В.А. Рахманов,
член-корреспондент РААСН,
ВНИИжелезобетон, Москва
А.А. Сафонов,
ВНИИжелезобетон, Москва

ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ МУФТОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ АРМАТУРЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ КОНТРОЛЬНЫХ ИСПЫТАНИЙ ПО ГОСТ 34227-2017

Рассмотрены результаты проведенных в ВНИИжелезобетоне исследований свойств механических муфтовых соединений высокопрочной арматуры класса А500С при различных статических и циклических режимах контрольных испытаний по ГОСТ 34227-2017. Исследования проведены на сервогидравлической испытательной системе SCHENCK. Показано влияние технологии изготовления соединения на его свойства. Даны рекомендации по испытаниям и применению механических муфтовых соединений в строительстве.

Ключевые слова: соединение арматуры, испытательная система, циклическое нагружение, малоцикловое нагружение, деформация и удлинение арматуры, класс арматуры.

V.Rakhmanov, A.Safonov

Deformation Peculiarities of Reinforcement Couplers for Mechanical Splices of Bars under Different Control Test Modes according to GOST 34227-2017

We have considered the results of the research conducted at the Institute of VNIIzhelezobeton aimed at studying the properties of mechanical couplers of A500C class high-strength reinforcement under various static and cyclic modes of control tests according to GOST 34227-2017. The research was carried out on a SCHENCK servohydraulic test system. We have shown the influence of the manufacturing technology of the coupler on its properties. We have also given several recommendations on testing and application of mechanical couplers in construction.

Keywords: reinforcement couplers, test system, cyclic loading, low-cycle loading, deformation and elongation of the reinforcement, reinforcement class.

Быстрорастущий объем применения монолитного железобетона при возведении ответственных гражданских и промышленных объектов, в том числе с большим жизненным циклом (высотные здания, атомные станции, гидротехнические сооружения, мосты и специальные объекты оборонного назначения) требует надежного и недорогого соединения строительной арматуры.

В последнее время на строительных площадках России значительно увеличилось использование механических соединений (МС) строительной арматуры в том числе опресованных (обжимных), муфтовых, болтовых, винтовых и комбинированных. Применение в строительстве муфтовых резьбовых соединений арматуры больших диаметров (от 20 мм до 40 мм) взамен традиционных способов соединения (нахлест и ванная сварка) позволяет экономить от 5 до 15 % стоимости одного соединения за счет уменьшения объемов расхода арматуры и снижения трудоемкости изготовления соединения без потерь в качестве и долговечности возводимых объектов.

В стране создана современная нормативная отечественная база, устанавливающая основные требования к механическим соединениям арматуры периодического профиля классов А400, А500 и А600 диаметром от 12 мм до 40 мм (ГОСТ 34278-2017 «Соединения арматуры

механические для железобетонных конструкций. Технические условия») [1] и методы их испытаний (ГОСТ 34227-2017 «Соединения арматуры механические для железобетонных конструкций. Методы испытаний» [2], полностью соответствующая требованиям международных стандартов ISO 15835-1 «Steels for the reinforcement of concrete — Reinforcement couplers for mechanical splices of bars — Part 1: Requirements» [3] и ISO 15835-2 «Steels for the reinforcement of concrete — Reinforcement couplers for mechanical splices of bars — Part 2: Test methods» [4], соответственно.

Известны также отдельные иностранные работы по методам испытаний механических соединений арматурных стержней [9-10], вышедшие до выпуска ISO 15835-1 и ISO 15835-2, и работы отечественных авторов [11-12], легшие в основу принятых отечественных стандартов (ГОСТ 34278-2017 и ГОСТ 34227-2017).

Вместе с тем, контролируемые характеристики механических соединений арматуры поставляемых на различные строительные объекты, как правило, ограничиваются оценкой прочности МС по характеру его разрушения при статическом растяжении. Такие характеристики МС (регламентируемые ГОСТ 34278-2017 и ISO 15835-1) как деформативность, равномерное относительное удлинение соединяемой арматуры при статическом нагружении, выносливость при многоцикловых динамических нагрузках в зоне упругих деформаций, малоцикловая выносливость и деформации (остаточное удлинение) при знакопеременном нагружении в зоне упругой работы и при высоких уровнях пластических деформаций не контролируются. Это во многом объясняется отсутствием у контролирующих организаций необходимого испытательного и измерительного оборудования.

В настоящее время испытательный центр ИЦ «НИЦСтром» ООО «Институт ВНИИжелезобетон» является единственным в России, имеющим техническую возможность проведения всего перечня регламентируемых ГОСТ 34278-2017 и ISO 15835-2 испытаний МС арматуры диаметром до 50мм.

Указанная организация аккредитована Федеральной службой по аккредитации (аттестат аккредитации №RA.RU.21A350 от 13.04.2016г.) и в системе Мосстройсертификация (аттестат аккредитации №RU.MSS.AL.811 от 31.07.2018 г.) в качестве испытательной лаборатории и органа по сертификации на проведение всего перечня регламентируемых ГОСТ 34227-2017 испытаний МС, оснащена уникальными высокоточными сервогидравлическими испытательными системами «SCHENCK» и «MFL» (Германия), MTS (США) мощностью до 1200 кН с возможностью реализации однократных, многоцикловых и малоцикловых знакопеременных динамических испытаний.

Накопленный опыт использования сервогидравлических испытательных систем с разработкой различных методик испытаний во ВНИИжелезобетоне (с момента закупки головного образца испытательной системы MTS 810.04 на 1-й международной выставке «Стройматериалы-71» в Сокольниках в г.Москве ретроспективно отражен в отдельных научных публикациях:

- MTS: Методика динамических испытаний арматуры с опрессованными муфтами [6], Критерии и условия применения высокопрочной арматуры в железобетонных конструкциях при кратковременных динамических воздействиях [7], Малоцикловая прочность сварных закладных деталей при действии сейсмических нагрузок [8], SCHENCK: – Исследование прочностных и деформационных свойств обычных тяжелых бетонов в условиях трехосного сжатия [13], Экспериментальные методы оценки диаграмм деформирования бетона при сжатии [14], SCHENCK: – Комплексные исследования свойств полистиролбетонов [15, 16], Методика испытаний [16.1], Испытания полистиролбетонных призм плотностью Д350-Д1200 при статическом и динамическом сжатии [15,16.2] и статические испытания полистиролбетонных балок – перемычек на изгиб [16.3].

В ИЦ «НИЦстром» проведены испытания более 1500 различных видов механических соединений арматуры диаметров от 20 до 40 мм ведущих отечественных («ПромСтройКонтракт», «СТС», «СПРУТ», «ИнтерБол», «ГРАД» идр.) и зарубежных фирм «DEXTRA», «Ancon Building Products», «Linxion»; «ERICO LENTON», «CABR Tehnologe Co., Ltd.» и др.)

на растяжение при статических, однократных динамических, многоцикловых и малоцикловых знакопеременных динамических нагрузках. Следует особо отметить, что из проведенных испытаний порядка 30% получили отрицательную оценку механических характеристик МС как не соответствующих требованиям ГОСТ 34278-2017.

В настоящее время основными видами механических соединений арматуры, применяемых на строительных объектах России, являются муфтовые резьбовые соединения с цилиндрической и конусной резьбой и опрессованные соединения.

Соединения с цилиндрической резьбой отличаются по способу изготовления резьбы на концах соединяемых арматурных стержней, созданной методом нарезки на предварительно высаженной головке – технология Bartec французской компании Techniport SA и методом накатки непосредственно по периодическому профилю арматурного стержня – технология китайской компании CABR Technology Co., Ltd. Муфтовые соединения с конической резьбой выполняются методом нарезки – технология LENTON американской фирмы ERICO.

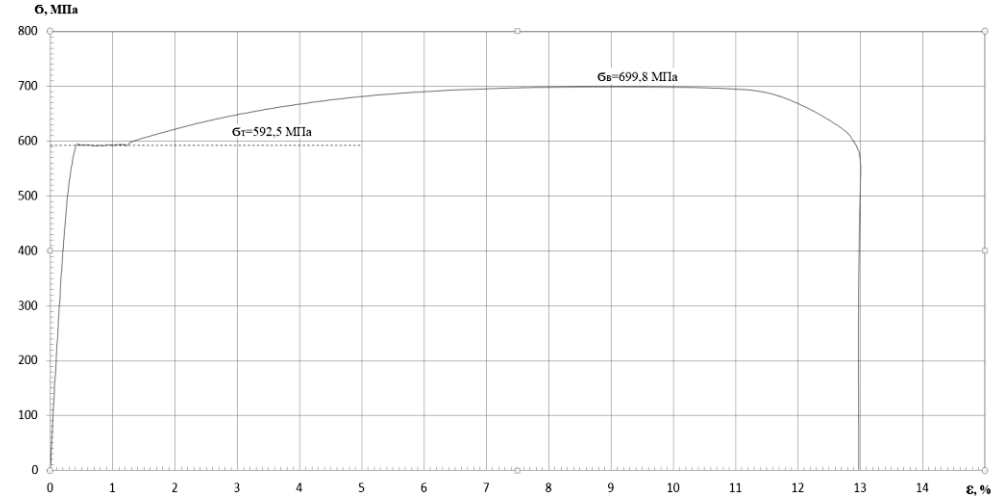
Опрессованные соединения арматурных стержней с помощью соединительной муфты, установленной на концы стыкуемой арматуры и обжатой гидравлическим способом. Анкеровка стержней арматуры в опрессованном соединении обеспечивается за счет вдавливания металла муфты между ребрами периодического профиля арматуры вследствие пластической деформации при обжатии. [5, 9-11].

Как показывает опыт ИЦ «НИЦстром» большого объема испытаний муфтовых МС арматуры диаметрами (Ø36 мм и Ø40 мм) механические характеристики, удовлетворяющие требованиям ГОСТ 34278-2017 показали соединения с цилиндрической резьбой, выполненные с использованием собственных муфт и технологического оборудования по подготовке резьбы на соединяемой арматуре, нарезке резьбы и ее контроля фирм «Ancon Building Products» (муфты CXL) и «DEXTRA» (муфты Fortec), использующие технологию Bartec.

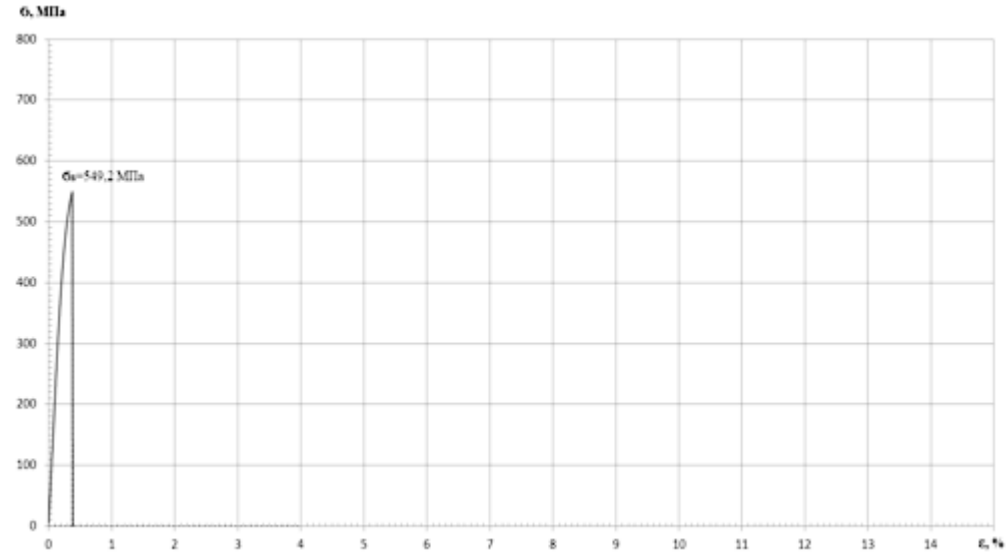
Полный цикл технологии Bartec по формированию резьбы на соединяемых стержнях арматуры представляет собой процесс, состоящий из четырех последовательных операций:

1) торцовка концов соединяемых стержней для их плотной стыковки (отклонение перпендикулярности плоскости торца стержня к его продольной оси не должно превышать 1.5^0). Указанное требование на строительных объектах выполняется в редких случаях. На торцах соединяемой арматуры из-за заусенцев после нарезки резьбы, плоскость торца имеет отклонение от перпендикулярности более чем 1.5º. Отмечены случаи, когда «торцовка» арматурного стержня выполняется рубкой на гильотине. Все это приводит при сборке и скручивании механического соединения с требуемым моментом 300-350 Нм к возникновению в соединяемом узле изгибающих напряжений, что затрудняет контроль деформативности МС, поскольку разница в значении деформаций на противоположенных сторонах соединения может достигать 300 %;

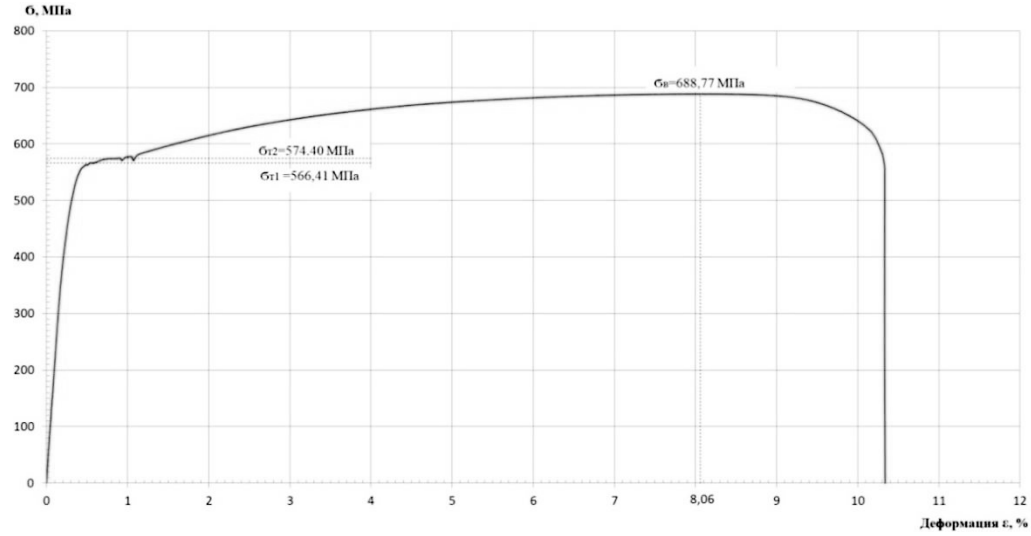
2) холодная ковка - увеличение первоначального наружного диаметра конца арматурного стержня до необходимого размера, обеспечивающего эквивалентную площадь сечения образца после нарезки резьбы и соответственно его равнопрочность основному сечению арматурного стержня. При операции холодной ковки – высадке головок концов соединяемых стержней в металле возникают напряжения, которые не должны превышать контрольных значений. В случае достижения напряжений соответствующих стадии упрочнения возможно возникновение в металле необратимых деструктивных процессов, что может привести к хрупкому разрушению соединяемых стержней в месте ковки с катастрофическими последствиями для армируемой конструкции. При неверном выборе режима ковки охрупчивание металла (снижение его предельных деформаций при растяжении) может достигать более 30 раз (рис.1 а, б, в; рис.2 а, б, в, г);



а)



б)



в)

Рис.1. Диаграммы деформирования «б-ε» контрольного стержня арматуры А 500С Ø36 мм (а) и муфтовых механических соединений с цилиндрической резьбой арматуры А 500С Ø36 мм с нарушением режима ковки, приведшем к охрупчиванию соединяемых стержней (б) и с оптимальными параметрами режима ковки (в), не изменяющими деформативные и прочностные характеристики арматуры

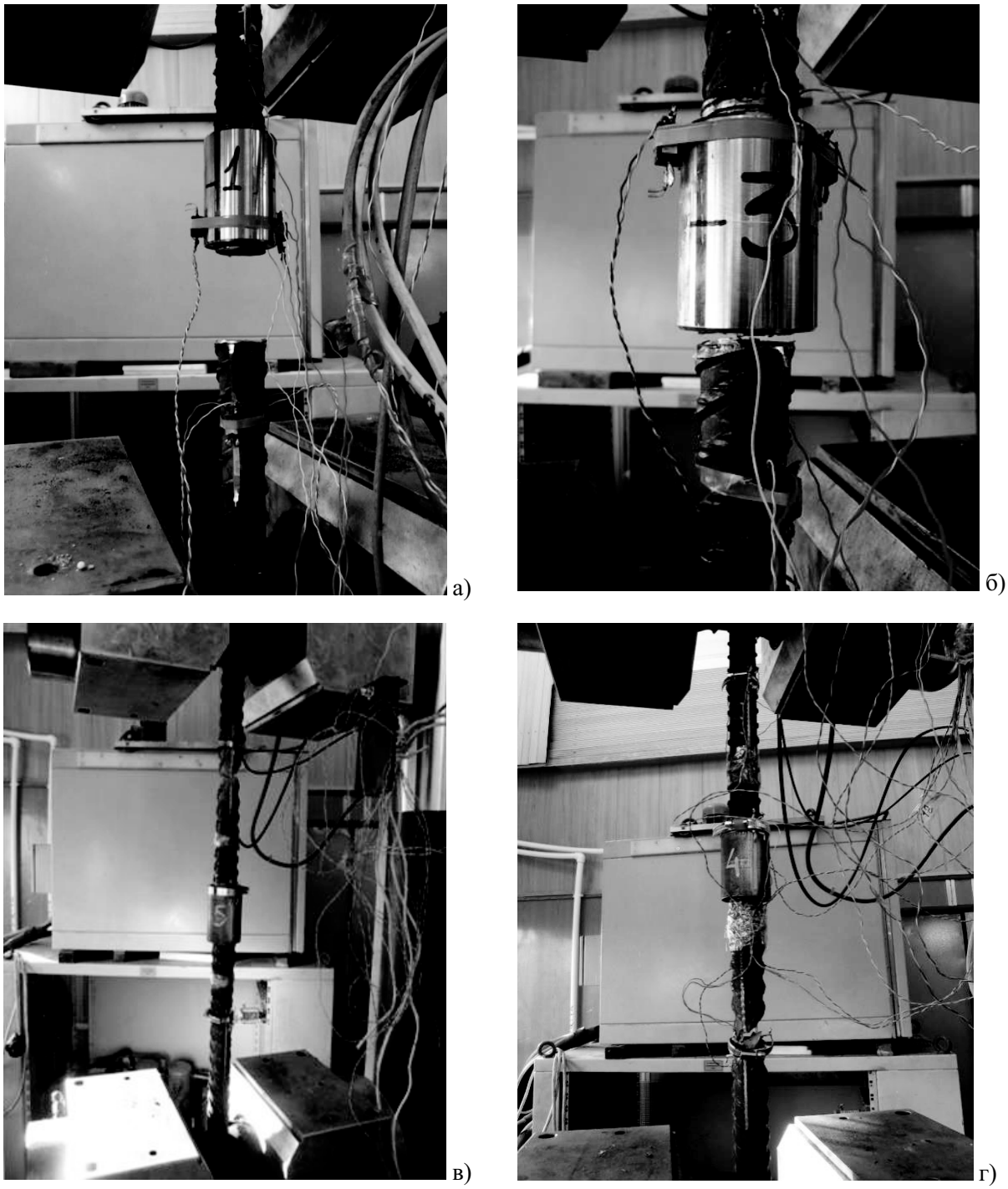


Рис. 2. Характер разрушения муфтовых механических соединений с цилиндрической резьбой арматуры А 500С Ø36 мм с нарушением режима ковки, приведшем к охрупчиванию соединяемых стержней (а, б) и с оптимальными параметрами режима ковки (в, г), не изменяющими деформативные и прочностные характеристики арматуры.

3) нарезка резьбы на утолщенном конце арматурного стержня, качество которой обеспечивается постоянным контролем специальными шаблонами и обязательной периодической заменой нарезного инструмента после установленного количества выполненных резьб;

4) снятие (нормализация) остаточных напряжений в металле соединяемых стержней в месте их ковки после нарезки резьбы. Отсутствие нормализации напряжений приводит к повышенному значению деформативности механических соединений, особенно для соединений арматуры диаметром более 32 мм. (рис. 3 а, б.; рис. 4 а, б.) Наличие в металле после его ковки остаточных сжимающих напряжений приводит к возникновению повышенных деформаций

на начальной стадии работы механического соединения, которые могут достигать значений 0,3-0,4 мм при регламентируемом требовании ГОСТ 34278-2017 не более 0,1 мм Нарушение режима технологического процесса формирования резьбы на каждом из его переделов может привести к потере качества механических соединений и их несоответствия требованиям ГОСТ 34278-2017.

Так у отдельных фирм отсутствует обязательная операция снятия остаточных напряжений в металле соединяемых стержней в месте их ковки после нарезки резьбы, что приводит к повышенной деформативности механических соединений при их статическом (рис. 3 а, б) и малоцикловом знакопеременном нагружении (рис. 4 а, б).

На диаграммах деформативности муфтовых механических соединений с цилиндрической резьбой арматуры А500С Ø36 мм при однократном статическом нагружении, выполненном по методике ГОСТ 34227-2017 от уровня напряжений 4 мПа до уровня напряжений 0,6$б_т$ и последующей разгрузке до напряжений 4 мПа (рис. 3 а, б) видно, что относительное остаточное удлинение МС, для которого при подготовке резьбы отсутствовала операция снятия напряжений (рис. 3 б,) составило 0,285 мм, что более чем в 6 раз превышает остаточное удлинение (0,046 мм) механического соединения аналогичной арматуры, в котором выполнялась технологическая операция снятия напряжений (рис. 3 а). Как следствие такое повышение деформативности механического соединения арматуры на начальной стадии его упругой работы может привести к пропорциональному снижению уровня трещиностойкости и в конечной степени снижению несущей способности железобетонных конструкций.

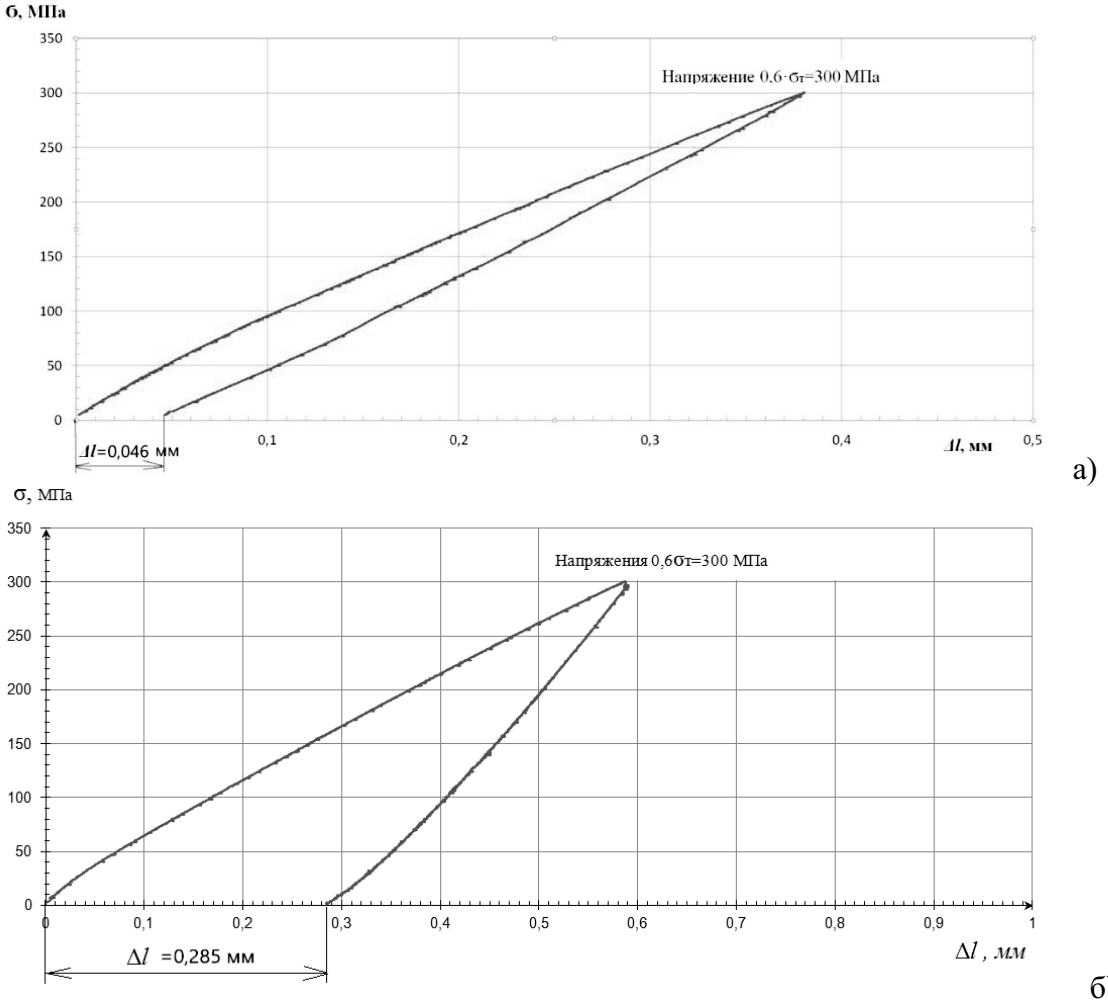
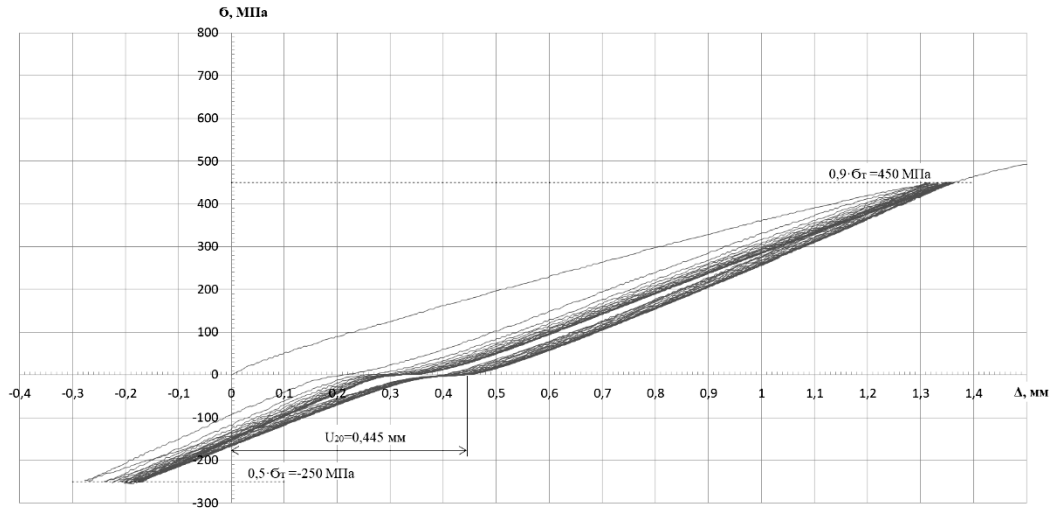
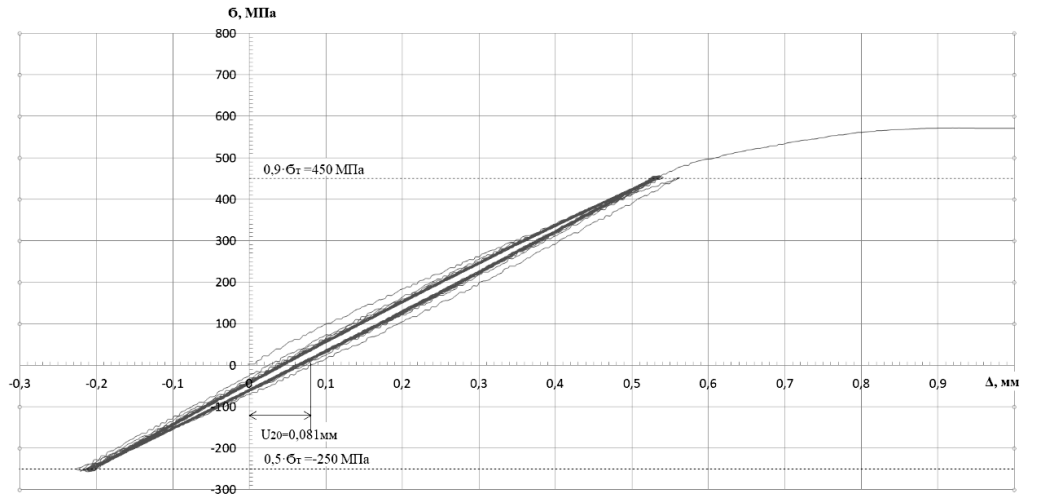


Рис. 3. Деформативность *Δl* муфтовых механических соединений с цилиндрической резьбой арматуры А500С Ø36 мм, выполненных со снятием напряжений (а) и без снятия напряжений (б) в металле после ковки при однократном статическом нагружении

Отсутствие технологической нормализации остаточных напряжений влияет на регламентируемое ГОСТ 34278-2017 остаточное удлинение U_{20} муфтовых соединений после 20 циклов знакопеременного (растяжение-сжатие) малоциклового упругого нагружения соединяемых стержней. На рис. 4 представлены диаграммы деформирования «напряжение Б – удлинение Δ» муфтовых соединений категории S_1 с цилиндрической резьбой арматуры А500С диаметром 36мм после 20 циклов знакопеременного нагружения по режиму: от напряжений в арматуре 4 мПа до растягивающих напряжений $0{,}9Б_т$, затем последующего непрерывного разгружения образца МС и его последующего непрерывного нагружения до сжимающих напряжений, равных $0{,}5Бт$. Количество указанных циклов приложения нагрузки (растяжение - сжатие) – 20. После прохождения 20 циклов нагружения по указанному режиму опытный образец МС непрерывно испытывался на растяжение до разрушения с определением разрывного усилия $Р_в$.



а)



б)

Рис. 4. Остаточное удлинение U_{20} муфтовых механических соединений категории S1 с цилиндрической резьбой арматуры А500С Ø36 мм, выполненных без снятия напряжений (а) и со снятием напряжений (б) в металле после ковки при 20 циклах знакопеременного (растяжения-сжатия) малоциклового нагружения соединяемых стержней

Приведенные на рис. 4 диаграммы деформирования соответствуют условиям, когда муфтовые соединения выполнены со снятием (рис. 4 б) и без снятия (рис. 4 а) напряжений в металле после ковки при малоцикловом знакопеременном нагружении. Видно, что уже на первом цикле нагружения образца МС, выполненного без операции снятия напряжений в металле после ковки, проявляется его повышенная деформативность по сравнению с образцом МС, для

которого операция снятия напряжений выполнялась. Удлинение образца МС на первом цикле нагружения до напряжений 0,9Бт для образца МС без нормализации напряжений составило ≈1.3 мм, а образца МС с нормализацией напряжений – 0,54 мм. Общее остаточное удлинение образца МС без нормализации напряжений после 20 циклов знакопеременного малоциклового упругого нагружения составило 0,445 мм, что почти на 50 % превышает требуемое ГОСТ 34278-2017 значение остаточного удлинения U_{20} не более 0.3 мм, тогда как остаточное удлинение U_{20} образца МС с нормализацией напряжений составило 0,081 мм, что соответствует условиям ГОСТ 34278-2017.

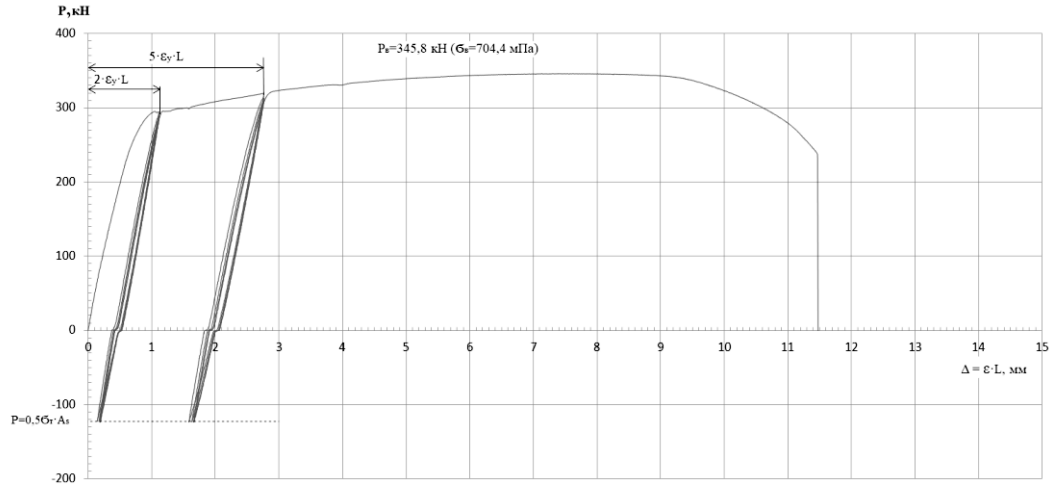


Рис. 5. Полная диаграмма деформирования «усилие (Р)-удлинение соединения ($\Delta=\varepsilon\cdot L_{м.с}$) переходного муфтового соединения арматура Ø 32/25 категории S2 с цилиндрической резьбой, выполненного с оптимальным режимом ковки и снятием остаточных напряжений, после 4-х и 8-ми циклов знакопеременного (растяжение-сжатие) малоциклового упруго-пластического нагружения, имитирующего сейсмические толчки

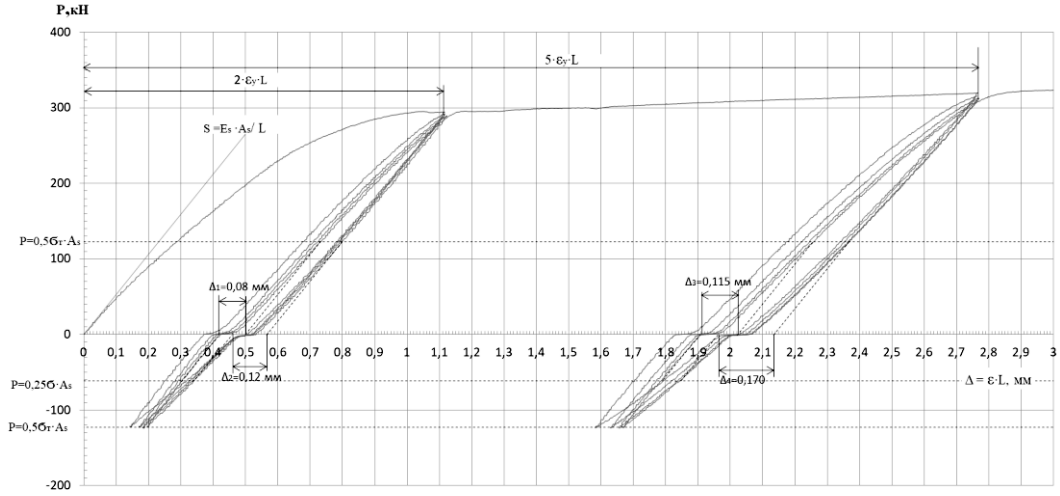


Рис. 6. Определение остаточного удлинение переходного резьбового муфтового соединения Ø 32/25 мм категории S2 с цилиндрической резьбой при малоцикловом знакопеременном (растяжение - сжатие) нагружении после 4-х и 8- ми циклов нагружения при высоком уровне пластических деформаций, имитирующего сейсмические толчки

Повышенная деформативность МС без нормализации напряжений так же проявляется в виде ярко выраженной S-образности диаграммы деформирования при переходе напряжений через нулевое значение. При этом в немалой степени она определяется точностью (имеющимся люфтом) изготовленной резьбы в муфте и на концах соединяемых стержней, что можно учитывать проведением контрольных испытаний цельного образца арматуры.

На рис. 5 и рис. 6 приведены полная и расчетная часть диаграммы деформирования переходного муфтового соединения арматуры Ø32/25 категории S2 с цилиндрической резьбой, выполненного с оптимальным режимом ковки и снятием остаточных напряжений, после 4-х и 8-ми циклов знакопеременного (растяжение-сжатие) упруго-пластического нагружения, имитирующего сейсмические толчки.

Для обеспечения требований ГОСТ 34278-2017 по качеству изготовления механических соединений арматуры, необходимо пользоваться комплектным сертифицированным оборудованием, обеспечивающим полный комплекс технологических операций по подготовке соединяемых арматурных стержней к сборке МС, их совместимость с применяемыми муфтами и компонентами и соответствие готовых механических соединений требованиям НД.

Вместе с тем, зачастую при изготовлении механических соединений на ответственных строительных объектах, в том числе объектах атомного строительства, используются так называемые «смешанные» технологии, при которых применяются муфты одних производителей, а оборудования для формирования резьбы других, что существенно затрудняет контроль за качеством механического соединения, выявления причин несоответствий механических характеристик требованиям нормативных документов, что может привести к неконтролируемому снижению эксплуатационной безопасности возводимых сооружений

Для исключения подобных ситуаций необходимым условием применения муфтовых соединений арматуры должно стать обязательное проведение их приемочного контроля по результатам испытаний, предусмотренных ГОСТ 34227-2017 с измерением следующих показателей:

- временного сопротивления ($б_в$) МС арматуры (измерения на объектах, как правило, не проводятся);
- деформативности МС при однократном растяжении, равном 0,6$б_т$ соединяемой арматуры и равномерного относительного удлинения после разрушения соединения, измеренного на базе образца (измерения также, как правило, не проводятся).
- многоцикловой выносливости МС в области упругих деформаций при их применении на объектах специального строительства при возведении высотных железобетонных зданий, мостостроении и др. (контроль данной характеристики является необязательным);
- характеристик малоцикловой выносливости и деформаций (остаточного удлинения) МС при знакопеременном нагружении в зоне упругой работы и высоких уровнях пластических деформаций при применении муфтовых соединений для строительства объектов в районах сейсмической активности (контроль указанных характеристик является необязательным).

Такой подход противоречит государственной политике в области эксплуатационной надежности железобетонных зданий и сооружений специального назначения. Для них в первую очередь должен проводиться полный набор контрольных испытаний муфтовых соединений, предусмотренных вышеуказанным ГОСТ 34227-2017.

В заключение могут быть сделаны основные выводы и предложения:

1. Считать обязательным при применении механических муфтовых резьбовых соединений высокопрочной арматуры в монолитных железобетонных зданиях и сооружениях высотного, мостового, сейсмостойкого и специального строительства предварительное проведение их контрольных сертификационных испытаний генеральными строительными подрядчиками в уполномоченных испытательных сертификационных центрах с определением полного перечня необходимых прочностных и деформативных показателей при статическом, малоцикловом и многоцикловом знакопеременном нагружении образцов в соответствии с требованием ГОСТ 34227-2017.

Необходимо учесть эти предложения в нормативных документах на проектирование (СП) вышеуказанных монолитных железобетонных зданий и стандарте (ГОСТ) на надежность железобетонных конструкций.

Нерешение данного вопроса может привести к снижению эксплуатационной безопасности и надежности монолитных железобетонных конструкций, использующих вышеуказанные механические соединения для зданий и сооружений специального назначения.

2. Назначить для контроля механических свойств применяемых муфтовых резьбовых соединений арматуры уполномоченные испытательные сертификационные центры, обладающие для этого необходимым оборудованием, обеспечивающим в автоматизированном режиме воспроизведение указанных видов испытаний и измерений соответствующих характеристик с выдачей аттестатов об их аккредитации. Ужесточить требования по представлению необходимых заключений и протоколов сертификационных испытаний применяемых механических соединений при сдаче объектов в эксплуатацию.

3. Рекомендовать приоритетное применение отвечающих требованиям ГОСТ 34278-2017 муфтовых резьбовых соединений высокопрочной арматуры для зданий и сооружений в высотном, мостовом, сейсмостойком, атомном и специальном строительстве.

Библиографический список

1. ГОСТ 34278-2017. Соединения арматуры механические для железобетонных конструкций. Технические условия.

2. ГОСТ 34227-2017. Соединения арматуры механические для железобетонных конструкций. Методы испытаний.

3. ISO 15835-1. Steels for the reinforcement of concrete — Reinforcement couplers for mechanical splices of bars — Part 1: Requirements.

4. ISO 15835-2. Steels for the reinforcement of concrete — Reinforcement couplers for mechanical splices of bars — Part 2: Test methods.

5. Методическое пособие. Применение механических соединений арматуры в железобетонных конструкциях. Минстрой РФ, Федеральный центр нормирования, стандартизации и оценки соответствия в строительстве 2016г.

6. *Рахманов В.А., Розовский Е.Л. и др.* Рекомендации по методу динамических испытаний арматуры. Москва, Минстройматериалов СССР, 1985г.-38с.

7. *Рахманов В.А., Розовский Е.Л.и др.* Критерии предельных состояний и условия применения высокопрочной арматуры в железобетонных конструкциях при кратковременных динамических воздействиях. Сб.научных трудов ВНИИжелезобетона. Динамическая прочность и долговечность железобетонных конструкций. Москва, 1989г.

8. *Рахманов В.А., Коневский В.П и др.* Малоцикловая прочность сварных закладных деталей при действии сейсмических нагрузок. Бетон и железобетон, 1991г. №2.

9. Method of Tests for Mechanical and Welded Reinforcing Steel' Splices. California Department of Transportation. Sacramento CA. 2004.

10. A1034/A1034M 05b Standard test methods for testing mechanical splices for steel reinforcing bars - 2005.

11. *Дьячков В.В.* Прочность и деформативность резьбовых механических соединений арматуры. Бетон и железобетон, 2006, №1, с.1-14.

12. *Мадотян С.А., Дьячков В.В.* Сжатые железобетонные элементы с механическими соединениями рабочей арматуры. Бетон и железобетон, 2007г., №14, с.16-20.

13. *Рахманов В.А., Римшин В.И., Сафонов А.А.* Исследования прочностных и деформационных свойств обычных тяжелых бетонов класса В35 и В55 в условиях трехосного сжатия. Сб.научных трудов РААСН, Москва, 2017, с.317-324.

14. *Рахманов В.А., Сафонов А.А.* Разработка экспериментальных методов оценки диаграмм деформирования бетонов при сжатии. ACADEMIA: архитектура и строительство, Москва; №3 2017г., с.120-125.

15. *Рахманов В.А., Сафонов А.А*. Свойства полистиролбетонов при различных видах статического и динамического сжатия. Промышленное и гражданское строительство. Москва, 2017г., №4, с.65-71.

16. *Рахманов В.А.,* Полистиролбетон системы Юникон – Энергоэффективный материал XXI века; монография, Москва, изд. Золотое сечение, 2017г. – 512 стр.с илл. в т.ч. [16.1] – с.76-90, [16.2] с.106-136, [16.3] с.182-200.