

**BULLETIN OF NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**

ISSN 1991-3494

Volume 2, Number 360 (2016), 17 – 27

**RESEARCH OF REGULARITIES STRUCTURE CHANGES
OF METAL DURING STRIP ROLLING IN HELICAL ROLLS**

A.S. Mashekova¹, A. Kavalek², A.T. Turdaliyev¹, S.A. Mashekov¹, B.N. Absadykov³

¹ Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpaev, Almaty, Republic of Kazakhstan;

² Czestochowa Polytechnic University, Czestochowa, Poland;

³ Kazakh-British Technical University, Almaty, Republic of Kazakhstan

Mashekov.1957@mail.ru, b_absadykov@mail.ru

Keywords: plastic deformation, rolling, nanostructuring, rolls, microstructure.

Abstract. The article, in order to obtain strips with a nanocrystalline structure, developed design tool that allows to implement a rolling without significant changes to the original billet sizes.

This hot-rolling tool for steel and alloy comprises upper and lower rolls with corrugated work surfaces. In this case the projections or depressions of the upper roll are made on a screw line, lying opposite the depressions and protrusions of the lower roll. Moreover, the angle between the tangent to a helix and a line passing through the contact point perpendicular to the base along a generatrix of the roll, is in the range from 20° to 60°. It should be noted that the projections and depressions of the upper and lower rollers have the same width and, correspondingly, the height or depth.

The paper shows that t

he rolling in a helical rolls a blank is deformed with alternating bending. Thus in certain sections of the deformation zone a torsional tensile stresses appears, i.e. while rolling in helical rolls in blank bending zone it occur torsional bending stress and between bending zones - stretching, and the transition zone operates a two-component (torsion + stretching) stress state.

In connection with the above, the influence of mechanical deformation schemes arising during rolling in rolls with corrugated work surfaces to form structures is studied.

The research of influence of mechanical deformation scheme was carried out using a torsion rheometer STD 812. In the 5xxx series aluminum alloy 5083 has been selected as the blank material.

It is shown that the application of alternating strain stretching, torsion and twisting tension during rolling in rolls with corrugated work surfaces, will contribute to a significant reduction in the grain size of metals and alloys.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ
МЕТАЛЛА ПРИ ПРОКАТКЕ ПОЛОС В ВИНТООБРАЗНЫХ ВАЛКАХ**

А.С. Машекова¹, А.Кавалек², А.Т. Турдалиев¹, С.А. Машеков¹, Б.Н. Абсадыков³

¹ Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, г. Алматы, Республика Казахстан;

² Ченстоховский политехнический университет, г. Ченстохова, Польша;

³ Казахстанско-Британский технический университет, г. Алматы, Республика Казахстан

Ключевые слова: пластическая деформация, прокатка, наноструктурирование, валки, микроструктура.

Аннотация. В статье, в целях получения полос с нанокристаллической структурой, разработана конструкция инструмента, позволяющая реализовать прокатку без значительных изменений размеров исходной заготовки.

Данный инструмент для горячей прокатки стали и сплавов, содержит верхний и нижний валки с волнистыми рабочими поверхностями. При этом выступы или впадины верхнего валка выполнены по винтовой линии, располагаясь противоположно впадинам и выступам нижнего валка. Причем, угол между касательной к винтовой линии и линией, проходящей через точку касания по образующей перпендикулярно основанию валка, лежит в пределах от 20° до 60°. Необходимо отметить, что выступы и впадины верхнего и нижнего валков имеют одинаковую ширину и, соответственно, высоту или глубину.

В работе показано, что при прокатке в винтообразных валках заготовка деформируется знакопеременным изгибом. При этом на определенных участках очага деформации возникают кручение, растягивающие напряжения, т.е. при прокатке в винтообразных валках в зонах изгиба заготовки возникают скручающие напряжения, а между зонами изгиба – растягивающие, при этом в переходных зонах действует двухкомпонентное (кручение + растяжение) напряженное состояние.

В связи с вышесказанным, исследовано влияние механической схемы деформации, возникающей при прокатке в валках с волнистыми рабочими поверхностями, на формирование структур.

Исследование влияния механической схемы деформации проводилось с использованием торсионного пластометра STD 812. В качестве материала заготовки был выбран алюминиевый сплав 5xxx серии 5083.

Показано, что приложение знакопеременной деформации растяжением, кручением и скручающим растяжением при прокатке в валках с волнистыми рабочими поверхностями, будет способствовать существенному уменьшению размеров зерен металлов и сплавов.

Введение

В последние годы проводятся активные научные исследования и техническая проработка проблем, связанных с производством наноструктурированных материалов, в первую очередь, металлов конструкционного и функционального назначения [1]. Зарубежные и отечественные научные школы ведут интенсивный поиск способов радикального повышения физико-механических и технологических свойств материалов. Одним из важнейших направлений в этой области служат работы, связанные с изготовлением металлоизделий с нанокристаллической структурой [2,3].

Теме наноструктурирования металлов посвящено значительное количество монографий, обзоров и различного рода научных публикаций, свидетельствующих о многообразии вариантов и методов в обеспечении поставленной цели [3,4].

В настоящее время одним из методов наноструктурирования металлических конструкционных материалов являются различные методы интенсивной пластической деформации (ИПД). Наибольшее распространение получили кручение под гидростатическим давлением, равноканальное угловое прессование (РКУП), мультиосевая деформация, знакопеременный изгиб, аккумулируемая прокатка, винтовое прессование, деформация тонких пластин на наковальнях Бриджмена по схеме «сжатие + кручение», продольно-поперечная прокатка, всесторонняя ковка, ударная ультразвуковая обработка поверхностных слоев и т.д. [1].

Необходимо отметить, что метод ИПД, заключающийся в деформировании с большими степенями деформации без изменения внешних размеров заготовки, по сути, является основой всех существующих вариантов [1,3,5]. В ранних исследованиях было установлено, что в результате прокатки или высоких обжатий в процессе вытяжки происходит значительное измельчение структуры. Однако высокие температуры деформации и последующие термообработки или выдержки при высоких температурах приводили к вторичному укрупнению зерен в процессе рекристаллизации. Для достижения субмикрокристаллической и нанокристаллической структуры необходимо сочетание двух факторов высокой интенсивности и существенной немонотонности деформации, осуществляющейся при температурах не выше температуры протекания процессов возврата. Первый процесс обеспечивает необходимое генерирование дислокаций и эволюцию дислокационной структуры, а второй – активацию новых решеточных дислокаций и их взаимодействие с образующимися при деформации малоугловыми границами фрагментов, что приводит к их перестройке в высокоугловые границы общего типа. Развитие такого рода структурных процессов возможно при сохранении сплошности материала, что достигается гидростатическим давлением. Метод РКУП реализует деформацию массивных образцов простым сдвигом. Данное прессование первоначально было разработано для деформирования материалов без изменения поперечного сечения образцов, а в дальнейшем стало активно применяться для получения структур с субмикрокристаллическим и нанокристаллическим зерном. В основе другого способа [6] заложен процесс всесторонней ковки, заключающийся в использовании многократного повторения операций свободной ковки, осадки – протяжки со сменой оси прилагаемого деформирующего усилия. Однородность деформации в данной технологической схеме по сравнению с РКУП и кручением ниже. Однако данный способ позволяет достигать наноструктурированного состояния в хрупких материалах, а также имеет технологические перспективы совмещения непрерывной разливки и деформирования в едином процессе [7].

Естественно, что во всех вышеперечисленных методах ставится задача максимального измельчения структуры [1,8]. Однако, каждый из методов ИПД характеризуется минимальным

размером измельчения структуры материала. Все исследования по данному вопросу основаны на анализе дефектной системы, возникающей в структуре исходного кристалла при его интенсивной пластической деформации. Рассматривается роль дислокационных и дисклинационных структур, высокой концентрации неравновесных точечных дефектов, развития холодной рекристаллизации и т.д. При этом процесс измельчения структуры развивается на мезомасштабных уровнях, где определяющую роль в структурообразовании играют внутренние границы раздела, напряжения изгиба-кручения и поворотные методы деформации [8].

Вышеприведенные результаты исследований отражают лишь незначительную часть тех исследований, которые связаны сnanoструктурным состоянием материалов, и, в первую очередь, металлов. Наиболее изученной областью, но в то же время имеющей много нерешенных вопросов, является создание дисперсного структурного состояния методами пластической деформации [1,8]. Однако даже имеющиеся исследования предполагают значительный успех в создании новых материалов с уникальными механическими, функциональными и эксплуатационными свойствами.

Хорошо известно, что деформация в условиях ИПД – сложный многоуровневый процесс, сопровождающийся существенными текстурными и структурными преобразованиями материала [9]. Исследования, выполненные на цветных и черных металлах и сплавах, показывают, что постдеформационные структурные изменения определяются не только типом решетки и интенсивностью деформации, но также и схемой приложения деформирующих нагрузок. Способ нагружения существенно влияет на микромеханизмы пластической деформации и приводит к различным возможностям структурообразования за счет преимущественной реализации того или иного механизма. Экспериментами показано, что сочетание разных видов нагружения позволяет управлять этими преобразованиями и реализовать дополнительные каналы пластической деформации [9].

Применение ИПД предоставляет принципиальные возможности разработки новых эффективных технологий обработки методами пластической деформации и получения повышенных прочностных и пластических характеристик деформированных материалов [9]. Реализация этих возможностей требует углубленного исследования особенностей структурных преобразований под действием комбинированной деформации и связи структуры скомплексом механических характеристик.

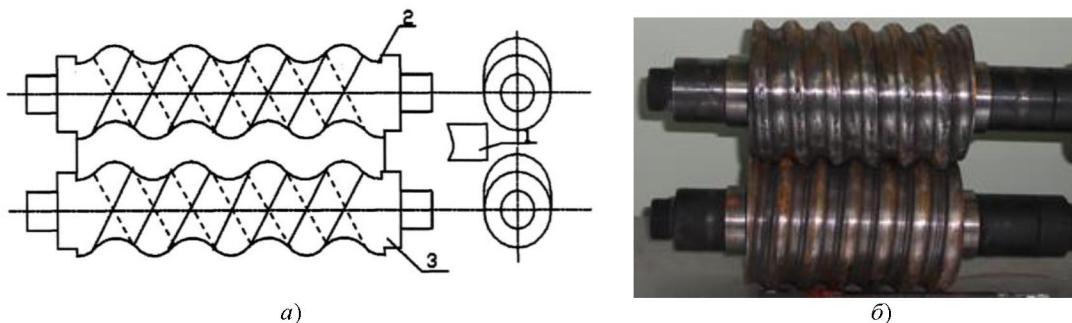
В литературе широко представлены исследования по изменению структуры и свойств различных материалов при комбинированных схемах нагружения [9]. Однако обсуждается, как правило, влияние нескольких параметров одновременно (давления, схемы деформации, температуры и др.), что создает большие трудности при интерпретации результатов.

Важно отметить, что для получения полос с нанокристаллической структурой из известных методов ИПД широкое применение на практике получила прокатка фольги. Однако из-за малости сечения фольги, она малопригодна для последующих формообразующих операций. Поэтому нами была разработана конструкция инструмента, позволяющая получить листы с ультрамелкозернистой (УМЗ) структурой [10], реализующей ИПД без значительных изменений их исходной формы и размеров.

Данный инструмент для горячей прокатки стали и сплавов, содержит верхний и нижний валки с волнистыми рабочими поверхностями (рисунок 1). При этом выступы или впадины верхнего валка выполнены по винтовой линии, располагаясь противоположно к впадинам и выступам нижнего валка. Причем, угол между касательной к винтовой линии и линией, проходящей через точку касания по образующей перпендикулярно основанию валка, лежит в пределах от 20° до 60° . Необходимо отметить, что выступы и впадины верхнего и нижнего валков имеют одинаковую ширину и, соответственно, высоту или глубину.

Прокатка осуществляется следующим образом. Сляб подается в зазор между верхним и нижним валками, и деформируется выступами и впадинами. Прокатка сляба двумя проходами в инструменте, где выступы рабочей поверхности с одной стороны валков, расположенные противоположно впадинам рабочей поверхности с другой стороны валков, с единичным обжатием $\varepsilon = \Delta h_B / H_o$ и $\varepsilon = 2\Delta h_B / H_o$ (где Δh_B - высота выступа или глубина впадины волнистой рабочей поверхности; H_o - высота сляба перед прокаткой), соответственно, обеспечивает эффективное измельчение структуры слябов по всему сечению заготовки за счет знакопеременной деформации изгиба в продольном и поперечном сечениях сляба. При этом происходит смещение образующихся при прокатке выступов и впадин по ширине прокатываемой полосы, что создает

дополнительные макросдвиги по сечению заготовки. Создание дополнительных макросдвигов приводит к дополнительному измельчению структуры металлов и сплавов, т.е. создаются дополнительные условия для получения качественной продукции.



а – схема прокатки в волнистых валках; б – волнистые валки

Рисунок 1 – Схема прокатки в валках с волнистыми рабочими поверхностями:
1 – заготовка; 2 – верхний валок; 3 – нижний валок

Необходимо отметить, что прокатка в предлагаемом инструменте, имеющем одинаковые размеры выступов и впадин рабочей поверхности валков, а также выступы или впадины верхнего валка, расположенные противоположно впадинам и выступам нижнего валка, соответственно, с вышеуказанными единичными обжатиями, позволяет многократным изгибом деформировать сляб малой толщины без изменения его размеров. Многократный изгиб позволяет увеличить величину степени деформации сдвига. Все это позволяет достичь эффективного измельчения структуры стали и сплавов и удаления пачной окалины с поверхности сляба, т.е. повысить качество получаемых листов.

Исследованиями, проведенными в работе [11], нами показано, что при прокатке в винтообразных валках заготовка деформируется знакопеременным изгибом. При этом в определенных участках очага деформации возникают кручение, растягивающие напряжения, т.е. при прокатке в винтообразных валках в зонах изгиба заготовки возникают скручивающие напряжения, а между зонами изгиба – растягивающие напряжения, при этом в переходных зонах действует двухкомпонентное (кручение + растяжение) напряженное состояние.

Следует отметить, что экспериментальное и теоретическое исследование кручения, растяжения и кручения с растяжением имеет большое значение, так как позволяет поэтапно проследить за изменением структуры и свойств в ходе деформации при изменении напряженного состояния и степени деформации [9].

В работе ставилась цель: исследовать влияние механической схемы деформации, возникающей при прокатке в валках с волнистыми рабочими поверхностями, на формирование структур.

Оборудование, материалы и методика исследования

Исследование влияния механической схемы деформации, возникающей при прокатке в валках с волнистыми рабочими поверхностями, проводили с использованием торсионного пластометра STD 812 [12]. В качестве материала заготовки был выбран алюминиевый сплав 5xxx серии 5083. Химический состав алюминиевого сплава 5xxx серии 5083 представлен в таблице 1.

Следует отметить, что алюминиевый сплав 5xxx содержит магний, как основной легирующий элемент. С целью улучшения свойств таких сплавов часто вводятся различные добавки, такие как хром и марганец. Алюминиевый сплав 5xxx серии 5083 обладает высокой прочностью и пластичностью, он легко сваривается, благодаря чему такой сплав хорошо используется в качестве конструкционного материала. Структура такого сплава хорошо изменяется при горячей деформации в зависимости от величины степени деформации.

Таблица 1 – Химический состав алюминиевого сплава 5xxx серии 5083

Марка сплава	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
EN AW-5083	0,229	0,145	0,004	0,553	4,44	0,120	0,024	0,018	94,467

Таким образом, алюминиевый сплав 5xxx возможно применять для исследования влияния механической схемы деформации, возникающей при прокатке в валках с волнистыми рабочими поверхностями, на формирование структур.

Исследования включают испытания на растяжение, кручение и растяжение с кручением на торсионном пластометре STD 812 с регистрацией энергосиловых параметров, последующую обработку результатов испытаний, металлографические исследования деформированного металла, определение микротвердости алюминиевого сплава 5xxx.

Торсионный пластометр STD 812 позволяет испытывать образцы при температурах до 1500 °C со скоростью нагрева и охлаждения до 100 K/c, при скоростях деформации до 50 c⁻¹ при кручении и до 1,0 c⁻¹ при растяжении и сжатии, степенях деформации – до 0,7 при сжатии, до 0,4 при растяжении и до 10,8 при кручении [12]. В процессе испытания реализуется непрерывное или дробное кручение с заданной степенью и скоростью деформации на каждом проходе.

Нагрев осуществляется в электропечи или индукторе, среда нагрева и испытания – воздух, аргон, вакуум (10^{-4} МПа) (рисунок 2,а). Температура образца до испытания, во время и после испытания задается по любому реальному закону как функция от времени. Предусмотрена закалка образца в воде, в том числе и мгновенная.

Скручающий пластометр позволяет моделировать реальные процессы обработки давлением, получать структуру материала, свойственную данному процессу, и оптимизировать те же параметры с точки зрения обеспечения заданной структуры и свойств материала. Данный пластометр позволяет определять характеристики пластичности материалов с учетом изменения температуры и скорости деформации, неравномерности деформации по длине и сечению образца. Благодаря этому является возможным проведение обобщенной процедуры определения пластических характеристик при кручении в повышенных температурах.

Испытания проводились в вакууме при температуре 480 °C и постоянной скорости деформации. Для проведения экспериментов использовали цилиндрические образцы диаметром $D = 8$ мм и с базовой длиной $L = 20$ мм, а для измерения и контролирования изменений температуры применяли термопару типа K . Термопара типа K приваривалась к боковой поверхности образцов. Образцы в индукционном нагревателе нагревали при постоянной скорости 5 °C/c, выдерживали при этой температуре в течение 10 с и деформировали кручением, растяжением и скручивающим растяжением. После деформации образцы охлаждали со скоростью 20 °C/c. Общий вид образца в аппарате для сварки термопар представлен на рисунке 2,б.

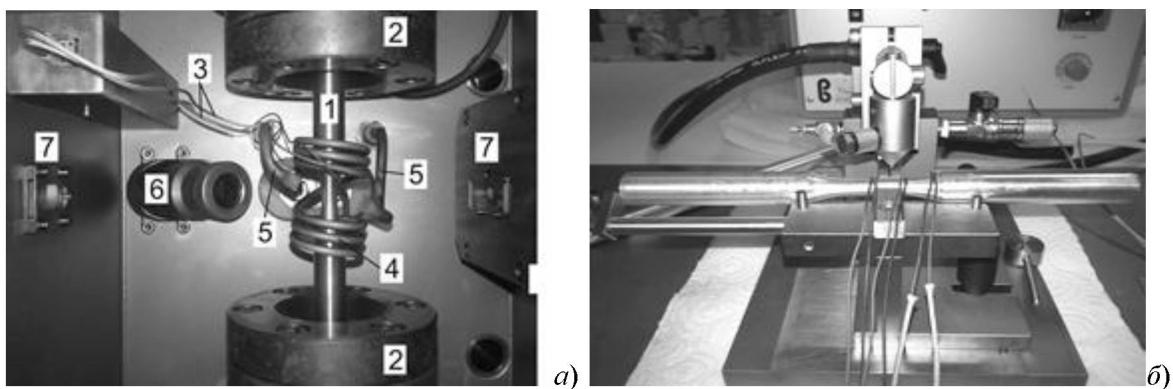


Рисунок 2 – Расположение образца в камере торсионного пластометра STD 812 (а)
и при приварке термопары к его боковой поверхности (б):

1 – образец, 2 – держатели, 3 – термопара типа K , 4 – электромагнитный индукционный нагреватель, 5 – система охлаждения форсунки, 6 – пирометр, 7 – лазерные датчики для измерения диаметра образца

Для определения истинной деформации, скорости и сопротивления деформации при торсионных испытаниях использовались следующие уравнения [12]:

$$\varepsilon = \frac{2 \cdot \pi \cdot R \cdot N}{\sqrt{3} \cdot L}; \quad (1)$$

$$\dot{\varepsilon} = \frac{2 \cdot \pi \cdot R \cdot \dot{N}}{\sqrt{3} \cdot 60 \cdot L}; \quad (2)$$

$$\sigma_p = \frac{\sqrt{3} \cdot 3M}{2\pi \cdot R^3}, \quad (3)$$

где: R – радиус образца, L – длина образца, N – количество скручиваний (оборотов) образца, $\dot{\varepsilon}$ – скорость кручения (скорость вращения), M – крутящий момент.

Микротвердость (HV) изучалась посредством внедрения алмазной пирамиды в предварительно полированную поверхность образца на автоматизированном микротвердомере американской фирмы INSTRON при рабочей нагрузке 2,942 Н последующим измерением диагоналей полученных отпечатков.

На образцах после пластометрических испытаний можно проводить металлографические исследования для оценки структуры и свойств материала после деформации и охлаждения при определенных условиях. Полученные результаты позволяют корректировать режим термодеформационной обработки.

Шлифы для металлографического исследования подготавливались по традиционной методике на шлифовальных и полировочных кругах. Для травления образцов был использован раствор азотной кислоты в этиловом спирте.

Металлографический анализ проводился с использованием универсального микроскопа Neophot 32 (Karl Zeiss, Jena) (Германия). Данный микроскоп предназначен для металлографической микроскопии и создания фотоснимков. Наблюдение может производиться методом светлого и темного поля, в поляризованном свете, с изменением кратностей увеличения. Увеличение микроскопа, крат: от 10 до 2000. Микроскоп оснащен цифровым зеркальным фотоаппаратом Olimpus с выводом полученного изображения и сохранения снимков на компьютере.

Результаты и их обсуждение

С использованием вышеизложенной методики проведено исследование влияния температуры, степени деформации на сопротивление деформации алюминиевого сплава 5xxx серии 5083. Известно [13], что скоростной эффект при высокой температуре определяется скоростью протекания таких процессов, как упрочнение и разупрочнение. Возрастанию скорости деформирования соответствует более упрочненное состояние, так как уменьшается вероятность частичного разупрочнения металла при пластической деформации.

На рисунке 3 показаны законы изменения сопротивления деформации σ в зависимости от степени деформации ε .

Анализ результатов реологических свойств алюминиевого сплава 5083 показал, что предел текучести в анализируемом диапазоне температурно-деформационных параметров уменьшается в случае деформирования растяжением (рисунок 3,*a*) и кручением (рисунок 3,*b*) после достижения максимального значения. Только при деформировании скручающим растяжением предел текучести исследуемого алюминиевого сплава после достижения максимального значения незначительно снижается, а затем остается постоянным приблизительно на уровне 50±54 МПа (рисунок 3,*c*). Анализ данных, представленных на рисунке 3, показал, что при деформировании только растяжением или кручением сопротивление деформации по величине больше по сравнению со скручающим растяжением.

На основе экспериментально полученных результатов можно отметить, что существенное влияние на кривые сопротивления деформации оказывает вид прилагаемой деформации, а также тепловой эффект деформации. При приложении растягивающих и скручивающих деформаций в структуре металла активно проходят динамические разупрочняющие процессы по сравнению со скручивающим растяжением, или происходит локализация деформации в определенном участке растягиваемого или скручиваемого образца. При этом наиболее интенсивно развивается разупрочнение или локализация деформации в течение первых 0,5 с, далее разупрочнение или локализация деформации протекает монотонно и медленно.

На рисунках 4 – 7 показаны микроструктура исходных образцов алюминиевого сплава 5xxx серии 5083 и образцов, деформированных растяжением, кручением и растягивающим кручением при температуре 480 °C.

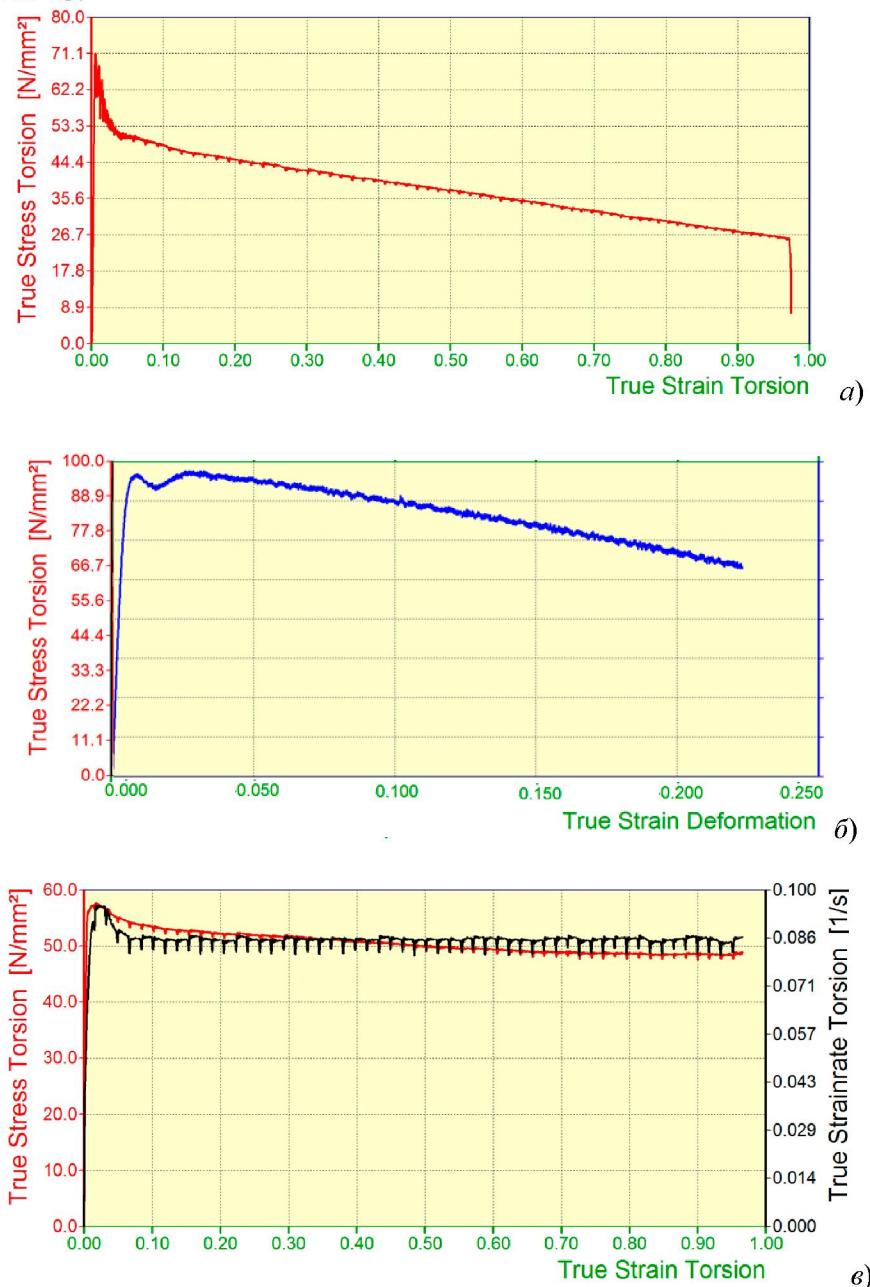


Рисунок 3 – Влияние деформации кручением (а), растяжением (б) и скручивающим растяжением (в) на изменение сопротивления деформации алюминиевого сплава 5xxx серии 5083

Исследование исходной структуры алюминиевого сплава 5xxx серии 5083 показало, что в структуре образца имеются сравнительно крупные зерна со средним размером ~ 125 мкм (рисунок 4). Зерна распределены достаточно равномерно.

Из микроструктуры исходного образца видно (рисунок 4), что границы зерен сильно протравлены. Связано это с тем, что реагенты раствора азотной кислоты в этиловом спирте сильно протравили интерметаллические соединения, образованные между компонентами сплава в результате старения или медленного охлаждения.

Микроструктура образцов после деформации характеризуется менее выраженными границами зерен. Прогрев до температуры деформации (480 °C) привел к растворению легирующих элементов в алюминии. Растворение легирующих элементов в алюминии и быстрое охлаждение образцов позволяет избежать образования интерметаллических соединений по границам зерен. Отсутствие или малое количество интерметаллических соединений по границам зерен не позволяет хорошо протравить границы зерен. Следует отметить, что при травлении была плохо выявлена микроструктура образцов в продольном сечении. Для точного выявления структуры исследуемого сплава следовало бы применить электролитическое травление.

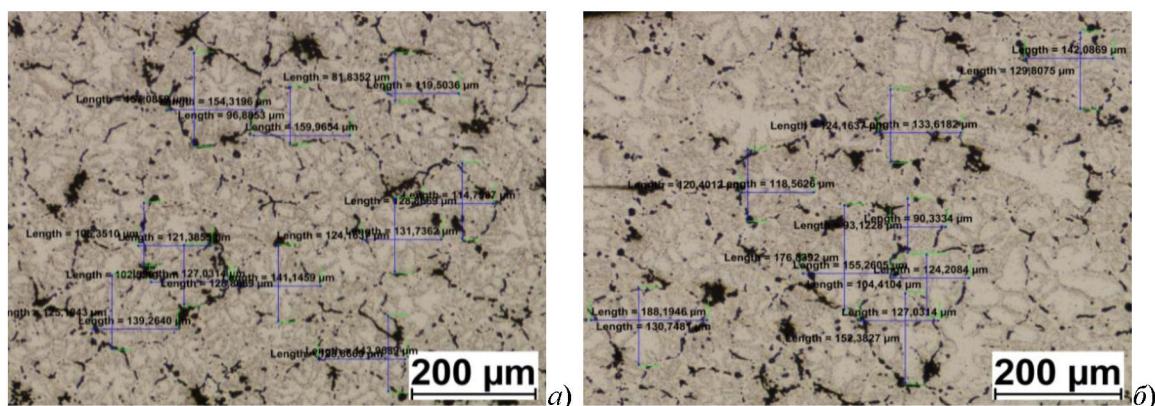


Рисунок 4 – Микроструктура исходных образцов в поперечном (а) и продольном (б) сечении

Деформирование образцов растяжением, кручением и растягивающим кручением при температуре 480 °C привело к значительному измельчению размеров зерен по сравнению с исходным размером зерен (рисунки 5, 6 и 7). Так, образцы, деформированные растяжением и кручением, имеют мелкозернистую структуру с размером зерен 72 и 63 мкм, соответственно. Следует отметить, что образцы, деформированные скручивающим растяжением, получили сравнительно большую фрагментацию зерен. Поэтому микроструктура образцов, деформированных скручивающим растяжением, имеет мелкозернистую структуру с размером зерен 56 мкм.

Результаты измерения микротвердости по Виккерсу при нагрузке $2,942$ Н представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты измерения микротвердости HV0,3

Микротвердость	Продольное сечение		Поперечное сечение	
	центр	край	центр	край
Исходных образцов	70,3	74	75	73
Образцов деформированных растяжением	68	68	68	70
Образцов деформированных кручением	71,8	70,2	69	68,65
Образцов деформированных скручивающим растяжением	69,1	69,05	69	72

Результаты измерений микротвердости исходных образцов показали, что в них отсутствует анизотропия свойств как в поперечном, так и продольном сечениях.

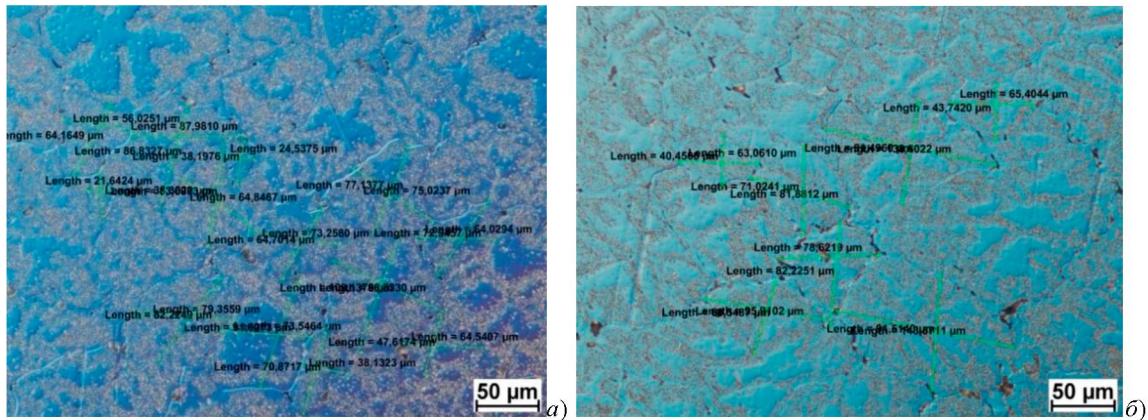


Рисунок 5 – Микроструктура образцов, деформированных растяжением в поперечном (а) и продольном (б) сечении

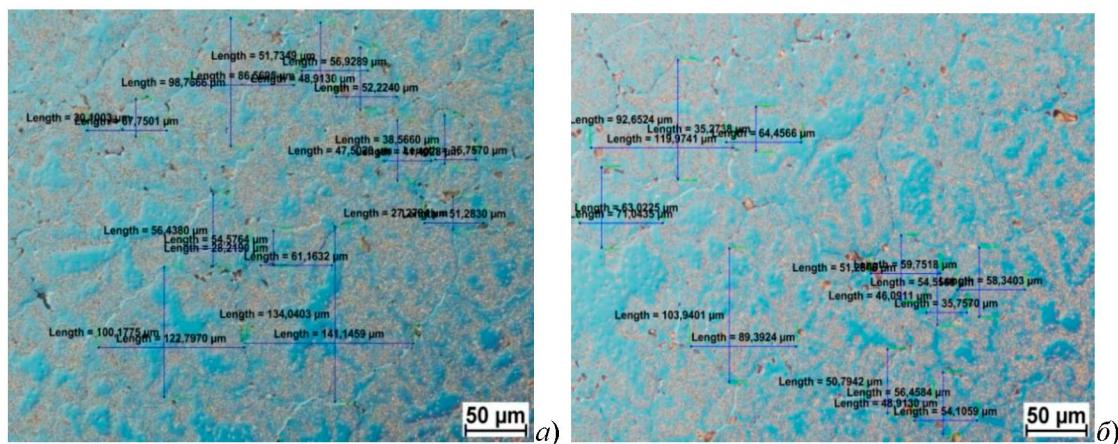


Рисунок 6 – Микроструктура образцов, деформированных кручением в поперечном (а) и продольном (б) сечении

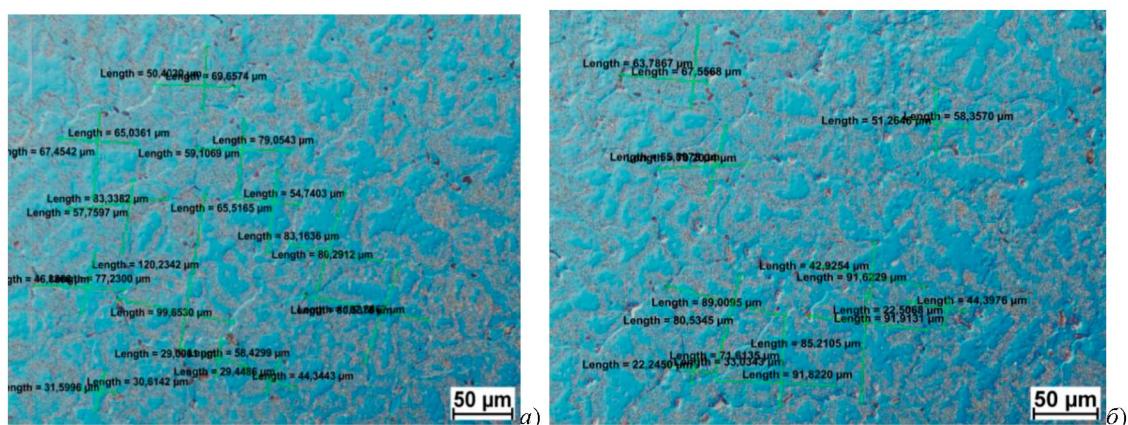


Рисунок 7 – Микроструктура образцов, деформированных скручающим растяжением в поперечном (а) и продольном (б) сечении

Образцы после растяжения, вопреки ожиданиям, не показали анизотропию микротвердости. Только на краях продольного сечения образцов наблюдается повышение микротвердости. Микротвердость образцов после кручения имеет несколько большие значения в поперечном сечении, чем в продольном сечении. Следует отметить, что образцы после растяжения скручиванием имеют микротвердость аналогичную микротвердости образцов, деформированных растяжением. Такое небольшое различие в значениях микротвердости не позволяет судить о влиянии характера деформации на микротвердость алюминиевого сплава.

На основе полученных результатов можно отметить, что приложение знакопеременной деформации растяжением, кручением и скручающим растяжением при прокатке в валках с волнистыми рабочими поверхностями будет способствовать существенному уменьшению размеров зерен металлов и сплавов.

Выводы

Исследование влияния различных видов деформации на сопротивление деформации и микроструктуру алюминиевого сплава 5xxx серии 5083 и анализ полученных результатов приводят к формулировке следующих результатов:

- пластометрические испытания показали, что существенное влияние на кривые сопротивления деформации оказывает вид прилагаемой нагрузки. При приложении растягивающих и скручающих деформаций происходит локализация деформации в определенных участках очага деформации по сравнению со скручающим растяжением;
- при приложении к образцу скручающего растяжения формируется сравнительно мелькозернистая структура по сравнению с приложением к образцу растягивающей или сжимающей нагрузки.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ваганов В.Е., Кечин В.А., Евдокимов И.А. Современные достижения по получению материалов с нанокристаллической структурой // Вестник научно-технического развития. 2010. - № 6 (34). С. 3 – 11.
- [2] Лякишев Н.П., Альмов М.И. Наноматериалы конструкционного назначения // Российские нанотехнологии. 2006. - №1-2. - С.71-80.
- [3] Валиев Р.З. Созданиеnanoструктурных металлов и сплавов с уникальными свойствами используя интенсивные пластические деформации // Российские нанотехнологии. 2006. - №1-2. - С. 208-216.
- [4] Morsi K., Esawi A. Effect of mechanical alloying time and carbon nanotube (CNT) content on the evolution of aluminium (Al) - CNT composite powders. // J. Mater. Sci. (2007) #42. P. 4954-4959.
- [5] Добаткин С.В., Арсенин А.М., Попов М.А., Кищенко А.Н. Получение объемных металлических nano- и субмикрокристаллических материалов методом интенсивной пластической деформации. // Металловедение и термическая обработка металлов. 2005. - №5. - С.29-34.
- [6] Салищев Г.А., Валиахметов О.Р., Галеев Р.М., Мальшева С.П. Формирование субмикрокристаллической структуры в титане при пластической деформации и ее влияние на механическое поведение. // Металлы. – 1996, - №4. – С. 26-31.
- [7] Козлов К.А., Кечин В.А., Стулов В.В. Современные процессы получения направленных заготовок.// Литейщик России. 2008. - № 7. - С. 36-38.
- [8] Панин В.Е., Егорушкин В.Е.. Физическая мезомеханика измельчения кристаллической структуры при интенсивной пластической деформации // Физическая мезомеханика, 2008, - №11. - С. 5-16.
- [9] Пашинская Е.Г. Физико-механические основы измельчения структуры при комбинированной пластической деформации. – Донецк: изд-во «Вебер» (Донецкое отделение), 2009. - 352 с.
- [10] Инструмент для горячей прокатки металлов и сплавов / С.А. Машеков, Б.Н. Абсадыков, Л.А. Курмангалиева и др. // Патент РК № 16804 Опубл. 16.01.2006, Бюл. № 1. – 2 с.: ил.
- [11] Машеков С.А., Курмангалиева Л.А., Смоилова Г.А. Исследование напряженного состояния металла при прокатке в валках с винтообразной поверхностью//Алматы, Поиск, 2007, № 4. С. 288 – 291.
- [12] Grosman F., Hadasi E.: Technologi cz naplastycznośc metali. Badaniaplastometryczne, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, ISBN 83-7335-204-X, Gliwice 2005, s. 11-12.
- [13] Горелик С.С., Добаткин С.В., Капуткина Л.М. Рекристаллизация металлов и сплавов. М.: МИСИС, 2005. 432 с.

REFERENCES

- [1] Vaganov V.E., Kechin V.A., Evdokimov I.A. Sovremennye dostizhenija po polucheniju materialov s nanokristallicheskoj strukturoj // Vestnik nauchno-tehnicheskogo razvitiya. **2010**. № 6 (34). S. 3–11. (in Russ.).
- [2] Ljakishev N.P., Alymov M.I. Nanomaterialy konstrukcionnogo naznachenija // Rossijskie nanotehnologii. **2006**. №1-2. - С.71-80. (in Russ.).
- [3] Valiev R.Z. Sozdanie nanostrukturnyh metallov i splavov s unikal'nymi svojstvami ispol'zuja intensivnye plasticheskie deformacii // Rossijskie nanotehnologii. **2006**. №1-2. S. 208-216. (in Russ.).
- [4] Morsi K., Esawi A. Effect of mechanical alloying time and carbon nanotube (CNT) content on the evolution of aluminium (Al) - CNT composite powders. // J. Mater. Sci. (**2007**) #42. P. 4954-4959.
- [5] Dobatkin S.V., Arsenin A.M., Popov M.A., Kishchenko A.N. Poluchenie ob#emnyh metallicheskikh nano- i submikrokristallicheskikh materialov metodom intensivnoj plasticheskoy deformatcii. // Metallovedenie i termicheskaja obrabotka metallov. **2005**. №5. S.29-34. (in Russ.).

- [6] Salishhev G.A., Valiahmetov O.R., Galeev R.M., Malysheva S.P. Formirovanie submikrokristallicheskoy struktury v titane pri plasticheskoj deformacii i ee vlijanie na mehanicheskoe povedenie. // Metally. 1996, №4. S. 26-31. (in Russ.).
- [7] Kozlov K.A., Kechim V.A., Stulov V.V. Sovremennye processy poluchenija napravlenyyh zagotovok.// Litejshhik Rossii. 2008. № 7. S. 36-38. (in Russ.).
- [8] Panin V.E., Egorushkin V.E.. Fizicheskaja mezomehanika izmel'chenija kristallicheskoy struktury pri intensivnoj plasticheskoj deformacii // Fizicheskaja mezomehanika, 2008, №11. S. 5-16. (in Russ.).
- [9] Pashinskaja E.G. Fiziko-mehanicheskie osnovy izmel'chenija struktury pri kombinirovannoj plasticheskoj deformacii. – Doneck: izd-vo «Veber» (Doneckoe otdelenie), 2009. 352 s. (in Russ.).
- [10] Instrument dlja gorjachej prokatki metallov i splavov / S.A. Mashekova, B.N. Absadykova, L.A. Kurmangalieva i dr. // Patent RK № 16804 Opubl. 16.01.2006, Bjul. № 1. 2 s.: il. (in Russ.).
- [11] Mashekova S.A., Kurmangalieva L.A., Smoilova G.A. Issledovanie naprijazhennogo sostojaniya metalla pri prokatke v valkah s vintoobraznoj poverhnost'ju//Almaty, Poisk, 2007, № 4. S. 288 – 291. (in Russ.).
- [12] Grosman F., Hadasik E.: Technologi cz naplastycznośc metali. Badaniaplastometryczne, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, ISBN 83-7335-204-X, Gliwice 2005, p. 11-12.
- [13] Gorelik S.S., Dobatkin S.V., Kaputkina L.M. Rekrystallizacija metallov i splavov. M.: MISIS, 2005. 432 s. (in Russ.).

БҮРАМАЛЫ ҚАУМАЛАРДАҒЫ ТІЛКЕМДЕРДІҢ ИКЕМДЕУ КЕЗІНДЕ МЕТАЛЛ ҚҰРЫЛЫМЫ ӨЗГЕРУІНІҢ ЗАҢДЫЛЫҒЫН ЗЕРТТЕУ

А.С. Машекова¹, А. Кавалек², А.Т. Турдалиев¹, С.А. Машеков¹, Б.Н. Абсадыков³

¹ Қ.И. Сатбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті,
Алматы қ., Қазақстан Республикасы;

² Ченстохов политехникалық университеті, Ченстохов қ., Польша;

³ Қазақстан-Британ техникалық университеті, Алматы қ., Қазақстан Республикасы

Түйін сөздер: иілу деформациясы, жұқарту, нанокұрылымдау, біліктегі, микрокұрылым.

Аннотация. Мақалада бастапқы дайындау мөлшерлерін айтарлықтай өзгеріссіз икемдеуін жүзеге асыру мүмкіндік беретін нанокристаллды құрылымымен тілкемдер алу мақсатында құралдар конструкциясы өндөлген.

Болат пен құйындының ыстық икемдеуі үшін бұл құралда ирек жұмыс беттерімен жоғарғы және тәменгі қаумалары бар. Сонымен бірге жоғарғы қаумалар немесе шұқырлары тәменгі қауманың тіректері мен шұқырларына карама-қарсы орналасып бұранда сызығы бойынша жасалған. Сонымен қатар, бір спираль үшін Тангенс және перпендикуляр орамның бір құрайтын бойымен базасына байланыс нүктесі арқылы ететін сызықпен арасындағы бұрыш 20° және 60° аралығында болып табылады. Жоғарғы мен тәменгі қаумалардағы тіректері мен шұқырлардың ені, биіктігі және терендігі бірдей екенін белгілеу керек.

Бұл жұмыста дайындағанда ғана қаумаларында икемдеу кезінде белгісінде аудиоспайтында деформацияланатыны көрсетілген. Сонымен бірге, деформация ошағының кейір белгілі аумақтарында кернеулерді созатын бұрау пайда болады, яғни дайындааманың ілім аймақтарында, ғана қаумалардағы икемдеу кезінде бұрайтын кернеулер, ал ілім аймақтар арасында созатын кернеулер пайда болады, сонымен бірге өтпелі аймағында екі компоненттік (бұрау+созу) кернеу жағдайы әрекет етеді.

Жоғарыда айтылғанмен байланысты деформацияның механикалық үлгісінің құрылым қалыптасуына әсері зерттелген.

Деформацияның механикалық үлгісінің әсерін зерттеуі STD 812 торсиондық созымдылық өлишегіштің колдануымен өткізілді. Дайындааманың материалы ретінде 5083 сериясымен 5xxx алюминий құйындысы таңдалған.

Толқынды орамды икемдеу кезінде шиеленісті, созылып бұрау және айнымалы бұрау белгі қолданба металдар мен құйындылардың ыстық мөлшерін айтарлықтай тәмендетуге ықпал ететін болады деп көрсетілген.

Поступила 13.04.2016 г.