

С.Н. Лежнев<sup>1</sup>, Д.В. Куис<sup>2</sup>, В.Е. Пищиков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Рудненский индустриальный институт, Рудный, Казахстан, sergey\_legnev@mail.ru

<sup>2</sup>Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь.

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАДИАЛЬНО-СДВИГОВОЙ ПРОКАТКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ГРАДИЕНТНОЙ УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОЙ СТРУКТУРЫ В ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СТАЛИ 5XB2C**

### **Аннотация**

Данная работа посвящена исследованию реверсивной радиально-сдвиговой прокатки стали 5XB2C и выявлению ее влияния на возможное градиентное модифицирование микроструктуры данной марки стали. В ходе экспериментальных исследований было доказано, что в ходе деформирования прутка из стали 5XB2C с исходным диаметром 36 мм на стане радиально-сдвиговой прокатки с вытяжкой равной 4, по сечению прутка формируется градиентная микроструктура. Градиентный характер микроструктуры также подтверждается и распределением микротвердости по сечению прутка: микротвердость в периферийных слоях прутка в среднем 1,17 раза выше, чем в центральной части прутка.

*Ключевые слова:* радиально-сдвиговая прокатка, легированная сталь, пруток, градиентная ультрамелкозернистая структура, микротвердость

### **Введение**

В настоящее время проведен целый ряд исследований по выявлению влияния радиально-сдвиговой прокатки на эволюцию микроструктуры и изменение механических свойств прутков из различных черных и цветных металлов и сплавов. Данные исследования подтверждают, что данный способ деформирования является одним из основных способов градиентной модификации длинномерных изделий из черных и цветных металлов и сплавов.

Так, например, авторами работы [1] было осуществлено исследование влияния радиально-сдвиговой прокатки на микроструктуру и свойства чистой меди марки М1, а в работе [2] было исследовано влияние радиально-сдвиговой прокатки уже на эволюцию микроструктуры и изменение механических свойств технического титана. Авторами работ [3] было проведено исследование влияния радиально-сдвиговой прокатки на изменение структуры и свойств алюминия. В работе [4] ее авторами было исследовано влияние радиально-сдвиговой прокатки на эволюцию микроструктуры циркониевого сплава Э110. В научной работе [5] приведены результаты исследования по изучению влияния радиально-сдвиговой прокатки на изменение размера зерна и механических свойств нержавеющей аустенитной стали. И это только небольшая часть научных работ, которая посвящена исследованию влияния радиально-сдвиговой прокатки на эволюцию микроструктуры и изменение свойств различных черных и цветных металлов и сплавов. Но при этом работ посвященных исследованию влияния радиально-сдвиговой прокатки на изменение структуры и свойств инструментальных легированных сталей не так много.

Основной целью данной работы является исследование влияния радиально-сдвиговой прокатки легированной стали 5XB2C на возможное градиентное модифицирование ее микроструктуры.

## Методы

Для достижения поставленной цели был проведен лабораторный эксперимент с использованием стана радиально-сдвиговой прокатки СВП-08 (рис. 1).

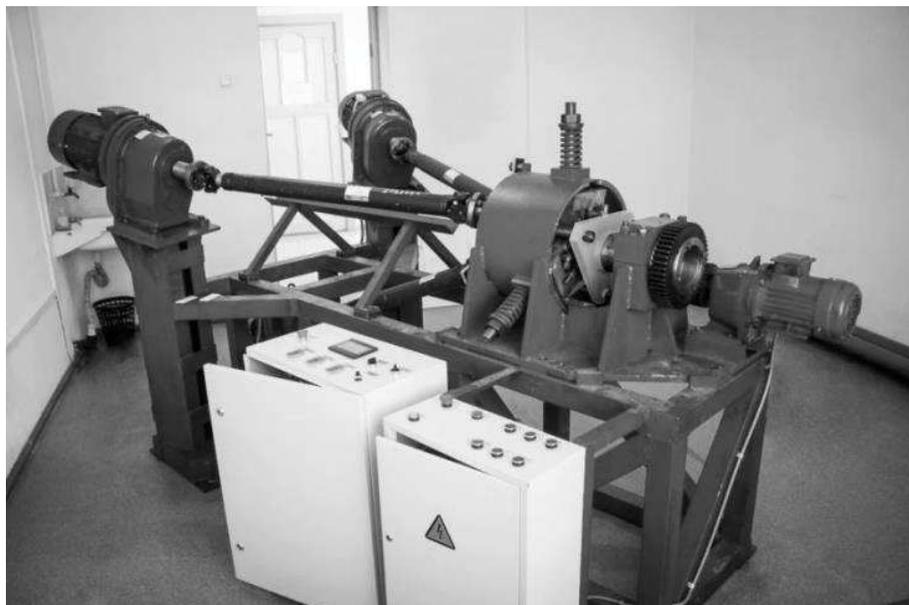


Рисунок 1 – Стан радиально-сдвиговой прокатки СВП-08

Данный стан оснащен 3-мя валками, форма которых представлена на рисунке 2. Данная форма валков позволяет при деформировании прутков на стане радиально-сдвиговой прокатки СВП-08 обеспечить реверсивный характер вращения валков и, соответственно, изменять направление перемещения металла в прокатной клетке [6].

Материалом для исследования выбрана сталь 5ХВ2С после гомогенизирующего отжига. Для проведения эксперимента были подготовлены заготовки диаметром 36 мм, длиной 200 мм.

Технология прокатки заготовок диаметром 36 мм и длиной 200 мм из стали 5ХВ2С на стане радиально-сдвиговой прокатки заключалась в следующем. Предварительно нагретые заготовки до температуры 1100°С подаются в рабочую клетку прокатного стана радиально-сдвиговой прокатки, в которой происходит ее обжатие с шагом абсолютного обжатия по диаметру 3,0 мм. После того, как заготовка полностью вышла из клетки, осуществляют свод валков и переключают направление их вращения. Заготовка подается в валки в соответствии с реверсивной схемой деформирования, приведенной в работе [6], в которых опять происходит ее обжатие с шагом абсолютного обжатия по диаметру 3,0 мм. По данной схеме деформирования из исходных заготовок диаметром 36 мм и длиной 200 мм за 6 проходов получили прутки диаметром 18 мм и длиной около 800 мм.

Из исходных прутков и полученных после прокатки прутков диаметром 18 мм были вырезаны образцы и изготовлены шлифы для проведения металлографических исследований и измерения микротвердости. Микроструктурный анализ был осуществлен с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM-5610 LV, а определение значений показателей микротвердости производилось на микротвердомере Duramin (Struers, Дания) методом Виккерса при нагрузке на индентор 10-2000 г, время выдержки 10 с.

## Результаты и обсуждение

Проведенный металлографический анализ показал, что исходная микроструктура прутков из стали 5ХВ2С, подвергнутых гомогенизирующему отжигу, представляет собой распределение перлита около 63% и феррита около 47%. После радиально-сдвиговой прокатки исходный размер зерен стали 5ХВ2С существенно уменьшился. Микроструктура периферийной зоны продеформируемых на стане радиально-сдвиговой прокатки прутков представлена преимущественно равноосными ультрамелкозернистыми зёрнами размером около 1,8-3,2 мкм. В центральной же зоне продеформируемых прутков наблюдаются вытянутые в направлении прокатки зёрна с размерами, лежащими в интервале  $6 \div 10,5 \times 1,1 \div 1,9$  мкм. Полученная микроструктура имеет градиентный характер.

Дополнительно с целью подтверждения градиентного характера эволюции микроструктуры по сечению продеформируемых на стане радиально-сдвиговых прутков из стали 5ХВ2С были проведены измерения микротвердости по сечению прутков. Анализ результатов исследования показал, что микротвердость в периферийных слоях прутка в среднем 1,17 раза выше, чем центральной части прутка. При этом наибольшая значение микротвердости составляло 265 HV (точка на расстоянии 1 мм от края прутка), а минимальное значение 224 HV в одной из точек в центральной зоне прутка.

## Заключение

Был изучен процесс реверсивной радиально-сдвиговой прокатки инструментальной стали 5ХВ2С с целью получения высококачественных прутков с заданным уровнем свойств. Проведенные исследования доказали возможность получения в стали 5ХВ2С градиентной ультрамелкозернистой структуры при деформировании ее на стане радиально-сдвиговой прокатки.

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

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Валеев, И. Ш. Изменение микротвердости и микроструктуры меди М1 при радиально-сдвиговой прокатке / И. Ш. Валеев, А. Х. Валеева // Письма о материалах. – 2013. – Т. 3, № 1(9). – С. 38-40.
2. Effect of radial shear rolling and aging on the structure and mechanical properties of titanium alloy VT35 / I. P. Mishin, E. V. Naydenkin, I. V. Ratochka [et al.] // AIP Conference Proceedings, Tomsk, 05–09 октября 2020 года. – Tomsk, 2020. – P. 020206.
3. Microstructure evolution and property analysis of commercial pure Al alloy processed by radial-shear rolling / Y. V. Gamin, T. K. Akopyan, A. N. Koshmin [et al.] // Archives of Civil and Mechanical Engineering. – 2020. – Vol. 20, No. 4. – P. 143.
4. Изучение влияния больших сдвиговых деформаций и вихревого течения металла на формирование равноосной ультрамелкозернистой структуры циркониевого сплава Э110 методом РСП / Н. А. Лутченко, А. С. Арбуз, А. А. Кавалек [и др.] // Литье и металлургия. – 2023. – № 1. – С. 128-134.
5. Realization of the innovative potential of radial-shear rolling for forming the structure and mechanical properties of aisi-321 austenitic stainless steel / A. Naizabekov, S. Lezhnev, I. Volokitina [et al.] // Revista Materia. – 2021. – Vol. 26, No. 3. – P. e13018.

Б. Галкин, С.П. Реверсивная радиально-сдвиговая прокатка. Сущность, возможности, преимущества / С.П. Галкин, Е.А. Харитонов, В.К. Михайлов // Титан. – 2003. – №1. – С. 39-45.

S.N. Lezhnev<sup>1</sup>, D.V. Kuis<sup>2</sup>, V.E. Pischikov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Rudny Industrial Institute, Rudny, Kazakhstan, sergey\_legnev@mail.ru

<sup>2</sup>Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus

## **EFFICIENCY OF RADIAL-SHEAR ROLLING TO OBTAIN A GRADIENT ULTRAFINE-GRAINED STRUCTURE IN 5KHV2S TOOL STEEL**

### **Abstract**

This work is devoted to the study of reversible radial-shear rolling of 5KHV2S steel and the identification of its effect on the possible gradient modification of the microstructure of this steel grade. In the course of experimental studies, it was proved that during the deformation of a bar made of 5KHV2S steel with an initial diameter of 36 mm on a radial shear rolling mill with an extraction equal to 4, a gradient microstructure is formed along the cross section of the bar. The gradient character of the microstructure is also confirmed by the distribution of microhardness over the cross section of the bar: microhardness in the peripheral layers of the bar is on average 1.17 times higher than in the central part of the bar.

*Keywords:* radial-shear rolling, alloy steel, rod, gradient ultrafine structure, microhardness