

# ПРЕДПОСЫЛКИ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ НОВОЙ ИННОВАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ И УПРОЧНЕНИЯ ВИНТОВОГО АРМАТУРНОГО СТЕРЖНЯ С ГРАДИЕНТНОЙ УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОЙ СТРУКТУРОЙ

## PREREQUISITES FOR THE DEVELOPMENT OF A NEW INNOVATIVE TECHNOLOGY FOR THE FORMATION AND STRENGTHENING OF A SCREW REINFORCEMENT ROD WITH A GRADIENT ULTRAFINE-GRAINED STRUCTURE

Sergey Lezhnev<sup>1</sup>, Evgeniy Panin<sup>2</sup>, Dmitry Kuis<sup>3</sup>, Andrey Tolkushkin<sup>4</sup>, Alexandr Arbuz<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Rudny Industrial Institute, Rudny, Kazakhstan

<sup>2</sup>Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan

<sup>3</sup>Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus

<sup>4</sup>Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

<sup>5</sup>Nazarbayev University, Astana, Kazakhstan

sergey\_legnev@mail.ru

**Abstract:** *The work is devoted to the review of the issue of obtaining screw fittings and methods of its hardening. Based on the review conducted in this paper, a new innovative technology for the formation and hardening of a screw reinforcement rod was proposed, which consists in deforming a round cross-section workpiece on a radial shear rolling mill and subsequent twisting of the workpiece in a special design molding matrix, which allows to obtain screw reinforcement with a gradient ultrafine-grained structure.*

**Keywords:** SCREW REINFORCEMENT, ROD, ULTRAFINE-GRAINED STRUCTURE, GRADIENT STRUCTURE.

### 1. Введение

Сегодня возведение панельных зданий и других конструкций невозможно без использования арматуры, которая значительно повышает прочность бетона. Распространение технологии монолитного бетонирования привело к тому, что сегодня этот вид металлопроката применяется во всех крупных сооружениях, таких как здания различного назначения, плотины и дамбы. Также он необходим и при возведении не таких крупных объектов - постаментов, памятников, плит перекрытия и других. Соединение его прочности и сжатия с растянутостью арматуры позволило создать железобетон, в настоящее время являющийся одним из самых используемых в строительстве материалов. Входя в состав железобетона, арматура не подвергается коррозии, что гарантирует отсутствие постепенного разрушения зданий и других конструкций. Строительная арматура представляет собой прутья, которые могут быть как абсолютно гладкими, так и иметь рифленую поверхность с расположенными на ней выступами, параллельными или перекрестными друг к другу.

Винтовой арматурный прокат отличается от обычного тем, что ребра его периодического профиля служат не только для усиления сцепления с бетоном, но и благодаря особому расположению образуют модифицированную крупную винтовую резьбу на всей длине стержней, делающую возможным навинчивание разного рода резьбовых крепежных элементов - гаек, соединительных муфт, анкерных гаек с аналогичной внутренней резьбой. Таким образом, арматурный стержень по сути превращается в резьбовую шпильку большой длины (до 12 м из условий транспортирования), что открывает разнообразные возможности для применения такой арматуры в строительстве. Так, например, прутки винтовой арматуры в комплекте с гайками могут в построечных условиях использоваться для крепления щитов опалубки при бетонировании монолитных бетонных и железобетонных конструкций, при этом арматурные прутки выполняют роль винтовых стяжек (эти стяжки могут быть многократного использования (извлекаются после распалубки) или остающимися в бетоне). Особо актуальным является использование винтовой арматуры в монолитных конструкциях, в которых сварка не разрешается по соображениям пожарной безопасности, например, это монолитные железобетонные дымовые трубы и градирни

тепловых и атомных электростанций, где арматура соединяется по длине с использованием стыков внахлестку без сварки анкерными гайками, соединительными муфтами и т.п.

Хочется отметить, что в строительстве применяется и большое число типов фундаментных болтов, которые служат в основном для крепления к железобетонным фундаментам технологического оборудования и разного рода металлических конструкций: стальных опор ЛЭП, стальных стропильных и подстропильных ферм, балок и т.п. Как известно, чаще всего болты изготавливают, в основном, из стали группы марок Ст.3, исходя из температурных условий их эксплуатации, также желательна повышенная стойкость болтов к действию динамических нагрузок. В связи с этим возможно применение в качестве болтов арматуры винтового профиля класса A500С, изготавливаемой из стали марок Ст.3пс или Ст.3сп с использованием термомеханического упрочнения. Кроме того, винтовая арматура в качестве болтов имеет следующие преимущества: имеет крупную трапециевидную резьбу, менее подверженную повреждениям в процессе монтажа по сравнению с метрической резьбой, и обладает хорошим сцеплением с бетоном фундаментов. В связи с тем, что винтовая арматура по существу является винтовой шпилькой большой длины, она может применяться в строительстве для разных целей также в качестве тяжелей и стяжек, в частности для ремонтных и восстановительных работ, крепления сантехнического оборудования, трубопроводов и временных лесов для проведения монтажных и отделочных строительных работ. Отдельной сферой целесообразного применения винтовой арматуры является ее использование в качестве анкерных элементов крепления стен в грунте, широко применяемых в подземном монолитном строительстве.

### 2. Постановка проблемы

Винтовую арматуру впервые начали изготавливать и применять в Германии в конце 60-х годов по инициативе строительной фирмы ДИВИДАГ (DIWIDAG), производство арматуры было освоено на металлургическом заводе Reine-Salzqitter. Арматура выпускается двух основных видов: для ненапряженного железобетона класса BSt420RU (в настоящее время BSt500S) диаметром 16-50 мм и высокопрочная (классов 835/1030, 900/1100 и 1080/1230) диаметром 15,0-36,0 мм. В Японии фирмой Сумитомо (SUMITOMO) производится и применяется винтовая арматура классов 5030,5035 и 5040

диаметром от 19 до 57 мм. В Венгрии в начале 80-х годов на Оздском металлургическом заводе освоено производство винтовой арматуры классов В81420/500 и В81835/1030. На металлургических предприятиях бывшего СССР с конца 70-х годов предпринималось несколько попыток освоения производства винтовой арматуры, но в настоящее время только несколько предприятий стран СНГ выпускают винтовой арматурный профиль, это, например, ОАО «Западно-сибирский металлургический комбинат» (Россия), ОАО «Череповецкий металлургический комбинат», ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» (Украина). В Казахстане винтовой арматурный профиль на данный момент не производится. Поэтому развитие производства винтового арматурного проката в Казахстане позволит избавиться от зависимости от его поставки из-за рубежа, что может обеспечить серьёзный экономический эффект, особенно в строительстве транспортных и подземных сооружений.

Процесс производства любой арматуры, в том числе винтового профиля, отличается трудоемкостью. Он проходит под строгим контролем, а при изготовлении соблюдаются требования, указанные в государственных стандартах качества. Благодаря этому изделие отличается высоким качеством и имеет высокие прочностные и эксплуатационные характеристики.

Традиционно стальную арматуру получают из круглого подката горячей прокаткой для образования арматурного профиля и последующей закалкой низколегированной стали для обеспечения требуемых механических и пластических свойств [1]. Недостатком таких способов является использование энергоёмких процессов горячей деформации и термической обработки.

Современные же способы совмещают процессы формирования подката, его горячую пластическую деформацию для образования арматурного профиля и термического упрочнения (закалки).

Известен, например, способ термомеханической обработки проката [2], относящийся к черной металлургии, в частности к изготовлению термоупрочненной стержневой арматурной стали в крупных профилях с использованием тепла прокатного нагрева из непрерывно-литой низколегированной стали при термическом упрочнении проката в потоке среднесортных станов. Однако способ требует создания специализированной поточной линии с наукоемкой системой согласования скоростей обработки и предусматривает энергоёмкую операцию пластического формирования арматурного профиля. К тому же обеспечить тепловые условия обработки непрерывно-литой заготовки удастся только для крупных профилей.

Известен способ прокатки арматуры периодического винтового профиля из легированной стали 25Г2С, 30ХГ2С, 35ГС для железобетонных конструкций [3], включающий горячую прокатку арматуры из трубчатой заготовки и накатку гребней на ее поверхности в виде рифов, при этом гребни накатывают в горячем состоянии поперечной накаткой по правой или левой однозаходной или многозаходной винтовой спирали. Способ включает горячую прокатку и накатку винтовой спирали, которые являются весьма энергоёмкими операциями и заметно повышают себестоимость продукции.

Также известен способ упрочнения арматурного стержня из материала, обладающего площадкой текучести [4], включающий скручивание арматурного стержня вокруг своей продольной оси с превышением предела текучести на растяжение материала наружных волокон арматурного стержня до достижения уровня предела прочности, при этом при скручивании один конец арматурного стержня закреплен, а скручивание арматурного стержня производят с другого конца до образования нераскручивающейся винтовой формы по всей длине стержня. Недостатком данного способа является то, что процесс получения арматуры разделен на отдельные операции, такие как: резка заготовки арматурного стержня; закрепление одного конца заготовки арматурного стержня; скручивание

заготовки арматурного стержня; раскрепление конца арматурного стержня. Такая последовательность операций процесса получения арматурных стержней требует больших затрат времени и, соответственно, представляется малопроизводительным процессом. Кроме того, данный способ не обеспечивает необходимых эксплуатационных и прочностных характеристик.

### 3. Новая схема ИПД

Альтернативным вариантом решения проблемы упрочнения арматурного профиля является использование интенсивной пластической деформации (ИПД) [5] при его производстве. В настоящее время уже разработано целый ряд совмещенных процессов [6-14], которые позволяют обрабатывать длинномерные заготовки с достаточной степенью проработки литой структуры металла для получения в нем ультрамелкозернистой структуры. При этом многие из данных совмещенных способов деформирования позволяют получать в процессе их реализации не только полуфабрикаты, но и готовые изделия. Одной из последних таких разработок является процесс, предложенный в работе [15], который совмещает редуцированную прокатку стержня круглого или квадратного поперечного сечения в квадратном калибре со скручиванием в формовочной матрице (скручивающем механизме). Данный совмещенный способ позволяет получать упрочненный арматурный профиль с градиентной ультрамелкозернистой структурой [16]. Несмотря на достаточно простую конструкцию и эффективную проработку исходной заготовки (за один цикл деформирования происходит развитие деформации от 0,8 в центральных слоях заготовки до 1,4 в поверхностных слоях), данный способ имеет существенный недостаток, связанный с его технологичностью. При переводе производства на сортамент другого размера понадобится не только новая матрица, но и новая пара валков с калибром заданных размеров.

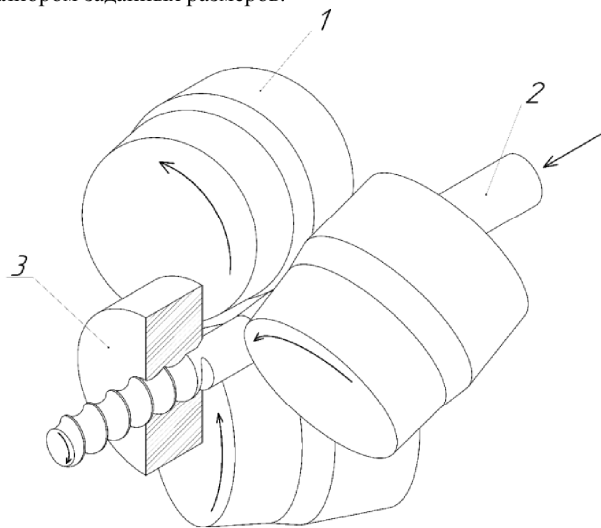


Рис. 1. Совмещенный способ получения арматурного профиля: 1 – прокатные валки, 2 – заготовка, 3 – матрица

С целью повышения технологичности процесса получения упрочненного арматурного профиля, нами была предложена новая схема его формирования, включающая деформирование заготовки круглого поперечного сечения на стане радиально-сдвиговой прокатки (РСП) и последующее скручивание заготовки в формовочной матрице специальной конструкции (рис. 1) (аналогичной представленной в работе [15]). При реализации предложенной технологии на практике не потребуются замена пары валков с калибром заданных размеров на новую пару при переналадке производства на новый типоразмер арматурного профиля, а потребуются только замена матрицы на новую матрицу с нужными геометрическими размерами. Это связано с тем, что при деформировании

заготовок различного диаметра на стане радиально-сдвиговой прокатки регулируется простым сведением или разведением валков. Помимо всего прочего использование вместо продольной прокатки именно радиально-сдвиговой прокатки обеспечит более интенсивную проработку исходной структуры металла и обеспечит формирование градиентной ультрамелкозернистой структуры, за счет того что, в очаге деформации при радиально-сдвиговой прокатке реализуется схема напряженного состояния близкая к всестороннему сжатию с большими деформациями сдвига [16-20]. Именно такая схема деформирования является оптимальной для формирования в различных материалах градиентной ультрамелкозернистой структуры при минимальном количестве проходов.

*Данное исследование финансировалось Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (Грант № AP14869135).*

### Литература

1. Железобетонные конструкции. Общий курс / В.Н. Байков, Э.Е. Сигалов. - М.: Стройиздат, 1991. - 767 с.
2. Белов Е.Г., Галиуллин Т.Р., Дикань О.В., Ефимов О.Ю., Зезиков М.В., Клепиков А.Г., Никиташев М.В., Чернов И.М., Чинокалов В.Я. Способ термомеханической обработки проката. Патент RU 2340684, 2008г.
3. Артюшин Д.В., Нежданов А.К., Нежданов К.К. Способ проката горячекатаной арматуры периодического профиля. Патент RU 2467075, 2009 г.
4. Федоров А.Д., Федорова А.Д. Способ упрочнения арматурного стержня из материала, обладающего площадкой текучести. Патент RU 2457259, 2012г.
5. Qi Y., Kosinova A., Kilmametov A.R., Straumal B.B., Rabkin E. Stabilization of ultrafine-grained microstructure in high-purity copper by gas-filled pores produced by severe plastic deformation. Scripta Materialia. 2020, Vol. 178, pp. 29-33.
6. Cheng Xu, Steven Schroeder, Patrick B. Berbon, Terence G. Langdon, Principles of ECAP-Conform as a continuous process for achieving grain refinement: application to an aluminum alloy, Acta Mater. 58 (4) (2010) 1379-1386.
7. I.P. Semenova, A.V. Polyakov, G.I. Raab, R.Z. Valiev, T.C. Lowe, Enhanced fatigue properties of ultrafine-grained ti rods processed by ECAP-Conform, Journal of materials science 47 (22) (2012) 7777-7781.
8. В.Н. Баранов, Д.С. Ворошилов, Р.И. Галиев, И.Н. Довженко, Н.Н. Довженко, Е.С. Лопатина, С.Б. Сидельников, С.В. Солдатов, Устройство для непрерывного литья, прокатки и прессования цветных металлов и сплавов, Патент РФ 2457914.
9. A. Naizabekov, S. Lezhnev, E. Panin, I. Volokitina, A. Arbuz, T. Koinov, I. Mazur, Effect of combined rolling - ECAP on ultrafine-grained structure and properties in 6063 Al alloy, Journal of Materials Engineering and Performance 28 (2019) 200-210.
10. A. Naizabekov, I. Volokitina, S. Lezhnev, A. Arbuz, E. Panin, A. Volokitin, Structure and Mechanical Properties of AISI1045 in the Helical Rolling-Pressing Process, Journal of Materials Engineering and Performance 29 (2020) 315 - 329.
11. М.В. Чукин, Д.Г. Емалеева, М.П. Барышников, М.А. Полякова, Способ получения длинномерных заготовок круглого поперечного сечения с ультрамелкозернистой структурой, Патент РФ 2446027, 2012 г.
12. М.А. Полякова, М.В. Чукин, Э.М. Голубчик, А.Е. Гулин, Устройство для изготовления проволоки с ультрамелкозернистой структурой, Патент РФ 130525.
13. K. Muszka, M. Wielgus, J. Majta, K. Doniec, M Stefanska-Kacziela, Influence of strain path changes on microstructure inhomogeneity and mechanical behavior of wire drawing products, Mater. Sci. Forum 654-656 (2010) 314-317.
14. I.E. Volokitina, A.V. Volokitin, A.B. Naizabekov, S.N. Lezhnev, Change in structure and mechanical properties of grade

A0 aluminum during implementation of a combined method ECAP-drawing technology, Metallurgist 63 (2020) 978-983.

15. Г.И. Рааб, А.Г. Рааб, Способ упрочнения и формирования винтового арматурного стержня. Патент РФ 2640705, 2018г.

16. G.I. Raab, A.G. Raab, A new combined method of intensive plastic deformation with the formation of the screw profile of the rod, Machines. Technologies. Materials (2018) 320-322.

17. С.П. Галкин, И.В. Доронин, А.Е. Антощенко, Ю.А. Лукина, Е.Н. Романова, Использование радиально-сдвиговой прокатки для получения в сталях ледебуритного класса структуры естественных дисперсно-упрочненных композиционных материалов, Технология металлов 4 (2007) 6-8.

18. И.Ш. Валеев, А.Х. Валеева, Изменение микротвердости и микроструктуры меди М1 при радиально-сдвиговой прокатке, Письма о материалах 3 (1) (2013) 38-40.

19. Галкин С.П. Траекторно-скоростные особенности радиально-сдвиговой и винтовой прокатки. «Современные проблемы металлургии». – Днепропетровск: "Системні технології", 2008. Т. 11. – С. 26-33.

20. Формирование наноструктурированных состояний и связанных с ними улучшенных свойств материалов медицинского и технического назначения/ Колобов Ю.Р., Иванов М.Б., Голосов Е.В.// Наносистемы, наноматериалы, нанотехнологии (Nanosystems, Nanomaterials, Nanotechnologies). 2011. Т. 9, № 2. – С. 489-498.