

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА РАЗМОТОЧНОГО АППАРАТА НА КАЧЕСТВО ПЕРИОДИЧЕСКОГО ПРОФИЛЯ СТАЛЬНОЙ АРМАТУРЫ

И.Р. Сафин, С.И. Лукьянов, Е.Э. Бодров

Приведены результаты экспериментальных и теоретических исследований влияния электропривода стана ISF 5 ОАО «ММК-МЕТИЗ» по производству проката периодического профиля для армирования железобетонных шпал на качество профиля (глубину насечки). Доказано, что изменение момента нагрузки на электродвигателе размоточного аппарата, создающего натяжение в проволоке на входе в профилирующую клетку, значительно влияет на изменение глубины насечки арматурной проволоки. Для размоточного аппарата стана ISF 5 были получены эмпирические выражения и их доверительные интервалы влияния угловой скорости электродвигателя размоточного аппарата на момент холостого хода при обработке проволоки диаметром $d_1 = 5$ мм и $d_2 = 9,98$ мм. Для технологических параметров производства арматурной проволоки на стане ISF 5 получены эмпирические выражения и их доверительные интервалы влияния натяжения на входе в профилирующую клетку на изменение глубины насечки арматурной проволоки. Доказано, что полученные эмпирические выражения адекватны экспериментальным данным и коэффициенты уравнений регрессии значительно отличаются от нуля. Определены диапазоны допустимого изменения величины натяжения для случаев производства арматурной проволоки диаметром $d_1 = 5$ мм и $d_2 = 9,98$ мм с позиций обеспечения изменения глубины насечки в пределах допусков по технологической инструкции. Разработана общая методика оценки влияния электропривода размоточного аппарата станов по производству высокопрочной проволочной арматуры на глубину насечки проволоки. Разработаны дополнительные технологические требования к электроприводу размоточного аппарата, реализация которых обеспечит изменение глубины насечки в пределах допустимых величин.

Ключевые слова: арматура, глубина насечки, электропривод, размоточный аппарат.

Введение

Увеличение надежности железобетонных изделий и срока их эксплуатации, особенно для железобетонных шпал, неразрывно связано с повышением требований к качеству стальной арматуры периодического профиля. Технология производства стальной арматуры непрерывно совершенствуется в направлении повышений технических свойств как самой проволоки, так и параметров периодического профиля. Одним из резервов улучшения качества насечки на арматуре является совершенствование систем управления электроприводами станов по производству арматуры [1].

Одним из последних технологических решений по производству высокопрочной стабилизированной арматуры для железобетонных шпал является совмещение процессов нанесения насечки на проволоку и стабилизации механических свойств арматуры с применением наноструктурирования поверхности последней. С применением указанной технологии в 2007 году в сталепроволочно-канатном цехе (СКЦ) Открытого Акционерного Общества «Магнитогорский метизно-калибровочный завод» (ОАО «ММК-МЕТИЗ») был установлен стан ISF 5 итальянской фирмы Mario Frigerio для производства холоднокатаной арматуры. Стан предназначен для производства арматуры диаметром от 3 до 10 мм [2].

Основным сортаментом стана ISF 5 ОАО «ММК-МЕТИЗ» является арматура диаметром $d_1 = 5$ мм и $d_2 = 9,98$ мм. Основные требования к выпускаемой продукции представлены в таблице [3].

Структурная схема стана ISF 5 представлена на рис. 1. Проволока с размоточного аппарата 1 через роликковое правильное устройство 2, клетку профилирования 3, роликковое рихтовальное устройство 4, промывочную ванну 5 подается на первую группу кабанов 6, 7. В клетке профилирования 3 осуществляется нанесение насечки на проволоку. Затем проволока протягивается через индукционную печь 8 и ванну охлаждения 9 с помощью второй группы кабанов 10, 11. В индукционной печи 8 и ванне охлаждения 9 осуществляется наноструктурирование поверхности проволоки. Далее, при помощи тянущих роликов 12, проволока диаметром 5 мм подается на намоточные аппараты 13, диаметром 10 мм – на отрезной станок 14 [4].

Электроприводы агрегатов стана, а именно, размоточного аппарата 1, четырех кабанов 6, 7, 10, 11, двух блоков тянущих роликов 12, двух намоточных аппаратов 13, индукционной печи 8 и отрезного станка 14 выполнены по индивидуальной схеме силового питания электродвигателей 15 от преобразователей 16 частоты Simover Masterdrives VC производства компании Siemens AG. Все электроприводы приводятся во вращение асинхронными электродвигателями с короткозамкнутым ротором, системы регулирования электродвигателей построены по принципу ориентации оси координат по направлению результирующего вектора потокосцепления ротора.

Система автоматического управления каждого электропривода имеет два основных контура

Электромеханические системы

Основные требования к выпускаемой продукции

Марка стали	Диаметр арматуры, мм	Предельные отклонения диаметра арматуры, мм	Овальность арматуры, не более, м	Глубина насечки арматуры H , мм	Скорость обработки, м/мин
80	5,0	-0,02 +0,05	0,20	0,095 ($\pm 0,35$)	200
80P	9,98	+0,40 -0,00	0,25	0,18 ($\pm 0,02$)	73

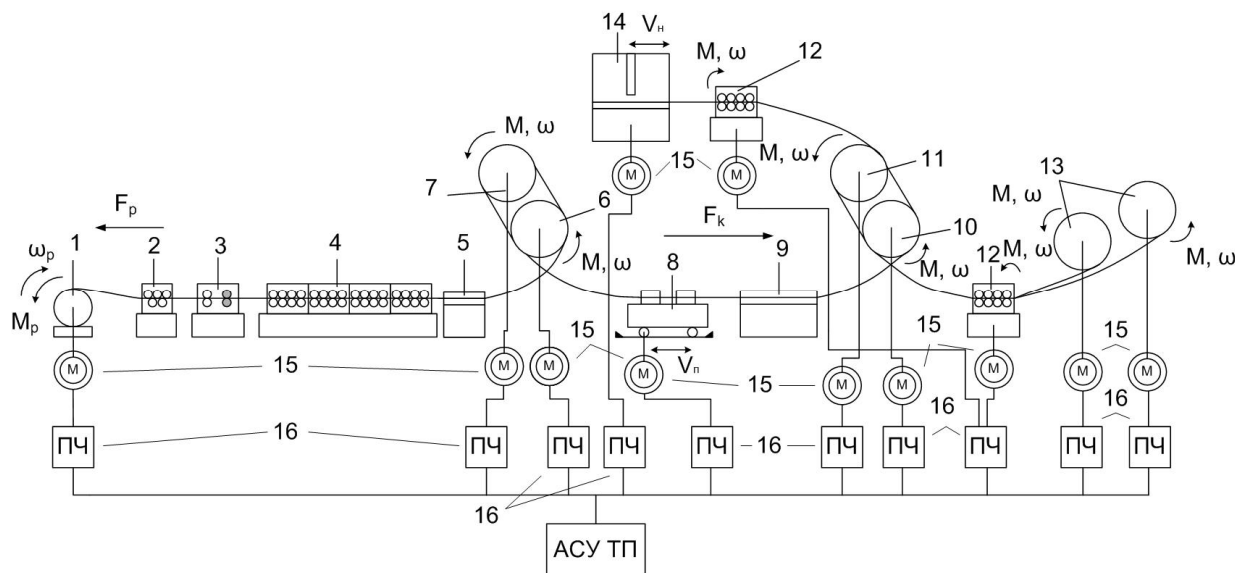


Рис. 1. Структурная схема стана по производству арматуры ISF5: 1 – размоточный аппарат; 2 – роликное правильное устройство; 3 – клеть профилирования; 4 – роликное рихтовальное устройство; 5 – промывочная ванна; 6 – кабестан 1; 7 – кабестан 2; 8 – индукционная печь; 9 – ванна охлаждения; 10 – кабестан 3; 11 – кабестан 4; 12 – подающие ролики; 13 – намоточный аппарат; 14 – отрезной станок, 15 – электродвигатели; 16 – преобразователи частоты

регулирования: контур регулирования угловой скорости ротора ω электродвигателя с подчиненным ему контуром регулирования активной составляющей тока статора I_d и контур регулирования модуля потока сцепления ротора электродвигателя $|\psi|_c$ подчиненным ему контуром регулирования реактивной составляющей тока статора I_q . Информация об угловой скорости ротора ω двигателя и моменте нагрузки M каждого электродвигателя поступает в АСУ ТП стана.

По технологии производства стабилизированной стальной арматуры в рабочем режиме обработки проволоки на станах типа ISF 5 и аналогичных ему станах электроприводы основных агрегатов реализуют следующие функции: электропривод размоточного аппарата формирует и поддерживает на заданном уровне натяжение проволоки в пространствах между размоточным аппаратом 1 и кабестанами 6, 7; электроприводы кабестанов 6, 7 обеспечивают требуемую по технологии скорость обработки проволоки на стане; электроприводы кабестанов 10, 11 формируют и поддерживают на заданном уровне натяжение проволоки в пространстве между двумя группами кабестанов 6, 7 и 10, 11. К электроприводам указанных агрегатов предъявляются следующие типовые технологические требования: поддержание линейной скорости

обработки проволоки с точностью не ниже 5 % от требуемого по технологии значения; поддержание на заданном уровне натяжения проволоки на входе в клеть профилирования при изменении диаметра бунта на размоточном аппарате, при этом величина натяжения проволоки между роликным рихтовальным устройством 4 и кабестаном 6 не должна быть ниже определенной для данного диаметра проволоки величины F_{min} с целью предотвращения пробуксовки проволоки на кабестанах 6, 7; электроприводы кабестанов 10, 11 должны поддерживать на заданном уровне натяжение проволоки в пространстве между кабестанами 6, 7 и 10, 11. Выполнение указанных требований обеспечивает безаварийную работу стана [5].

На практике указанные технологические требования реализуются следующим образом. Задания на значения момента электропривода размоточного аппарата M_p и натяжения между первой и второй группой кабестанов F_{kab} , а также на линейную скорость протягивания проволоки V_l устанавливаются оператором в ручном режиме на панели оператора Simatic OP 270. В качестве задания для электродвигателей первой группы кабестанов 6, 7 и намоточных аппаратов 13 используются задания на угловые скорости вращения двигателей, для электродвигателей второй груп-

пы кабестанов 10, 11, размоточного аппарата 1 и подающих роликов 12 – на момент двигателя. В режиме заправки сигналом задания для всех электроприводов является угловая скорость вращения двигателя.

Актуальность

По данным служб контроля качества арматуры на стане периодически появляются отклонения в значениях глубины насечки вне допустимых пределов (см. таблицу). Возможной причиной этого могут являться параметры величин натяжений между размоточным аппаратом и клетью профилирования и между двумя группами кабестанов, устанавливаемые субъективно обслуживающим персоналом.

В технической литературе технологические требования к электроприводам станов с позиции обеспечения требуемого качества насечки арматуры в автоматическом режиме работы его агрегатов отсутствуют. Отсутствуют также исследования о степени и значимости влияния электроприводов стана по производству стальной арматуры на качество насечки на проволоке.

Постановка задачи

Поэтому в работе поставлены следующие задачи: оценить значимость влияния электроприводов стана на качество насечки арматуры; разработать методику оценки степени влияния электроприводов стана на качество арматуры; определить дополнительные технологические требования к электроприводу размоточного аппарата стана с позиций обеспечения требуемого качества арматуры средствами электропривода.

Экспериментальные исследования

С целью проверки значимости влияния электропривода размоточного аппарата 1, создающего натяжение проволоки в клетке профилирования 3 и электроприводов кабестанов 10, 11, создающих натяжение арматуры в печи 8 и ванне охлаждения 9, на глубину насечки арматуры на стане ISF 5 были проведены экспериментальные исследования. В ходе эксперимента отдельно для случаев изготовления арматуры диаметром d_1 и d_2 : были выбраны уровни варьирования первого фактора (величина момента M_p (см. рис. 1) на электродвигателе размоточного аппарата) $X_1' = 28; 37; 46; 55; 64; 73; 82; 91; 100; 109$ Н·м и второго фактора (величина натяжения F_{kab} (см. рис. 1) в проволоке на участке между кабестанами 6, 7 и 10, 11) $X_2' = 3,9; 11,5$ кН для диаметра d_1 , и первого фактора $X_1'' = 37; 55; 73; 91; 109; 127$ Н·м и второго фактора $X_2'' = 11,5; 29,4$ кН для диаметра d_2 ; проведен полный факторный эксперимент отдельно для случаев изготовления проволоки диаметров d_1 и d_2 , в ходе которого на каждом уровне варьирования фактора X_1 и X_2 проводилось 4-кратное дублирование опыта; в процессе выполнения одного

эксперимента на стане величины факторов X_1 и X_2 не изменялись в процессе обработки одного бунта; после выполнения каждого опыта из готовой продукции выбирался образец и на нем выполнялось измерение глубины насечки $h_{k,j}$ 15 раз, после чего выполнялся расчет отклонения величины насечки $\Delta h_{k,j}$ от нормативного параметра H по выражению:

$$\Delta h_{k,j} = h_{k,j} - H. \quad (1)$$

Результаты измерений сводились в таблицу полного факторного эксперимента.

С целью определения степени влияния факторов X_1 и X_2 и их взаимодействия на функцию цели $\Delta h_{k,j}$ по методике [6] был проведен дисперсионный анализ данных таблиц, в результате которого было установлено: фактор X_1 на уровне значимости $q = 0,05$ значимо влияет на изменение глубины насечки $\Delta h_{k,j}$; влиянием фактора X_2 и взаимодействия факторов $X_1 \cdot X_2$ на величину $\Delta h_{k,j}$ можно пренебречь [7].

Для каждого измеренного значения момента M_p электродвигателя размоточного аппарата было рассчитана его составляющая на создание натяжения между размоточным аппаратом и правильными роликами M_{pa} по выражению

$$M_{pa} = M_p - M_r - M_{xx}, \quad (2)$$

где M_p – момент на валу электродвигателя размоточного аппарата, Н·м; M_r – момент, необходимый для разгиба проволоки, Н·м; M_{xx} – момент холостого хода электродвигателя размоточного аппарата, Н·м [8].

Величина момента разгиба заготовки M_r на выходе из размоточного аппарата определяется из выражения

$$M_r = \frac{S_n}{i_p} \left(\frac{\sigma_T d_n}{4} - \frac{\sigma_T^3 R_k^2}{3E_n^2 d_n} \right), \quad (3)$$

где S_n – площадь поперечного сечения проволоки, м²; i_p – передаточное число редуктора размоточного аппарата; σ_T – предел текучести проволоки-заготовки, Н/м²; d_n – диаметр проволоки-заготовки, м; R_k – радиус намотанного на катушку материала, м; E_n – модуль упругости Юнга, Н/м².

Для определения влияния скорости размотки на изменение момента холостого хода M_{xx} на действующем стане были проведены измерения момента электродвигателя в рабочих диапазонах изменения угловой скорости вращения двигателя ω_p отдельно для проволоки диаметром d_1 и d_2 . При измерении учитывалось изменение радиуса R_k и веса проволоки на катушке. Эксперимент был продублирован три раза с периодом один месяц. В ходе дальнейшего математического анализа постулирована модель вида $M_{xx} = k\omega_p + b$. Получены уравнения регрессии $M_{xx} = 0,012\omega_p + 19,04$ для диаметра проволоки d_1 и $M_{xx} = 0,034\omega_p + 16,94$ для диаметра проволоки d_2 . Для полученных уравнений регрессии рассчитаны доверительные интервалы. Графическая иллюстрация зависимости $M_{xx} = f(\omega_p)$, уравнений регрессии и довери-

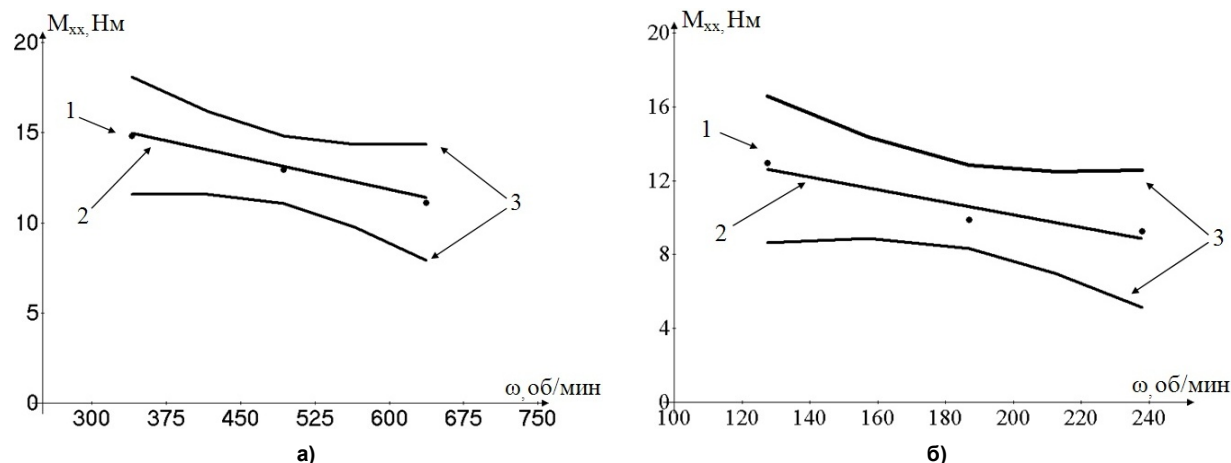


Рис. 2. Графическая иллюстрация зависимости $M_{xx} = f(\omega_p)$ в диапазоне изменения угловой скорости двигателя: а, б – соответственно для проволоки диаметром $d_1 = 5$ мм; $d_2 = 9,98$ мм; 1 – экспериментальные данные; 2 – график уравнения регрессии $M_{xx} = k\omega_p + b$; 3 – графики доверительного интервала уравнения регрессии

тельных интервалов для проволоки диаметром d_1 и d_2 приведена на рис. 2.

Расчет натяжения проволоки в пространстве «размоточный аппарат – правильное устройство» был выполнен по выражению

$$F_p = \frac{M_{pa} i_p}{R_k} \quad (4)$$

Расчет усилия протягивания проволоки через правильные ролики был выполнен по методике А.Л. Тарнавского [9].

Угол обхвата катанкой ролика:

$$\rho = \frac{1}{2}(d_n + D), \quad (5)$$

где D – диаметр ролика, м.

Усилие протягивания проволоки через n роликов рассчитывается по формуле

$$F_q = 1,36 \left[3 - \left\{ \frac{(\rho + r_n) \sigma_T}{r_n E_n} \right\}^2 \right] \frac{\sigma_T d_n^3}{z} \left(1 + f \frac{R_1}{R} \right)^{\frac{n-1}{2}}, \quad (6)$$

где r_n – радиус проволоки-заготовки, м; z – расстояние между осями первого и последнего роли-

ков, м; f – коэффициент трения сталь-сталь; R_1 – радиус цапфы ролика, м; R – радиус ролика, м; n – количество роликов.

Расчет натяжения проволоки в пространстве «размоточный аппарат – клеть профилирования» был выполнен по выражению

$$F_c = F_p + F_q. \quad (7)$$

С помощью линии тренда была постулирована модель первого порядка вида $\Delta h = A_1 + A_2 \ln(F_c)$. По методике [6] выполнен расчет величин коэффициентов уравнения регрессии.

Результаты экспериментальных исследований

В результате регрессионного анализа получены следующие уравнения регрессии: для диаметра проволоки d_1 : $\Delta h = 0,0277 - 0,008 \ln(F_c)$; для диаметра d_2 : $\Delta h = 0,0467 - 0,009 \ln(F_c)$.

Графическая иллюстрация уравнений регрес-

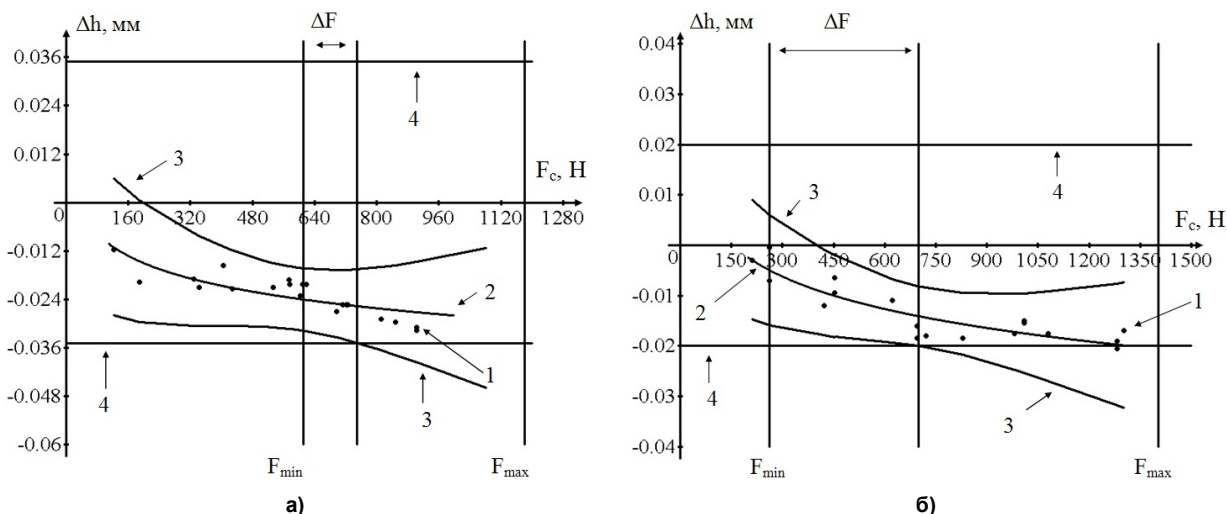


Рис. 3. Графическая иллюстрация изменения глубины насечки арматуры Δh от натяжения M_p , а также: а – модель вида $\Delta h = 0,0277 - 0,008 \ln(F_c)$ для проволоки диаметром d_1 ; б – модель вида $\Delta h = 0,0467 - 0,009 \ln(F_c)$ для прутков диаметром d_2 мм; 1 – экспериментальные данные; 2 – график уравнения регрессии; 3 – графики доверительного интервала уравнения регрессии; 4 – допуски изменения глубины насечки по технологической инструкции

сии и доверительных интервалов для проволоки диаметром d_1 и d_2 приведена соответственно на рис. 3.

В ходе дальнейшего регрессионного анализа установлено, что полученные модели адекватны экспериментальным данным и коэффициенты уравнений регрессии значимо отличаются от нуля.

Согласно рис. 3 для обеспечения глубины насечки арматуры в пределах допусков: диаметром d_1 требуется поддержание натяжения F_c в пределах от 610 до 750 Н; диаметром d_2 поддержание F_c в пределах от 261 до 700 Н.

Методика исследования

Проведенные исследования позволили разработать и предложить техническим службам общую методику оценки влияния электропривода размоточного аппарата на качество насечки арматуры:

1. В пределах рекомендуемого изготовителем стана диапазона изменения задания на величину момента электродвигателя размоточного аппарата $M_p \in (M_{\min}; M_{\max})$, где M_{\min} – минимально возможная величина момента электродвигателя размоточного аппарата, определяющая недопустимость проскальзывания проволоки на первой паре кабестанов 6, 7; M_{\max} – максимально возможная величина момента, определяющая недопустимость обрыва проволоки; ΔM – дискрета изменения момента, определяют уровни варьирования фактора M_{p_i} .

2. На каждом уровне фактора M_{p_i} , где $i = 1 \dots n$, где n – число уровней варьирования фактора M_{p_i} , выполняется не однократное $j = 1 \dots N$, где N – число дублирования опыта на фиксированном уровне фактора M_{p_i} , проводится измерение глубины насечки арматуры $h_{k,j}$. При каждом измерении величины h_k выполняется t измерений. Рассчитывается отклонение глубины насечки от требуемого значения по формуле (1). Создается диагностический массив $A[M_{p_i}, \Delta h_{k,j}]$.

3. Выполняется расчет составляющей момента двигателя размоточного аппарата, создающей натяжение в проволоке на входе в правильное устройство по выражениям (2), (3).

4. Выполняется расчет натяжения проволоки в пространстве «размоточный аппарат – правильное устройство» по выражению (4).

5. Выполняется расчет усилия протягивания проволоки через правильные ролики по выражениям (5), (6).

6. Выполняется расчет натяжения проволоки в пространстве «размоточный аппарат – клеть профилирования» по выражению (7).

7. Массив экспериментальных данных вида $A[M_{p_i}, \Delta h_{k,j}]$ преобразуется в массив вида $B[F_c, \Delta h_{k,j}]$.

8. Постулируется уравнение регрессии $\Delta h = f(F_c)$ и выполняется расчет его коэффици-

ентов и доверительного интервала уравнения регрессии.

Проведенные исследования позволяют сформулировать следующие дополнительные технологические требования к электроприводу размоточного аппарата с целью обеспечения качества насечки арматуры в пределах допусков (см. таблицу):

1. В системе управления электроприводом размоточного аппарата должна быть предусмотрена возможность расчета требуемого по технологии натяжения между размоточным аппаратом и клетью профилирования.

Для реализации данного технологического требования необходимо разработать методику расчета целесообразного изменения момента электродвигателя размоточного аппарата с учетом изменения диаметра смотки проволоки с катушки барабана в целях стабилизации натяжения перед клетью профилирования.

2. В системе управления электроприводом размоточного аппарата должна быть предусмотрена возможность целесообразного изменения момента электродвигателя размоточного аппарата в целях поддержания натяжения на заданном уровне.

Заключение

Согласно проведенным исследованиям для обеспечения качества насечки арматурной проволоки в пределах допусков на стане ISF5 ОАО «ММК-МЕТИЗ» диаметром d_1 требуется поддержание натяжения F_c в диапазоне от 610 до 750 Н и в диапазоне от 261 до 700 Н для проволоки диаметром d_2 .

Реализация указанных требований средствами автоматизированного электропривода размоточного аппарата стана по производству стальной арматуры позволит повысить качество продукции.

Дальнейшие исследования будут направлены на разработку системы, алгоритма и программы управления электроприводом размоточного аппарата, реализующих дополнительные технологические требования.

Литература

1. Лебедев, В.Н. Производство высокопрочной стабилизированной арматуры для железобетонных шпал нового поколения / В.Н. Лебедев, А.Г. Корчунов, М.В. Чукин // *Металлург.* – 2011. – № 1. – С. 75–78.

2. Высокопрочная арматура для железобетонных шпал нового поколения / С.Н. Ушаков, М.В. Чукин, Г.С. Гун и др. // *Путь и путевое хозяйство.* – 2012. – № 11. – С. 25–27.

3. ТИ ММК-МЕТИЗ-К.ПР-28-2008. Производство проволоки и проката из углеродистой стали для армирования предварительно напряженных железобетонных конструкций на линии стабилизации. – Магнитогорск: ОАО «ММК-МЕТИЗ», 2008. – 33 с.

4. PC WIRE LINE ISF5: док. к обор. – Italia: Mario Frigerio S.p.A., 2006. – 166 с.

5. Радионов, А.А. Автоматизированный электропривод станков для производства стальной проволоки: моногр. / А.А. Радионов. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ», 2007. – 311 с.

6. Лукьянов, С.И. Основы инженерного эксперимента: учеб. пособие / С.И. Лукьянов, А.Н. Панов, А.Е. Васильев. – Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2006. – 94 с.

7. Сафин, И.Р. Исследование влияния параметров настройки электроприводов стана ISF5 на качество продукции / И.Р. Сафин, С.И. Лукьянов, Е.Э. Бодров // *Электротехнические системы*

и комплексы: междунар. сб. науч. тр. / под ред. Г.П. Корнилова, Е.А. Пановой. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им Г.И. Носова, 2013. – Вып. 21. – С. 33–40.

8. Радионов, А.А. Автоматизированный электропривод намоточно-размоточных устройств агрегатов прокатного производства / А.А. Радионов, А.С. Карандаев. – Магнитогорск: МГТУ, 1999. – 131 с.

9. Тарнавский, А.Л. Силовые условия волочения с использованием роликовых окалинломателей / А.Л. Тарнавский // *Сталь*. – 1965. – № 2. – С. 182–184.

Сафин Ильдар Рафкатович, аспирант кафедры «Электроника и микроэлектроника», Магнитогорский технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск; ildar.crz@yandex.ru.

Лукьянов Сергей Иванович, д-р техн. наук, профессор кафедры «Электроника и микроэлектроника», Магнитогорский технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск; ieiac@mail.ru.

Бодров Евгений Эдуардович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Электроника и микроэлектроника», Магнитогорский технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск; forheartist@mail.ru.

Поступила в редакцию 16 мая 2014 г.

**Bulletin of the South Ural State University
Series “Power Engineering”
2014, vol. 14, no. 3, pp. 71–77**

EVALUATION TECHNIQUE FOR INFLUENCE OF UNWINDING APPARATUS ELECTRIC DRIVE ON QUALITY OF PERIODIC PROFILE OF STEEL FITTINGS

I.R. Safin, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation, ildar.crz@yandex.ru,

S.I. Lukyanov, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation, ieiac@mail.ru,

E.E. Bodrov, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation, forheartist@mail.ru

The paper presents results of experimental and theoretical studies on how profile quality (depth of cuts) is influenced by electric drive of die-rolling mill ISF in OAO “ММК-МЕТИЗ” (JSC) producing stock for reinforcement of concrete sleepers. It is proved that change of load torque in electric drive of unwinding apparatus inducing wire tension before the shaping stand significantly influences the change of depth of cuts in reinforcement wire. For unwinding apparatus of die-rolling mill ISF 5 we obtained empirical expressions and their confidence intervals of influence of angular velocity of unwinding apparatus electric drive on idling torque at treatment of wire with diameters $d_1 = 5$ mm and $d_2 = 9.98$ mm. For process parameters of reinforcement wire producing on die-rolling mill ISF 5 we obtained empirical expressions and their confidence intervals of influence of tension before the shaping stand on change of depth of cuts in reinforcement wire. It is proved that obtained empirical expressions correspond to experimental data, and coefficients of regression equations are significantly different from zero. We found range of tension acceptable change for producing of reinforcement wire with diameters $d_1 = 5$ mm and $d_2 = 9.98$ mm considering provided possible change of depth of cuts within specification tolerance. We developed general evaluation technique for influence of die-rolling mill unwinding apparatus electric drive on depth of cuts in wire. We developed additional process requirements to unwinding apparatus electric drive which could be implemented to provide changes in depth of cuts within tolerance values.

Keywords: fitting, depth of cuts, electric drive, unwinding apparatus.

References

1. Lebedev V.N., Korchunov A.G., Chukin M.V. [Production of the Stabilized High-Strength Fitting for Concrete Sleepers of New Age]. *Metallurg* [Metallurgist], 2011, no. 1, pp. 75–78. (in Russ.)
2. Ushakov S.N., Chukin M.V., Gun G.S., Korchunov A.G., Polyakova M.A. [High-Strength Fitting for Concrete Sleepers of New Age]. *Put i putevoe khozyaistvo* [Road and road's economy], 2012, no. 11, pp. 25–27. (in Russ.)
3. *TI MMK-METIZ-K.PR28-2008. Proizvodstvo provoloki i prokata iz uglerodistoy stali dlya armirovaniya predvaritelno napryazhennykh zhelezobetonnykh konstruktsiy na linii stabilizatsii* [TI MMK-METIZ-K.PR28-2008. Production of the Wire and produce from carbonic steel for initially strained concrete constructions' reinforcement at stabilization line]. Magnitogorsk, OAO "MMK-METIZ", 2008. 33 p.
4. PC WIRE LINE ISF5. Italia, Mario Frigerio S.p.A., 2006. 166 p.
5. Radionov A.A. *Avtomatizirovannyi elektroprivod stanov dlya proizvodstva stalnoy provoloki* [Automated Electric Drive of the Steel Wire Production Lines]. Magnitogorsk, MGTU, 2007. 311 p.
6. Lukyanov S.I., Panov A.N., Vasilev A.E. *Osnovy inzhenernogo eksperimenta* [Basics of the Engineering Experiment]. Magnitogorsk, MGTU, 2006. 94 p.
7. Safin I.R., Lukyanov S.I., Bodrov E.E. [Research of the Electric Drive Settings' Influence to the Production Quality at ISF5 Production Line]. *Elektrotekhnicheskie komplekсы i sistemy* [Electrotechnical complexes and systems]. Magnitogorsk, MGTU, 2013, vol. 21. pp. 33–40. (in Russ.)
8. Radionov A.A., Karandaev A.S. *Avtomatizirovannyi elektroprivod namotochno-razmotochnykh ustroystv agregatov prokatnogo proizvodstva* [Automated electric drive of the winding-unwinding devices at rolling aggregates]. Magnitogorsk, MGTU, 1999. 131 p.
9. Tarnavskiy A.L. [Strength terms of drawing process with applying of the rolled descaling]. *Stal* [Steel], 1965. no. 2, pp. 182–184. (in Russ.)

Received 16 May 2014