1-2].

Анализ применяемых на СПА систем управления электроприводами показал, что они обеспечивают собственно технологию, безопасность и безаварийность процесса производства арматуры. Технологические требования и технические решения по обеспечению средствами автоматизированного электропривода требуемых показателей глубины насечки отсутствуют. Из технической литературы известно, что электропривод непрерывных проволочных станов может существенно влиять на геометрические размеры обрабатываемой проволоки. Исследования же о влиянии электроприводов СПА на показатели глубины насечки отсутствуют. Поэтому появилась необходимость проведения исследований и разработок, направленных на совершенствование существующих систем управления электропри-

водами СПА, обеспечивающих при безусловном выполнении известных технологических требований уменьшение доли арматуры, подлежащей переназначению по причине несоответствия глубины насечки требуемым параметрам [3-5].

Типовым исполнением конструкции стана с размещением операций нанесения насечки и стабилизации механических свойств в одном технологическом процессе и его основного оборудования является стан Mario Frigerio ISF 5, установленный в ОАО «ММК-МЕТИЗ» [6].

В рабочем режиме работы стана проволоку последовательно (**рис. 1**) сматывают и разгибают в размоточном аппарате (РА) 1; выпрямляют в роликовом правильном устройстве (РПУ) 2; протягивают через клеть профилирования (КП) 3, в которой осуществляют нанесение насечки на проволоку; с помощью первой группы кабестанов 6, 7 арматуру дополнительно выпрямляют в роликовом рихтовальном устройстве 4 и промывают водой в ванне 5; с помощью второй группы кабестанов 10, 11 арматуру нагревают в индукционной печи 8 и охлаждают в ванне 9 с целью формирования в металле требуемых механических свойств; с помощью подающих роликов 12 через отрезную станцию 13 арматуру (диаметром от 3 до 8 мм) сматывают в бунты на намоточных аппаратах 14 либо (диаметром более 8 мм) с помощью подающих роликов 15 режут на мерные прутки на отрезном станке 16. На СПА ISF 5 ОАО «ММК-МЕТИЗ» производят арматуру диаметром $d_1=5$ мм и $d_2=9,6$ мм, предназначенную для изготовления железобетонных шпал. Качество арматуры формируется на участках размотки и нанесения насечки и формирования механических свойств [7].

Электроприводы агрегатов стана выполнены по индивидуальной схеме силового питания асинхронных электродвигателей 17 от преобразователей частоты (ПЧ) 18 типа Simovert Masterdrives VC. Системы управления электроприводами всех агрегатов стана (см. **рис. 1**) выполнены однотипно и имеют два канала

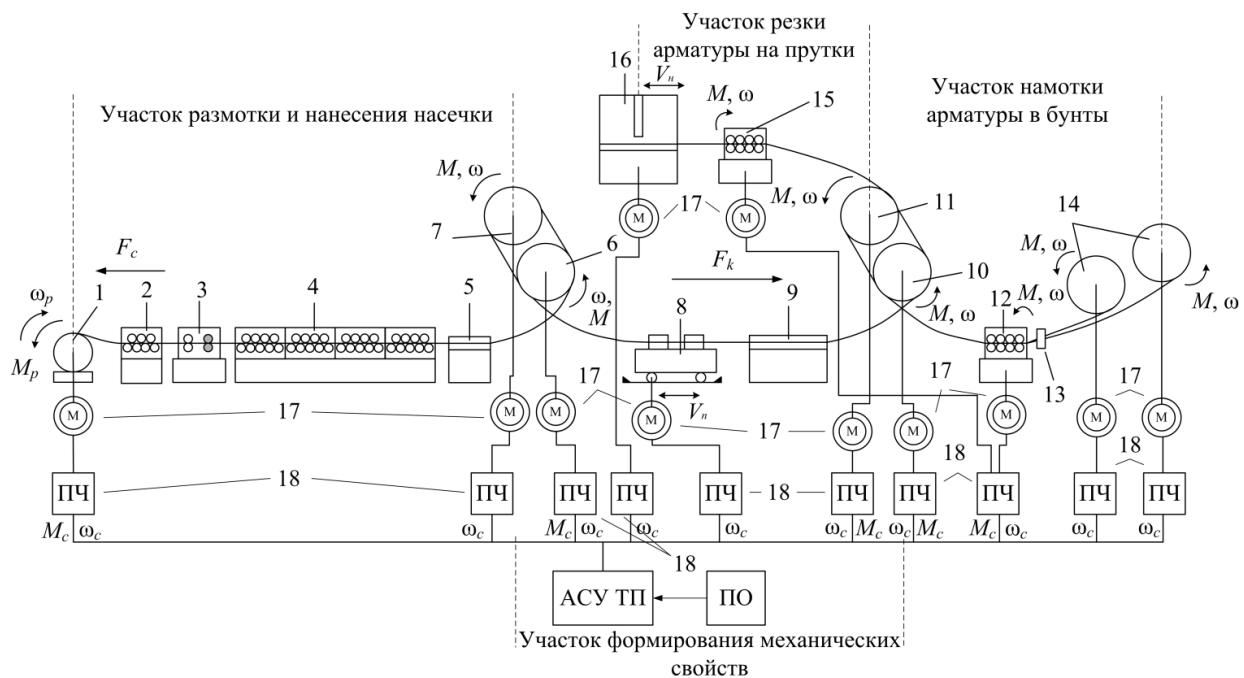


Рис. 1. Схема электропривода стана по производству арматуры ISF 5

регулирования: угловой скорости вращения электродвигателя и подчиненного ему канала регулирования момента электродвигателя. Технологические требования по регулированию натяжений в проволоке выполняются по второму каналу за счет задания на регулятор скорости максимального напряжения и изменения напряжений задания на ограничение момента [8].

В рабочем режиме обработки проволоки электропривод кабестана 7 является базовым и обеспечивает требуемую по технологии скорость обработки V_1 проволоки на стане. Электроприводы остальных агрегатов стана за счет стабилизации моментов электродвигателей обеспечивают необходимые по технологии натяжения F_i в проволоке между соответствующими агрегатами стана. Электропривод РА обеспечивает натяжение проволоки во всех пространствах между РА 1 и кабестаном 6. При этом электродвигатель РА 1 работает в режиме торможения. Электроприводы кабестанов 10, 11 обеспечивают необходимое натяжение проволоки на участке формирования ее механических свойств [10].

Технологическое требование к электроприводу РА по поддержанию на заданном уровне натяжения в проволоке на выходе из РА реализовано в АСУ ТП стана за счет расчета и коррекции задания на момент электродвигателя $M_{p,req}$ по известному в технической литературе выражению в функции изменения радиуса R_k заполнения катушки проволокой:

$$M_{p,req} = \frac{M_{p,max} R_k}{R_{k,max}}, \quad (1)$$

где $R_{k,max}$ – максимальный радиус заполнения катушки проволокой; $M_{p,max}$ – задание на момент электродвигателя РА при $R_k = R_{k,max}$.

В результате статистической обработки данных значений глубины насечки на стане ISF 5 ОАО «ММК-МЕТИЗ» было установлено, что вероятность несоответствия величин глубины насечки арматуры требуе-

мым параметрам при изготовлении арматуры диаметром d_1 составляет 7,2%, а арматуры диаметром d_2 – 5,8%.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

С целью определения влияния электроприводов РА и кабестанов 10, 11 (см. рис. 1), создающих натяжения в проволоке, на глубину насечки на стане ISF 5 ОАО «ММК-МЕТИЗ» проведен активный двухфакторный эксперимент, в ходе которого варьировалось задание на момент торможения электродвигателя РА (фактор X_1) и задание на натяжение в проволоке, создаваемое кабестанами 10, 11 (фактор X_2). Эксперимент проводился отдельно для случаев изготовления арматуры диаметром $d_1 = 5$ мм и арматуры диаметром $d_2 = 9,6$ мм. Общий объем выборки изменения глубины насечки при изготовлении арматуры диаметром d_1 составил $N_1 = 300$ наблюдений, а арматуры диаметром d_2 – $N_2 = 180$ наблюдений.

В результате дисперсионного анализа экспериментальных данных было доказано: изменение момента торможения электродвигателя РА значительно влияет на изменение глубины насечки (Δa); влиянием фактора X_2 и взаимодействия факторов X_1 и X_2 можно пренебречь. По итогам 3-кратного дублирования эксперимента в различные интервалы времени доказана стационарность влияния электропривода РА на показатели глубины насечки (фактором «время» можно пренебречь).

С целью анализа влияния натяжения, создаваемого электроприводом РА, на глубину насечки на основе известных математических соотношений разработана общая математическая модель расчета натяжения в проволоке на входе в КП (F_c) с учетом изменения радиуса R_k заполнения катушки проволокой:

$$F_c = F_{dr} + F_{unb} + \frac{M_{id} \cdot i_p}{R_k} + \frac{M_p \cdot i_p}{R_k} + \frac{M_s}{R_k}, \quad (2)$$

где F_{dr} – усилие сопротивления протягиванию проволоки через РПУ; F_{unb} – усилие сопротивления разгибу проволоки; M_{id} – момент холостого хода электродвигателя РА с установленной пустой катушкой; M_p – момент торможения электродвигателя РА; M_s – момент сопротивления, обусловленный действием сил трения в опорах цапфы катушки от действия веса проволоки; i_p – эквивалентное передаточное число редуктора электродвигателя РА.

В технической литературе отсутствуют выражения для расчета величин M_{id} и M_s в функции изменения радиуса R_k . Поэтому предложена методика и для технологических параметров стана ISF 5 ОАО «ММК-МЕТИЗ», получены аналитические и эмпирические выражения для расчета величин M_{id} и M_s :

$$M_{id} = A_0 + A_1 \cdot \omega_p, \quad (3)$$

$$M_s = \frac{M_{s,0} \cdot (R_k - R_{k,0})}{R_{k,max} - R_{k,0}}, \quad (4)$$

где A_0, A_1 – коэффициенты уравнения регрессии; ω_p – угловая скорость вращения электродвигателя размоточного аппарата; $R_{k,0}$ – начальный радиус заполнения катушки проволокой; $M_{s,0}$ – величина начального момента сопротивления, определенная экспериментально [9].

Величина коэффициента A_1 определена экспериментальным путем и составляет 0,045 Н·м·с [9]. А величину коэффициента A_0 рассчитывают в начале каждого межремонтного интервала эксплуатации стана по выражению

$$A_{0,i} = M_{id,i} - 0,045 \cdot \omega_{p,i}, \quad (5)$$

где $M_{id,i}$ и $\omega_{p,i}$ – результаты единичного измерения величин момента холостого хода и угловой скорости вращения электродвигателя размоточного аппарата.

Доказана адекватность экспериментальным данным результатов расчета натяжений на математической модели (2) [9].

В результате замены величин момента торможения электродвигателя РА на величины натяжений, рассчитанные на математической модели (2), по итогам регрессионного анализа получены адекватные экспериментальным данным регрессионные зависимости Δa от F_c соответственно для арматуры диаметром d_1 и d_2 :

$$\Delta a' = 0,0087 - 0,0072 \cdot F_c' - 0,000334 \cdot F_c'^2, \quad (6)$$

$$\Delta a'' = 0,648 - 0,112 \cdot F_c'' - 0,0047 \cdot F_c''^2, \quad (7)$$

где $\Delta a = a - A$ – отклонение глубины насечки a от нормированного A показателя.

В результате анализа выражений (6) и (7) и их доверительных интервалов было доказано, что при производстве арматуры диаметром $d_1=5$ мм для обеспечения глубины насечки в пределах допусков величина допустимого натяжения $F_{c,alb}$ в проволоке между РПУ и КП не должна превышать 4,18 кН, а арматуры диаметром $d_2 = 9,6$ мм соответственно – 10,75 кН.

При условиях неизменности линейной скорости V_l обработки проволоки на стане ISF 5 и поддержания

величины натяжения F_c в проволоке между РПУ и КП на требуемом по технологии постоянном уровне $F_{c,req}=\text{const}$ на основе выражения (2) получено выражение требуемого изменения момента торможения $M_{p,req}$ электродвигателя РА [12]:

$$M_{p,req}(R_k) = \frac{(F_{c,req} - F_{unb}(R_k) - F_{dr}) \cdot R_k}{i_p} - M_{id}(R_k) - M_s(R_k). \quad (8)$$

Для технологических параметров стана ISF 5 ОАО «ММК-МЕТИЗ» и значений переменных параметров и коэффициентов был выполнен расчет требуемого изменения момента торможения $M_{p,req}$ электродвигателя РА по (8). Расчет изменения момента торможения M_p электродвигателя РА в существующей системе управления стана выполнен по выражению (1). Графическая иллюстрация результатов расчета для случаев изготовления арматуры диаметром d_1 и d_2 приведена на рис. 2.

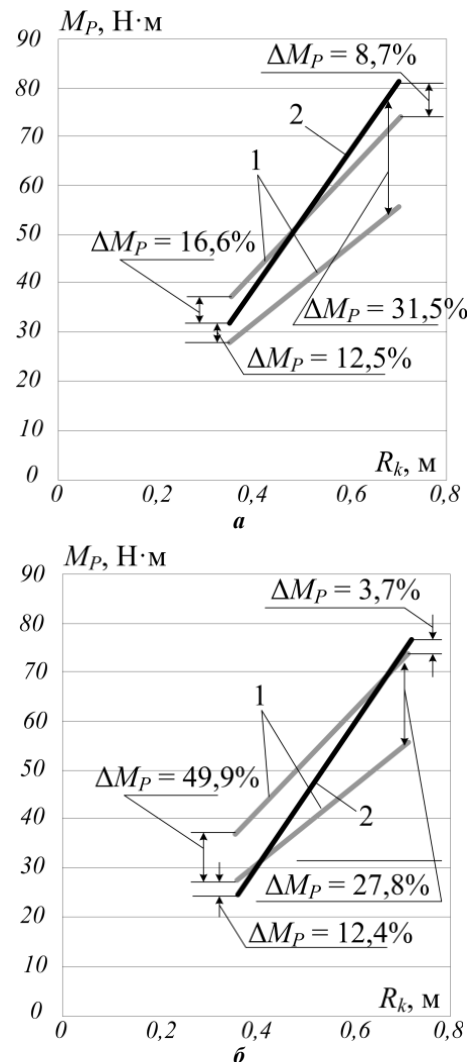


Рис. 2. Изменение момента торможения M_p в существующей системе управления электроприводом размоточного аппарата (графики 1) и требуемого изменения момента торможения $M_{p,req}$ электродвигателя размоточного аппарата (графики 2) в функции изменения радиуса R_k для случаев изготовления арматуры диаметром d_1 (а) и d_2 (б)

Из графиков **рис. 2** следует: изменение как требуемого момента торможения $M_{p,req}$, так и момента торможения M_p в существующей системе управления электроприводом размоточного аппарата соответствует линейному закону; расхождения ΔM_p между значениями моментов M_p и $M_{p,req}$ при изменении радиуса R_k заполнения катушки проволокой существенно и находится в пределах от 8,7 до 16,6 % (d_1) и от 3,7 до 49,9 % (d_2).

По данным графиков $M_p = f(R_k)$ и $M_{p,req} = f(R_k)$ (см. **рис. 2**) по выражению (2) рассчитано изменение величины натяжения F_c в проволоке между РПУ и КП для существующего M_p и требуемого изменения момента торможения $M_{p,req}$ электродвигателя РА. По результатам расчетов построены графики $F_c = f(R_k)$, приведенные на **рис. 3**.

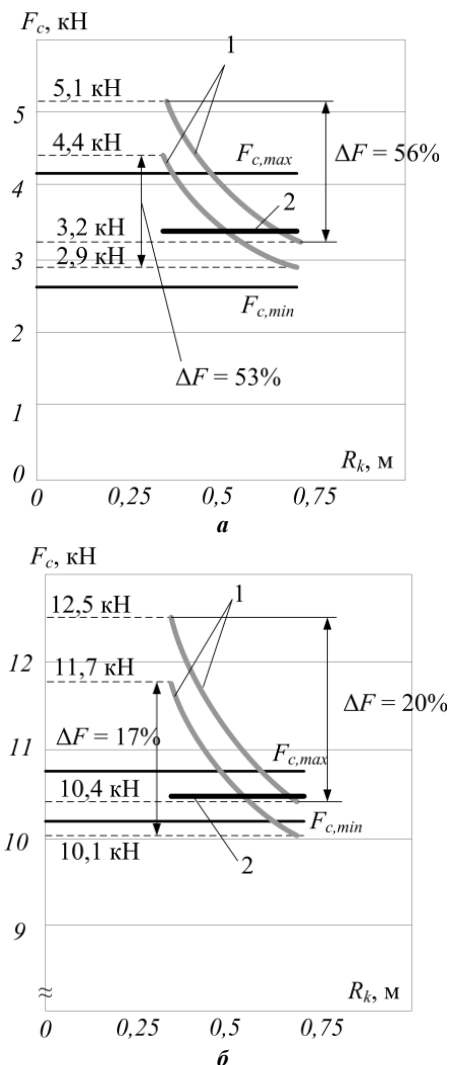


Рис. 3. Графики изменения величин натяжения F_c при изменении момента торможения M_p по алгоритму существующей системы (графики 1) и требуемого изменения момента торможения $M_{p,req}$ электродвигателя размоточного аппарата (графики 2) для случаев изготовления арматуры диаметром d_1 (а) и d_2 (б)

Из графиков (см. **рис. 3**) следует, что в существующей на стане ISF 5 системе управления по мере уменьшения радиуса заполнения катушки проволокой происходит (графики 1) существенное уменьшение натяжения в проволоке (с 5,1 до 3,2 кН для арматуры диаметром d_1 и с 12,5 до 10,4 кН для арматуры диамет-

ром d_2), выходящее за границы допустимого диапазона. Напротив, при изменении момента торможения электродвигателя РА по выражению (8) происходит (графики 2) стабилизация натяжения. Таким образом, существующая система управления электроприводом РА не обеспечивает стабилизацию величины натяжения F_c в проволоке между РПУ и КП при изменении величины радиуса R_k заполнения катушки проволокой в процессе её размотки, что может являться причиной появления отклонений глубины насечки арматуры вне допустимых пределов.

На основании проведенных исследований была предложена следующая методика определения изменения момента торможения электродвигателя РА с целью поддержания величины натяжения F_c в проволоке между РПУ и КП на заданном неизменном уровне [10]:

1. Задается величина требуемого натяжения $F_{c,req}$ в проволоке между РПУ и КП в пределах интервалов допустимого изменения натяжения F_c для диаметра d_w обрабатываемой проволоки.

2. По известным выражениям выполняется расчет усилий F_{dr} сопротивления протягиванию проволоки через РПУ и F_{unb} сопротивления разгибу проволоки [11, 12].

3. По выражениям (9) и (10) выполняется расчет текущей величины радиуса R_k заполнения катушки шириной b и угловой скорости вращения ω_p электродвигателя РА [12]:

$$R_k = \sqrt{R_{k,0}^2 - \frac{d_w^3}{4b} \cdot \int_0^t V_l(t) dt}; \quad (9)$$

$$\omega_p = \frac{i_p \cdot V_l}{R_k}. \quad (10)$$

4. Выполняется расчет величины момента холостого хода M_{id} и момента сопротивления M_s соответственно по выражениям (3) и (4).

5. По выражению (8) выполняется расчет величины требуемого момента торможения $M_{p,req}$ на валу электродвигателя РА.

На основании проведенных исследований определены дополнительные технологические требования к электроприводу РА с целью обеспечения глубины насечки арматуры в пределах допусков: в системе управления электроприводом РА должна быть предусмотрена возможность расчета требуемого изменения момента торможения электродвигателя РА по выражению (8); в системе управления электроприводом РА должна быть предусмотрена возможность изменения момента торможения электродвигателя РА в целях поддержания натяжения в проволоке между РПУ и КП в пределах допустимых значений [13].

В результате расчета для конкретных технологических условий изготовления арматуры диаметром d_1 и d_2 на стане ISF 5 ОАО «ММК-МЕТИЗ» требуемого изменения момента торможения $M_{p,req}$ электродвигателя РА в функции изменения радиуса R_k установлено, что искомые зависимости $M_{p,req}$ близки линейным и адекватно могут быть представлены следующими упрощенными регрессионными уравнениями соответст-

венно для случаев изготовления арматуры диаметром d_1 и d_2 :

$$M'_{p,req} = -17 + 140,7 \cdot R_k, \quad (11)$$

$$M''_{p,req} = -27,3 + 148,9 \cdot R_k. \quad (12)$$

Сделан вывод: на стане ISF 5 ОАО «ММК-МЕТИЗ» техническое выполнение первого дополнительного технологического требования можно существенно упростить и реализовать в существующей системе АСУ ТП СПА в алгоритме расчета задания на момент электродвигателя РА посредством замены выражения (1) на выражения (11) и (12).

Для технических параметров электропривода (см. **рис. 1**) разработаны функциональная схема и алгоритм системы управления электроприводом РА. В алгоритме управления предусмотрено, что система управления работает только в рабочем режиме изготовления арматуры. В заправочных и аварийных режимах система управления отключена и не влияет на работу СПА [8]. С целью оценки технической и экономической эффективности предложенных технических решений на стане ISF 5 ОАО «ММК-МЕТИЗ» проведен промышленный эксперимент, в ходе которого в ручном режиме по выражениям (11) и (12) выполнялась коррекция задания на момент торможения электродвигателя РА. По итогам эксперимента было выполнено измерение показателей глубины насечки арматуры. В результате получено уменьшение доли арматуры, не соответствующей по показателям глубины насечки требуемым величинам, диаметром $d_1=5$ мм с 7,2 до 1,1%, а арматуры диаметром $d_2=9,6$ мм с 5,8 до 0%. Ожидаемый экономический эффект составил 320 тыс. руб. в год.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате экспериментального и теоретического исследования работы электроприводов стана ISF 5 ОАО «ММК-МЕТИЗ» на показатели глубины насечки на арматуре доказано, что изменение момента торможения электродвигателя РА значительно влияет на изменение глубины насечки на арматуре. Разработана адекватная экспериментальным данным модель расчета натяжения в проволоке математическая между РПУ и КП с учетом аналитических и эмпирических зависимостей изменения в процессе размотки проволоки с катушки величин момента холостого хода электропривода РА и момента сопротивления, обусловленного действием сил трения в опорах цапфы катушки от действия веса проволоки. Предложены методика расчета допустимого, с позиции обеспечения глубины насечки на арматуре в пределах допусков, изменения натяжения в проволоке, создаваемого электроприводом РА между РПУ и КП и методика расчета целесообразного изменения момента торможения электродвигателя РА при изменении радиуса заполнения катушки проволокой. Разработаны дополнительные технологические требования к системе управления электроприводом РА с позиций обеспечения глубины насечки арматуры в пределах допустимых значений

за счет стабилизации натяжения в проволоке между РПУ и КП посредством целесообразного изменения момента торможения электродвигателя РА в функции изменения радиуса заполнения катушки проволокой. В результате апробации на действующем стане ISF 5 ОАО «ММК-МЕТИЗ» доказана техническая и экономическая эффективность предложенных технических решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тихонов И.Н., Гвоздева А.А., Стеблов А.Б. Арматурный прокат для крупнопанельного домостроения // Жилищное строительство. 2011. №8. С.10-12.
2. Перспективы производства высокопрочной стальной арматуры для железобетонных шпал нового поколения на основе термомодеформационного наноструктурирования / М.В. Чукин, Г.С. Гун, А.Г. Корчунов, М.А. Полякова // Бюлл. «Черная металлургия». 2012. №4. С.100-105.
3. Радионов А.А. Автоматизированный электропривод станов для производства стальной проволоки: монография. Магнитогорск: ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», 2007. 311 с.
4. Устройство регулирования размеров проката: а.с. 942639 СССР / В.П. Бычков, И.А. Селиванов, В.В. Шохин, И.Л. Лебединский, С.И. Лукьянов. Опубл. в Б.И., 1982. № 26.
5. E.I. Khlusova and V.V. Ryabov, Influence of the production technology and alloying of high-strength steel on its ease of cold deformation // Steel in Translation, April 2013, vol. 43, issue 4, pp. 221-224.
6. Mario Frigerio PC Wire [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.mariofrigerio.com/PC_wire.htm (дата обращения: 05.09.2014).
7. PC WIRE LINE ISF5: док. к обор. Italia: Mario Frigerio S.p.A., 2006. 166 с.
8. Сафин И.Р., Лукьянов С.И., Бодров Е.Э. Система управления электроприводом размоточного аппарата стана по производству стальной арматуры // Электротехнические системы и комплексы. 2014. №3(24). С.17-24.
9. Сафин И.Р., Лукьянов С.И., Бодров Е.Э. Методика оценки влияния электропривода размоточного аппарата на качество периодического профиля стальной арматуры // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». 2014. Т.14, №3. С.71-78.
10. Совершенствование системы управления электроприводом размоточного аппарата стана по производству стальной арматуры / И.Р. Сафин, С.И. Лукьянов, О.С. Логунова, Е.Э. Бодров // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». 2015. Т.15. №2. С.77-83.
11. Тарнавский А.Л. Силовые условия волочения с использованием роликовых окалинломателей. // Сталь. 1965. №2. С.182-184.
12. Радионов А.А., Карандаев А.С. Автоматизированный электропривод намоточно-размоточных устройств агрегатов прокатного производства: монография. Магнитогорск: МГТУ, 1999. 131 с.
13. Сафин И.Р., Лукьянов С.И., Бодров Е.Э. Разработка технологических требований к электроприводу размоточного аппарата линии по производству арматуры // Труды VIII Международной (XIX Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу АЭП-2014: в 2 т. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2014. Т.2. С. 315-319.

INFORMATION IN ENGLISH

PROVISION OF REQUIRED DEPTHS OF NOTCHES ON STEEL REBAR BY MEANS OF UNWIND MACHINE ELECTRIC DRIVE

Lukyanov S.I., Bodrov E.E., Safin I.R., Mazitov D.M.

The paper describes the results of theoretical and experimental research of the effect made by wire rebar production line electric drive parameters to the depths of notches on the rebar. It was shown that the control systems of the existing production line units did not provide the required depths of notches. The new scientific results were obtained by means of modeling the wire tension created by the line electric drives and statistical processing of the notch depths data. The following results were obtained: correlation between the unwind machine electric drive breaking torque alteration and depths of notches variation was proved; the allowable range of the wire tension variation at the inlet of profile stand was found; the method of unwind machine electric drive breaking torque efficient alteration, which was needed to stabilize wire tension at the inlet of profile stand under the wire fill-in radius variation, was developed; additional technological requirements to the line electric drives were proposed; empirical equations for unwind machine electric drive torque were obtained. After industrial approbation of the developed technical solutions there was achieved reduction in off-grade rebar percentage from 7.2 % to 1.1 % for 5 mm wire diameter and from 5.8 % to 0 % for 9.8 mm wire diameter.

Keywords: High-strength rebar, production line, unwind machine, electric drive, depth of notches, control system.

REFERENCES

1. Tihonov I.N., Gvozdeva A.A., Steblov A.B. Armaturniy prokat dlya krupnopanelnogo domostroeniya [Reinforcing bar for panel construction]. *House building*. 2011. no.8. pp.10-12.
2. Chukin M.V., Gun G.S., Korchunov A.G., Polyakova M.A. Perspektivi proizvodstva visokoprochnoi stalnoi armatury dlya zhelezobetonnykh shpal novogo pokoleniya na osnove termodeformatsionnogo nanostrukturirovaniya [Prospects of high-strength steel reinforcement for the new generation reinforced concrete sleepers of thermal-based nanostructuration]. *Bulletin "Ferrous metallurgy"*. 2012, vol.4, pp. 100-105.
3. Radionov A.A. Avtomatizirovannyi elektropriwod stanov dlya proizvodstva stalnoy provoloki [Automatic electric drive of steel wire production lines]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 2007, 311 p.
4. Bychkov V.P., Selivanov I.A., Shohin B.B., Lebedinsky I.L., Lukyanov S.I. *Ustroistvo regulirovaniya razmerov prokata* [Control device for drawn metal dimensions]. Authorship certificate of USSR 942639, 1982. no. 26.
5. E.I. Khlusova and V.V. Ryabov. Influence of the production technology and alloying of high-strength steel on its ease of cold deformation, *Steel in Translation*, April 2013, vol. 43, issue 4, pp. 221-224.
6. Mario Frigerio PC Wire, [http:// www.mariofrigerio.com /PC_wire.htm](http://www.mariofrigerio.com/PC_wire.htm).
7. PC wire line ISF5, Hardware documentation. Italia: Mario Frigerio S.p.A., 2006, 166 p.
8. Safin I.R., Lukyanov S.I., Bodrov E.E. Sistema upravleniya elektropriivodom razmotochnogo apparata stana po proizvodstvu stalnoi armatury [Unwinding apparatus electric drive control system of steel fittings production line]. *Electrotechnical systems and complexes*, 2014, no.3(24), pp.17-24.
9. Safin I.R., Lukyanov S.I., Bodrov E.E. Metodika otsenki vliyaniya elektropriivoda razmotochnogo apparata na kachestvo periodicheskogo profilya stalnoi armatury [Evaluation of un-winding apparatus electric drive Influence on steel fitting periodic profile quality definition technique]. *Bulletin of the South Ural State University, Series "Power Engineering"*. 2014, vol.14, no.3, pp. 71-78.
10. Safin I.R., Lukyanov S.I., Logunova O.S., Bodrov E.E. Sovershenstvovanie sistemi upravleniya elektropriivodom razmotochnogo apparata stana po proizvodstvu stalnoi armatury [Improving of unwinding apparatus electric drive control system on steel fittings production line]. *Bulletin of the South Ural State University, Series "Power Engineering"*. 2015, vol. 15, no.2, pp. 77-83.
11. Tarnavsky A.L. Silovye usloviya volocheniya s ispolzovaniem rolkovykh okalinolomatelei [Pressure conditions of drawing using roller descaling]. *Steel*. 1965, no. 2. pp. 182-184.
12. Radionov A.A., Karandaev A.S. *Avtomatizirovannii elektropriwod namotochno-razmotochnykh ustroystv agregatov prokatnogo proizvodstva* [Automated electric drive of winding-unwinding devices of rolling manufacturing aggregates: monograph]. Magnitogorsk: Nosov Magnitogorsk State Technical University, 1999, 131 p.
13. Safin I.R., Lukyanov S.I., Bodrov E.E. Razrabotka tekhnologicheskikh trebovaniy k elektropriivodu razmotochnogo apparata linii po proizvodstvu armatury [Development of process re-quirements to unwind machine electric drive at fitting production line]. *Proceedings of the VIII International (XIX All-Russian) conference on automated electric drive AED-2014*, vol.2. Saransk: University of Mordovia. 2014, pp. 315-319.