

Обработка металлов давлением. Технологии и машины обработки давлением

УДК 621.7:539.35:620.186

DOI: 10.14529/met160415

ДЕФОРМАЦИЯ СДВИГОМ МЕТОДОМ КРУЧЕНИЯ, ОСАДКИ И ПРЕССОВАНИЯ

А.Е. Волков

*Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург,
Институт машиноведения УрО РАН, г. Екатеринбург*

Комплексная технология деформации металлов – «Кручение, осадка и прессование» (КОП) предназначена для получения субмикроструктурной структуры в металлических заготовках большой массы.

Выполненная работа показала эффективность применения деформации сдвигом за счёт винтового кручения. Наиболее эффективно использование винтового реверсивного кручения, позволяющего с наименьшими временными и экономическими затратами производить подготовку структуры металла в заготовках под последующую классическую деформацию.

По сравнению с известными методами немонотонной деформации, такими, как кручением под высоким давлением, равноканальной угловой экструзией и винтовой экструзией, винтовое кручение позволяет обрабатывать массивные заготовки.

Новое направление в области деформации будет особенно актуально для создания особопрочных металлов для авиастроения, космонавтики, автомобилестроения, судостроения, мостостроения и других отраслей промышленности.

Разработанная схема позволила сравнить обычную осадку и прессование с деформацией сдвигом и определить её эффективность.

Ключевые слова: кручение под высоким давлением (КВД); всесторонняя ковка (ВК); равноканальная угловая экструзия (РКУЭ); винтовая экструзия (ВЭ); кручение, осадка, прессование (КОП); винтовое кручение (ВК); винтовое реверсивное кручение (ВРК).

Предлагаемое к использованию в промышленности изобретение относится к области немонотонной интенсивной деформации металлов. Данным методом возможно деформировать любые металлы, включая железо, титан, медь и т. п.

Донецкими учёными во главе с профессором Я.Е. Бейгельзимером освоен способ винтовой экструзии (ВЭ) металла [1].

Другим способом осуществления деформации сдвигом является кручение под высоким давлением (КВД) в наковальнях Бриджмана [2, с. 129–142, 229–232].

Как показала практика, методом винтовой экструзии (ВЭ) и методом кручения под высоким давлением (КВД) нельзя получить массивные заготовки. Всесторонняя ковка ВК позволяет произвести относительно большой объём заготовки, где можно добиться формирования субмикроструктурной структуры, но это требует больших энергозатрат и времени производства.

В связи с этим, был предложен способ деформации сдвигом, осуществляемый по схеме кручения, осадки, прессования (КОП) [3].

Как показал опыт, при осуществлении различных видов интенсивной пластической деформации кручение позволяет за наименьшее время произвести измельчение структуры металла [4]. Например, за счёт кручения под высоким давлением за один оборот достигается такая величина зерна, которую при использовании обычной схемы неинтенсивной пластической деформации (ковка, прокатка, прессование) можно получить, если растянуть или сжать заготовку более чем в миллион раз.

Для того чтобы осуществить процесс по схеме КОП необходима гранёная заготовка. Такую заготовку возможно получить методом литья или непосредственно из слитка путем механической резки или деформации. Операции (нагрев, кручение, осадка и прессование) можно производить многократно по заданному циклу, который изображен на рис. 1.

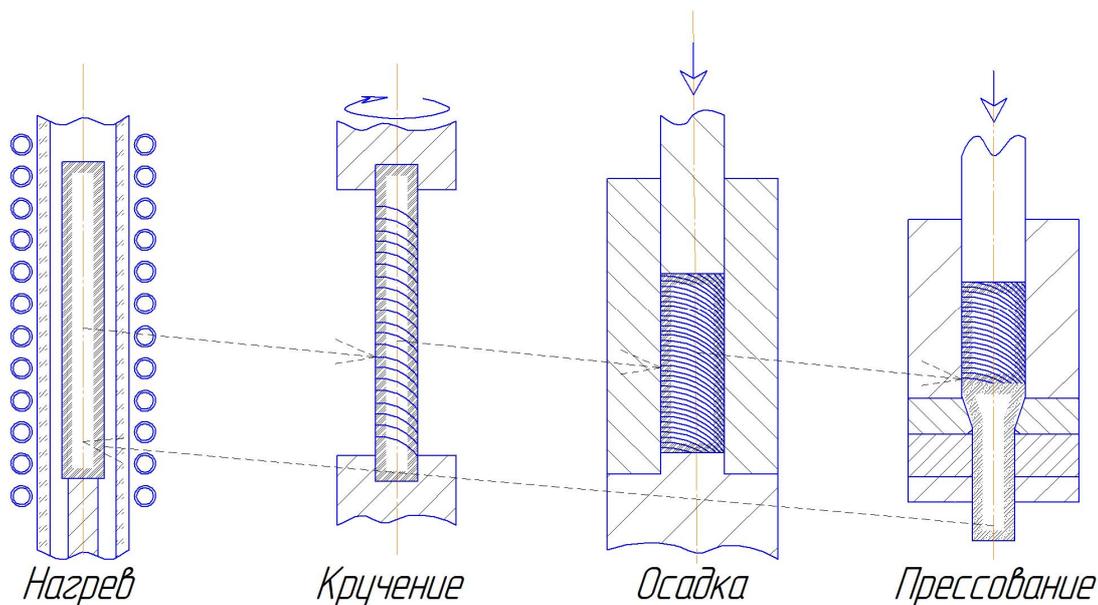


Рис. 1

Используя один набор оборудования и инструмента, с наименьшими энергетическими затратами возможно в несколько циклов добиваться заданной величины структуры металла.

С целью определения технологических возможностей метода КОП был проведен практический эксперимент, где в качестве исходного материала послужил слиток диаметром 750 мм двойного вакуумно-дугового переплава из наиболее изученного титанового сплава Вt-6 (6Al4V). Из материала слитка было изготовлено 30 образцов квадратного сечения 20×20 мм, длиной 150 мм. Десять образцов имели литую структуру, которым было

присвоено обозначение (Ли); Десять образцов предварительно ковались с коэффициентом вытяжки $k = 2,8$ (Мк) и десять образцов ковались с вытяжкой 9 (Ск).

Работы по винтовой деформации были проведены в декабре 2014 г. на площадях цеха № 5 ОАО «Корпорации «ВСМПО-АВИСМА». Для этого была отработана схема индукционного нагрева заготовки (рис. 2). Квадратная заготовка нагревалась в кварцевой вертикально расположенной трубе в защитной среде аргона. Индукционный нагрев заготовки до заданной температуры обеспечивался за 45 с.

После нагрева до 1050 °С заготовка поступала на установку скручивания (рис. 3),



Рис. 2



Рис. 3



Рис. 4



Рис. 5

где проводилась операция кручения на один, два и три оборота. На рис. 4 показаны заготовки после кручения различной интенсивности. После операции кручения заготовка охлаждалась в воде. Далее следовал повторный индукционный нагрев заготовки до $1050\text{ }^{\circ}\text{C}$, которую осаживали пуансоном в штампе на прессе усилием 250 т с коэффициентом обжатия 1,8 до диаметра 30 мм (рис. 5).

На рис. 6 показаны некоторые заготовки после операции кручения и осадки, проточка которых один миллиметр на сторону позволяет полностью устранить поверхностные дефекты. На рис. 7 показаны образцы после механической обработки.

Последняя операция прессования заготовки через фильеру квадратного сечения 20×20 мм производилась также после нагрева до $1050\text{ }^{\circ}\text{C}$. Полученная заготовка после прессования охлаждалась в воде.

На рис. 8 изображены фото макроструктуры литого и кованных образцов, где можно проследить изменение формы литого кристалла под действиемковки различной интенсивности. Изображения кованных образцов показаны в продольном и поперечном направлениях.

В среднем поперечная величина литого зерна слитка диаметром 750 мм составляет 35 000 мкм, а продольная составляет примерно 85 000 мкм. Послековки с коэффициентом вытяжки 2,8 поперечная величина зерна находится в пределах 5000 мкм. Исходя из этой величины возможно рассчитать удлинение зерна, которое теоретически может достигать в длину 4 000 000 мкм, что превышает длину заготовки в несколько раз, поэтому можно принять, что величина зерна послековки находится в пределах длины заготовки, то есть составляет длину 150 000 мкм. Послековки с



Рис. 6



Рис. 7

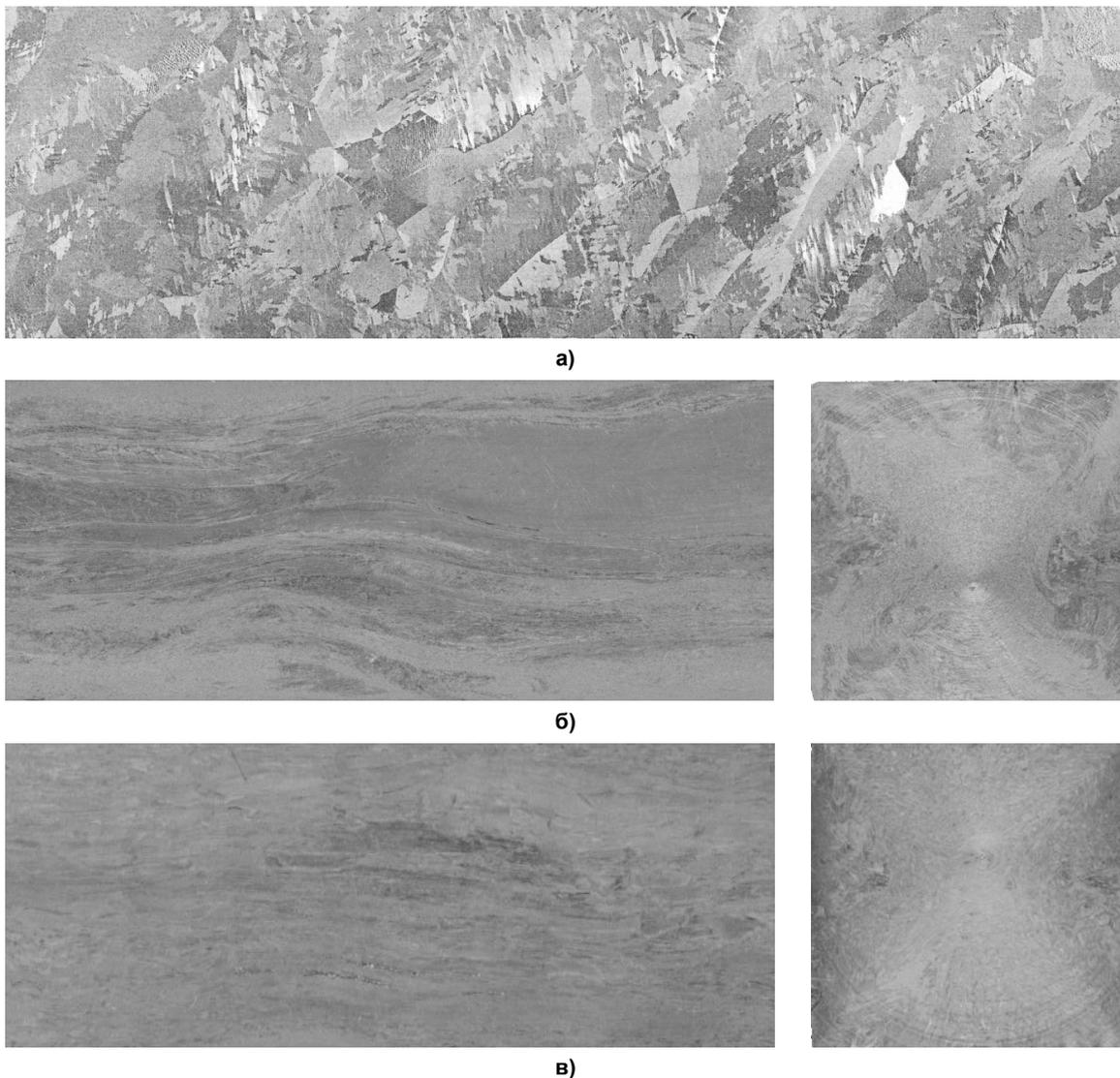


Рис. 8: а – макроструктура литого образца 35 000/85 000 мкм; б – макроструктура ковального образца (коэффициент вытяжки 2,8) 5000/150 000 мкм; в – макроструктура ковального образца (коэффициент вытяжки 9) 2000/150 000 мкм

коэффициентом вытяжки 9 продольный размер зерна ещё более удлиняется, следовательно длина зерна так же находится в пределах длины заготовки и составляет 150 000 мкм при поперечных размерах зерна 2000 мкм.

В таблице показана величина кристаллической структуры зерна титана в образцах, прошедших различные технологические операции. В числителе показана средняя поперечная величина зерна в мкм, в знаменателе продольная величина зерна в мкм. После каждой операции образец охлаждался до комнатной температуры. Перед каждой операцией (кручение, осадка, прессование) образец нагревали до 1050 °С.

При проведении работ были отмечены интересные результаты, связанные с литыми

образцами макро- и микроструктура которых показана на рис. 9, а–г.

С увеличением степени деформации кручением на два или три оборота в образце начинается формирование равноосных зёрен (рис. 10, а–г).

С увеличением степени деформации кручением достигаются подобные размеры величины зерна не зависимо от предварительной величиныковки, что можно наблюдать на рис. 10, в, г.

Последующая дополнительная операция прессованием для литого образца приводит к значительному измельчению зерна и выравниванию текстуры, при этом конечная величина зерна сравнивается с образцами, прошедшими предварительную ковку (рис. 11, а–г).

Таблица

| № п/п | Технологические операции | Величины кристаллической структуры зерна, мкм поперечный/продольный | | |
|-------|--|---|--------------------|--------------------|
| | | Литая (Ли) | Кованая κ 2,8 (Мκ) | Кованая κ 9,0 (Сκ) |
| 1 | Исходные образцы | 35000/85000 | 5000/150000 | 2000/150000 |
| 2 | Осадка, κ 1,8 | 15000/20000 | 1240/534÷1070 | 1328/698÷1396 |
| 3 | Кручение – 360° | 8000÷16000/20000 | 1100/1376 | 1172/1172 |
| 4 | Кручение – 720° | 5000/5000 | 1161/1771 | 1016/1258 |
| 5 | Кручение – 1080° | 3000/3000 | 679/1021 | 663/837 |
| 6 | Кручение – 360°, осадка κ 1,8 | 14000/15000 | 1567/1026 | 1265/ 934 |
| 7 | Кручение – 720°, осадка κ 1,8 | 850/7000 | 885/1244 | 712/2656 |
| 8 | Кручение – 360°, осадка κ 1,8, прессование κ 1,8 | 895/1120 | 1049/1360 | |
| 9 | Кручение – 720°, осадка κ 1,8, прессование κ 1,8 | 952/983 | 853/952 | |

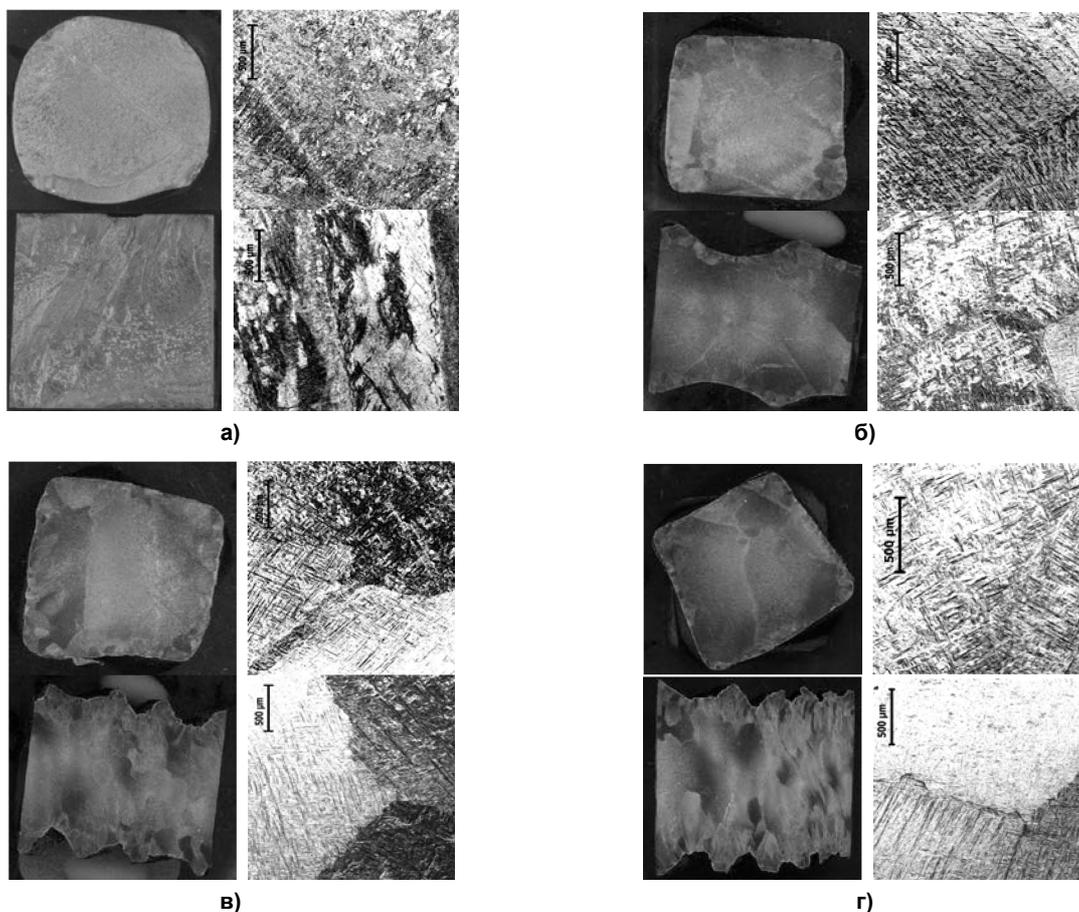


Рис. 9: а – образец Ли – осадка κ 1,8; б – образец Ли – кручение 360° (один оборот); в – образец Ли – кручение 720° (два оборота); г – образец Ли – кручение 1080° (три оборота)

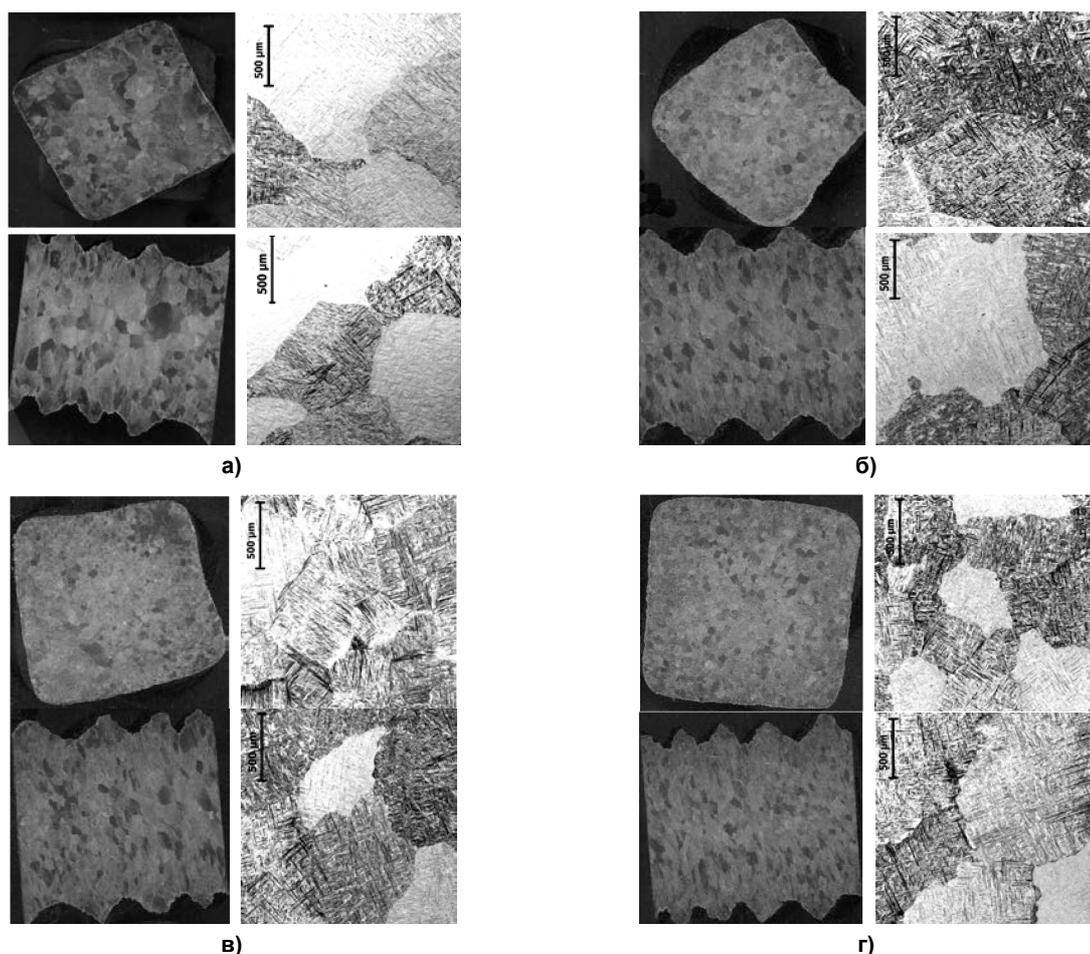


Рис. 10: а – образец Мк – кручение 720° (два оборота); б – образец Ск – кручение 720° (два оборота); в – образец Мк – кручение 1080° (три оборота); г – образец Ск – кручение 1080° (три оборота)

После того, как было установлено, что наибольший вклад в измельчение структуры зерна вносит операция кручения, был поставлен эксперимент по винтовому реверсивному кручению. На рис. 12, а показана микроструктура образца Мк после кручения на два оборота, а на рис. 12, б – микроструктура подобного образца после кручения на два оборота и два оборота в обратную сторону.

Кручение с реверсом технологически эффективная операция, так как позволяет в одном инструменте добиваться большего эффекта по измельчению структуры зерна, при этом заготовка принимает первоначальную форму.

Для деформации сдвигом наиболее подходит литая заготовка с мелкозернистой структурой. В работе была использована литая заготовка из ВТ-6, полученная донным сливом в медную холодную форму, на электронно-лучевой печи дискового донного слива. На рис. 13, а, б показана исходная микро-

структура в поперечном и продольном сечении. На рис. 13, в показана микроструктура образца в поперечном сечении после кручения этой заготовки на полтора оборота, осадки и прессования. Структура зерна в среднем с 800 мкм измельчилась до 11,5 мкм.

Наибольшего эффекта возможно достичь при изготовлении заготовки центробежным литьём в охлаждаемую медную форму [5]. Ранее проведённые работы в «ВИАМ» под руководством С.Г. Галунова по центробежному литью титановых колец показали высокие физико-механические свойства сформированного металла. По общим прочностным показателям произведённый металл не уступает кованным заготовкам. Заготовки, полученные центробежным литьём и обработанные деформацией сдвигом, будут приобретать наиболее мелкозернистую структуру.

В качестве примера оборудования на рис. 14 показано устройство для деформации сдвигом по схеме винтового реверсивного

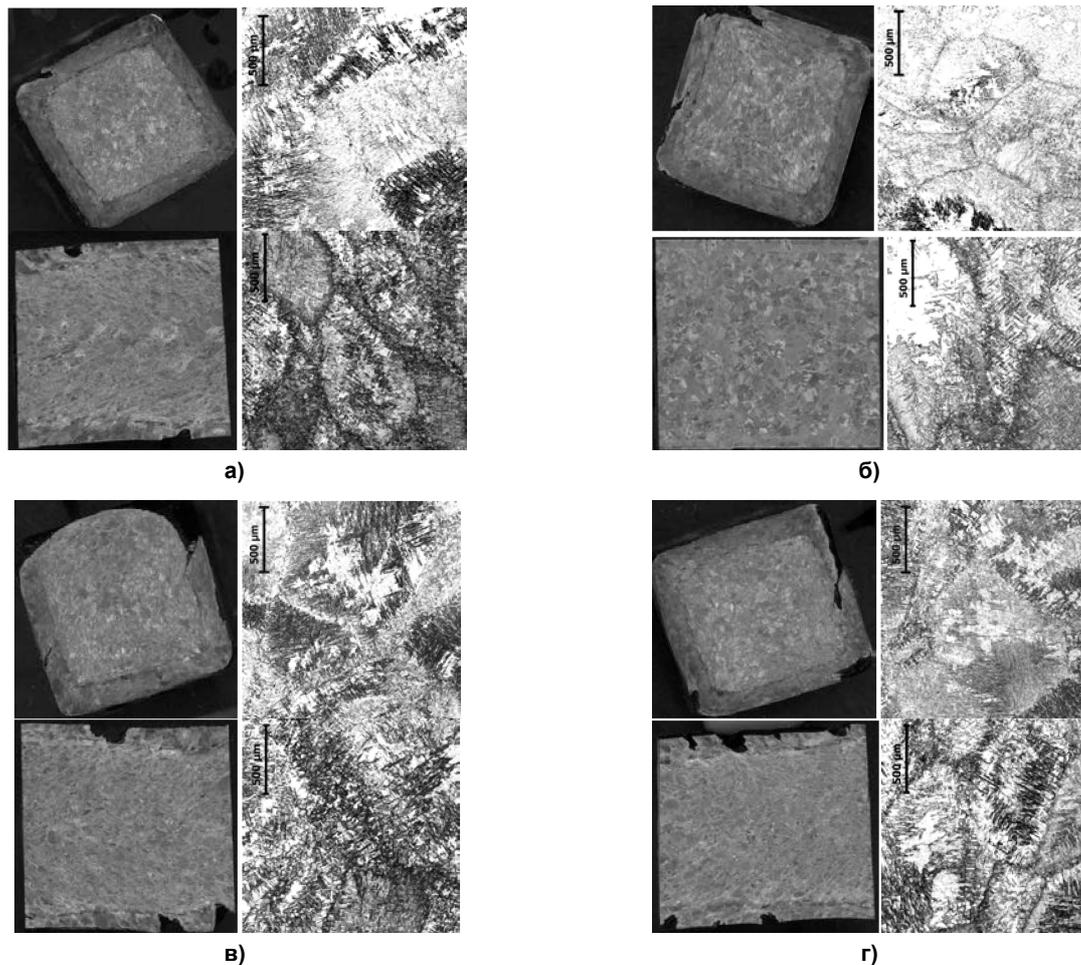


Рис. 11: а – образец Ли – кручение 360°, осадка к 1,8, прессование к 1,8; б – образец Мк – кручение 360°, осадка к 1,8, прессование к 1,8; в – образец Ли – кручение 720°, осадка к 1,8, прессование к 1,8; г – образец Мк – кручение 720°, осадка к 1,8, прессование к 1,8

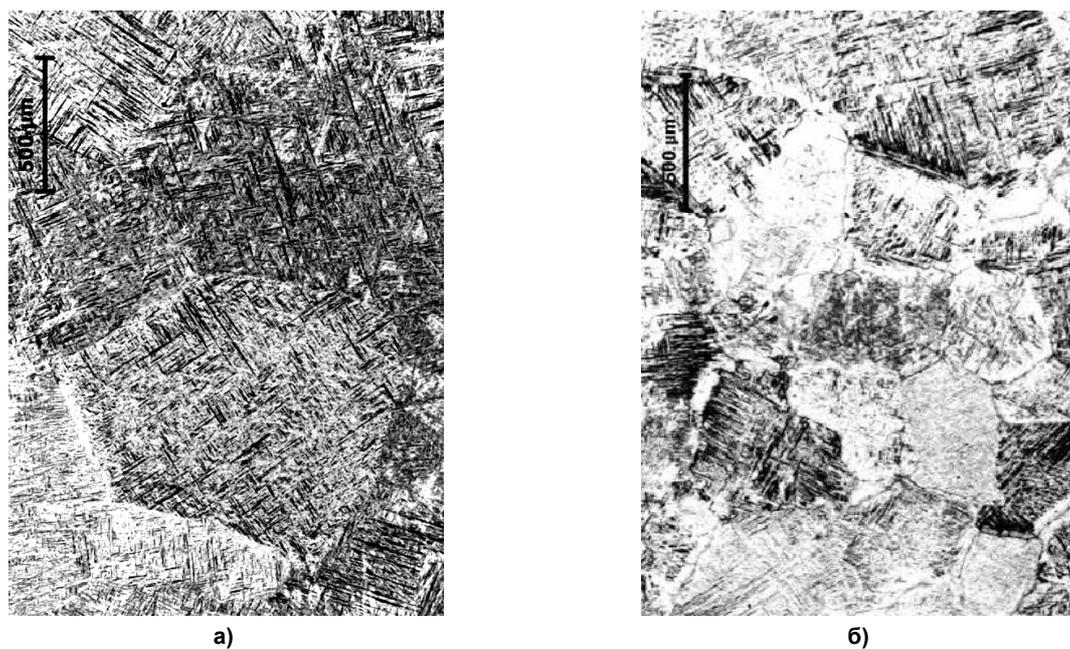


Рис. 12: а – образец Мк – кручение 720° (два оборота), размер зерна – 1016 мкм; б – образец Мк – кручение 720° (два оборота) и кручение 720° (два оборота в противоположном направлении), размер зерна – 310 мкм

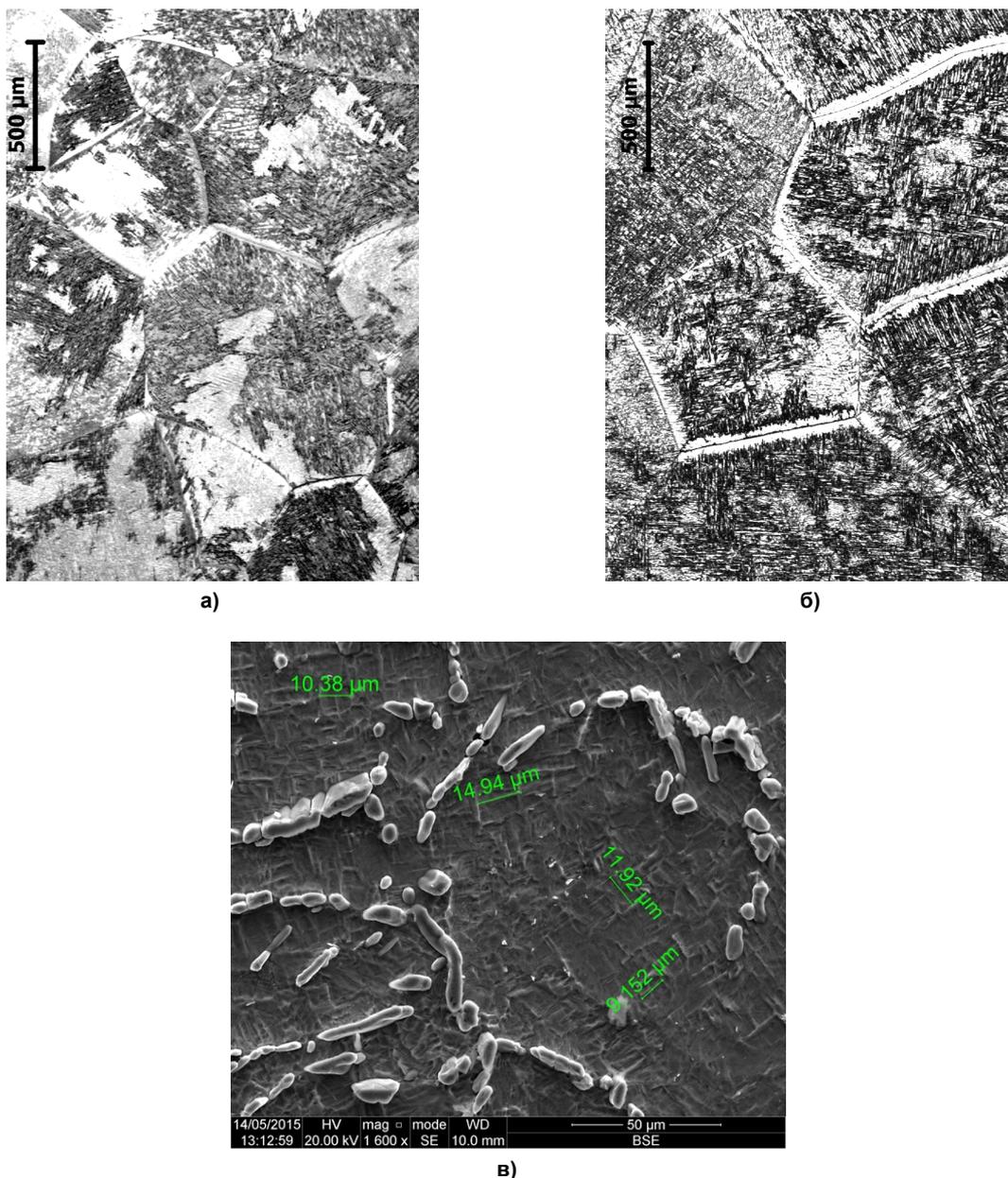


Рис. 13: а – микроструктура литой заготовки в поперечном направлении (730 ммк); б – микроструктура литой заготовки в продольном направлении (825 ммк); в – микроструктура литой заготовки в поперечном направлении, прошедшей операцию кручения (540°), осадки и прессования, коэффициент вытяжки 1,8 (11,5 мкм)

кручения (ВРК). Заготовка 1 нагревается индуктором 2 и перемещается по оси толкателями 3 или рольгангами 4. Заготовка удерживается стационарной опорой 5 и скручивается за счёт ключа вращения 6. Внутренняя часть опоры и ключа соответствует геометрии заготовки.

На разрезе А показана опора, на разрезе Б показан ключ вращения 6, где вместо шайбы применяются валки ба, размещённые на осях бб, что позволяет удерживать заготовку 1 при кручении вокруг оси, при этом позволяя ей перемещаться вдоль оси.

Заготовка может скручиваться по всей длине за счёт захвата ее концов инструментом. Для большего измельчения структуры длина участков кручения должна уменьшаться. На первой стадии реверсивного кручения целесообразно производить обработку заготовки на всей длине, это особенно важно для постепенного и более плавного измельчения структуры низкопластичных металлов. Далее с каждой последующей операцией кручение заготовки может производиться на меньшей длине участка деформации. Заготовка может нагреваться в защитной атмосфере за счёт камеры 7,

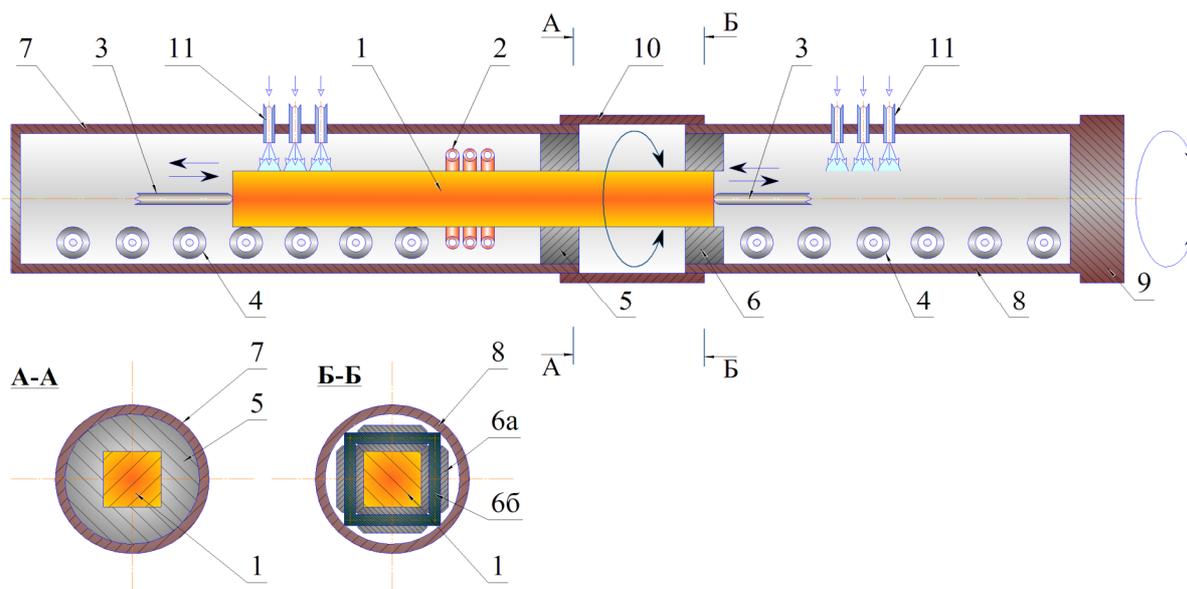


Рис. 14

камеры 8, соединяющей ключ с редуктором 9 и соединительной камеры 10. Заготовка может охлаждаться за счёт форсунок 11, по которым может поступать воздух или вода.

Деформацию сдвигом возможно производить с периодическим оплавлением поверхности заготовки индуктором. Накопленная деформация будет разрушать заготовку с её поверхности, операция оплавления позволит устранять на этой поверхности напряжение и концентраторы разрушения. Введение операции оплавления позволит измельчать структуру зерна в заготовке до нанокристаллического состояния не зависимо от величины исходного зерна. Следовательно, появляется возможность в одном инструменте получить заданную структуру и физико-механические свойства металла.

Выводы

1. Проведён комплекс научно-исследовательских работ на деформационном оборудовании в цехе № 5 «Корпорации ВСМПО-АВИСМА» по обработке титана давлением, где совмещена монотонная и немонотонная деформация.

2. Разработана технология деформации сдвигом для заготовок больших габаритов и большой массы.

3. Освоена схема немонотонной интенсивной деформации методом винтового кручения, совмещённая с монотонной интенсивной деформацией осуществляемой методом осадки и прессования.

Практическое значение работы состоит в промышленном использовании способа винтового кручения совместно с обычным деформационным оборудованием. Деформация сдвигом может использоваться для предварительной деформации слитков и заготовок, поступающих на пресс, молот или прокатный стан.

Для практического использования предлагаемого метода целесообразно разработать технологию литья заготовок с мелкозернистой структурой. Реальный экономический эффект от внедрения новой разработки для производства титановых штамповок может состоять в двух-трёхкратном повышении скорости производства и выхода готовой продукции. Разработанная схема деформации сдвигом за счёт кручения или реверсивного кручения может быть использована для любых металлов.

Литература

1. Винтовая экструзия – процесс накопления деформации / Я.Е. Бейгельзимер, В.Н. Варюхин, Д.В. Орлов, С.Г. Синков. – Донецк: Донецкая фирма наукоёмких технологий НАН Украины (Фирма ТЕАН), 2003. – С. 25–76.

2. Кайбышев, О.А. Сверхпластичность, измельчение структуры и обработка труднодеформируемых сплавов / О.А. Кайбышев, Ф.З. Утяшев. – М.: Наука, 2002. – 438 с.

3. Заявка на патент 2013129568 Российская Федерация. Способ обратного винтового прессования (ОВП) и всестороннего винтового прессования (ВВП) / А.Е. Волков – 27.06.2013.

4. Заявка на патент 2014103613 Российской Федерация. Способ и устройство деформации по схеме – кручение, осадка, прессование (КОП) / А.Е. Волков. – 03.02.2014.

5. Вакуумная дуговая плавка металлов и сплавов / Н.Ф. Аношкин, А.Ф. Белов. и др.; под общ. ред. В.И. Добаткина. – М.: Металлургия, ВИЛС, 1964. – С. 115–120.

Волков Анатолий Евгеньевич, канд. техн. наук, ведущий инженер Механико-машиностроительного института, Уральский федеральный университет; ведущий инженер Института машиноведения УрО РАН, г. Екатеринбург; vlina@list.ru.

Поступила в редакцию 12 июля 2016 г.

DOI: 10.14529/met160415

SHEAR DEFORMATION BY TORSION, UPSETTING AND PRESS FORMING METHOD

A.E. Volkov, vlina@list.ru

*Ural Federal University, Ekaterinburg, Russian Federation,
Institute of Engineering Science, Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russian Federation*

Integrated process of metal deformation by Torsion, Upsetting and Press Forming serves to produce submicrocrystalline structure of large weight metal stocks.

The performed work demonstrated efficiency of shear deformation with twist torsion. The most efficient is the use of indirect twist torsion allowing preparation of the stock metal structure for subsequent conventional conversion with the minimum time and economic costs.

As compared to the known methods of nonmonotonic deformation, such as high pressure torsion, equal channel angular extrusion and twist extrusion, twist torsion allows solid stock processing.

The new trend in the deformation domain will be particularly vital for extra strong metal production for aircraft engineering, space technologies, automotive industry, shipbuilding, bridge engineering and other industries.

The developed process allowed comparing of the conventional upsetting and extrusion with shear deformation and determining its efficiency.

Keywords: high pressure torsion; 3D forging; equal channel angular extrusion; twist extrusion; torsion, upsetting, press forming; twist torsion; reverse twist torsion.

References

1. Beygelzimer Ya.E., Varyukhin V.N., Orlov D.V., Sinkov S.G. *Vintovaya ekstruziya – protsess nakopleniya deformatsii* [Twist Extrusion – Strain Accumulation Process]. Donetsk, Donetskaya firma naukoymkikh tekhnologiy NAN Ukrainy (The TEAN Company) Publ., 2003.
2. Kaybyshev O.A., Utyashev F.Z. *Sverkhplastichnost', izmel'chenie struktury i obrabotka trudno-deformiruemykh splavov* [Superplasticity, Structure Refining and Difficult-to-Form Metal Processing]. Moscow, Nauka Publ., 2002. 438 p.
3. Volkov A.E. *Sposob obratnogo vintovogo pressovania (OVP) i vsestoronnego vintovogo pressovaniya (VVP)* [Indirect Twist Extrusion and 3-D Twist Extrusion Methods]. Patent Application RF, no. 2013129568, 2013.

4. Volkov A.E. *Sposob i ustroystvo deformatsii po skheme – kruchenie, osadka, pressovanie (KOP)* [Method and Unit for Deformation As per Torsion, Upsetting and Press Forming Process]. Patent Application RF, no. 2014103613, 2014.

5. *Vakuumnaya dugovaya plavka metallov i splavov* [Vacuum Arc Melting of Metals and Alloys]. Dobatkin V.I., Ed. Moscow, Metallurgiya Publ., 1964.

Recieved 12 July 2016

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Волков, А.Е. Деформация сдвигом методом кручения, осадки и прессования / А.Е. Волков // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2016. – Т. 16, № 4. – С. 129–139. DOI: 10.14529/met160415

FOR CITATION

Volkov A.E. Shear Deformation by Torsion, Upsetting and Press Forming Method. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2016, vol. 16, no. 4, pp. 129–139. (in Russ.) DOI: 10.14529/met160415
