

УДК 693.554.1:621.825.22

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ МУФТОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ АРМАТУРЫ С ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ РЕЗЬБОЙ

Д. В. ГАЛУШКИН

*ОАО «Амкодор-семаш», г. Дзержинск,
Республика Беларусь*

**И. Б. ОДАРЧЕНКО, В. М. ТКАЧЕВ,
Ю. Л. БОБАРИКИН, А. М. СЕЛЮТИН**

*Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого»,
Республика Беларусь*

Ключевые слова: механические муфтовые соединения, арматурные стержни, армирование железобетонных конструкций.

Введение

В Республике Беларусь до недавнего времени при возведении железобетонных конструкций в основном применялись сварные и нахлесточные соединения арматуры. Это объясняется тем, что в Советском Союзе в основном преобладало крупнопанельное строительство. С увеличением объемов возведения из монолитного железобетона возникла необходимость применения более надежных и экономичных технологий в промышленном и гражданском строительстве. Одной из таких технологий стало применение механических муфтовых соединений при армировании железобетонных конструкций вместо сварки или нахлестки с целью получения соединения, равнопрочного основному металлу.

В Республике Беларусь эта задача стала особенно актуальной с началом строительства Островецкой АЭС.

Из механических муфтовых соединений арматурных стержней наиболее перспективными являются муфтовые соединения с параллельной и конусной резьбой.

При использовании соединения с конусной резьбой обеспечивается предел прочности, сравнимый со свойствами самого стержня только при статическом нагружении. Однако при переменных нагрузках усталостная прочность соединения во многих случаях не удовлетворяет предъявляемым требованиям из-за недостаточной пластичности.

Механические соединения с параллельной резьбой обеспечивают надежное равнопрочное соединение и непрерывную конструктивную целостность арматуры в железобетонных конструкциях и могут применяться при возведении зданий и сооружений различного назначения, включая здания и сооружения повышенной ответственности и при любых воздействиях и видах нагрузки. Однако проблемы повышения усталостной прочности такого типа соединений остаются актуальными и требуют дополнительных исследований.

Мировыми лидерами в производстве оборудования для муфтовых соединений с параллельной резьбой и оказания услуг в этой отрасли являются Ancon Building Products (Великобритания) [1], Dextra Group (Гонконг), Changzhou Jianlian Reinforcing Bar Conjunction Co. Ltd (Китай). Технология и конструкция оборудования для из-

готовления резьбовых участков арматурных стержней являются предметом интеллектуальной собственности данных компаний, что позволяет им проводить жесткую, монопольную политику на международном строительном рынке.

По сути, внесение муфтовых соединений в проектную документацию предполагает использование только лицензионного или арендного оборудования для создания резьбы на концах арматурных стержней. При этом эксплуатация оборудования должна происходить в соответствии с требованиями и инструкциями поставщика оборудования. Техника безопасности также должна соответствовать требованиям и инструкциям поставщика оборудования, что не всегда соответствует отечественным нормативным документам.

Следует также отметить, что все соединения разрабатывались применительно к арматурным сталям, выпускаемым в этих же странах, с их национальным периодическим профилем, особенностями технологии выплавки и проката, для соответствующих климатических условий [2]. Поэтому прямой перенос разработанных за рубежом конструкций стыков и оборудования для их получения на отечественную арматурную сталь не всегда оправдан.

Таким образом, для успешного конкурирования, как на внутреннем рынке, так и за рубежом решение этой задачи требует разработки технического решения оборудования и конструкции муфтового соединения для арматурных стержней с цилиндрической резьбой, отличающихся патентной новизной.

Целью работы является разработка технологической схемы оборудования для получения утолщений на арматурных стержнях и последующего нарезания цилиндрической резьбы, а также повышение усталостной прочности и технологичности соединения.

Основная часть

Разрушение резьбовых соединений при переменных нагрузках в большей степени связаны со значительной концентрацией напряжений во впадинах резьбы, поэтому одним из путей повышения надежности соединения является повышение конструктивной прочности.

Нагрузка, прикладываемая к муфтовому соединению, распределяется по виткам резьбы неравномерно. Наиболее нагруженным является первый виток от торца соединителя и является концентратором напряжений, что снижает усталостную прочность соединения. Один из путей конструктивных решений по уменьшению неравномерности распределения нагрузки по виткам – изменение податливости поперечного сечения соединения или витков резьбы.

Нагрузка $q(z)$ между витками резьбы стержня и соединителя распределяется по глубине завинчивания по закону гиперболического косинуса [3]:

$$q(z) = \frac{Fm}{\operatorname{sh} mH} \operatorname{ch} mz, \quad (1)$$

где F – нагрузка, прикладываемая к соединению; m – коэффициент, учитывающий геометрию соединения и механические свойства материалов арматурного стержня и муфты; H – глубина завинчивания; z – координата.

Из приведенного соотношения следует, что для достижения равномерности распределения нагрузки в соединении резьбовой конец арматурного стержня может быть выполнен с полостью переменного сечения. В первом приближении полость может быть выполнена в виде конуса с углом при вершине осевого сечения равным $\sim 10^\circ$ (рис. 1). Для уменьшения концентрации напряжений вершину конуса необходимо скруглить радиусом равным приблизительно 0,2 наружного диаметра резьбы.

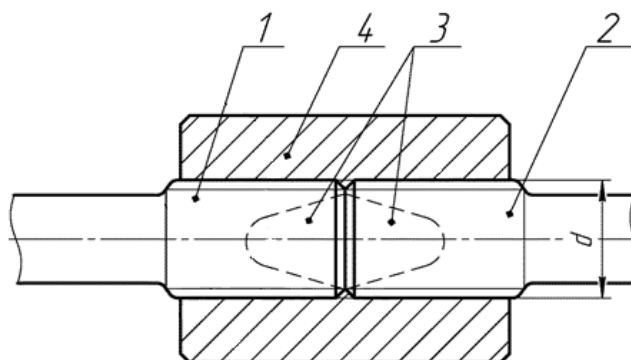


Рис. 1. Муфтовое соединение с резьбовым концом и полостью переменного сечения:
 1, 2 – арматурные стержни с резьбой на утолщенных концах; 3 – полость;
 4 – муфта с внутренней резьбой

Технически полость может быть получена, например, прошивкой, совмещенной одновременно с высадкой [4].

Вариантом решения поставленной задачи по перераспределению нагрузки между витками резьбы может быть использование соединителя с внутренней резьбой с шагом больше шага резьбы на утолщенных концах арматурных стержней.

При работе шаг муфты в результате сжатия уменьшается, а шаг резьбы арматурного стержня в результате растяжения увеличивается, что благоприятно влияет на распределение нагрузки.

Аналогичный результат будет при номинальном шаге резьбы муфты и уменьшенном шаге резьбы арматурного стержня.

Зависимость между относительным изменением шага резьбы соединителя и шага резьбы на концах арматурных стержней и напряжениями в них может быть представлена в виде [3]:

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2E}, \quad (2)$$

где ΔP – разность шагов резьбы муфты и резьбы арматурных стержней; P – шаг резьбы муфты; σ_1 и σ_2 – напряжения в муфте и арматурных стержнях соответственно; E – модуль упругости материалов соединителя и арматурных стержней.

Из соотношения (2) следует, что оптимальное изменение шага зависит от нагрузки. Так как испытания на деформативность и усталостную прочность механических муфтовых соединений проводят при напряжениях равных 0,6 от предела текучести материала арматурных стержней [5], то оптимальное относительное изменение шага запишется в виде

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{0,6\sigma_{T1} + 0,6\sigma_{T2}}{2E}, \quad (3)$$

где σ_{T1} и σ_{T2} – предел текучести материалов арматурного стержня и муфты соответственно.

Например, для арматурного стержня номинального диаметра 16 мм из стали А500С ГОСТ Р 52544–2006 с пределом текучести $\sigma_{T1} = 500$ МПа на утолщенном конце нарезается резьба М20 × 2,5, муфта изготавливается из стали 45 ГОСТ 1050–2013 с пределом текучести $\sigma_{T2} = 355$ МПа. Тогда относительное изменение шага при модуле упругости $E = 2 \cdot 10^5$ МПа будет равно

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{0,6 \cdot 500 + 0,6 \cdot 355}{2E} = 1,282 \cdot 10^{-3}.$$

В соединителе в углубления между утолщенными с резьбой концами арматурных стержней может быть установлен стальной шар с диаметром больше диаметра оснований углублений, но не более внутреннего диаметра соединителя (рис. 2). При свинчивании в соединителе резьбовых концов арматурных стержней 1, 2 до упора в стальной шар 5 с заданным усилием затяжки создаются радиальные нагрузки на торцах стержней, а следовательно, и дополнительная нагрузка на недогруженные витки резьбы. Кроме этого использование шара позволяет получить дополнительный эффект. К торцам стержней предъявляется требование отклонения от перпендикулярности не более $\pm 1^\circ$ [5] для предотвращения появления напряжений изгиба, резко снижающих прочность соединения. Использование шара позволяет устранить возникновение напряжений изгиба.

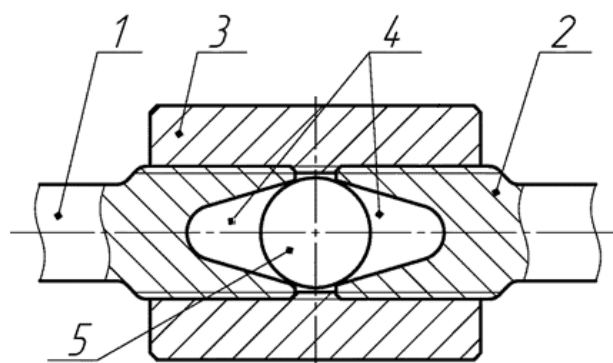


Рис. 2. Муфтовое соединение со стальным шаром в полости

Реализация вышеприведенных конструктивных мероприятий позволяет повысить усталостную прочность муфтового соединения арматурных стержней на 20–30 %.

Технологический процесс получения резьбы на предварительно утолщенных концах арматуры предполагает последовательную реализацию трех основных операций: мерного деления арматуры, формирования утолщений для последующей резьбы и образования резьбы на утолщенных участках (рис. 3).

С целью выбора оборудования для операции холодной высадки утолщенных концов арматурных стержней был выполнен анализ требуемых технологических параметров высадки. В основу принципа формирования утолщений положен процесс холодной пластической деформации концов арматурной стали класса прочности А500С (рис. 4). Утолщение конца арматуры образуется в зоне прессования, ограниченной двумя зажимами 2, не подвижными по отношению к оси арматурного стержня 1, и основным прессующим пуансоном 3.

Основная задача исследований состояла в определении оптимальной геометрии прессующей поверхности пуансона, формы зоны прессования, в определении начальных параметров прессования.

В результате исследований определены два типа рекомендуемой геометрии прессующей поверхности пуансона: в виде плоской плиты с углублением для формирования фаски, используемой при последующем заходе резьбы (рис. 5, а); в виде плоской плиты с прошивком, обеспечивающим формирование внутренней конусной поверхности в торце арматуры (рис. 5, б).

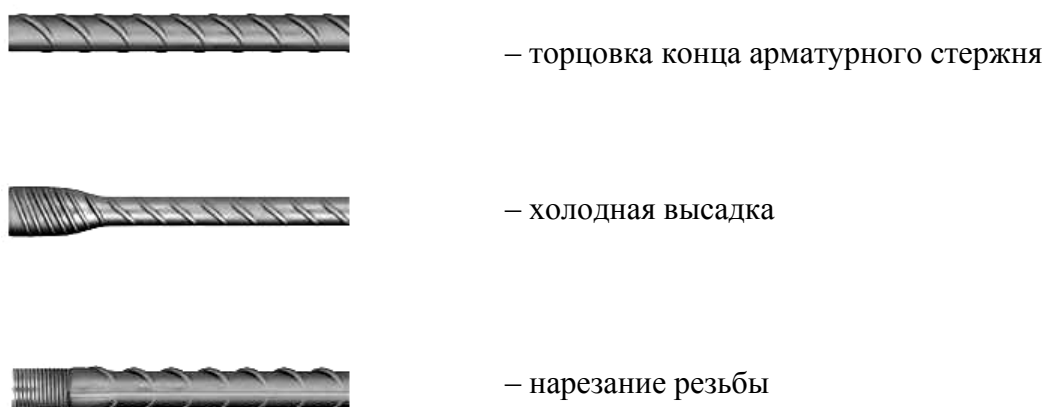


Рис. 3. Технологическая последовательность получения резьбы на утолщенных концах арматурных стержней

Разработка условий и режимов получения утолщений на участках арматурных стержней проводилась на основании данных натурального эксперимента и результатов численных расчетов, позволивших создать математическую модель и провести последующее компьютерное моделирование и расчет основных технологических параметров процесса для стержней размерного ряда диаметров 16–40 мм. При моделировании процесса холодного прессования концов арматуры А500С для последующей нарезки резьбы исследовались профили арматуры № 16, 25, 32 и 40. Схема процесса представлена на рис. 4.

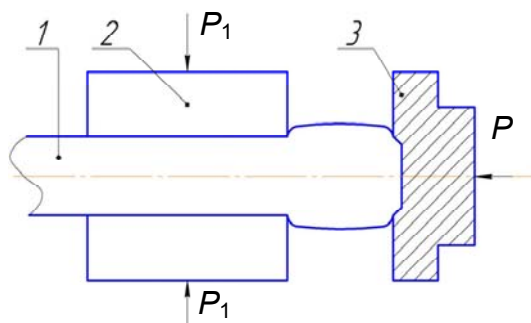


Рис. 4. Схема процесса холодного прессования концов арматуры: 1 – арматура; 2 – прижимы; 3 – пуансон; P – усилие прессования; P_1 – усилие прижимов

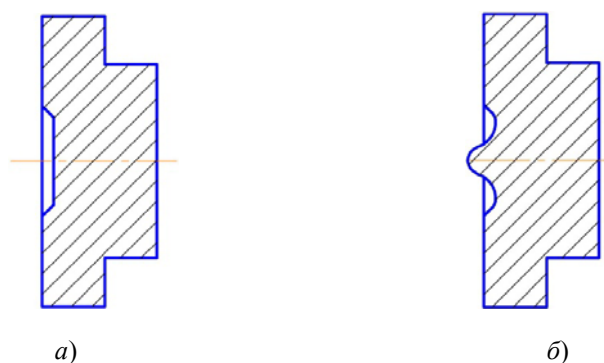


Рис. 5. Типы пуансонов: а – плоская плита с углублением; б – плита с прошивнем

При моделировании процесса были приняты следующие допущения:

- материал деформируемого тела (заготовки), изотропный, сплошной, несжимаемый, пластичный;
- пуансон и прижимы были приняты абсолютно жесткими телами;
- вся заготовка нагрета по объему до температуры 20 °С;
- температура инструмента в процессе прессования постоянна;
- заготовка связана с прижимами жесткой заделкой;
- усилие прижимов определяется как величина обратная усилию, действующему со стороны заготовки на стенки прижимов в процессе прессования;
- контактное трение подчиняется закону Амонтона–Куллона.

По окончании прессования конец арматуры имеет бочкообразную форму (рис. 6). Необходимо снять часть металла, чтобы получить на конце арматуры цилиндр диаметром d и длиной l для последующей нарезки резьбы.



Рис. 6. Арматура после прессования

На рис. 7–10 представлены картины распределения напряжений в заготовке в процессе прессования арматуры. Из распределений напряжений в очаге деформации при формировании утолщения плитой с углублением для фаски (рис. 7, а; рис. 8, а; рис. 9, а; рис. 10, а) следует, что для очага деформации характерна высокая неравномерность распределения напряжений. Это говорит о том, что прессование плоским инструментом, даже при наличии центрующей фаски, отличается нестабильностью пластического течения металла в очаге деформации. Поэтому преимущество этого вида пуансона состоит только в возможности организовать центрование торца при его обработке давлением и в формировании фаски для захода резьбы и исключения последующей операции нарезания резьбы. Из распределений напряжений в очаге деформации при формировании утолщения плитой с прошивнем (рис. 7, б; рис. 8, б; рис. 9, б; рис. 10, б) следует, что дополнительная прошивка торца арматуры не только обеспечивает более устойчивое центрирование, но и способствует росту стабильности напряженного состояния очага деформации. Это указывает на более высокую стабильность процесса образования утолщения.

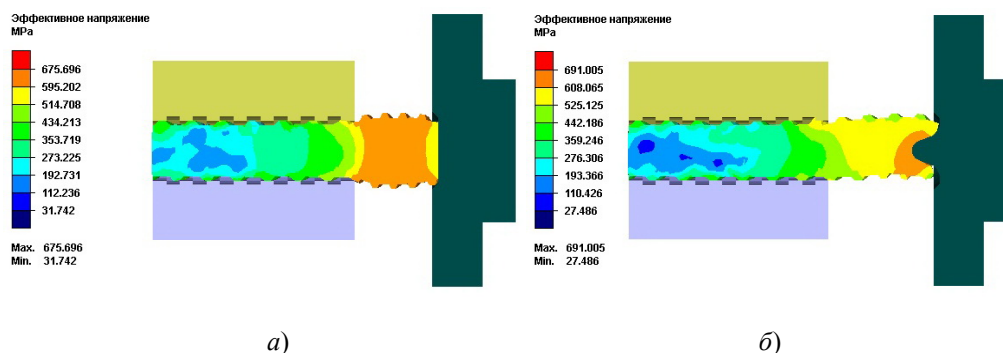


Рис. 7. Распределение напряжений при прессовании арматуры № 16:
а – плитой с углублением; б – плитой с прошивнем

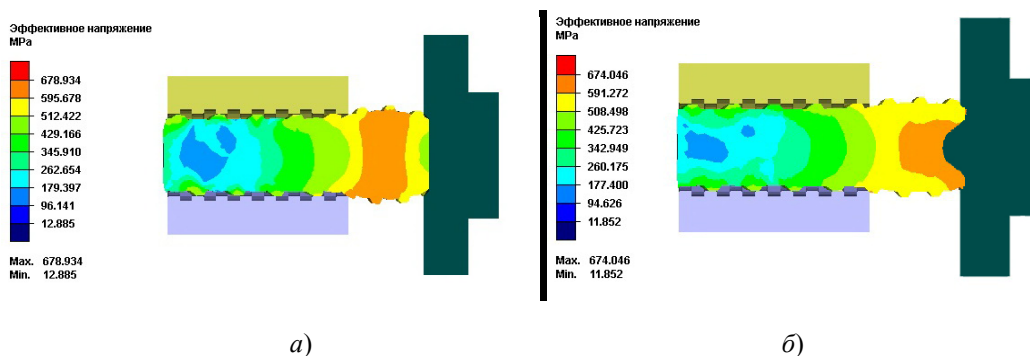


Рис. 8. Распределение напряжений при прессовании арматуры № 20:
 а – плитой с углублением; б – плитой с прошивнем

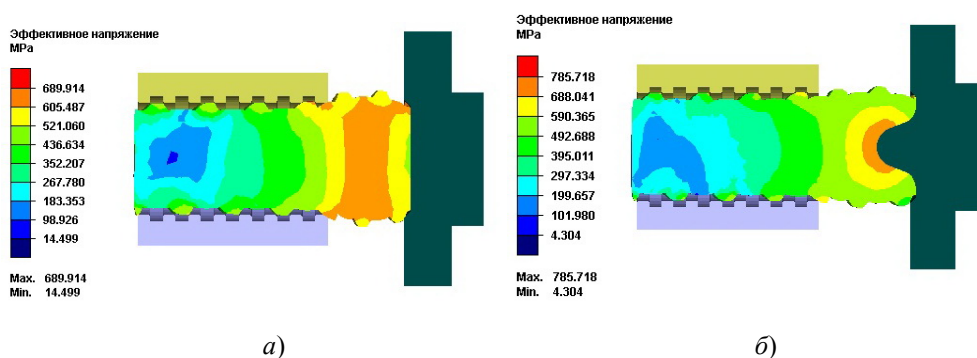


Рис. 9. Распределение напряжений при прессовании арматуры № 32:
 а – плитой с углублением; б – плитой с прошивнем

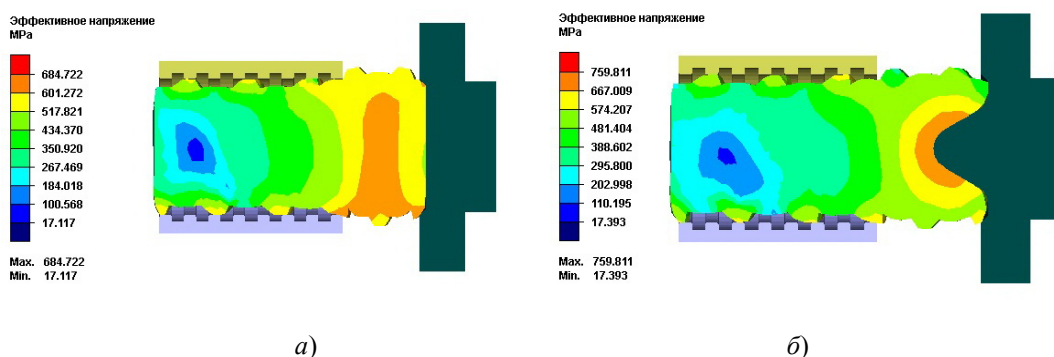


Рис. 10. Распределение напряжений при прессовании арматуры № 40:
 а – плитой с углублением; б – плитой с прошивнем

В результате моделирования определены усилия прессования и прижимов, а также геометрические размеры цилиндров для нарезки резьбы (табл. 1 и 2).

Таблица 1

Результаты численного моделирования

Номер арматуры	Усилие прессования, кН		Усилие прижимов, кН		Длина участка l , мм		Диаметр участка d , мм	
	прессование	прошивка	прессование	прошивка	прессование	прошивка	прессование	прошивка
16	210	157	45	43	22–25	24–27	17–19	17
25	451	381	112	148	22–23	26–29	25–26	25–27

Окончание табл. 1

Номер арматуры	Усилие прессования, кН		Усилие прижимов, кН		Длина участка l , мм		Диаметр участка d , мм	
	прессование	прошивка	прессование	прошивка	прессование	прошивка	прессование	прошивка
32	824	622	132	112	24–25	25–27	33–34	33–35
40	1290	807	192	191	24–25	25–28	40–42	41–42

Таблица 2

Настроечные параметры пресса

Номер арматуры	Свободный конец, мм		Ход пуансона, мм	
	прессование	прошивка	прессование	прошивка
16	50	50	15	15
25	50	50	15	20
32	50	50	15	23
40	50	50	15	25

Исходя из анализа известных технологических и компоновочных решений по организации производственных участков изготовления резьбы на утолщенных участках арматуры и требований нормативных документов [5] предлагается следующая компоновочная схема расположения технологического оборудования на производственном участке (рис. 11) [6].

В соответствии с предлагаемой компоновочной схемой технологический процесс получения резьбы на предварительно утолщенных концах арматуры предполагает последовательную реализацию следующих технологических операций: подготовки и мерного деления арматуры, формирования утолщенных участков для последующего образования резьбы, непосредственно формирования резьбы на утолщенных участках, контроль качества резьбы. Отличительной особенностью организации основных операций является то, что формирование утолщений и образование резьбы осуществляется в рамках работы одной технологической системы. Пресс и резбонарезной станок при этом размещены на одной раме последовательно, так что оси основного прессующего цилиндра и резбонарезной головки располагаются на одной горизонтальной прямой. При этом после формирования утолщения на концевом участке арматурного стержня во время обратного хода основного прессующего цилиндра фасонный пуансон отводится из зоны прессования, создавая возможность передачи стержня к резбонарезной головке через полость в штоке гидроцилиндра. После образования резьбы на утолщенном участке арматуры стержень обратным ходом возвращается на транспортную клетку и передается на участок ОТК.

Производство предлагаемой компоновочной схемы технологического оборудования будет ориентировано, в основном на российский рынок. Данное обстоятельство требует соответствия выполняемых разработок нормативной базе РФ.

С точки зрения состава и численных значений контролируемых параметров российские нормативные документы во многом аналогичны основным зарубежным стандартам (Великобритания – BS 8110 и BNF.ES.0039, Германия – DIN 1045, США – ACI 318 и т. д.). Следует отметить, что требование равнопрочности муфтового соединения для ответственных объектов имеется у России, Великобритании и США, при этом Франция, Германия и азиатские страны допускают 5%-ю потерю прочности при муфтовом соединении арматуры. Компенсация потери прочности достигается повышением насыщенности арматуры, что снижает экономическую эф-

фективность железобетонных конструкций. Требования значения деформативности соединения после разовой фиксированной нагрузки в российских нормативных документах являются наиболее «жесткими» из имеющихся в стандартах индустриально развитых стран.

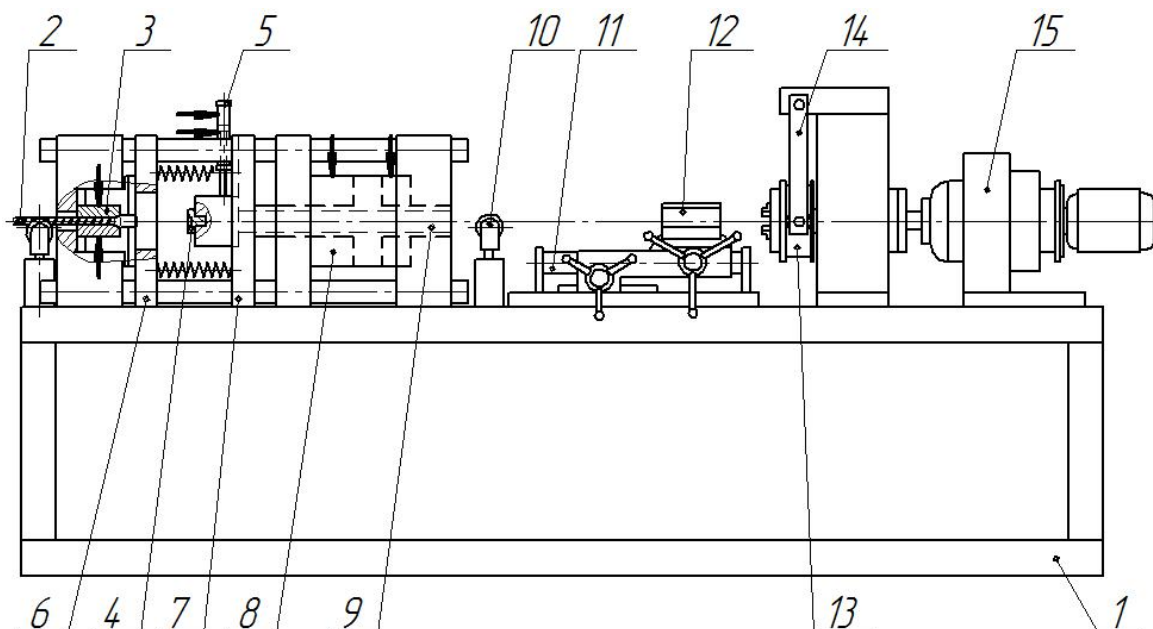


Рис. 11. Компонировочная схема устройства для получения утолщений на арматурных стержнях и последующего нарезания резьбы:
 1 – рама; 2 – арматурный стержень; 3 – клиновый зажим; 4 – пуансон; 5 – механизм управления пуансоном; 6 – плита управления клиновым зажимом; 7 – подвижная плита пуансона; 8 – гидроцилиндр; 9 – шток гидроцилиндра полый; 10 – катковая опора; 11 – механизм подачи арматурного стержня; 12 – винтовой зажим; 13 – резьбонарезная головка; 14 – механизм управления резьбонарезной головкой; 15 – мотор-редуктор

Заключение

На основе проведенного патентного поиска разработаны способ и устройство для получения утолщений на концах арматурных стержней и последующего получения наружной резьбы. Разработана также конструкция механического муфтового соединения арматурных стержней, обладающая повышенной усталостной прочностью. Технические решения защищены двумя патентами на объекты интеллектуальной собственности.

Проведен анализ известных технологических и компоновочных решений при организации заготовительных участков по изготовлению резьбы на утолщенных участках арматуры, который положен в основу предложенного варианта организации производственного процесса с использованием заявленных способа и устройств.

Реализация полученных результатов обеспечит возможность разработки отечественного оборудования для формирования резьбовых участков на арматурных стержнях ответственного назначения и будет способствовать дальнейшему внедрению импортозамещающих технологий и строительных инноваций в Республике Беларусь, а также расширению экспортных возможностей.

Литература

1. Соединения строительной арматуры механические с использованием муфт производства «Ancon Building Products» ТУ 5800-012-56294930–2007. – СПб., 2007.

2. Балючик, Э. А. Новая конструкция стыков стержневой арматуры / Э. А. Балючик, С. А. Лок, Н. А. Добровольский // Транспорт. стр-во. – 2012. – № 4. – С. 18–20.
3. Биргер, И. А. Резьбовые соединения. Библиотека конструктора / И. А. Биргер, Г. Б. Иосилевич. – М. : Машиностроение, 1973. – 256 с.
4. Механическое соединение арматурных стержней : пат. 11327 U Респ. Беларусь, МПК E04 C 5/01 / А. А. Квитанов, Д. В. Галушкин, В. М. Ткачев, И. Б. Одарченко, Ю. Л. Бобарикин, А. М. Булкин, А. В. Мосензовенко ; заявитель ОАО «Гомельский завод литья и нормалей». – № u 20160265 ; заявл. 22.08.2016 ; опубл. 30.04.2017 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2017. – № 2. – С. 143–144.
5. ТУ ВУ 400051772.127–2015. Соединения арматуры механические резьбовые. – Введ. 17.09.2015. – 29 с.
6. Пресс для формирования утолщений на арматурных стержнях, система для изготовления арматурного стержня с утолщением и резьбой на нем, арматурный стержень и соединительный арматурный узел на основе такого стержня : пат. 11465 U Респ. Беларусь, МПК B21 J 5/08 / А. А. Квитанов, Д. В. Галушкин, В. М. Ткачев, И. Б. Одарченко, Ю. Л. Бобарикин, А. В. Мосензовенко ; заявитель ОАО «Гомельский завод литья и нормалей» (ВУ). – № u 20160354 ; заявл. 21.11.2016 ; опубл. 30.08.2017 // Афіцыйны бюл. / Нац. центр інтэлектуал. уласнасці. – 2017. – № 4. – С. 135–136.

Получено 19.10.2017 г.