УДК621.771; 621.777

С.Н. Лежнев [1], А.Б. Найзабеков [1], Д.В. Куис [2],
А.О. Толкушкин [1], Е.А. Панин [3], А.С. Арбуз [4]
[1]Рудненский индустриальный университет
Рудный, Казахстан
[2]Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь
[3] Карагандинский индустриальный университет
Темиртау, Казахстан
[4]Назарбаев Университет
Астана, Казахстана

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ МИКРОСТРУКТУРЫ ВИНТОВОЙ АРМАТУРЫ, ПОЛУЧАЕМОЙ НОВОЙ СОВМЕЩЕННОЙ ОБРАБОТКОЙ «РАДИАЛЬНО-СДВИГОВАЯ ПРОКАТКА – СКРУЧИВАНИЕ В ВИНТОВОЙ МАТРИЦЕ»

Аннотация. *Данная работа посвящена изучению влияния нового способа получения винтовой арматуры - «радиально-сдвиговая прокатка – скручивание в винтовой матрице» на эволюции микроструктуры получаемой арматуры. Проведенные исследования показали, что в ходе реализации разработанного совмещенного процесса была получена винтовая арматура с градиентной ультрамелкозернистой структурой.*

S.N. Lezhnev [1], A.B. Naizabekov [1], D.V. Kuis [2],
A.O. Tolkushkin [1], E.A. Panin [3], A.S. Arbuz [4]
[1] Rudny Industrial University
Rudny, Kazakhstan
[2] Belarusian State Technological University
Minsk, Belarus
[3] Karaganda Industrial University, Temirtau
Kazakhstan
[4] Nazarbayev University
Astana, Kazakhstan

INVESTIGATION OF THE MICROSTRUCTURE EVOLUTION OF SCREW FITTINGS OBTAINED BY A NEW COMBINED PROCESS "RADIAL SHEAR ROLLING - SCREW TWISTING"

Abstract. *This work is devoted to the study of the influence of a new method for producing screw fittings - "radial shear rolling - screw twisting" on the microstructure evolution of the resulting reinforcement. The conducted studies have shown that during the implementation of the developed combined process, screw fittings with a gradient ultrafine-grained structure were obtained.*

Винтовая арматура относится к особой группе строительной арматуры. Ее отличительная особенность, которая отличает ее от обычной рифлёной арматуры это то, что ребра ее профиля образуют по всей длине стержня, так называемую винтовую резьбу. На такую резьбу возможно закручивание различных резьбовых крепежных элементов, например: гайки или соединительные муфты. Данная особенность винтовой арматуры открыла ей более широкую область использования в строительной отрасли.

Используемая уже не одно десятилетие в строительной отрасли арматура, в том числе и винтовая, хоть и достаточно прочная, но в условиях возросшего спроса к качеству железобетонных конструкции соответственно возрастают требования и к качеству арматуры, в том числе и к увеличению ее жизненного цикла. Поэтому разработка новых или усовершенствование ранее известных технологий получения высококачественной продукции в виде упрочненного арматурного профиля различного назначения является в настоящее время актуальной задачей.

Ранее нами была разработан новый высокотехнологичный способ получения винтовой арматуры, который совмещает в единый технологический процесс деформирование исходных прутков с помощью радиально-сдвиговой прокатки, а также проталкивание и скручивание деформируемого прутка в винтовой матрице, обеспечивающей формирование винтового профиля арматуры [1]. Возможность реализации данного способа получения винтовой арматуры была доказана, как теоретически с помощью компьютерного моделирования [2-3], так и экспериментально [4].

Целью данной работы является исследование влияния данного способа получения винтовой арматуры на эволюции микроструктуры стали марки 25Г2С, из которой изготавливалась данная винтовая арматура.

Для достижения поставленной цели был проведен лабораторный эксперимент. В качестве исходных заготовок для проведения данного эксперимента были использованы заготовки из стали марки 25Г2С диаметром 30 мм и длиной 150 мм, которые были подвергнуты гомогенизирующему отжигу. Технология получения винтовой арматуры новым способом включала в себя два этапа: 1-й этап - прокатка исходной заготовки на стане радиально-сдвиговой прокатки РСП 10-30 для создания первоначальных условий для формирования в будущем получаемой винтовой арматуре градиентной ультрамелкозернистой структуры; 2-й этап – деформирование полученной на первом этапе цилиндрической заготовки на уже

созданной совмещенной установке с целью получения винтовой арматуры с градиентной ультрамелкозернистой структурой.

При реализации первого этапа заготовки диаметром 30 мм перед деформированием на стане радиально-сдвиговой прокатки РСП 10-30 подвергали нагреву до температуры 1100ºС и выдержке при данной температуре. После чего было осуществлено деформирование данных заготовок на стане радиально-сдвиговой прокатки до диаметра 24 мм за 2 прохода по схеме ∅30→∅27→∅24 с шагом абсолютного обжатия по диаметру за проход равном 3,0 мм. После чего заготовки были отправлены обратно в печь температура, в которой была снижена до 1000 ºС для подогрева. На втором этапе деформирование заготовок диаметром 24 мм уже было осуществлено на собранной совмещенной установке, т.е. заготовка прокатывалась в рабочей клети стана РСП 10-30 с абсолютного обжатия по диаметру 5 мм, на выходе из которой она входила в винтовую матрицу и за счет заталкивающего усилия создаваемого валками, проталкивалась через винтовой канал.

Исследование эволюции микроструктуры, как исходных заготовок, так и полученных после реализации первого этапа деформирования прутков и после второго этапа винтовой арматуры, проводили с помощью оптической микроскопии на микроскопе Olympus BX63M. На рис. 1 представлена микроструктура исходных заготовок и полученной арматуры.

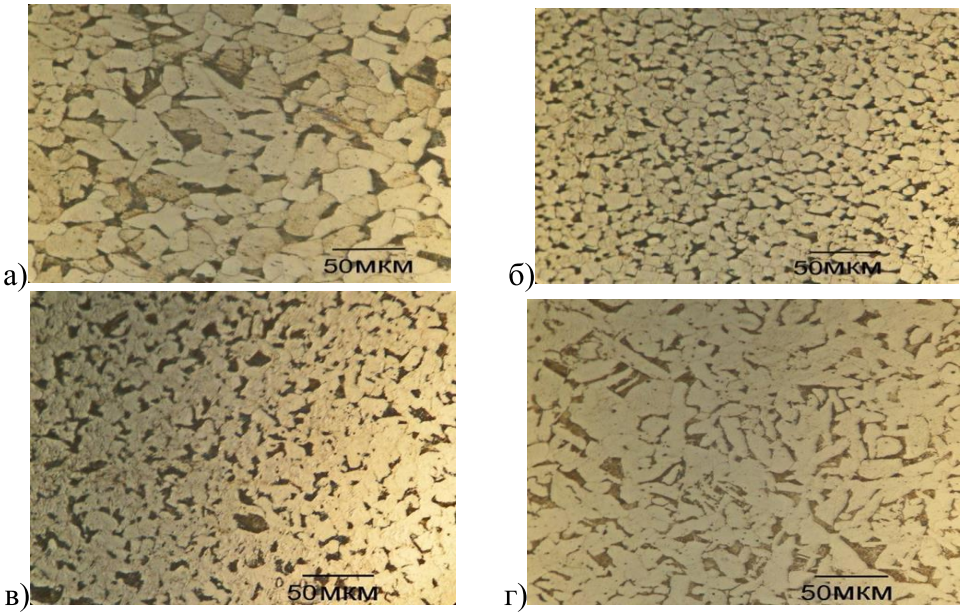

Рис. 1 - Микроструктуры стали марки 25Г2С, ×500 (в продольном направлении):

а – исходная (после отжига); **б, в, г -** винтовой арматуры **(б** – поверхность**, в** – на расстоянии 0,25 диаметра заготовки**, г -** центр**)**

Проведенный металлографический анализ показал, что исходная структура прутков из стали 25Г2С, подвергнутых гомогенизирующему отжигу, представляет собой зерненую структуру со средним размером равноосного зерна лежащем в интервале 45-50 мкм (рис. 1 а). Исследованиями определено, что после радиально-сдвиговой прокатки исходный размер зерен стали 25Г2С существенно уменьшился. Микроструктура периферийной зоны продеформируемых на стане радиально-сдвиговой прокатки прутков представлена мелкодисперсной равноосной, преимущественно рекристаллизованной зерненой структурой (средний размер зерна 17-20 мкм), а центральная часть сохраняет преимущественно деформированные волокнистые зерна, т.е. вытянутые в направлении прокатки зерна с размерами, лежащими в интервале 25÷75×10÷50 мкм. Преимущественная ориентация зерен в центральной зоне продеформированного прутка полностью соответствует воздействию одноосной монотонной деформации, реализуемой при РСП в данной зоне. В промежуточной зоне также наблюдаются вытянутые деформированные зерна, но их размер уменьшился в продольном направлении. При этом, большинство зерен в промежуточной зоне имеет ориентацию отличную от имевшей место в центральной зоне продеформированного прутка. Структура в промежуточной зоне продеформированного на стане РСП прутка, по всем признакам относиться к переходной [5]. Т.е. в ходе предварительной радиально-сдвиговой прокатки нами в прутке из стали 25Г2С была получена градиентная по сечению прутка структура.

Анализ микроструктуры стали 25Г2С после реализации последующего (второго) этапа деформирования, т.е. после деформирования уже предварительно прокатанных на стане РСП прутков на совмещенной установке, показал, что за счет установки на стан радиально-сдвиговой прокатки винтовой матрицы, мы не только получаем винтовую арматуру, но и дополнительно модифицируем ранее полученную градиентную структуру стали 25Г2С. Так во всех (центральной, промежуточной и поверхностной) зонах полученной винтовой арматуры размер зерна еще дополнительно уменьшился. В поверхностной зоне размер зерна уменьшился до размеров 12-15 мкм (рис. 1 б). В центральной и промежуточной зонах, за счет возникающего со стороны винтовой матрицы противодавления и дополнительного скручивания прутка в данной матрице, произошло модифицирование ранее полученной после РСП структуры. Так в центральной зоне начало происходить перестроение имеющейся ранее полосчатой текстуры: зерна в данной зоне также остались вытянутые,

но появилась их разориентация по направлениям (рис. 1 в). Промежуточная зона после реализации совмещенного процесса имеет уже преимущественно мелкозернистую равноосную структуру с размером зерен порядка 19-22 мкм (рис. 1 г).

Вывод: Проведенные металлографические исследования показали, что в ходе реализации нового совмещенного процесса была получена винтовая арматура с градиентной структурой. В частности, была получена арматура с ультрамелкозернистой рекристаллизованной зеренной структурой в поверхностной зоне, и с вытянутыми разориентированными по направлению зернами в центральной зоне данной арматуры (в отличие от структуры центральной зоны, получаемой при РСП - ориентированная полосчатая структура).

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

Список использованных источников

1. Патент на полезную модель РК №4972. Способ формирования и упрочнения винтового арматурного стержня. Лежнев С.Н., Найзабеков А.Б., Панин Е.А., Толкушкин А.О. 2020. Бюл.20.

2. S. Lezhnev, A. Naizabekov, E. Panin, A. Tolkushkin, D. Kuis, A. Kasperovich, R. Yordanova. Development and computer simulation of the new combined process for producing a rebar profile// Modelling and Simulation in Engineering, 2023, Vol. 2023, 7348592.

3. S. Lezhnev, E. Panin, A. Tolkushkin, D. Kuis, A. Kasperovich. Development and computer simulation of a new technology for forming and strengthening screw fittings/ J. Chem. Technol. Metall., 2023, Vol. 58, Iss. 5. - P. 955-960.

4. С. Лежнев, Е. Ширяева, А. Толкушкин, С. Кузьмин, Е. Панин. Создание и апробация установки для реализации инновационной технологии получения высококачественного винтового арматурного профиля на базе мини-стана радиально-сдвиговой прокатки// XXI International Congress «Machines, Technologies, Materials», Bulgaria, Proceedings, 2024, Volume II. – P.179-180.

5. A. Naizabekov, S. Lezhnev, E. Panin, I. Volokitina, A. Kasperovich. Realization of the innovative potential of radial-shear rolling for forming the structure and mechanical properties of AISI-321 austenitic stainless steel, Revista Materia, 2021 Vol. 26, Iss. 3, e13018