

УДК 621.777

Овечкин Л. М.

## АНАЛИЗ ПРОЦЕССА РАВНОКАНАЛЬНОГО УГЛОВОГО ПРЕССОВАНИЯ

Применение легких и прочных материалов с высоким уровнем механических свойств открывает новые перспективы развития техники. В сравнении с традиционными материалами это позволяет не только уменьшить габариты выпускаемых изделий или сборочных узлов за счет применения малогабаритных высокопрочных деталей, но и снизить затраты энергии или топлива на их привод, что в свою очередь благоприятно влияет на экологическую обстановку.

На сегодняшний день таким требованиям отвечают ультрамелкозернистые или наноструктурные материалы с размером зерна около 100 нм, проявляющие уникальные прочностные и физические свойства [1].

Заготовки-полуфабрикаты возможно получать различными методами, такими как порошковой технологией (ПТ), интенсивной пластической деформацией (ИПД), физико-механическими методами. У перечисленных методов, наряду с преимуществами имеются недостатки. Например, недостатков, присущих методам ПТ, удастся избежать при использовании ИПД.

Равноканальное угловое прессование (РКУП) как разновидность метода ИПД, является перспективным с точки зрения повышения механических свойств, а также вида и формы получаемой заготовки и простоты реализации процесса. При РКУП заготовка продавливается через пересекающиеся под углом  $90 \div 150^\circ$  каналы равного поперечного сечения. Процесс осуществляется при температуре  $(0,3 \div 0,4) T_{\text{плавл.}}$  прессуемого металла в условиях высоких давлений. Маршрутизация и цикличность РКУП позволяют значительно измельчить и повысить однородность структуры заготовки, что, в свою очередь, положительно сказывается на уровне механических свойств обрабатываемой заготовки.

В работе [2] приводятся зависимости для деформационных параметров РКУП, однако не учитываются возможные радиусы сопряжения каналов в месте их пересечения. Это в свою очередь не позволяет точно оценить исследуемые параметры процесса.

Однако, согласно [3] в вышеуказанных зависимостях не учтено то, что в действительности наружная часть «колена» как бы очерчена по радиусу из-за образования мертвой зоны.

Для исключения мертвых зон в работе [4] предложена конструкция оснастки, которая учитывает вышеописанную особенность.

Целью работы является исследование кинематики течения металла и влияния геометрических параметров оснастки на энергосиловые и деформационные параметры РКУП.

Как правило, в конструкции оснастки для РКУП внутренний радиус сопряжения каналов меньше наружного. В работе [5] предлагается измененная конструкция штампа, в котором внутренний радиус больше, чем наружный, а также зависимости для вычисления деформационных и геометрических параметров. Существенным ограничением является то, что вышеописанные зависимости становятся несостоятельными в случае равенства внутреннего и внешнего радиуса сопряжения каналов.

Для более наглядного представления результатов, а также полной оценки деформационных и технологических параметров процесса РКУП использовалось моделирование в среде «QForm». Исходными данными являлись следующие характеристики. Угол пересечения двух каналов –  $90^\circ$ . Материал заготовки – алюминиевый сплав Д16, сечение заготовки  $16 \times 16 \times 100$  мм, температура прессования  $150^\circ\text{C}$ . Варьировались радиусы сопряжения каналов в месте их пересечения.

Силы прессования заготовки в зависимости от перемещения пуансона при РКУП через оснастку с указанными радиусами сопряжения каналов показаны на рис. 1.

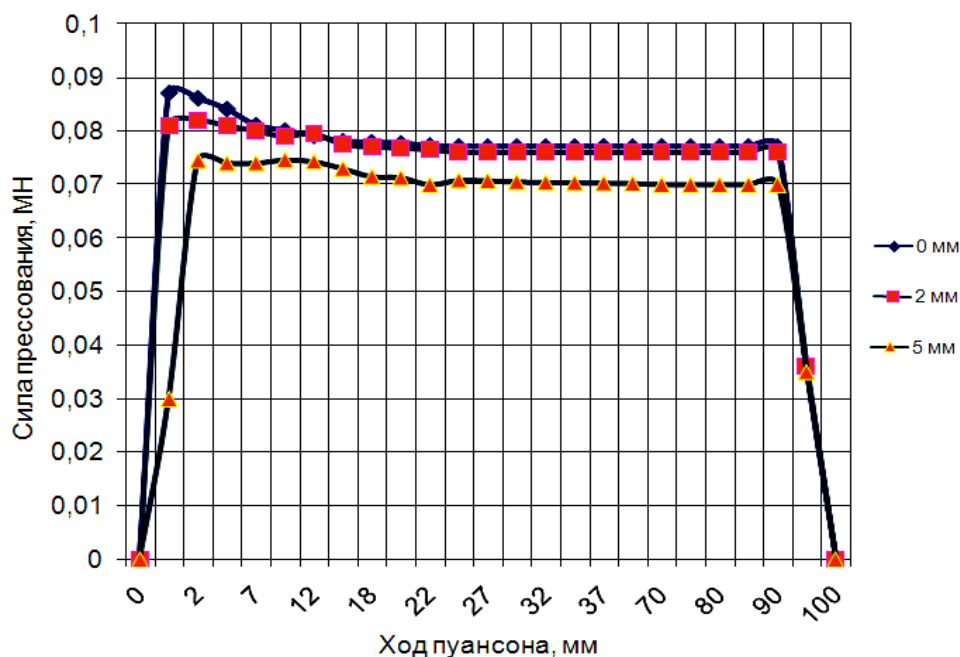


Рис. 1. Силы прессования при РКУП при соответствующих радиусах сопряжения каналов

С целью исследования влияния кинематики течения металла заготовки на технологические и деформационные параметры процесса было проведено моделирование РКУП через оснастку, в которой сечение выходного канала увеличено на половине длины до 16,5 мм с целью снижения технологической силы прессования.

Накопленные деформации при схеме с постоянным по размеру сечением канала, а также при вышеописанной схеме, показаны на рис. 2.

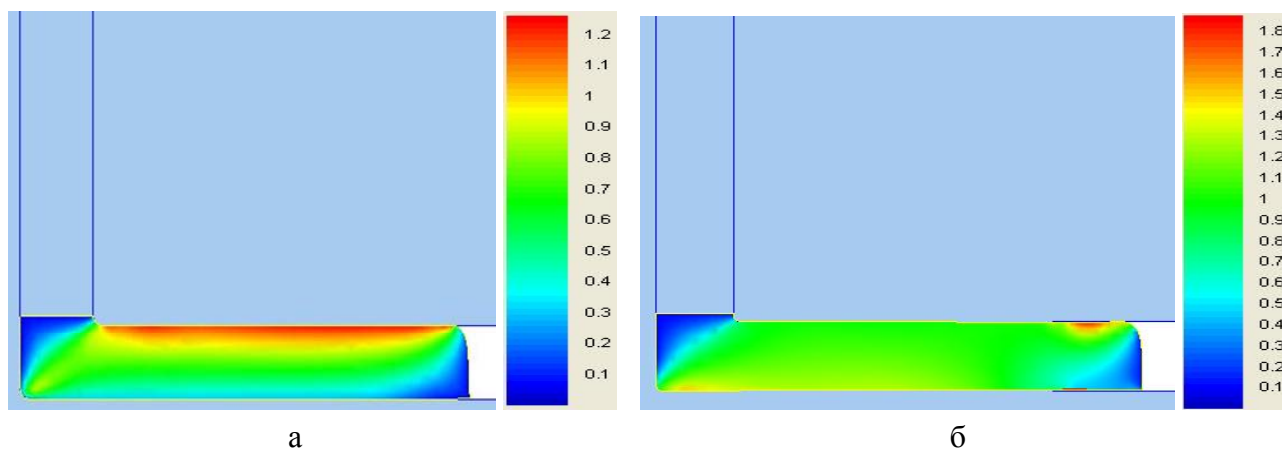


Рис. 2. Накопленные деформации при РКУП за один проход:  
а – без расширения канала; б – с расширением

Анализируя картину распределения накопленных деформаций по сечению заготовки при прессовании через канал постоянного сечения, отчетливо видна картина неравномерного распределения накопленных деформаций по продольному сечению заготовки. В первую очередь это обуславливается тем, что при осуществлении процесса РКУП особенности течения металла проявляются в зоне деформирования, находящейся на линии, соединяющей противоположные углы канала, неоднородна. При рассмотрении РКУП через канал с расширением (см. рис. 2, б) отмечается однородность накопленных деформаций по продольному сечению заготовки, которые в зависимости от расстояния от заднего торца заготовки показаны на рис. 3.

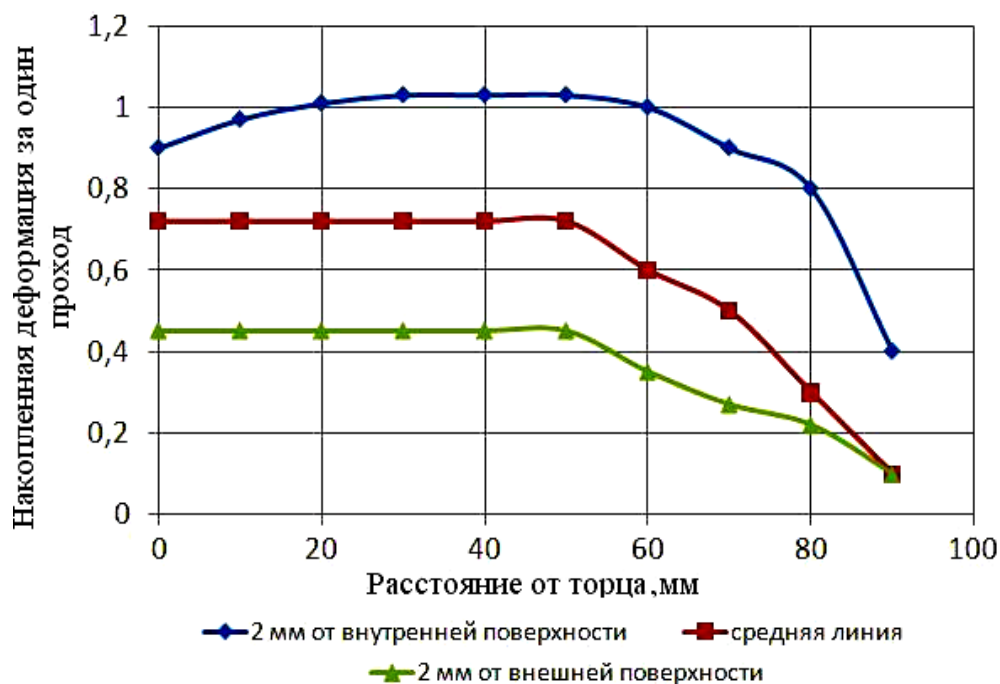


Рис. 3. Зависимость накопленных деформаций по сечению заготовки за один проход РКУП

При вхождении металла в очаг деформации происходит неполное заполнение внешнего угла инструмента, и слои металла заготовки могут двигаться с некоторым отрывом от поверхности канала в угловой зоне. В то же время, при течении металла заготовки вблизи внутреннего угла инструмента происходит полный контакт материала заготовки с поверхностью канала. Это обусловлено кинематикой течения металла в угловом канале при осуществлении процесса РКУП. Однако, при прохождении заготовки через очаг деформации, происходит уменьшение отрыва поверхности заготовки от внутренней поверхности выходного горизонтального канала. Все последующие слои металла повторяют форму поверхностного слоя заготовки. Вследствие этого выходной торец заготовки претерпевает изгиб в сторону внутренней поверхности канала, что приводит к отрыву выходной части заготовки от внешней поверхности выходного канала. При проектировании инструмента следует скруглять определенным радиусом место сопряжения каналов с целью уменьшения концентрации напряжений в переходной зоне, что приводит к стойкости исполнительных деталей штампа.

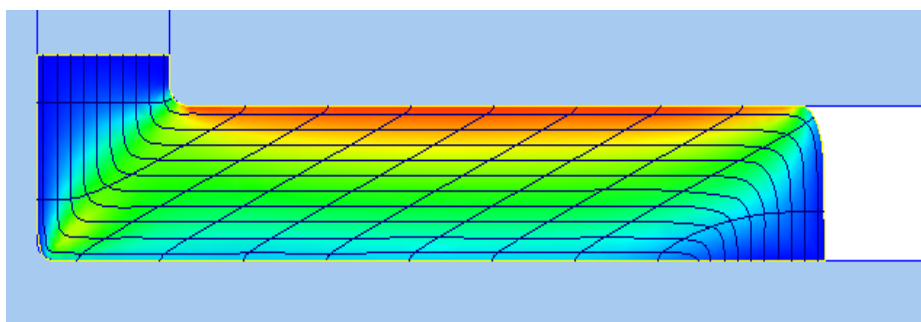
При анализе распределения деформаций по средней линии заготовки отмечается небольшой разброс значений. Для полной проработки структуры заготовок при РКУП необходимо циклически и маршрутизовано осуществлять РКУП. Маршрут прессования, при котором заготовку аксиально вращают на  $90^\circ$  перед каждым последующим циклом прессования, считается оптимальным для проработки структуры металла [1].

Экспериментальное прессование производилось в штампе с углом пересечения каналов  $90^\circ$ , радиусами сопряжения каналов 2 мм. Материал прессования – алюминий А0 деформировался в холодном состоянии. Особенностью конструкции штампа для РКУП с углом пересечения каналов  $90^\circ$  является то, что для извлечения заготовки из канала штампа необходимо деформирование последующей заготовки, которая проходя через канал, выталкивает предыдущую заготовку.

Для подтверждения достоверности результатов моделирования было осуществлено экспериментальное РКУП составной заготовки из алюминия А0, которая представляла собой пакет из трех пластин, на среднюю из которых была нанесена сетка  $3 \times 3$  мм. Картина искажения сетки при моделировании РКУП и после осуществления экспериментального РКУП представлена на рис. 4.



а



б

Рис. 4. Заготовки после РКУП:  
а – эксперимент; б – моделирование

Отмечается идентичность результатов моделирования и эксперимента.

### ВЫВОДЫ

Получены зависимости для технологических сил и деформаций для РКУП.

1. Проведенное компьютерное моделирование позволило описать особенности кинематики течения металла.
2. Анализируя результаты моделирования и экспериментального исследования процесса РКУП, получен достаточно высокий уровень сходимости результатов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Андриевский Р. А. Наноструктурные материалы : учебное пособие для студ. высш. учеб. заведений / Р. А. Андриевский. – М. : Издательский центр «Академия», 2005. – 192 с.
2. Носкова Н. И. Субмикроструктурные и нанокристаллические металлы и сплавы / Н. И. Носкова, Р. Р. Мулюков. – Екатеринбург : УрО РАН, 2003. – 279 с.
3. Шейнман Е. Прессование через коленообразный канал / Е. Шейнман // Заготовительные производства в машиностроении. – 2008. – № 6. – С. 5–8.
4. Iwahashi Y. Principle of Equal-Channel Angular pressing for the Processing of Ultra-Fine Grained Materials / Y. Iwahashi, J. Wang, Z. Horita [et al.] // Scr. Mater. – 1996. – V. 35. – P. 143–146.
5. Luri R. A New Configuration for Equal Channel Angular Extrusion Dies / R. Luri, C. J. Luis, J. Leon, M. A. Sebastian // J. Manuf. Sci. Eng. – 2006. – V. 128. – P. 860–865.

Овечкин Л. М. – мл. науч. сотрудник МГТУ «Станкин».

МГТУ «Станкин» – Московский государственный технологический университет «Станкин», г. Москва, Россия.

E-mail: leonid900@rambler.ru