

УДК 691
EDN: GLFMGV

[https://doi.org/10.37538/0005-9889-2026-3\(634\)-42-65](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2026-3(634)-42-65)

И.Н. ТИХОНОВ ¹, А.И. ЗВЕЗДОВ ¹, А.А. САФОНОВ ², Г.И. ТИХОНОВ ²

¹ АО «НИЦ «Строительство». Москва, Российская Федерация

² ООО «Институт ВНИИжелезобетон». Москва, Российская Федерация

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ АРМАТУРЫ С ИННОВАЦИОННЫМ ПЕРИОДИЧЕСКИМ ПРОФИЛЕМ

Аннотация

Введение. В статье рассмотрен процесс исследования и внедрения арматуры с инновационным периодическим профилем в практику современного строительства в Российской Федерации.

Цель. Описание конструктивных решений, процесса исследований в лабораторных и производственных условиях новых видов многорядных профилей, и оценка перспективности их массового применения в строительстве.

Материалы и методы. Приводятся материалы по разработке, исследованиям, производству и практическому применению в строительстве новых видов арматуры с многорядным периодическим профилем. Методика и оборудование исследований, приведённые в статье, применяются в НИИЖБ им. А.А. Гвоздева и в «Институте ВНИИжелезобетон».

Результаты. Согласно результатам исследований, подтверждаются положительные качества инновационных видов арматуры с периодическим профилем, их положительное влияние на производство и потребление арматурного проката в Российской Федерации и за рубежом.

Выводы. В Российской Федерации для производства арматурного проката разработаны инновационные виды периодического профиля поверхности стержней с многорядным расположением поперечных рёбер. Это позволяет значительно улучшить производственные и потребительские свойства отечественной арматуры для железобетонных конструкций и обеспечить её высокую конкурентоспособность на мировых рынках. Инновационность новой арматуры подтверждена отечественными и зарубежными патентами на изобретения. Новый арматурный прокат с профилем для обычного применения классов А500СП, Ау500СП, а также прокат с винтовым профилем классов Ав500П и выше, освоены металлургической промышленностью и использованы в отечественном и зарубежном (Казахстан, Кыргызстан, Монголия) строительстве в объёме около 5,0 млн. тонн.

Характеристики арматуры с инновационным многорядным профилем позволяют значительно повысить трещиностойкость железобетонных конструкций, а также

безопасность строительных объектов при аварийных динамических нагрузках (сейсмика, взрывы, удары и т.д.). В малоэтажном и других видах строительства сохранение сцепления новой арматуры с бетоном при её деформировании в пластической стадии в нахлесточных безсварных соединениях и на анкерующих участках железобетонных элементов, способствует перераспределению усилий в конструкциях зданий, а, следовательно, уменьшает вероятность их прогрессирующего обрушения с катастрофическими последствиями.

Массовое внедрение новых видов арматуры в строительстве обеспечит многомиллиардный экономический эффект при её производстве и применении.

Ключевые слова: железобетон, арматура, многорядный периодический профиль, прокат, кольцевой профиль, двухрядный профиль, шестирядный профиль, четырехрядный профиль, распорность, безопасность

Для цитирования: Тихонов И.Н., Звездов А.И., Сафонов А.А., Тихонов Г.И. Разработка и внедрение арматуры с инновационным периодическим профилем // *Бетон и железобетон*. 2026. № 3. С. 42–65. [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2026-3\(634\)-42-65](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2026-3(634)-42-65)
EDN: GLFMGV

Вклад авторов

Тихонов И.Н. – авторство патентов, проведение исследований, руководство внедрением инновационных видов арматуры, написание статьи.

Звездов А.И. – соавторство патентов, участие в исследованиях и внедрении инновационных видов арматуры, участие в написании статьи.

Сафонов А.А. – участие в исследованиях и внедрении инновационных видов арматуры, участие в написании статьи.

Тихонов Г.И. – соавторство патентов, участие в исследованиях и внедрении инновационных видов арматуры, подготовка графических материалов, участие в написании статьи.

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 04.05.26

Поступила после рецензирования 01.06.26

Принята к публикации 04.06.26

I.N. TIKHONOV ¹, A.I. ZVEZDOV ¹, A.A. SAFONOV ², G.I. TIKHONOV ²

¹ JSC "SIC "Construction". Moscow, Russian Federation

² LLC "Institute VNIIzhelezobeton". Moscow, Russian Federation

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF VALVES WITH AN INNOVATIVE PERIODIC PROFILE

Abstract

Introduction. The article discusses the process of research and implementing fittings with an innovative periodic profile in the practice of modern construction in the Russian Federation.

Aim. Description of constructive solutions, the process of research in laboratory and production conditions of new types of multi-row profiles, and an assessment of the prospects for their mass application in construction.

Materials and methods. Materials on the development, research, production and practical application in the construction of new types of reinforcement with a multi-row periodic profile are presented. The research methods and equipment described in the article are used at the NIIZHB n.a. A.A. Gvozdev and at VNIIzhelezobeton.

Results. According to the research results, the positive qualities of innovative types of fittings with a periodic profile are confirmed, as well as their positive impact on the production and consumption of rebar products in the Russian Federation and abroad.

Conclusions. In Russian Federation, innovative types of periodic profiles of the surface of rods with a multi-row arrangement of transverse ribs have been developed for the production of rebar products. This makes it possible to significantly improve the production and consumer properties of domestic reinforcement for reinforced concrete structures and ensure its high competitiveness in world markets.

The innovativeness of the new fittings is confirmed by domestic and foreign patents for inventions.

New rebar rolled products with profiles for common use of classes A500SP, Au500SP, as well as rolled products with screw profiles of classes Ab500P and higher, have been mastered by the metallurgical industry and used in domestic and foreign (Kazakhstan, Kyrgyzstan, Mongolia) construction in the amount of about 5.0 million tons.

The characteristics of reinforcement with an innovative multi-row profile can significantly increase the crack resistance of reinforced concrete structures, as well as the safety of construction sites under emergency dynamic loads (seismic, explosions, impacts, etc.). In low-rise and other types of construction, maintaining the adhesion of new reinforcement to concrete during its plastic deformation in overlapping non-

welded joints and anchoring sections of reinforced concrete elements contributes to the redistribution of forces in building structures, and, consequently, reduces the likelihood of their progressive collapse with catastrophic consequences.

The mass introduction of new types of fittings in construction will ensure a multibillion-dollar economic effect in its production and application.

Keywords: reinforced concrete, reinforcement, multi-row periodic profile, rolled products, annular profile, double-row profile, six-row profile, four-row profile, spacer, safety

For citation: Tikhonov I.N., Zvezdov A.I., Safonov A.A., Tikhonov G.I. Development and implementation of valves with an innovative periodic profile. *Concrete and reinforced concrete*, 2026, no. 3(634), pp. 42–65. (In Russian) [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2026-3\(634\)-42-65](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2026-3(634)-42-65) EDN: GLFMGV

Authors contribution statement

Tikhonov I.N. – authorship of patents, conducting research, leading the implementation of innovative types of fittings, writing an article.

Zvezdov A.I. – co-authorship of patents, participation in research and implementation of innovative types of fittings, participation in writing an article.

Safonov A.A. – participation in research and implementation of innovative types of fittings, participation in writing the article.

Tikhonov G.I. – co-authorship of patents, participation in research and implementation of innovative types of fittings, preparation of graphic materials, participation in writing an article.

Financing

The study had no sponsorship.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest.

Received 04.05.26

Revised 01.06.26

Accepted 04.06.26

Совместная работа бетона и арматуры обеспечивается эффективностью сцепления их контактных слоёв, зависящего от множества причин, главной из которых является конструкция периодического профиля поверхности арматурных стержней.

Периодичность профиля арматуры первоначально осуществлялась с помощью рифления стержней квадратного сечения, путём скрутки, а такжековки и прокатной опрессовки (рис. 1). В процессе освоения прокатного производства арматуры была установлена целесообразность и эффективность нанесения профиля в процессе её изготовления на прокатном стане (рис. 2, 3). Технологические особенности прокатного производства арматуры с периодическим профилем, как и её потребительские свойства, во многом определяли разнообразие конструкций рифления поверхности стержней с различными видами сердечника [1].

В СССР исследованиям по совершенствованию конструкции периодического профиля арматуры уделялось большое внимание.

В 1966 г. на Макеевском металлургическом заводе им. С.М. Кирова при участии сотрудников НИИЖБ Госстроя СССР выполнялась прокатка арматуры с различными типами периодического профиля [1]. В результате была разработана конструкция нового вида арматурного профиля, который некоторое время выпускался ограниченным объёмом по специальным техническим условиям (рис. 4). Экспериментально была установлена высокая прочность сцепления арматуры с новым профилем с бетоном, а также её достаточно высокие динамические характеристики. Из-за технологических трудностей изготовления данного вида профиля арматуры, он не нашёл массового применения.

В 1990-х годах на Белорусском металлургическом заводе, также с участием НИИЖБ, отработывалась прокатка арматуры с различными видами сердечника и периодического профиля (рис. 5, 6). Исследовались технологичность производства, влияние вида сердечника и профиля на механические свойства арматуры при статическом и динамическом нагружении, а также её сцепление с бетоном. Впервые была установлена эффективность использования в производстве арматуры класса А500 в мотках диаметром 5–6 мм сердечника квадратной и тrefовидной формы, на которые позже был получен патент на изобретение [2]. В этом случае из-за увеличенной площади поверхности, контактирующей с паровоздушной охлаждающей средой, повышалась эффективность термоупрочнения арматуры. На базе данных исследований были сформулированы основные требования к профилю арматуры, учитывающие как современную технологию её производства, так и потребительские свойства. Однако, по ряду обстоятельств, данный арматурный прокат ни в Республике Беларусь, ни в Российской Федерации не нашёл массового применения. В то же время, с 2000-х годов в европейских странах арматура с квадратным сечением сердечника массово производится в мотках диаметром до 16 мм. В настоящее время этот зарубежный опыт перенимается и в России. К сожалению, это не первый и, видимо, не последний случай потери приоритета изобретений нашей страной.

Любое рифление поверхности стержней снижало производительность прокатных станов из-за увеличивающейся изнашиваемости прокатных валков, зависящей от конструктивного решения и геометрии поперечных выступов, а также от наличия их сопряжения с продольными рёбрами. В то же время от эффективности рифления стержней зависело их сцепление с бетоном и сопротивление динамическим нагрузкам. Было установлено, что динамические характеристики арматуры зависят от наличия сопряжения продольных и поперечных рёбер, а также от плавности перехода боковых поверхностей последних с поверхностью сердечника стержня арматуры [3].

Сцепление с бетоном – это важнейшая характеристика поверхности стержней арматуры, определяющая её потребительские свойства при кратковременных, длительных и аварийных воздействиях. Оно во многом обеспечивает безопасность и живучесть железобетонных элементов, а также их экономичность и зависит от множества факторов, установленных экспериментально:

- характеристик арматурного проката (состояние поверхности, профиль, механические свойства), а также его местоположение в конструкциях;
- характеристик бетона (прочность, возраст, состав, свойства цемента и заполнителя);
- технологии приготовления бетона, способа укладки и уплотнения, условий твердения;
- напряжённого состояния железобетонных элементов и их зон, особенно где осуществляется анкеровка и стыковка арматурных стержней;
- конструктивных мероприятий по усилению анкеровки (концевых анкерных устройств, отгибов и т.п.), снижения отрицательного действия распорных усилий от выступов профиля арматуры и др.

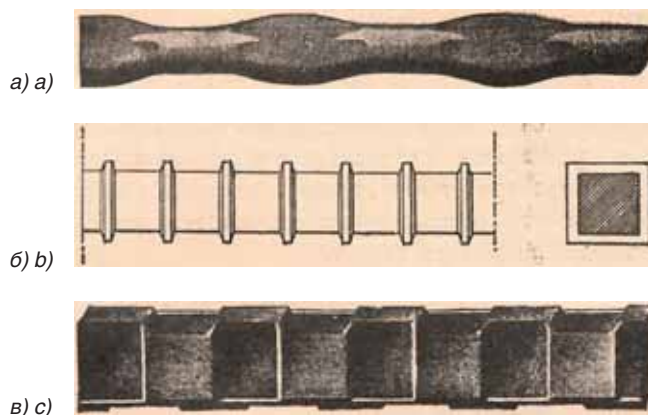


Рис. 1. а) Арматурный профиль Thacher (прибл. 1904), производимый путём прокатки из круглой заготовки; б) Арматурный профиль Джонсона (Johnson), квадратный, с поперечными выступами, применяемый в железнодорожном строительстве в США; в) Арматурный профиль St. Louis Expanded Metal Fireproofing Co, изготавливаемый путём прокатки из квадратной заготовки

Fig. 1. a) The Thacher reinforcing profile (approx. 1904), produced by rolling from a round billet; b) The Johnson reinforcing profile, square, with transverse projections, used in railway construction in the USA; c) The St. Louis Expanded Metal Fire-Proofing Co reinforcing profile, made by rolling from a square workpieces

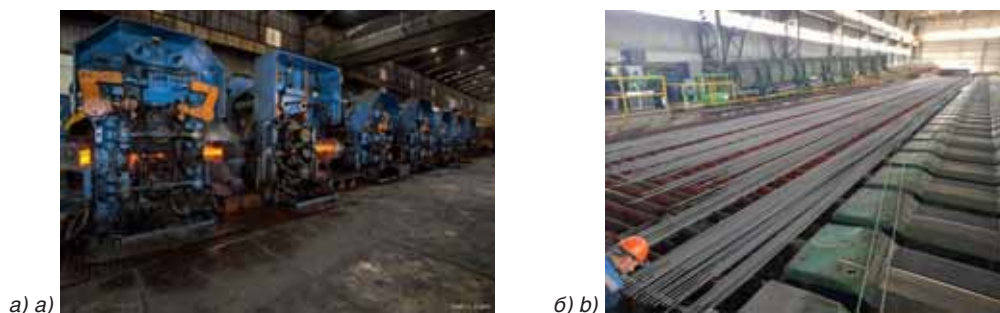


Рис. 2. а) Прокатный стан для производства арматуры; б) Охлаждение арматуры после прокатки
Fig. 2. a) Rolling mill for the production of rebar; б) Cooling of the rebar after rolling

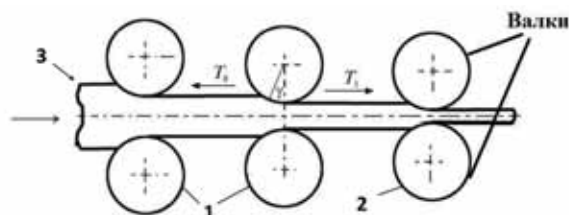


Рис. 3. Условная схема формирования профиля арматурного проката, формирование сечения профиля арматуры валками прокатных клетей
1 – Валки калибровочные; 2 – Валки чистовые (формирующие профиль проката; 3 – Заготовка
Fig. 3. Conditional diagram of the reinforcement profile formation, the formation of a section of the reinforcement profile by rolls of rolling stands
1 – Calibration rolls; 2 – Finishing rolls (forming the profile of rolled products; 3 – Blank

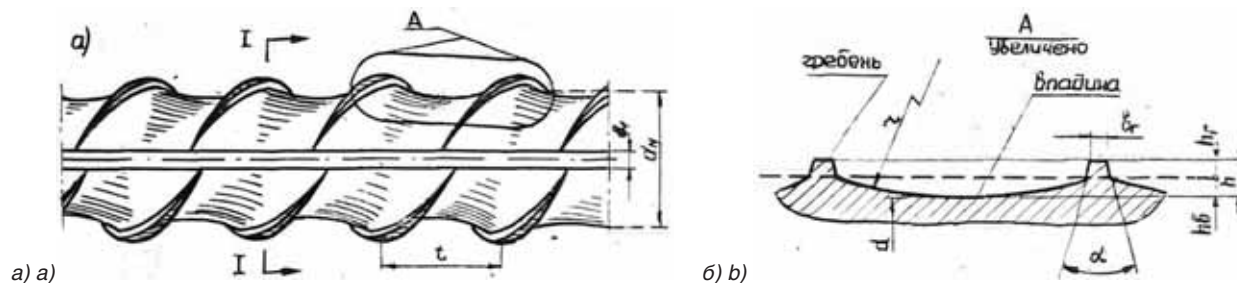


Рис. 4. Периодический профиль арматуры по ЧМТУ 1–944–70
а) Общий вид стержня; б) Деталь профиля (разрез)
Fig. 4. Periodic reinforcement profile according to CMTU 1–944–70
а) General view of the rod; б) Profile detail (section)



Рис. 5. Типы экспериментальных профилей арматурного проката: 1 – Круглый; 2, 3, 4 – Серповидный с шагом 7, 10 и 20 мм; 5 – Серповидный овальный; 6 – Трефовидный
Fig. 5. Types of experimental rebar profiles: 1 – Round; 2, 3, 4 – Crescent-shaped with a pitch of 7, 10 and 20 mm; 5 – Crescent oval; 6 – Club-shaped

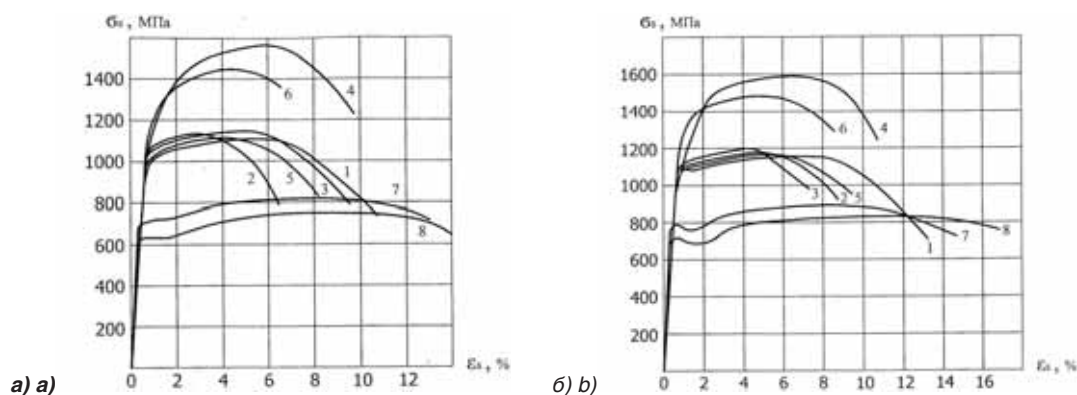


Рис. 6. Диаграммы растяжения арматурной стали Ø12 мм с различными видами профилей:
 а) При статическом нагружении; б) При динамическом нагружении за 0,1 сек: 1 – круглый; 2 – серповидный двухсторонний, $t = 7$ мм; 3 – $t = 10$ мм; 4 – $t = 20$ мм; 5 – серповидный овальный; 6 – трефовидный; 7, 8 – кольцевой профиль по ГОСТ 5781
Fig. 6. Stretching diagrams of reinforcing steel Ø12 mm with various types of profiles:
 a) Under static loading; b) Under dynamic loading in 0.1 seconds: 1 – round; 2 – double-sided crescent, $t = 7$ mm; 3 – $t = 10$ mm; 4 – $t = 20$ mm; 5 – crescent oval; 6 – club-shaped; 7, 8 – ring profile according to GOST 5781

Взаимодействие арматурного стержня с бетоном, причины разрушения сцепления

Анализируются три варианта взаимодействия арматуры с бетоном из опытов авторов:

- вытягивание арматуры из бетонных кубов (рис. 7);
- растяжение арматуры, забетонированной в центре призмы (рис. 8);
- испытания изгибаемых железобетонных балок.

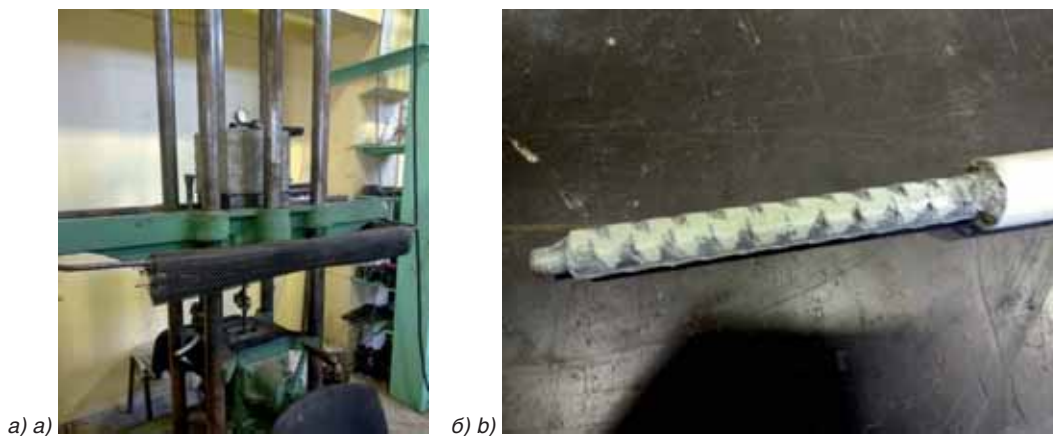


Рис. 7. Вытягивание арматуры из бетонных кубов:
 а) расположение образца в разрывной машине; б) вид арматурного стержня после испытаний
Fig. 7. Pulling reinforcement from concrete cubes:
 a) the location of the sample in the bursting machine; b) the type of reinforcement rod after testing

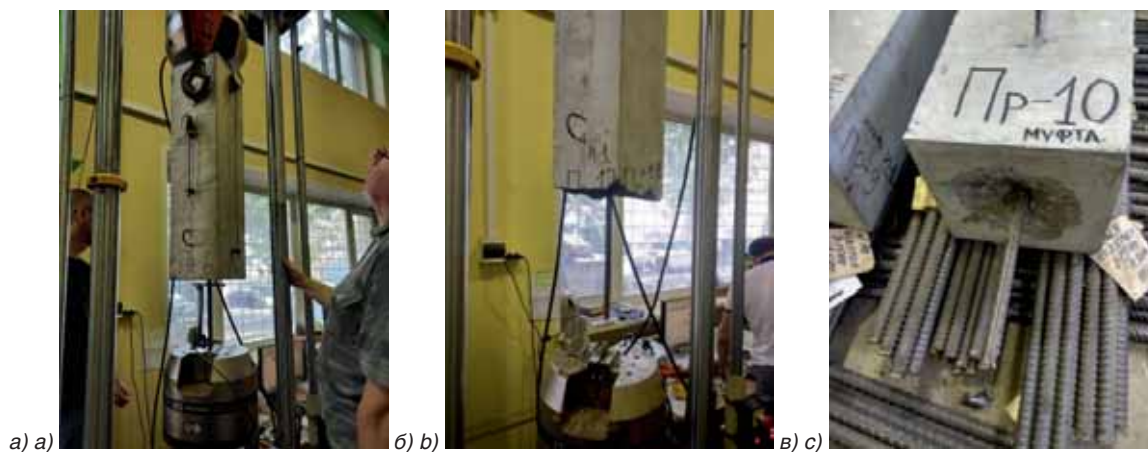


Рис. 8. Растяжение арматуры, забетонированной в центре призмы:
 а) испытание образца; б, в) испытанные образцы
Fig. 8. Stretching of the reinforcement concreted in the center of the prism:
 a) sample test; b, c) tested samples

Взаимодействие арматурного стержня с бетоном можно разделить на 5 стадий (рис. 9).

Стадия I (до образования трещин в бетоне)

При низких напряжениях в растянутой арматуре ($= 0,2-0,3$) ее сцепление с бетоном (τ) обеспечивается как химической адгезией (в основном гладкие стержни), так и сопротивлением вытягиванию стержней поперечными ребрами арматуры (арматура с периодическим профилем). Сдвига (проскальзывания) стержня в контактном слое не происходит (кубы), трещины не образуются (призмы, балки).

Стадия II (начальное трещинообразование)

При напряжениях в арматуре ($\sigma_s = 0,3-0,6\sigma_{sL}$) химическая адгезия нарушается, а от поперечных ребер стимулируется развитие значительных контактных напряжений в бетоне. У вершин ребер инициируются поперечные трещины, способствующие сдвигу стержня. На этой стадии расклинивающее действие поперечных ребер еще ограничено и раскалывания бетона в контактном его слое не происходит или оно имеет локальный характер.

Стадия III (развитие трещин)

При довольно высоких напряжениях в арматуре ($\sigma_s = 0,6-0,85\sigma_{sL}$) происходит развитие поперечных и образование в бетоне протяженных продольных раскалывающих трещин, распространяющихся в радиальных направлениях.

При слабом поперечном армировании и малом защитном слое бетона стадия III заканчивается, как только радиальные трещины достигают поверхности элемента (сквозное раскалывание τ_z). При этом может произойти локальный вырыв контактирующей с арматурой части бетона на загруженной торцевой поверхности кубов, призм (рис. 8).

Стадия IVa (быстрое разрушение сцепления)

Эта стадия характерна для сцепления гладких стержней. Она наступает сразу же после исчерпания сопротивления сил адгезии.

Шероховатость поверхности стержня усиливает трение, чему может способствовать поверхностная коррозия арматуры.

Стадия IVб (быстрое или замедленное разрушение сцепления)

Данная стадия характерна достижением в арматуре напряжений, близких к пределу текучести. В случае стержней с периодическим профилем в элементах с относительно слабым поперечным армированием продольные трещины раскалывания пересекают защитный слой и распространяются в плоскости расположения рабочей арматуры, в результате чего разрушение сцепления приобретает хрупкий характер. Наибольшую опасность для несущей способности конструкций этот вид разрушения сцепления арматуры с бетоном представляет для участков нахлесточных бессварных соединений арматуры, а также ее анкерирующих концевых участков. Достаточное количество поперечной арматуры может значительно усилить сцепление даже при расколе бетонного массива, играя роль обоймы.

В стадии IVб при напряжениях в арматуре, близких и равных пределу текучести, могут быть достигнуты неизбежные и часто неприемлемые при обычных условиях эксплуатации конструкций деформации сдвига стержня на загруженном конце. В этом случае возможно хрупкое разрушение бетона с его отрывом (рис. 8б) или вырывом (рис. 8в) в торцевых частях бетонных элементов (например, призм), сопровождающее разрыв арматуры. В изгибаемых и внецентренно-сжатых элементах наиболее опасно, на данном этапе, хрупкое разрушение бетона сжатой зоны в нормальных и наклонных сечениях при незначительном пластическом деформировании арматуры до ее разрыва.

В зависимости от многих обстоятельств (прочность бетона, наличие поперечного армирования, конструкция профиля арматуры, длина анкеровки стержней и т.п.), при увеличении сдвига, прочность сцепления может сначала возрастать, а затем сохраняться на этом уровне или начать падать (рис. 9).

В конце стадии IVб сцепление приобретает характер сухого трения, так как бетонные консоли между ребрами оказываются раскошенными или срезанными, а ребра перемещаются относительно окружающего бетона без усиления эффекта расклинивания (рис. 10).

Стадия IVб мало изучена и поэтому любые новые экспериментальные результаты представляют значительный практический интерес. Данная стадия имеет особое значение для обеспечения живучести железобетонных элементов в экстремальных ситуациях, таких как сейсмическое, аварийное, ударное и взрывное воздействие. В этих случаях целесообразно значительное продление стадии IVб, так как во времени ее существования происходит перераспределение усилий в сечениях и узловых соединениях железобетонных конструкций, позволяющих значительно снизить динамический эффект нагружения и предотвратить катастрофическое прогрессирующее обрушение конструкций, исключить гибель находящихся в зданиях людей и сохранить имеющееся там ценное оборудование.

Стадия V (разрушение сцепления с возможным разрывом металла арматуры)

Стадия характеризуется деформациями арматуры в зоне ее упрочнения вплоть до σ_{sL} и разрыва стержней. Когда расклинивающие силы арматурных стержней с периодическим профилем воспринимаются поперечным армированием или же массивностью бетона, сквозного расклинивания бетона конструкций не происходит и разрушение сцепления носит характер среза.

В этом случае процесс разрушения сцепления последовательно изменяется от смятия к трению, а критерием такого перехода является прочность на срез бетонных консолей (рис. 10а).

Сопротивление разрушению сцепления зависит во многом от конструкций периодического профиля поверхности стержней. Увеличение площади смятия поперечных ребер, длины бетонных консолей, а также изменение их конфигурации позволяет значительно повысить прочность сцепления арматуры с бетоном, продлить стадию IVб и обеспечить стадию V.

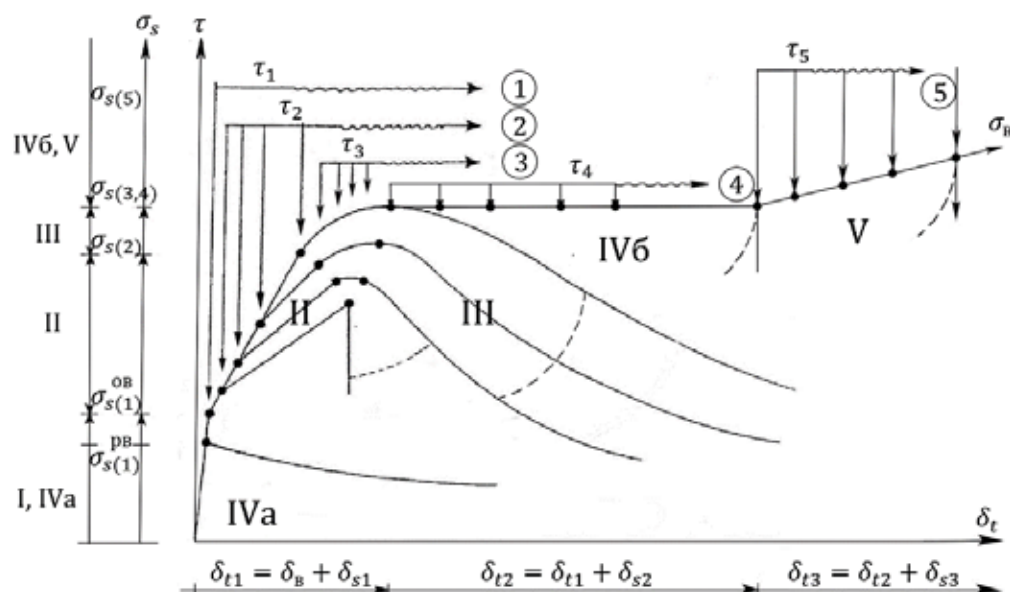


Рис. 9. Соотношение напряжений растяжения в арматуре (σ_s), усредненных касательных напряжений сцепления (τ) и смещения (сдвига) стержня относительно бетона (δ_t), суммирующего деформации стержня из-за бетона (δ_b) и арматуры (δ_s);

1 – образование поперечных трещин; 2 – ограниченное раскалывание; 3 – сквозное раскалывание; 4 – текучесть металла арматуры; 5 – упрочнение металла арматуры; δ_b – смещение от сдвига в контактном слое и сдвиговых деформаций бетона; δ_{s1} – деформации арматуры до σ_T ; δ_{s2} – деформации на площадке текучести; δ_{s3} – деформации в зоне упрочнения после достижения σ_T .

Fig. 9. The ratio of tensile stresses in reinforcement (σ_s), the average tangential stresses of adhesion (τ) and displacement (shear) of the rod relative to concrete (δ_t), summing the deformations of the rod due to concrete (δ_b) and reinforcement (δ_s); 1 – formation of transverse cracks; 2 – limited splitting; 3 – through splitting; 4 – metal fluidity of reinforcement; 5 – reinforcement metal hardening; δ_b – displacement from shear in the contact layer and shear deformations of concrete; δ_{s1} – reinforcement deformations up to σ_T ; δ_{s2} – deformations at the yield point; δ_{s3} – deformations in the hardening zone after reaching σ_T .

Результаты зарубежных экспериментов с европейской двухрядной арматурой показали, что наступление текучести в стержне резко ухудшает сцепление.

Было установлено, что проявление влияния текучести близко к тому, что наблюдается при выходе на поверхность защитного слоя трещин раскалывания (IVб на рис. 9), что суть такого влияния до конца не понятна и причины, влияющие на этот процесс, пока экспериментально не установлены. Предполагается, что в результате сужения стержня при деформациях за пределом текучести компоненты радиального давления P^* и P^{**} могут уменьшаться, а, следовательно, может уменьшиться и усилие макротрения. Возможно также, что текучесть стали изменяет геометрию поперечных ребер, уменьшая площадь их проекции на нормальную продольной оси плоскость, следовательно, уменьшая сопротивление смятию [4].

Эффективность бетонной обоймы на стадии III зависит от конструкции профиля арматуры, толщины защитного слоя бетона и расстояния между стержнями, от поперечного армирования, поперечного обжатия и пр.

Стадия III наиболее характерна для работы железобетонных элементов при рабочих нагрузках. Поэтому именно эта стадия привлекала до настоящего времени внимание исследователей, тогда как стадии IVб и V изучены значительно меньше.

Наиболее опасными, характерными для этого случая разрушения являются участки анкеровки и особенно нахлестки стержней при их соединении в железобетонных конструкциях без сварки. В последнем случае усилия от раскалывания концевых участ-

ков стыкуемых стержней увеличиваются практически в 2 раза.

Основные виды периодических профилей арматурного проката массового применения

Основными видами периодического профиля стержневого арматурного проката, являются кольцевой и серповидный (рис. 11, 12).

Кольцевой профиль имеет замкнутые по периметру поперечные ребра, пересекающие продольные. Серповидный – прерывчатые по периметру поперечные ребра серповидной формы, не пересекающие продольные ребра.

Арматура с кольцевым профилем производилась в СССР, РФ и странах СНГ массово до 1993 г., в ограниченных количествах, в основном для транспортного строительства, ее производят и в настоящее время по ГОСТ 5781–82 «Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций».

Высокая прочность и низкая деформативность сцепления арматуры с кольцевым профилем с бетоном в эксплуатационной стадии нагружения, в основном определяющие момент образования и ширину раскрытия трещин, установленные в результате многочисленных опытов с изгибаемыми и внецентренно сжатыми железобетонными элементами, позволили разработать и внедрить нормативные требования для проектирования СНиП 2.03.01–84* «Бетонные и железобетонные конструкции», наиболее прогрессивные, из действующих в мире, по обеспечению высоких технико-экономических показателей в строительстве.

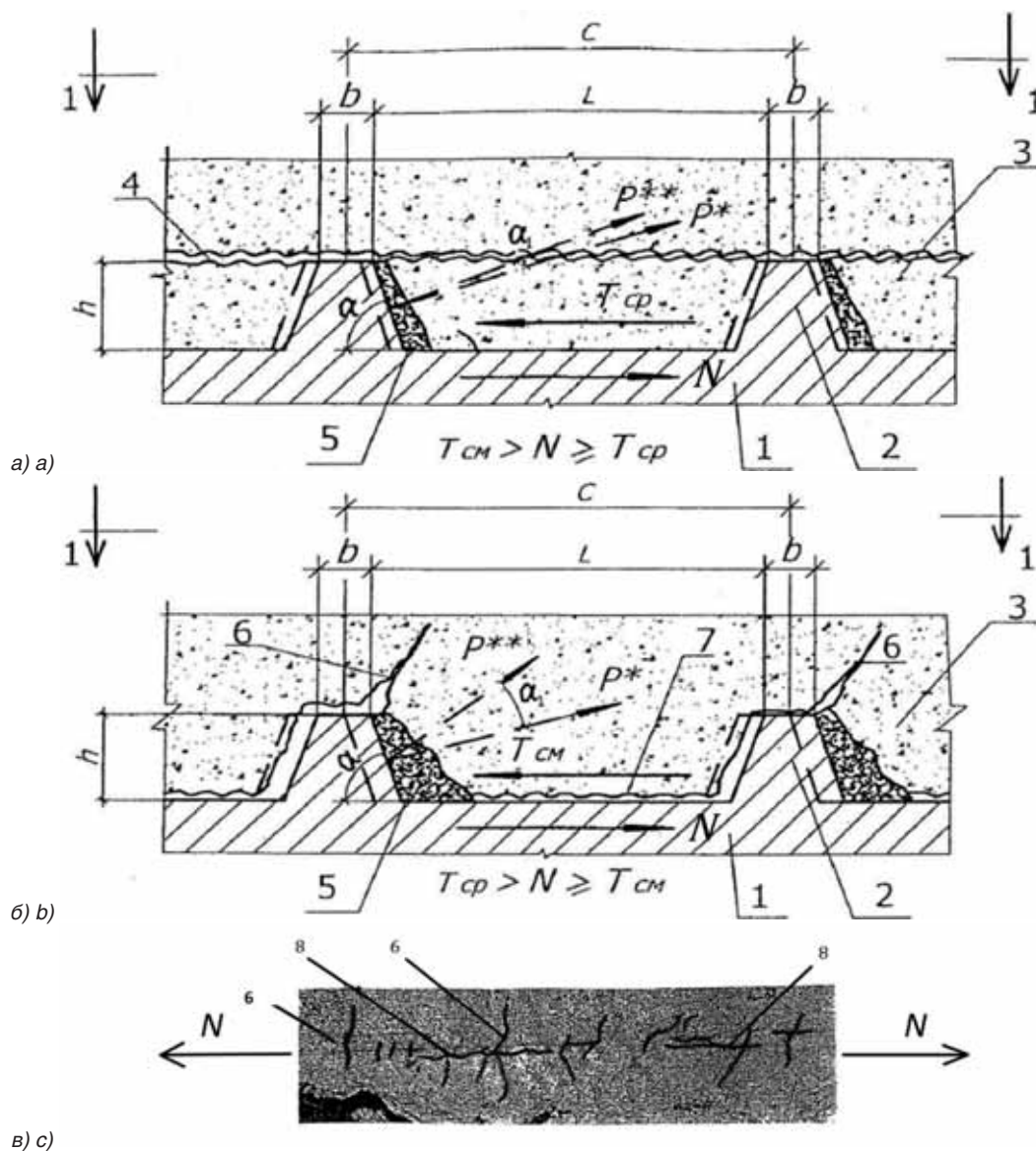


Рис. 10. Характер разрушения бетонных шпонок при сдвиге: а) От среза; б) От смятия; в) Трещины в бетоне на нижней поверхности ж/б балки; 1 – сердечник арматуры; 2 – поперечное ребро; 3 – бетон; 4 – поверхность среза; 5 – зоны смятия бетона; 6 – поперечные трещины от смятия; 7 – отслоение бетона от арматуры в результате распора; 8 – продольные трещины от распора; N – внешнее усилие; T_{cp} и T_{cm} – разрушающие усилия от среза и от смятия

Fig. 10. The nature of the destruction of concrete dowels during shear: a) From shear; b) From crumpling; c) Cracks in concrete on the lower surface of the railway beam; 1 – reinforcement core; 2 – transverse rib; 3 – concrete; 4 – cut surface; 5 – concrete crumpling zones; 6 – transverse cracks from crumpling; 7 – detachment of concrete from reinforcement as a result of strutting; 8 – longitudinal cracks from the strut; N – external force; T_{cp} and T_{cm} – destructive forces from shear and from crumpling



Рис. 11. Кольцевой периодический профиль: а) Общий вид; б) Конфигурация профиля

Fig. 11. Circular periodic profile: a) General appearance; b) Profile configuration

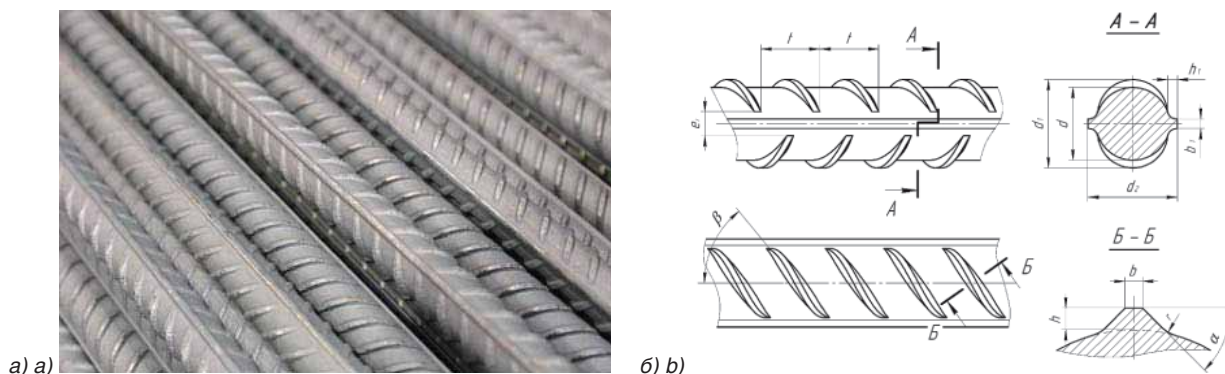


Рис. 12. Серповидный (европейский) периодический профиль: а) Общий вид; б) Конфигурация профиля
Fig. 12. Crescent-shaped (European) periodic profile: a) General appearance; b) Profile configuration

В результате исследований и промышленного внедрения был также обнаружен ряд существующих недостатков в производстве и эксплуатации арматуры с кольцевым профилем:

- низкий предел выносливости арматуры при динамическом нагружении из-за наличия очагов концентрации напряжений в местах пересечения продольных и поперечных ребер;

- быстрая изнашиваемость прокатных валков для производства арматуры из-за технологических дефектов при их изготовлении и эксплуатации;

- конструкция профиля обеспечивает высокую прочность и низкую деформативность сцепления в эксплуатационной и удовлетворительную прочность в запредельной стадиях нагружения из-за высокой распорности только при наличии эффекта обоймы от поперечного армирования и при высокой прочности бетона и его большого объема вокруг стержня.

Одной из не очень удачных попыток совершенствования конструкции профиля арматурного проката была разработка и активное внедрение европейского двухстороннего серповидного профиля. Арматура с данным профилем нашла массовое применение за рубежом.

В начале 1990-х годов металлурги России стали осваивать международные рынки арматурного проката. Это потребовало унифицировать профили отечественной арматуры с требованиями зарубежных норм, наладить производство и внедрение европейской серповидной арматуры в железобетонных конструкциях.

В России и странах СНГ серповидная арматура стала производиться по СТО АСЧМ 7–93 «Прокат периодического профиля из арматурной стали. Технические условия».

К сожалению, новая конструкция профиля с серповидными поперечными ребрами, вопреки ожиданиям металлургов, не привела к увеличению стойкости прокатных валков [5].

Положительный фактор увеличения выносливости арматуры из-за отсутствия пересечений продольных и поперечных ребер нивелировался снижением прочности и повышением деформативности ее сцепления в результате уменьшения критерия Рема, браковочное значение которого было назначено $f_R \geq 0,056$.

Уменьшение прочностных показателей сцепления новой серповидной арматуры относительно кольцевой по ГОСТ 5781–82 были учтены в требованиях к нахлестке и анкеровке стержней, ширине раскрытия трещин, в сторону их увеличения, в СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения», использование которых при проектировании увеличило расход арматуры на 10–30 % по сравнению со СНиП 2.03.01–84. За более чем 20-летнее действие новых нормативных документов в результате массового внедрения европейской арматуры Российская Федерация понесла многомиллиардные экономические потери.

Кроме этого, исследования сотрудников НИИЖБ им. А.А. Гвоздева последних лет, а также катастрофические последствия землетрясения в Турции в феврале 2023 г. показали высокую опасность использования нахлесточных соединений и анкеровки арматуры с серповидным профилем в зданиях и сооружениях, эксплуатируемых в сейсмоопасных районах строительства [6].

Как уже говорилось выше, потеря сцепления арматуры с бетоном во многом определяется распорностью поперечных ребер арматуры, зависящей, в свою очередь, от их формы и геометрических размеров, а также от расположения на поверхности стержня.

Двухрядное расположение поперечных ребер определяет однонаправленное действие распорных усилий, суммарная величина которых на единицу длины зависит от площади (высоты) поперечных ребер, угла наклона их боковых поверхностей и шага расположения по длине (рис. 13). На рис. 14 разрушение опрессованного металлического муфтового соединения с характерным расположением трещин разрыва металла вдоль продольного ребра серповидной арматуры иллюстрирует значительное влияние ориентации расклинивающего усилия при двухстороннем расположении поперечных ребер.

Наличие двухсторонне-ориентированного расклинивающего эффекта способствует ориентации местоположения разрушительного трещинообразования в металле (бетоне), в данном случае, усиливая влияние отдельных производственно-технологических факторов, отрицательно влияющих на качество обжимных муфтовых соединений приведенного вида.

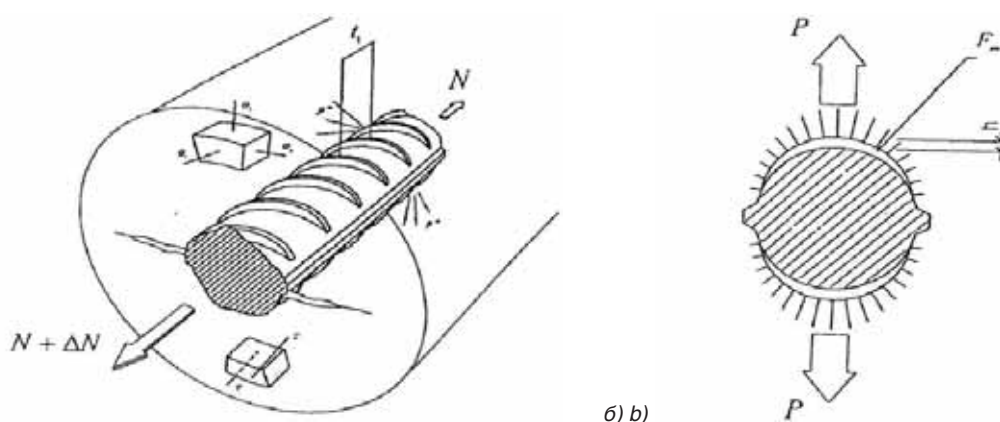


Рис. 13. Схема взаимодействия растянутого стержня с серповидным двухсторонним профилем с окружающей средой:
а) Усилия в зоне передачи напряжений от стержня; б) Распределение усилий распора в поперечном сечении

Fig. 13. Diagram of the interaction of a stretched rod with a sickle-shaped two-sided profile with the environment:
a) Forces in the stress transfer zone from the rod; b) Distribution of strut forces in the cross section



Рис. 14. Разрушение опрессованного муфтового соединения от расклинивающего эффекта арматуры с двухсторонним расположением поперечных ребер

Fig. 14. Destruction of a crimped coupling joint from the wedging effect of reinforcement with a double-sided arrangement of transverse ribs

По результатам зарубежных и отечественных исследований было установлено, что полностью устранить выявленные недостатки производства и применения кольцевой и серповидной арматуры невозможно. Их наличие определено конструктивными решениями этих профилей.

Инновационные виды профиля арматурного проката, перспективные для массового применения

Многорядный (шестирядный) периодический профиль

С целью повышения технико-экономических и конкурентных показателей отечественного арматурного проката уже давно назрела необходимость разработки принципиально новых конструктивных решений периодического профиля.

Успешной оказалась работа по созданию, исследованию и внедрению арматуры с принципиально новыми конструктивными решениями многорядных периодических профилей [7]. Арматура с шестирядным расположением поперечных ребер класса А500СП

после многолетних экспериментальных исследований была запущена в массовое производство на АО «Евраз ЗСМК» (г. Новокузнецк) и за почти 20-летний период была произведена в объеме около 5 млн тонн (рис. 15). В настоящее время арматура класса А500СП (АРМАКС) производится также Камским металлургическим комбинатом «ТЭМПО».

Новый профиль позволяет без прокатной маркировки специальных символов безошибочно идентифицировать класс прочности арматуры на поверхности стержней, что практически исключает возможность случайного попадания в конструкции арматуры низшего класса прочности.

По сравнению с серповидным двухрядным новый профиль позволяет при одинаковой высоте поперечных полусерповидных и серповидных (рис.15б) ребер за счет их шестирядного расположения увеличить относительную площадь смятия f_R арматуры в 1,3–1,4 раза, а шаг ребер в каждом ряду на 10–15 % (рис.15). При этом только полусерповидные ребра имеют пересечение с продольными ребрами (рис.15б)



Рис. 15. Многорядный (шестирядный) периодический профиль:
 а) Общий вид; б) Конфигурация профиля А500СП производства: в) – ЕВРАЗ; г) КМК «ТЭМПО»
Fig. 15. Multi-row (six-row) periodic profile:
 а) General appearance; б) Profile configuration; А500SP produced by: с) – EVRAZ; д) KMK TEMPO

Такая конструкция профиля за счет увеличения сопротивления смятию и срезу зигзагообразных, непрерывных по длине междуреберных бетонных шпонок, а также благодаря эффективной работе внедренных в них зерен крупного заполнителя, позволяет значительно повысить прочность и жесткость сцепления арматуры с бетоном.

Шестирядная компоновка серповидных и полусерповидных ребер делает более равномерным по контуру сечения стержня распределение расклинивающих бетон усилий распора, возникающих в зонах анкеровки или нахлестки арматуры, и уменьшает опасность возникновения продольных трещин раскалывания (рис. 16).

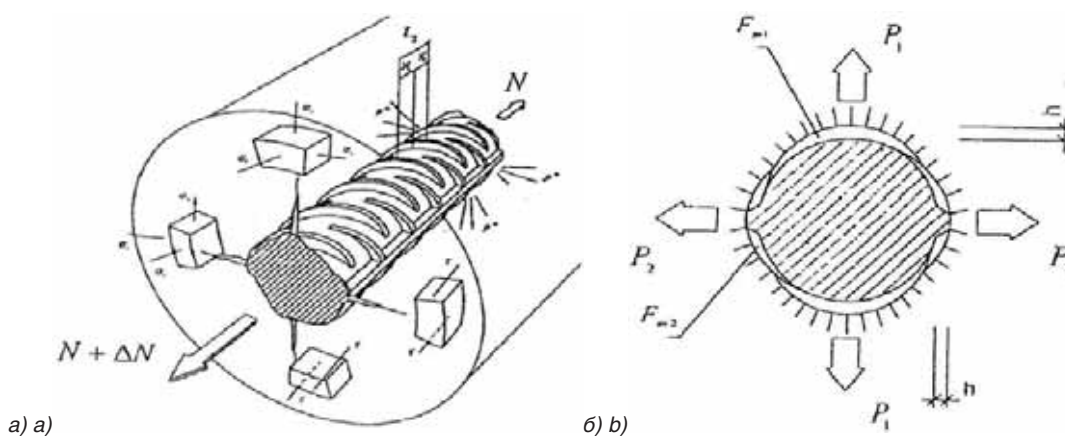


Рис. 16. Схема взаимодействия растянутого стержня с шестирядным профилем с окружающей средой:
 а) Усилия в зоне передачи напряжений от стержня; б) Распределение усилий распора P_1 и P_2
Fig. 16. Diagram of the interaction of a stretched rod with a four-row profile with the environment:
 а) Forces in the stress transfer zone from the rod; б) Distribution of strut forces

При разработке конструкции нового профиля предполагалось улучшить показатели по выносливости при многократно повторяющихся нагрузках. Этому способствовали уменьшенные в два раза отно-

сительно кольцевого профиля потенциальные очаги концентрации напряжений в местах пересечения поперечных ребер с продольными, также была исключена замкнутость поперечных ребер по периметру.

Кроме этого, в технических условиях на изготовление нового профиля предусматривается плавность сопряжения боковых поверхностей поперечных и продольных ребер с поверхностью сердечника.

Увеличение расстояния между поперечными ребрами каждого ряда снизило вероятность разрушения перемычек между канавками на поверхности формирующих прокатных валков и позволило повысить их стойкость при эксплуатации [5].

Опыты по сцеплению с бетоном подтвердили правильность принятого конструктивного решения. Они проводились с использованием сопоставительных

исследований при одинаковых исходных условиях по прочности бетона и арматуры, диаметру стержней, длине анкеровки, методике испытаний и т. п.

Эффективность сцепления арматуры с бетоном определялась по общепринятой методике вытягивания стержней из бетонных кубов.

Отдельные результаты исследований приведены на рис. 17.

Каждый график смещения торца короткого выпуска стержня относительно поверхности бетонного куба и деформаций арматуры построен по 3–10 образцам-близнецам.

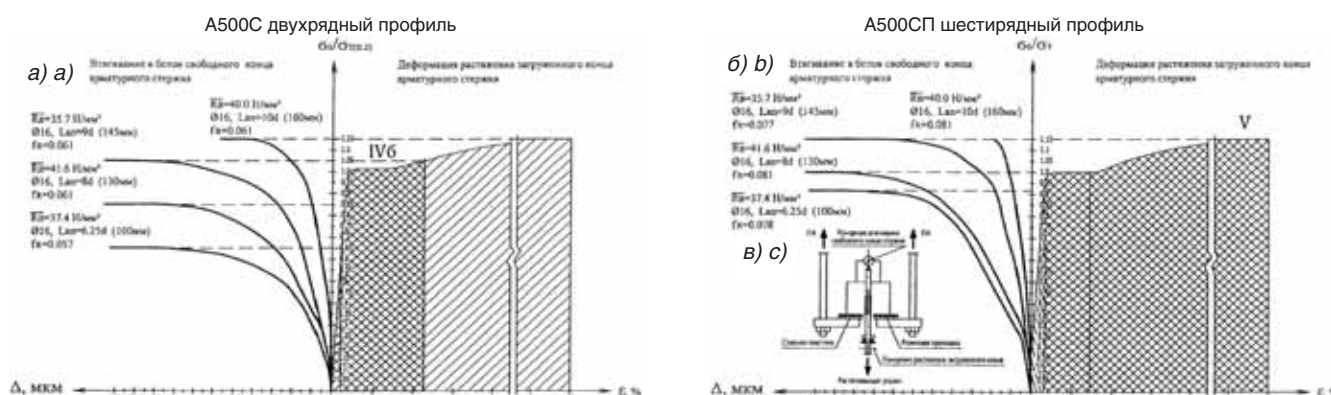


Рис. 17. Деформации вытягивания ненагруженного конца стержня и энергоемкость сцепления арматуры Ø 16 мм с бетоном: а) Арматура с серповидным двухрядным профилем А500С; б) Арматура с шестирядным профилем А500СП; в) Схема испытаний
Fig. 17. Retraction deformations of the unloaded end of the rod and the energy intensity of coupling of reinforcement Ø 16 mm with concrete: а) Reinforcement with a crescent-shaped double-row profile; б) Reinforcement with a four-row profile; в) Test scheme

На рис. 17а, б приведены графики, построенные для арматуры классов А500 диаметром 16 мм с серповидным двухрядным и шестирядным профилями при длинах анкеровки в бетоне 6,25; 8, 9 и 10d.

Для оценки сцепления до и после достижения предела текучести замерялись деформации нагруженного конца арматуры (рис. 17в).

Нарушение сцепления и разрушение всех образцов с длиной анкеровки 6,25; 8 и 9d произошло в результате среза бетонных консолей между поперечными ребрами арматуры и носило пластический характер. Образцы, имеющие длину анкеровки 10d, кроме двух, с серповидным двухсторонним профилем, были разрушены от разрыва арматуры.

Жесткость сцепления, характеризуемая наклоном кривых у арматуры с новым профилем (шестирядного), была заметно выше, чем у арматуры европейского профиля (серповидного двухрядного).

Превышение максимального усилия при выдергивании стержней с новым профилем над арматурой с европейским профилем достигало 27 %.

Живучесть многорядного профиля подтверждается также замерами пластических удлинений, выполненными для этой цели, на стержнях, извлеченных из бетона после испытаний, в пределах длины их анкеровки (рис. 18). В данном случае оценка производилась по изменению поперечного размера стержня по длине анкеровки. Разницу деформирования анкерирующих участков стержней классов А500СП и А500С в бетоне можно оценить по эпюрам

удлинений, отличающихся по площади в 2–3 раза в пользу А500СП.

Таким образом, выполненные исследования позволили установить способность стержней с новым многорядным профилем при экстремальных условиях сохранять максимально достигнутую прочность сцепления даже при значительных пластических деформациях стержней при напряжениях на уровне предела текучести и даже выше.

Полученные опытные данные свидетельствуют о том, что новый периодический профиль при длине анкеровки в 3–4 раза меньше требуемой СНиП для восприятия расчетного сопротивления не только обеспечивает более значительные усилия вытягивания стержней из бетона по сравнению с серповидным двухсторонним профилем, но и способен сохранять повышенное сопротивление сцепления при значительно больших (в несколько раз) пластических деформациях, то есть может обеспечить более высокую живучесть конструкций в экстремальных ситуациях.

За время производства новой арматуры установлено:

- стойкость калибров прокатных валков возросла на 20–40 % из-за уменьшения в 2 раза количества поперечных канавок, не выходящих на продольные ребра и увеличения размера перемычки металла между ними;

- возможность регулирования величины критерия Рема (f_R) изменением длины четвертных ребер и увеличением высоты всех поперечных ребер с выполнением условий по их полному заполнению металлом;

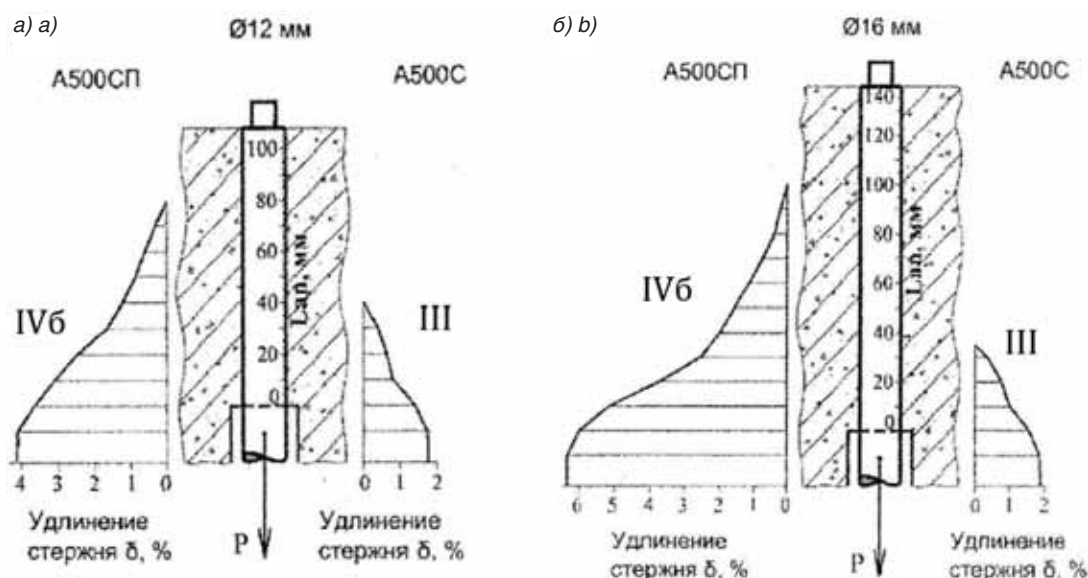


Рис. 18. Распределение пластических удлинений арматурных стержней в пределах зоны заделки арматуры в бетон с $l_{an} = 9d$:

a) Ø 12 мм; б) Ø 16 мм

Fig. 18. Distribution of plastic extensions of reinforcing rods within the reinforcement embedding zone in concrete with $l_{an} = 9d$:

a) Ø 12 mm; б) Ø 16 mm

– легкость выполнения требований по стабильному производству арматуры с браковочным минимумом критерия Рема ($f_R \geq 0,075$), обеспечивающим высокие показатели сцепления арматуры с бетоном;

– выносливость при динамическом нагружении новой арматуры сопоставима с показателями арматуры с «европейским профилем» и выше, чем у кольцевой арматуры из-за отсутствия замкнутых по окружности поперечных ребер и уменьшения в 2 раза поперечных ребер, пересекающихся с продольными;

– увеличение прочности арматурного проката на 2–3 % в связи с увеличенной площадью поверхности

стержней, контактирующей с охлаждающей водовоздушной средой в процессе термомеханического упрочнения при прокатке ($f_R \geq 0,075$) по тем же режимам, что и используемых при производстве «европейской» арматуры ($f_R \geq 0,056$).

Механические соединения обычной арматуры

В последнее время в отечественной и зарубежной практике нашли широкое применение механические соединения арматурных стержней с помощью различных приспособлений (рис. 19).

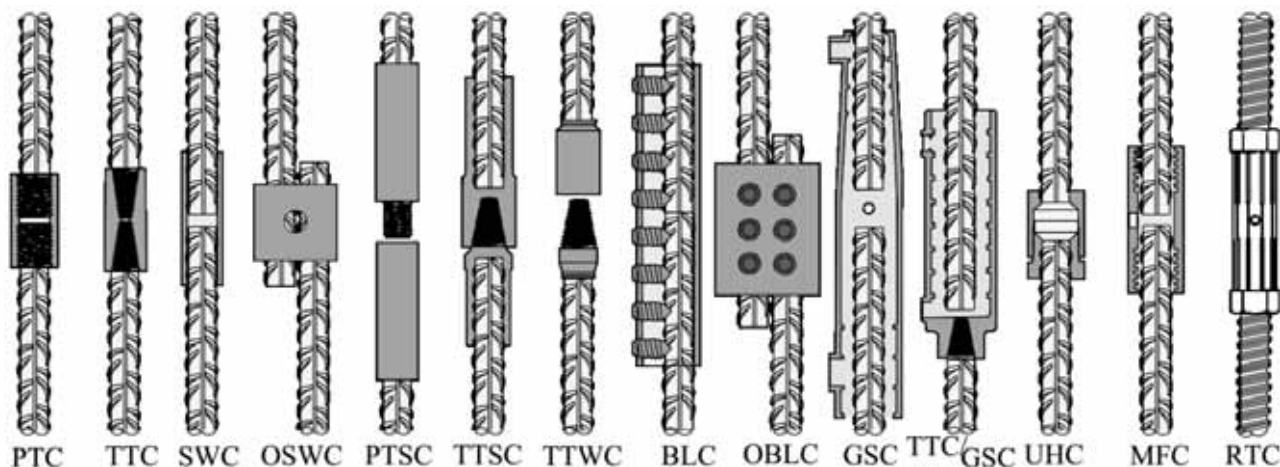


Рис. 19. Виды механических соединений, применяемых за рубежом. (Напезные: PTC Parallel threaded, TTC Taper threaded, PTSC Cold forged sleeve with parallel threads, TTSC Cold forged sleeve with taper threads, TTWC Taper threads from welded heads; (Обжимные: SWC Swaged, OSWC Offset wedge swaged, BLC Bolt lock, OBLC Offset bolt lock); (С заполнителями: GSC Grouted sleeve, TTC/GSC Taper threaded-Grouted sleeve; (Другие: UHC Upset headed, MFC Metal filled, RTC Rib thread)

Fig. 19. Types of mechanical connections used abroad. (Rifled: PTC Parallel threaded, TTC Taper threaded, PTSC Cold forged sleeve with parallel threads, TTSC Cold forged sleeve with taper threads, TTWC Taper threads from welded heads; (Crimping: SWC Swaged, OSWC Offset wedge swaged, BLC Bolt lock, OBLC Offset bolt lock); (With placeholders: GSC Grouted sleeve, TTC/GSC Taper threaded-Grouted sleeve; (Others: UHC Upset headed, MFC Metal filled, RTC Rib thread)

Наиболее актуальным является применение механических соединений в высотном, транспортном и сейсмостойком строительстве. В СП 14.13330.2018 «Строительство в сейсмических районах» в п. 6.7.12 требуется: «При диаметре стержней 20 мм и более соединение стержней и каркасов следует выполнять с помощью специальных механических соединений (опрессованных и резьбовых муфт) или сварки независимо от сейсмичности площадки» [10].

В СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения» в Приложениях К и Л приведены правила проектирования и конструи-

рования железобетонных конструкций с механическими соединениями арматуры, а также расчёт муфт опрессованных механических соединений [11].

В России большую популярность получили резьбовые соединения Ancon и Dextra (рис. 20), также различные виды обычных (опрессованных) соединений (рис. 21). Они быстро завоевали доминирующую позицию на соответствующем рынке и повсеместно используется для сооружения многоэтажных зданий, атомных и гидроэлектростанций, мостов и прочих массивных строительных объектов (I и II уровня ответственности).

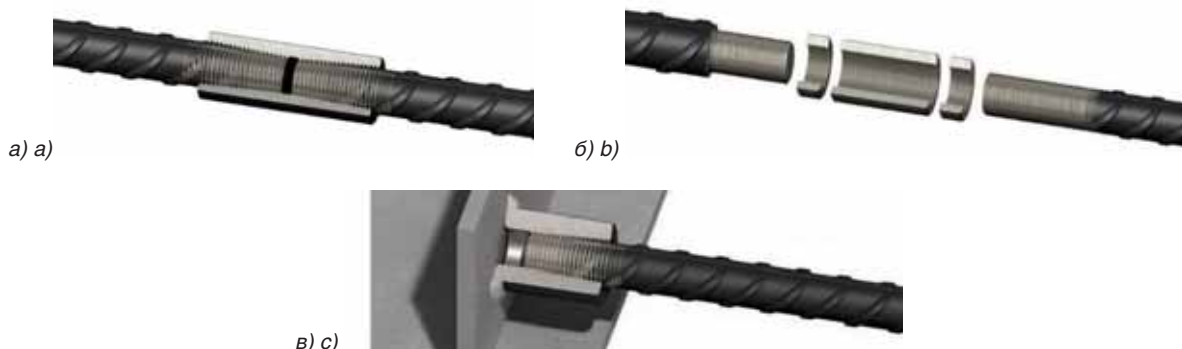


Рис. 20. Резьбовые муфтовые соединения: а – с конической резьбой; б – с цилиндрической резьбой; в – приварная муфта
Fig. 20. Threaded coupling connections: a – with conical thread; b – with cylindrical thread; c – welded coupling

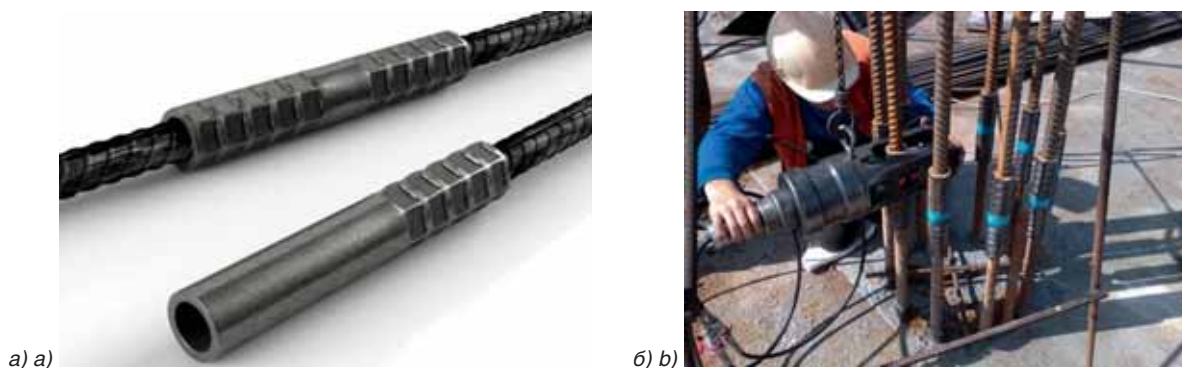


Рис. 21. Обжимное соединение; а – обжимная муфта; б – монтаж соединения
Fig. 21. Crimp connection; a – crimp coupling; b – mounting the connection

Резьбовые соединения имеют ряд преимуществ:

- сокращение времени работ;
- не требует сварочных и вязочных работ;
- сборка не требует крупногабаритного специального оборудования.

А также ряд недостатков:

- срезание верхнего защитного упрочненного слоя арматуры при нарезке резьбы;
- необходимость снятия напряжений в металле (отпуск) после выполнения процедуры холодной накатки резьбы;
- наличие специального оборудования и профессионального выполнения работ;
- однозаходность резьбы, усложняющая или делающая невозможной сборку даже при небольшой несоосности стержней;
- необходимость защиты от механических повреждений;

– пониженная коррозионная стойкость данного вида соединений, в первую очередь с механически нарезанной резьбой;

– необходимость выполнения требований по толщине защитного слоя бетона в местах муфтовых соединений.

Преимущества обжимных соединений:

- простота конструкции соединений;
 - сокращение времени работ;
 - не требует сварочных и вязочных работ.
- Недостатки обжимных соединений:
- увеличение массы монтируемой конструкции;
 - применение тяжелых гидравлических прессов в процессе монтажа;
 - трудность выполнения соединений в условиях высокой насыщенности арматурой.

Обжимные муфтовые соединения арматуры нельзя назвать технологией, которые повторяют заявлен-

ное качество вне зависимости от условий эксплуатации. Имеются случаи агрессивного поведения гидроприводов, которые норовят пробиться каску работающему персоналу и учинить травму на производстве, а также случаи, приведённые на рис. 14.

Арматурный прокат с винтовым профилем

Отличительной особенностью винтового проката по сравнению с обычным является особое расположение рёбер периодического профиля, служащих для усиления сцепления с бетоном и обеспечивающих возможность навинчивания разного рода резьбовых крепёжных элементов – гаек, соединительных муфт,

анкерных гаек с аналогичной внутренней резьбой.

Производство винтового арматурного проката несколько сложнее обычного из-за необходимости синхронизировать вращение прокатных валков с целью образования двухсторонними поперечными рёбрами непрерывной винтовой резьбы (рис. 22). В этом случае также необходимо исключить наличие продольных рёбер, мешающих накручиванию на прокатную резьбу анкерных гаек и соединительных муфт.

В результате сказанного, при производстве прокатной винтовой арматуры, для валков чистовых клетей используют специальные синхронизирующие устройства.

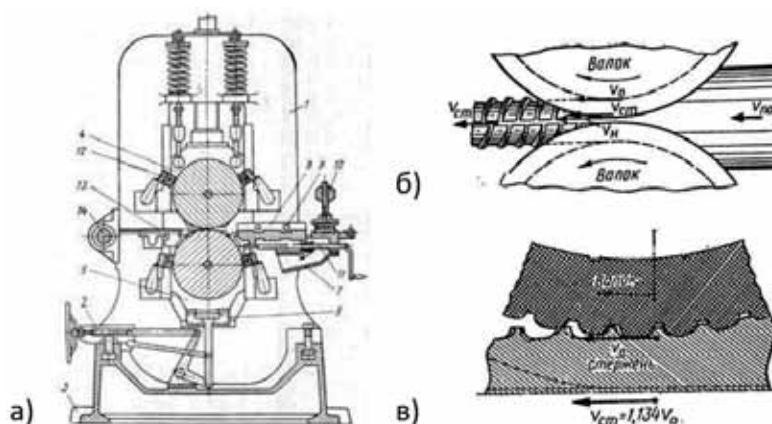


Рис. 22. Прокатка стержней периодического профиля: а) рабочая клеть двухвалкового прокатного стана; б) формирование профиля в чистовых валках; в) возможная схема «сноса» выступов; $v_{n,o}$ – скорость подачи предчистового овала; v_o – окружная скорость в глубине калибра валка; v_n – окружная скорость наружной поверхности валка; v_{cr} – скорость выхода готового стержня

Fig. 22. Rolling of rods of a periodic profile: a) working cage of a two-roll rolling mill; b) profile formation in finishing rolls; c) possible scheme of "demolition" of protrusions; $v_{n,o}$ – feed rate of the pre-finishing oval; v_o – circumferential velocity in the depth of the roll gauge; v_n – circumferential velocity of the outer surface roll; v_{cr} – the output speed of the finished rod

Впервые винтовая арматура начала производиться в Германии в конце 60-х годов по инициативе строительной фирмы DYWIDAG на металлургическом заводе Peine-Salzgitter в двух видах: BSt420RU (BSt500S) (для ненапряжённого железобетона) диаметром 16–50 мм и высокопрочная (классов 835/1030, 900/1100 и 1080/1230) диаметром 15–36 мм. В Японии фирмой SUMITOMO производится винтовая арматура

классов SD30, SD35 и SD40 диаметром от 19 до 57 мм (рис. 23). В Венгрии в начале 80-х годов на Оздском металлургическом заводе освоено производство винтовой арматуры классов BSt420/500 и BSt835/1030 сортаментом 12–40 мм. Соединительные элементы за рубежом изготавливаются резанием из шестигранника, или с использованием литья (анкерные и спец-гайки) с изготовлением внутренней резьбы.

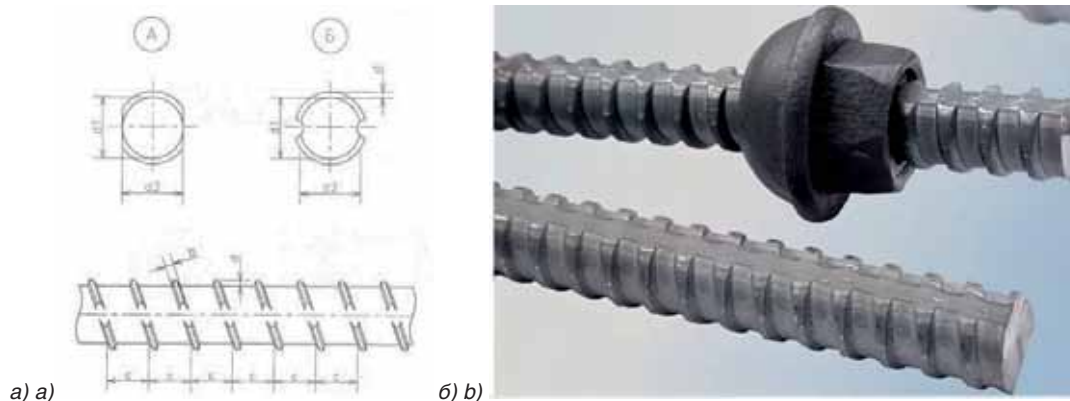


Рис. 23. Арматура винтового профиля с правой резьбой разного поперечного сечения а) с продольными лысками (немецкая ГЕВИ-сталь (GEWI-Stahl); б) с продольными желобками (фирма Сумитомо (SUMITOMO))

Fig. 23. Fittings of a screw profile with right-hand threads of different cross-sections а) with longitudinal grooves (German GEWI-Stahl); б) with longitudinal grooves (SUMITOMO)



Рис. 24. Использование винтовой арматуры для сборного строительства
Fig. 24. Using screw fittings for prefabricated construction

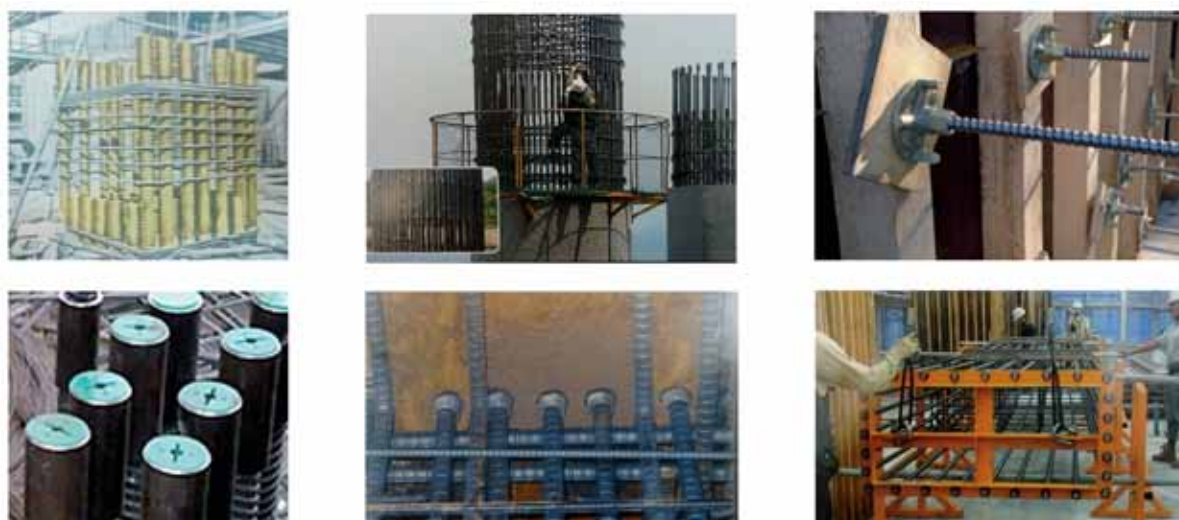


Рис. 25. Использование винтовой арматуры для монолитного строительства
Fig. 25. The use of screw fittings for monolithic construction



Рис. 26. Применение винтовой арматуры в туннельном и прочих видах строительства
Fig. 26. The use of screw fittings in tunnel and other types of construction

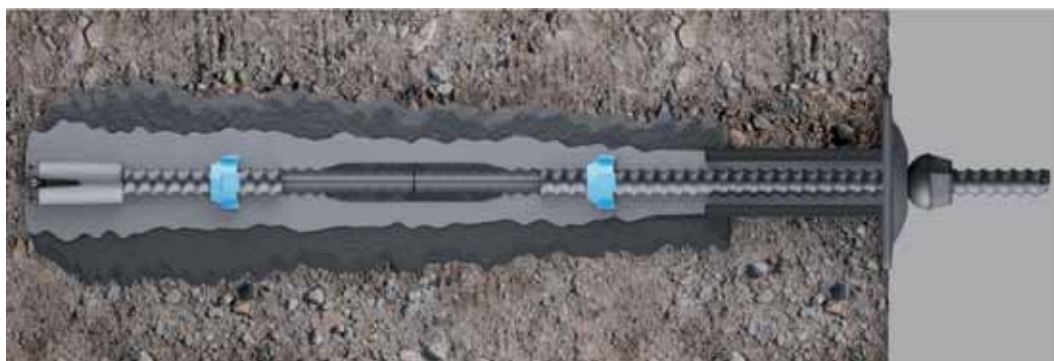


Рис. 27. Применение винтовой арматуры в качестве буроинъекционного анкера
Fig. 27. The use of screw fittings as a drilling anchor

Наиболее широко используемым соединением винтовой арматуры является система «GEWI-Stahl» фирмы «Annahütte», применяемая для монтажа каркасов, анкеровки и других работ (рис. 23–27).

«SAS Systems» с использованием стержней «GEWI-Stahl» этой фирмы включает в себя анкерные тяги и стяжную арматуру, преднапряжённые грунтовые анкера, опалубочные анкера, грунтовые гвозди и болты, микросваи, высокопрочные кессон сваи. Данная система широко используется в зарубежном строительстве. В России делаются попытки её использования в атомно-энергетическом, транспортном и высотном строительстве.

На металлургических предприятиях бывшего СССР с конца 70-х годов предпринималось попытки освоения производства винтовой арматуры (при участии НИИЖБ). Ниже приводится список этих предприятий в хронологическом порядке и виды арматуры, которые на них осваивались:

- Донецкий металлопрокатный завод, № 25, А-III;
- Макеевский меткомбинат, № 25 и 32, А-III и Ат-V;
- Криворожский меткомбинат, № 18, 25 и 32, А-III и Ат-V;
- Западно-Сибирский меткомбинат, № 14, 16, 18, 20 и 25, классов А-III, А500С, Ат-V, Ат-VII и № 36 класса А500С;
- Череповецкий меткомбинат, № 36 класса А-V (23Х2Г2Т);
- Тульский металлопрокатный завод (ТМПЗ), № 16–40, А400, А500.

В небольших количествах винтовая арматура производилась на Криворожском, Западно-Сибирском, Череповецком меткомбинатах и Белорусском металлургическом заводе.

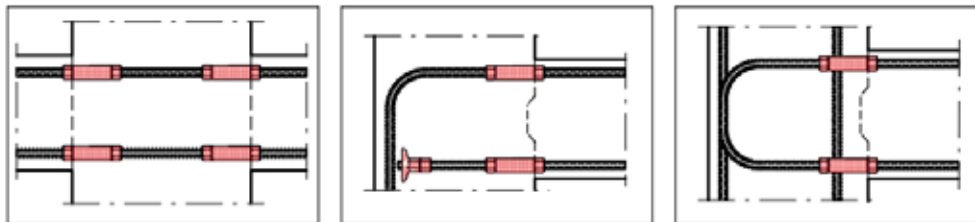
Механические соединения и анкерующие элементы винтовой арматуры

Несмотря на повышенную цену винтовой арматуры по сравнению с обычной, дополнительные расходы на муфты и гайки и усложнение технологии стыковки стержней (затяжка контргаек нормируемым усилием для исключения податливости муфтовых стыков вследствие обмятия резьбы), на зарубежном рынке область применения винтовой арматуры представлена наиболее массово. Это объясняется тем, что за

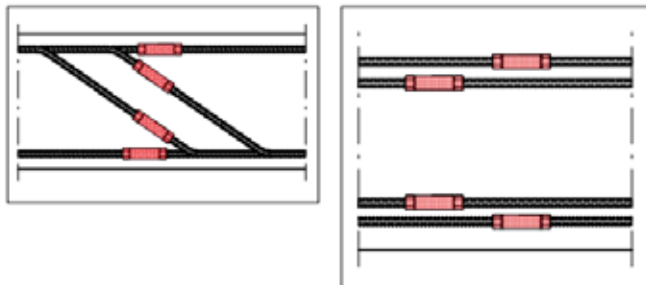
рубежом в монолитном железобетоне арматура в основном стыкуется внахлестку без сварки, при этом, по немецким источникам, для реальных объектов расход арматурной стали на стыковку может достигать до 50 % массы всей рабочей арматуры. Кроме того, для сильно нагруженных конструкций (колонн нижних этажей высотных административных и промышленных зданий, фундаментных стоек и т.п.) насыщение сечений арматурой может быть таким большим, что само размещение в пределах сечения конструкции арматуры, стыкуемой внахлестку, становится проблематичным, так как приводит к ухудшению качества бетона вследствие плохих условий его вибрации. При этих условиях применение винтовой арматуры становится эффективным. В зарубежной практике винтовая арматура с пределом текучести 500 Н/мм² (например, класса BSt500S по стандарту Германии DIN488) применяется в разнообразных монолитных конструкциях зданий и сооружений – атомных и тепловых электростанций, конструкциях мостов (опор мостов, пилонов и т.п.), тоннелей метро, производственных, административных и спортивных зданий и т.п. В настоящее время для вышеуказанных целей используется винтовая арматура диаметром 16–50 мм с пределом текучести 500 Н/мм² (по европейской классификации B500) в комплекте с соединительными и анкерными элементами (рис. 28, 29). Контргайки муфтовых соединений и концевых анкеров затягиваются нормируемым усилием.

В отличие от Западной Европы в России и странах СНГ арматуру в монолитном железобетоне в основном стыкуют с использованием не только нахлеста, но и сварки, что до 2005 г. было значительно дешевле, чем винтовые стыки. С увеличением длины нахлеста по СП 52–101–2003 на 15–30 % внедрение безнахлесточных стыков, в том числе винтовых, стало актуальным и экономически целесообразным в России. Существуют виды монолитных конструкций, в которых сварка не разрешается в принципе по соображениям пожарной безопасности. Прежде всего это монолитные железобетонные дымовые трубы и градирни тепловых электростанций, арматура которых соединяется по длине с использованием стыков внахлестку без сварки, соединительными муфтами, трубками для инъектирования и т.п.

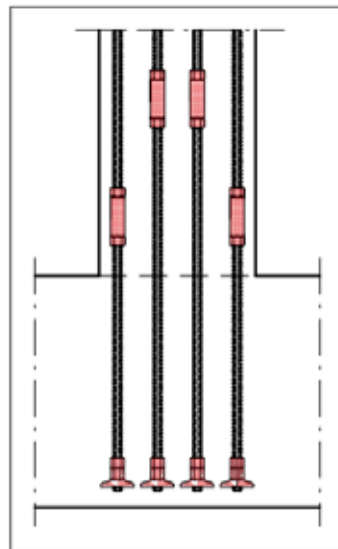
Examples for roof connections



Examples for connecting bending reinforcement



Example for a fixed column support



Examples for a frame corner and a consite

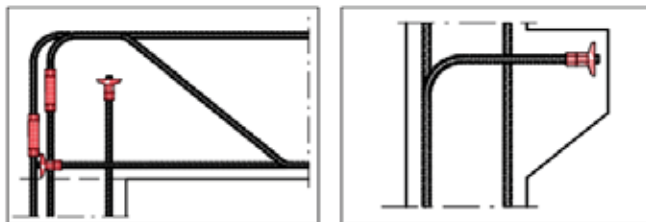


Рис. 28. Примеры механических соединений с применением системы GEWI Threadbar
Fig. 28. Examples of mechanical connections using the GEWI Threadbar system

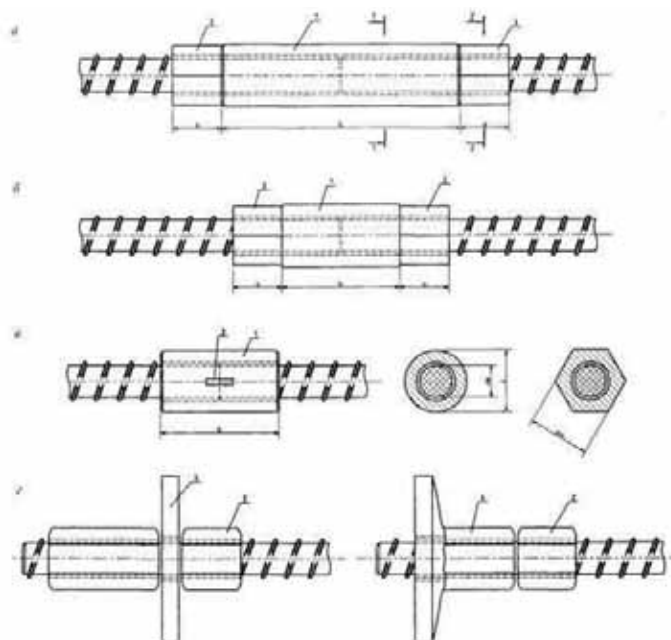


Рис. 29. Ненапрягаемая винтовая арматура с основными винтовыми соединениями
a) сжато-растянутый стык с контргайками; б) сжатый стык с контргайками; в) сжатый (контактный) стык;
г) два вида концевых анкеров винтовой арматуры; 1. соединительная муфта; 2. контргайка;
3. щель для контроля контакта стержней; 4. анкерная гайка; 5. анкерная шайба

Fig. 29. Non-stressed screw fittings with basic screw connections

a) compressed-stretched joint with lock nuts; b) compressed joint with lock nuts; c) compressed (contact) joint; d) two types of end anchors of screw fittings; 1. coupling; 2. lock nut; 3. slot for monitoring the contact of rods; 4. anchor nut; 5. anchor washer

Прутки винтовой арматуры в комплекте с гайками могут использоваться для крепления щитов опалубки при бетонировании бетонных и железобетонных конструкций в построечных условиях. При этом арматурные прутки выполняют роль винтовых стяжек; эти стяжки могут быть многократного использования (извлекаются после распалубки) или остающимися в бетоне (рис. 30). В настоящее время, в связи с возрастающим объемом строительства монолитных желе-

зобетонных жилых и общественных зданий (особенно в Москве), действует большое число зарубежных и отечественных фирм, поставляющих инвентарную опалубку разнообразной конструкции (стальную, деревометаллическую, дюралевую и т.п.), которая комплектуется тяжами из винтовой арматуры. Зарубежные фирмы (например, немецкие QUICK, Bauer, Paschal) используют высокопрочную винтовую арматуру номинального диаметра 15 мм.

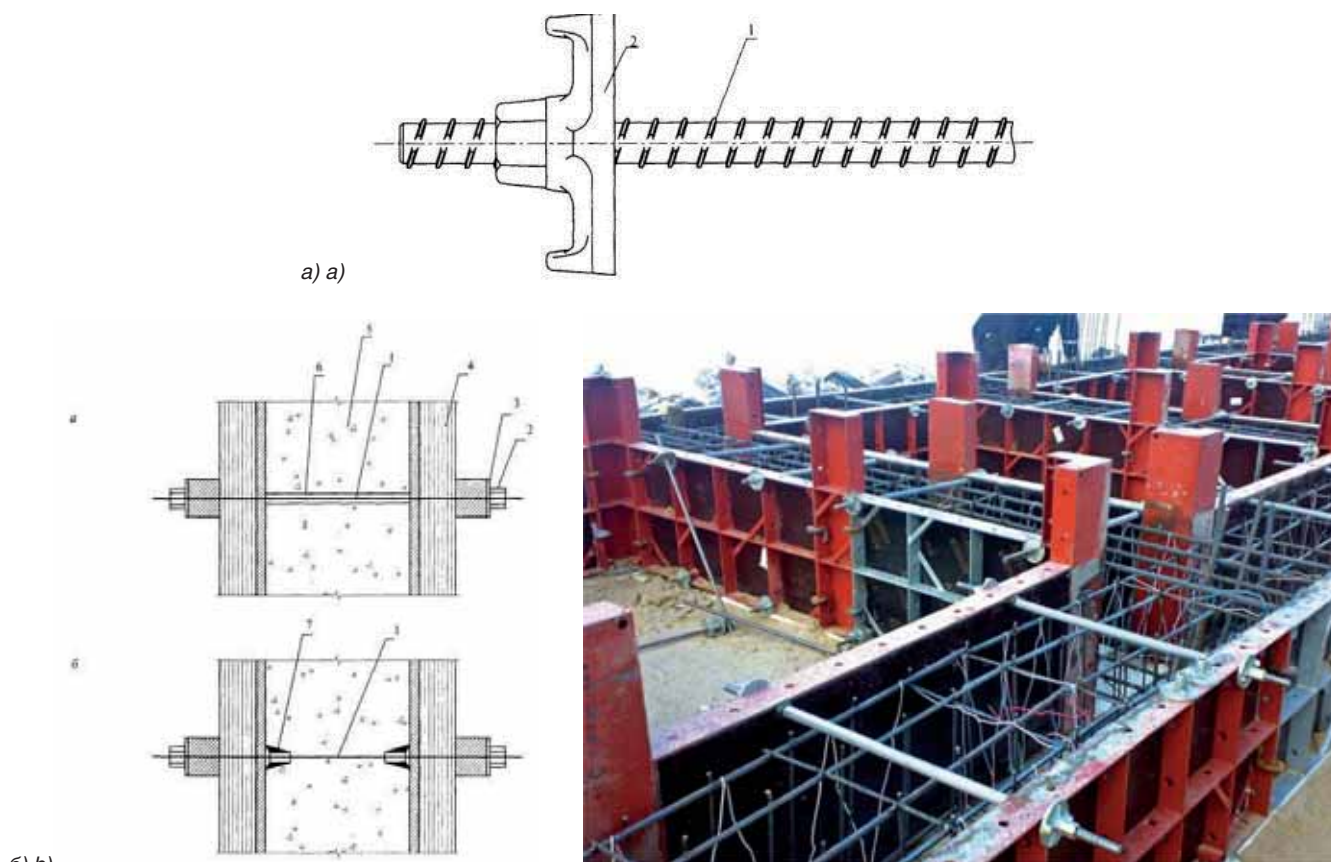


Рис. 30. Схема крепления опалубки с использованием в качестве тяжей винтовой арматуры

а) извлекаемый тяж; б) тяж, остающийся в бетоне; 1. тяж из винтовой арматуры; 2. гайка; 3. подкладка; 4. конструкция опалубки; 5. железобетонная стена; 6. неизвлекаемая пластмассовая трубка; 7. заглушка

Fig. 30. Diagram of formwork fastening using screw reinforcement

as strands. a) removable weight; b) weight remaining in concrete; 1. weight of screw reinforcement; 2. nut; 3. lining; 4. formwork structure; 5. reinforced concrete wall; 6. non-removable plastic tube; 7. plug

В Москве фирма «Выбор-19» одно время использовала винтовую арматуру производства «Евраз ЗСМК» диаметрами 14, 16 и 18 мм классов Ат800 и А500С. Арматура диаметром 16 мм класса Ат800 «Евраз ЗСМК» в комплекте с гайками из шестигранника № 32 с точеной резьбой применялась для крепления нестандартной опалубки при возведении монолитных железобетонных пилонов всячего покрытия стадиона «Локомотив» в Москве.

Кроме винтовой арматуры в Москве используются прутки длиной до 2 м с резьбой, накатанной без нагрева (процесс холодной винтовой прокатки). Практика применения показала невысокую надежность таких тяжей – отмечались случаи хрупких разрушений холоднодеформированных прутков-стяжек в процессе вибрации бетонной смеси в опалубке.

Потребителями винтовой стали для крепления опалубки являются:

- строительные фирмы, постоянно применяющие инвентарную опалубку, так как тяжи, комплектующие опалубку, выходят из строя в процессе ее эксплуатации;
- фирмы-изготовители инвентарной опалубки. В настоящее время потребность в этой стали небольшая, но она будет неизбежно расти с увеличением объемов применения в РФ монолитного железобетона и снижения рыночной стоимости винтовой арматуры.

В строительстве применяется большое количество типов фундаментных болтов. Болты служат в основном для крепления к железобетонным фундаментам технологического оборудования и разного рода строительных конструкций: стальных опор ЛЭП, стальных стропильных и подстропильных ферм, ба-

лок и т.п. Болты изготавливаются в основном из стали Ст.3 исходя из условий их эксплуатации, желательна повышенная стойкость болтов к действию динамических нагрузок. В связи с этим возможно применение в качестве болтов арматуры винтового профиля класса А500С, изготавливаемой из стали Ст.3 с использованием термомеханического упрочнения как обладающей повышенным сопротивлением к действию динамических нагрузок. Кроме того, винтовая арматура в качестве болтов имеет следующие преимущества: имеет крупную трапециевидную резьбу, менее подверженную повреждениям в процессе монтажа по сравнению с метрической, и обладает хорошим сцеплением с бетоном.

В связи с тем, что винтовая арматура по существу является винтовой шпилькой большой длины, она может применяться в строительстве для разных целей в качестве тяжёлых и стяжек, в частности для ремонтных и восстановительных работ, крепления сантехнического оборудования, трубопроводов и временных лесов для проведения монтажных и отделочных строительных работ.

Отдельным объектом эффективного применения винтовой арматуры является ее использование в качестве анкерных элементов крепления стен в грунте, широко применяемых в подземном монолитном строительстве.

Основным дистрибьютером винтовой арматуры в России является компания «ПРОМСТРОЙ КОНТРАКТ». В своё время она, совместно с германской компанией DIWIDAG осуществляла внедрение винтовой арматуры зарубежного производства на отечественных строительных площадках, в виде грунтовых

анкеров и предварительно напряжённой арматуры. Тульский металлопрокатный завод и «ЕВРАЗ ЗСМК» производят винтовую арматуру по заказам шахтёрских, метростроя, РЖД и для крепежа опалубки и др. в незначительных объёмах.

Объективными причинами, ограничивающими широкомасштабное внедрение винтовой арматуры при производстве железобетонных конструкций, является:

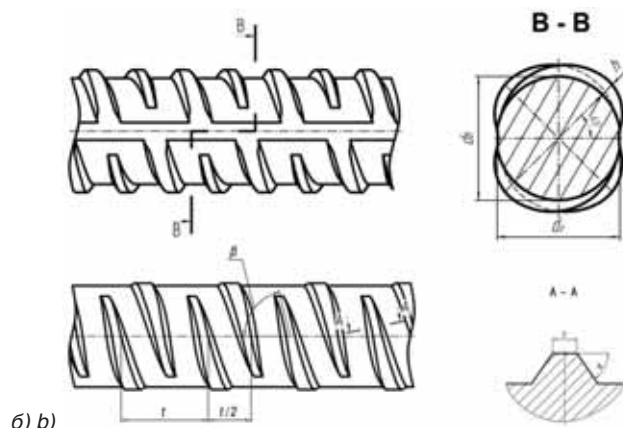
- увеличенная себестоимость винтового проката в результате необходимости синхронизации валков клети прокатного стана (рис. 6) ($\approx 8\%$);
- искусственное завышение рыночной стоимости из-за специализации применения винтовой арматуры в основном в качестве крепёжных элементов и грунтовых анкеров (в 2–4 раза);
- защищённость зарубежными патентами основных известных видов винтовой арматуры;
- высокая двухсторонняя распорность известных видов винтового профиля, снижающая его сцепление с бетоном.

Универсальный (обычный и винтовой) арматурный профиль с четырёхрядным расположением поперечных рёбер

С целью получения дополнительных потребительских свойств арматурного проката для увеличения его конкурентных преимуществ на строительном рынке в 2016 г. началась разработка нового универсального профиля арматурного проката, сохранявшего преимущества многорядного профиля класса А500СП, которую возможно было бы практически осуществить на имеющемся прокатном оборудовании без значительных материальных затрат на его переделку (рис. 31).



а) а)



б) б)

Рис. 31. Профиль арматуры с двухзаходным винтообразным расположением по поверхности серповидных рёбер:

а) общий вид; б) конфигурация профиля

Fig. 31. Reinforcement profile with a two-way helical arrangement along the surface of the crescent-shaped ribs:

а) general view; б) profile configuration

Новая концептуальная форма и схема расположения поперечных рёбер на поверхности стержня разрабатывались в развитие профиля шестирядных рёбер класса А500СП. В отличие от прототипа (рис.15) исключены классические серповидные ребра, а полусерповидные ребра (рис.15) удлинены и разнесены по поверхности стержня в шахматном порядке с образованием четырех рядов по периметру стержней

(рис.31). Высота продольных рёбер уменьшена с возможностью их полного отсутствия или образования углубления на их местоположении.

Таким конструктивным решением была достигнута высокая стойкость калибров, имеющих свободный отвод паров воды из поперечных канавок, стабильные геометрические параметры профиля, увеличенный браковочный коэффициент Рема

($f_R \geq 0,075$), уменьшенный диапазон отклонения ширины профиля, стабильность его геометрических размеров и массы погонного метра по длине раската [5].

Все перечисленные достоинства, а главное, отсутствие в данной конструкции профиля продольных ребер, позволило производить арматуру с глубоким минусовым допуском группы OM2 по ГОСТ 34028–2016 «Прокат арматурный для железобетонных конструкций. Технические условия» и экономить до 6 % металла.

Дополнительные потребительские свойства четырехрядного профиля новой конструкции можно получить при совмещении во время прокатки верхнего и нижнего ручья валков так, чтобы поперечные ребра образовали замкнутую двухзаходную винтовую линию. Таким образом, профиль становится винтовым универсального применения, позволяющим стыковать прутки арматуры между собой соединительными резьбовыми муфтами и анкеровать гайками.

Конструкция профиля защищена патентом РФ № 2680153 [8], евразийским и европейским патентами.

Арматура с четырехрядным профилем производится АО «Евраз ЗСМК» (г. Новокузнецк) и Тульским металлопрокатным заводом (ТМПЗ).

В процессе исследований сцепления четырехрядной арматуры с бетоном были полностью подтверждены положительные качества шестирядной арматуры (A500СП), полученные ранее и приведенные выше. Более того, независимые сопоставительные испытания сцепления с бетоном АО «ВНИИЖелезобетон» аналога зарубежной винтовой арматуры GEWI-Stahl, имеющей двухрядное расположение поперечных ребер и высокий критерий Рема ($f_R \geq 0,091$), и четырехрядной отечественной винтовой арматуры, при одинаковых исходных условиях, показали неоспоримое преимущество последней (рис. 32, 33).

Новая винтовая четырехрядная арматура отечественной разработки и производства сохраняла прочность сцепления с бетоном в предельной стадии деформирования, то есть после достижения металлом арматуры предела текучести при сдвиге и удлинении загруженного конца стрежня на 32 мм (2d), в то время как арматура – аналог GEWI-Stahl, массово производимая и широко применяемая в ряде стран Европы, Азии, Америки, при одинаковых прочностных и деформативных характеристиках с четырехрядной отечественной винтовой арматурой из-за высокой одноосной распорности имела сдвиг и удлинение загруженного конца стержня при разрушении сцепления всего 3,2 мм, то есть в 10 раз меньше. Металл этой арматуры при потере сцепления с бетоном не достиг предела текучести (стадия III на рис. 9a).

Таким образом, сопоставительными испытаниями установлено, что при исходных равных условиях (прочность бетона и арматуры, диаметр стержней, длина анкеровки) арматура с многорядным распо-

ложением поперечных ребер при $f_R \geq 0,075$, рассмотренных выше конструктивных решений, имеет не только более высокую, по сравнению с европейской двухрядной арматурой, прочность сцепления с бетоном на всех этапах нагружения до достижения в металле предела текучести, но также не теряет прочность сцепления и после достижения этой величины, практически на протяжении всего пластического деформирования ($> 10\%$), вплоть до зоны упрочнения и разрыва стержней.

Европейская двухрядная арматура с винтовым профилем при $f_R \geq 0,09$ теряет сцепление с бетоном до или сразу после достижения предела текучести, а с серповидным профилем – при $0,06 \leq f_R \leq 0,07$ после непродолжительного пластического деформирования.

Данное поведение нахлесточных и анкерующих участков многорядной арматуры обеспечит повышенную стойкость зданий и сооружений против прогрессирующего обрушения в условиях предельной (катастрофической) стадии нагружения при различных аварийных ситуациях. Оно обуславливает способность этих участков армирования железобетонных конструкций к пластическому деформированию и перераспределению усилий в результате образования пластических шарниров, снижающих динамическую составляющую нагрузки, из-за диссипации энергии.

Эффективность сцепления с бетоном арматуры с многорядным профилем, обусловленная высоким f_R и низкой одноосной распорностью, обеспечила не только высокую прочность сцепления в стадиях IVб и V, но также в стадии III, что позволило рекомендовать уменьшить как расчетные длины нахлестки и анкеровки арматурных стержней, так и ширину раскрытия трещин железобетонных конструкций, приблизив их к принимаемым по СНиП 2.03.01–84*.

Преимущества нового многорядного арматурного профиля подтверждаются расчетным обоснованием и сопоставительным анализом компьютерных моделей сцепления арматуры с различными видами профиля и бетона, построенных на основе расчетных объемных конечных элементов сцепления [9].

Аккумулируя все наработки предшествующих мероприятий по способам расточки чистовых калибров арматурных профилей, производимых на АО «ЕВРАЗ ЗСМК», учитывая состав и технические возможности оборудования прокатных станков, сформулировали основные достигаемые цели при производстве нового профиля:

- обеспечить расточку калибров на существующем парке вальцетокарных и фрезерных станках;
- обеспечить повышенную стойкости калибров без применения дорогостоящих материалов валков и условий их эксплуатации;
- обеспечить стабильность массы погонного метра профиля по всей длине раската и производство арматуры в узком поле допусков;
- обеспечить повышенные эксплуатационные характеристики арматурного проката.

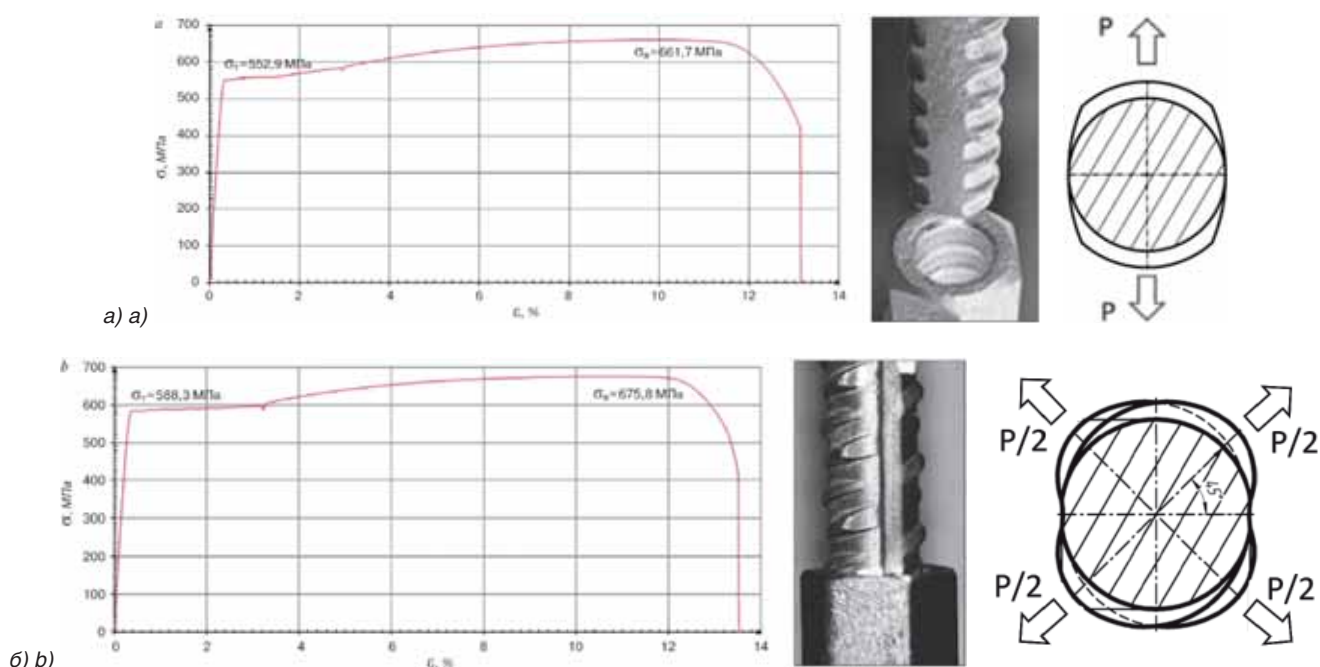


Рис. 32. Механические свойства винтовой арматуры: а) двухрядной (аналог GEWI-Stahl); б) четырехрядной (Av500P)
Fig. 32. Mechanical properties of screw fittings: a) double-row (GEWI-Stahl analog); b) four-row (Av500P)

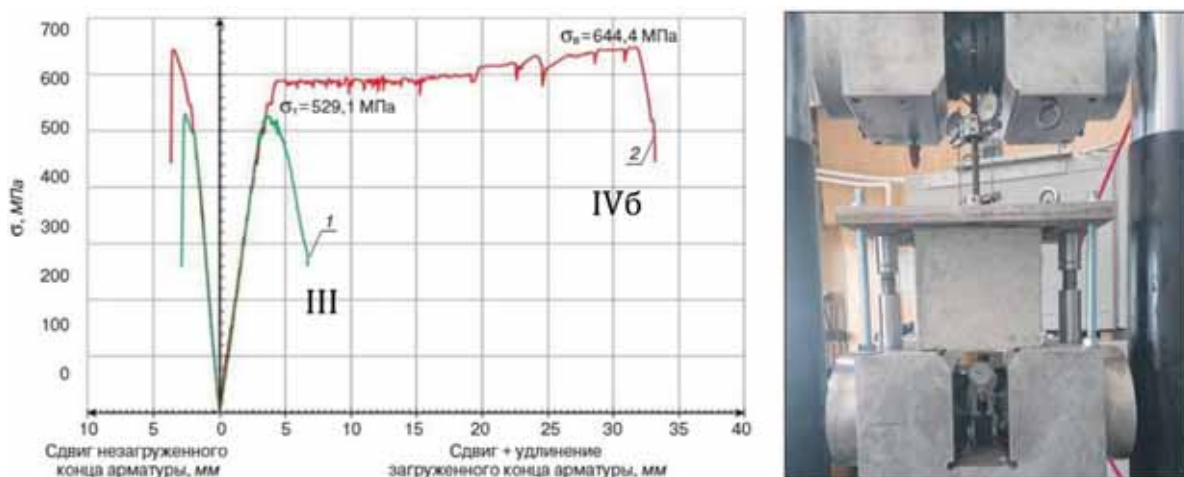


Рис. 33. Испытания сцепления с бетоном винтовой арматуры ($d = 16$ мм, заделка в бетоне 5d, прочность бетона 72,2 МПа):
 1 – класса Ab500 (аналог GEWI-Stahl), $f_R = 0,091$, с двухрядным профилем; 2 – класса Ab500P, $f_R = 0,072$, с четырехрядным профилем
Fig. 33. Concrete adhesion tests for screw reinforcement ($d = 16$ mm, embedded in 5d concrete, concrete strength 72.2 MPa):
 1 – class Ab500 (GEWI-Stahl analog), $f_R = 0.091$, with a double-row profile; 2 – class Ab500P, $f_R = 0.072$, with a four-row profile

Новым решением многорядного профиля одновременно достигаются повышенные производственные характеристики и улучшенные потребительские свойства, имеющие стабильные геометрические параметры, такие как увеличенный коэффициент Рема f_R , уменьшенный диапазон отклонения ширины профиля. Стабильность геометрии обусловлена снижением влияния межклетьевого натяжения раската на изменение величины продольного ребра по причине его отсутствия и, как следствие, стабильность массы погонного метра профиля по длине раската.

Заключение

В Российской Федерации для производства арматурного проката разработаны инновационные виды

периодического профиля поверхности стержней с многорядным расположением поперечных рёбер. Это позволяет значительно улучшить производственные и потребительские свойства отечественной арматуры для железобетонных конструкций и обеспечить её высокую конкурентоспособность на мировых рынках.

Инновационность новой арматуры подтверждена отечественными и зарубежными патентами на изобретения.

Новый арматурный прокат с профилем для обычного применения классов A500СП, Ay500СП, а также прокат с винтовым профилем классов Av500П и выше, освоены металлургической промышленностью и использованы в отечественном и зарубежном (Казахстан, Кыргызстан, Монголия) строительстве в объёме около 5,0 млн. тонн.

Характеристики арматуры с инновационным многогранным профилем позволяют значительно повысить трещиностойкость железобетонных конструкций, а также безопасность строительных объектов при аварийных динамических нагрузках (сейсмика, взрывы, удары и т.д.). В малоэтажном и других видах строительства сохранение сцепления новой арматуры с бетоном при её деформировании в пластической стадии в нахлесточных безсварных соединениях и на анкерующих участках железобетонных элементов, способствует перераспределению усилий в конструкциях зданий, а, следовательно, уменьшает вероятность их прогрессирующего обрушения с катастрофическими последствиями.

Массовое внедрение новых видов арматуры в строительстве обеспечит многомиллиардный экономический эффект при её производстве и применении [12, 13].

Список литературы

1. Мулин Н.М. Стержневая арматура железобетонных конструкций. М.: Стройиздат, 1974. 233 с.
2. Патент № 2283929. Россия. Арматурный стержень периодического профиля. Тихонов И.Н., Гуменюк В.С.
3. Скоробогатов С.М. Основы теории расчёта выносливости стержней арматуры железобетонных конструкций. М.: Стройиздат, 1976. 108 с.
4. Mayer U. Zllm Einfluss der Oberflachengestalt von Ripptnstahlen fuf das Trag -und Verformungsverhalten von Stahlbetonbauteilen, Dissertation, Universitat Stuttgart, Institut fur Werkstoffe im Bauwesen, IWB – Mitteilungen 200211.
5. Тихонов И.Н., Копылов И.В. Эффективность производства и применения арматурного проката с новыми видами периодического профиля // *Строительные материалы*. 2021. № 12. С. 35–47.
6. Тихонов И.Н. О причинах катастрофических разрушений железобетонных конструкций при сейсмических воздействиях // *Жилищное строительство*. 2023. № 5. С. 13–21.
7. Патент № 2252991. Россия. Арматурный стержень периодического профиля. Тихонов И.Н., Звездов А.И., Судаков Г.Н., Мухамедиев Т.А., Стеблов А.Б., Мешков В.З., Андрианов Н.В., Бондаренко А.Н., Маточкин В.А., Тищенко В.А.
8. Патент № 2680153. Россия. Арматурный стержень периодического профиля. Тихонов И.Н., Звездов А.И., Мешков В.З., Игнатов Н.В., Тихонов Г.И.
9. Квасников А.А., Методика расчёта взаимодействия бетона и арматуры железобетонных конструкций в программном комплексе Abaqus // *Строительная механика и расчёт сооружений*. 2019. № 1. С. 65–70.
10. СП 14.13330.2018 Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*. Москва, Минстрой России. 2018. 164 с.
11. СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Москва, Минстрой России. 2018. 138 с.
12. Иваненко Н.А., Сергванцев Н.Д. Инновационный прокат арматуры Ав500П в проектировании железобетонного монолитного здания // *Бетон и железобетон*. 2026. № 633(2). С. 51–56. [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2026-2\(633\)-51-56](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2026-2(633)-51-56) EDN: SWTOEC
13. Краковский М.Б., Тихонов И.Н., Тихонов Г.И. Экономия металла при использовании новых видов арматуры и расчетах в программе «ОМ СНиП Железобетон» // *Бетон и железобетон*. 2024. № 621(2). С. 27–32. [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-2\(621\)-27-32](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-2(621)-27-32)

References

1. Mulin N.M. Rod reinforcement of reinforced concrete structures. Moscow: Stroyizdat, 1974. 233 p.
2. Patent No. 2283929. Russia. Reinforcing rod of a periodic profile. Tikhonov I.N., Gumenyuk V.S.
3. Skorobogatov S.M. Fundamentals of the theory of calculating the endurance of reinforcement rods of reinforced concrete structures. Moscow: Stroyizdat, 1976. 108 p.
4. Mayer U. Zllm Einfluss der Oberflachengestalt von Ripptnstahlen fuf das Trag -und Verformungsverhalten von Stahlbetonbauteilen, Dissertation, Universitat Stuttgart, Institut fur Werkstoffe im Bauwesen, IWB – Mitteilungen 200211.
5. Tikhonov I.N., Kopylov I.V. Efficiency of production and application of rebar rolled products with new types of periodic profile. *Building materials*, 2021, no. 12, pp. 35–47.
6. Tikhonov I.N. On the causes of catastrophic destruction of reinforced concrete structures during seismic impacts. *Housing construction*, 2023, no. 5, pp. 13–21.
7. Patent No. 2252991. Russia. Reinforcing rod of a periodic profile. Tikhonov I.N., Zvezdov A.I., Sudakov G.N., Mukhamediev T.A., Steblov A.B., Meshkov V.Z., Andrianov N.V., Bondarenko A.N., Matochkin V.A., Tishchenko V.A.
8. Patent No. 2680153. Russia. Reinforcing rod of a periodic profile. Tikhonov I.N., Zvezdov A.I., Meshkov V.Z., Ignatov N.V., Tikhonov G.I.
9. Kvasnikov A.A., Methodology for calculating the interaction of concrete and reinforcement of reinforced concrete structures in the Abaqus software package. *Construction mechanics and calculation of structures*, 2019, no. 1, pp. 65–70.
10. SP 14.13330.2018 Seismic building design code. Updated version of SNIP II-7-81*. Moscow, Ministry of Construction of Russia, 2018. 164 p. [In Russian]
11. SP 63.13330.2018 Concrete and Reinforced Concrete Structures. Basic Provisions. Moscow, Ministry of Construction of the Russian Federation. 2018. 138 p. [In Russian]
12. Ivanenko N.A., Sergovantsev N.D. Innovative Av500P reinforcement rolling in the design of a reinforced concrete monolithic building. *Concrete and Reinforced Concrete*, 2026, no. 633(2), pp. 51–56. (In Russian) [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2026-2\(633\)-51-56](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2026-2(633)-51-56)
13. Krakovsky M.B., Tikhonov I.N., Tikhonov G.I. Saving of metal when using new types of reinforcement and calculations using the computer program «OM SNiP Reinforced Concrete». *Concrete and Reinforced Concrete*, 2024, no. 621(2), pp. 27–32. (In Russian) [https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-2\(621\)-27-32](https://doi.org/10.37538/0005-9889-2024-2(621)-27-32)

**Сведения об авторах /
Information about the authors**

Тихонов Игорь Николаевич, д.т.н., профессор кафедры «Строительные сооружения, конструкции и материалы» АО «НИЦ «Строительство». Москва, Россия

Igor N. Tikhonov, Dr. Sci. (Engineering), Professor of the Department of “Building Structures, Structures and Materials” of JSC «SIC «Construction». Moscow, Russia

Звездов Андрей Иванович, д.т.н., главный редактор журнала «Бетон и железобетон», заведующий кафедрой «Строительные сооружения, конструкции и материалы» АО «НИЦ «Строительство», профессор. Москва, Россия

Andrey I. Zvezdov, Dr. Sci. (Engineering), Editor-in-chief of the journal “Concrete and Reinforced Concrete”, Head of the Department “Building Structures, Structures

and Materials” of JSC «SIC «Construction», Professor. Moscow, Russia

Сафонов Александр Александрович, руководитель ИЦ «НИЦстром» ООО «Институт ВНИИжелезобетон». Москва, Россия

Alexander A. Safonov, Head of IC “Nitzstrom”, LLC “Institute of Vniizhelezobeton”; Moscow, Russia

Тихонов Георгий Игоревич, к.т.н., инженер-испытатель ИЛ «НИЦстром» ООО «Институт ВНИИжелезобетон», ORCID: 0000-0002-7010-4118. Москва, Россия

Tikhonov Georgiy I.*, Cand. Sci. (Engineering), Test Engineer at «NITSstrom» Research Lab., LLC “Institute of Vniizhelezobeton”, ORCID: 0000-0002-7010-4118. Moscow, Russia

**Автор, ответственный за переписку / Corresponding author*