

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ТИТАНОВЫХ КОЛЕЦ РАДИАЛЬНОЙ РАСКАТКОЙ

А.И. Алимов, С.А. Евсюков

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия

Одними из важнейших деталей в двигателестроении являются кольца газотурбинных двигателей (ГТД), служащие, в основном, соединительными элементами. Кольца ГТД являются особо ответственными деталями, т.к. выход хотя бы одного кольца из строя может привести к поломке всего двигателя, т.е. аварийной ситуации. Поэтому к кольцевым деталям авиационных ГТД, работающих в условиях высоких температур и динамических нагрузок, предъявляются высокие требования к структуре и уровню показателей механических свойств.

Наиболее распространенным материалом для изготовления колец ГТД является двухфазный титановый деформируемый сплав ВТ-6 (Ti-6Al-4V), который обладает высокими прочностными и жаропрочными свойствами, высокой коррозионной стойкостью и хорошей технологичностью.

Деталь «Кольцо» (рис.1) используется для бандажирования сильфона ракетного двигателя РД-171, поэтому к ней предъявляются повышенные требования по механическим, структурным и физическим свойствам. Характер структуры сплава ВТ6 формируется в процессе деформации и не поддается исправлению термической обработкой. В свою очередь, исходная структура определяет показатели механических свойств. Таким образом, оптимальная микроструктура деталей ракетного двигателя и, в частности, детали «Кольцо», является важным требованием.



Рис.1 3D-модель детали "Кольцо"

Описание существующей технологии изготовления детали «Кольцо»

Существующий технологический процесс изготовления детали «Кольцо» заключается в ковке и раскатке на молотах цилиндрической заготовки из сплава ВТ6 и последующем распиливании поковки на ленточнопильном станке пополам и используется для изготовления двух деталей. Коэффициент использования металла в данном технологическом процессе составляет 11,9%.

Недостатками данной технологии являются: повышенные припуски на механическую обработку, высокие скорости деформации, неравномерность деформации, большое число ударов молота, необходимость последующего разрезания заготовки, технологический цикл осуществляется за 4 нагрева.

Методика моделирования и принятые допущения

Моделирование проводилось в программном комплексе [Deform 3D](#). В качестве материала заготовки использовался материал Ti-6Al-4V из стандартной базы данных. Начальный размер зерна задавался равным 15 мкм согласно ГОСТ 26492-85. Моделировалась только динамическая рекристаллизация. Исходная структура заготовок – ламеллярная.

Математическая модель глобуляризации титанового сплава ВТ6 приведена в работе [1].

Исследование технологического процесса штамповки на КГШП и раскатки на КРМ

Для устранения недостатков, присущих традиционному технологическому процессу получения крупногабаритных титановых колец методомковки на молотах, был предложен и исследован новый технологический процесс, состоящий из осадки, закрытой штамповки на КГШП, удаления перемычки и последующей горячей радиальной раскатки.

После осадки температура поковки (рис.2) не выходит за рамки допустимой, кроме того, она распределена равномерно по сечению. Заметно некоторое охлаждение в тонком поверхностном слое, что не приведет к снижению свойств поковки.

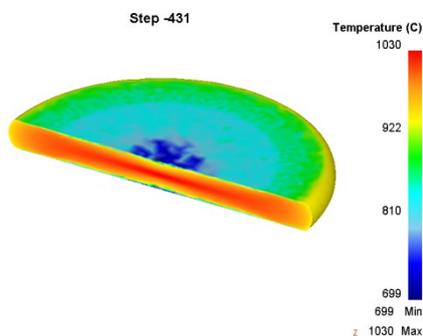


Рис.2 Температурное поле после осадки

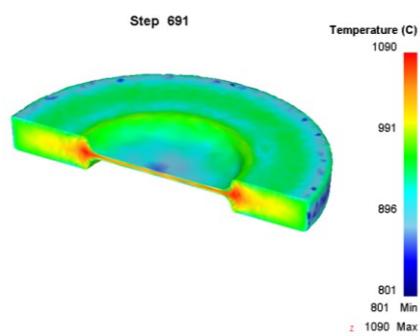


Рис.3 Температурное поле после закрытой штамповки

При закрытой штамповке позиционирование заготовки в матрице происходит по нижней плоскости и боковой поверхности поковки.

Температурное поле после закрытой штамповки показано на рис.3. Температура поковки не выходит из интервала допустимой для сплава ВТ6.

Далее проводилось моделирование горячей радиальной раскатки. Раскатка представляет собой технологическую операцию, посредством которой производится одновременное увеличение наружного диаметра и диаметра отверстия кольцевой поковки за счет уменьшения толщины ее стенки [2]. При этом может быть изменена в желательном направлении также и форма поперечного сечения заготовки.

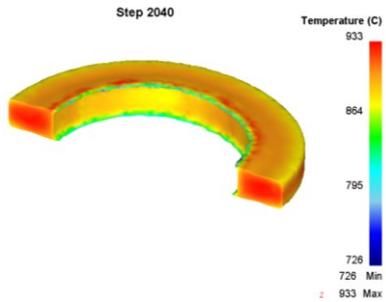


Рис.4 Поле температур после раскатки



Рис.5 Сечение кольца после раскатки

Т.к. очаг деформации локализован вблизи зоны контакта валков с заготовкой, то для снижения времени расчетов и повышения адекватности результатов разбиение сетки конечных элементов проводилось с заданием окна плотности конечных элементов в очаге деформации.

Температурное поле после раскатки показано на рис.4. Температура в поковке после раскатки не выходит за пределы интервала штамповки для сплава ВТ6, температура несколько ниже допустимой оказывается только в тонком заусенце, который будет удален при механической обработке и это не повлияет на механические свойства конечной детали.

В процессе раскатки образуется утяжина (рис.5), но она не выходит за пределы допуска по высоте поковки. Также образуется заусенец на внутренней цилиндрической поверхности кольца.

Изменение доли глобулярных зерен в структуре по переходам представлено на рис.6.

При осадке на КГШП вследствие высокой степени деформации (~0,81) и умеренной скорости деформации глобуляризация проходит почти полностью, после осадки доля глобулярных зерен по сечению составляет 0,736. Однако на торцах кольца из-за трения и, вследствие этого, затрудненного течения, имеются зоны, в которых глобуляризация прошла не полностью. Кроме того, на боковой поверхности кольца глобуляризация также проходит не полностью. В процессе закрытой штамповки зоны затрудненной деформации получают достаточную деформацию для того, чтобы структура полностью превратилась из ламеллярной в глобулярную. В процессе раскатки на кольцераскатной машине боковая поверхность кольца достаточно прорабатывается.

После раскатки доля глобулярных зерен составляет 0,948. Таким образом, в процессе данного технологического процесса глобуляризуется практически весь объем поковки, что повышает механические свойства (в частности, пластичность). Кроме того, высокая степень деформации снижает анизотропию сплава ВТ6 [3].

Изменение среднего размера зерна α -фазы по переходам представлено на рис.7.

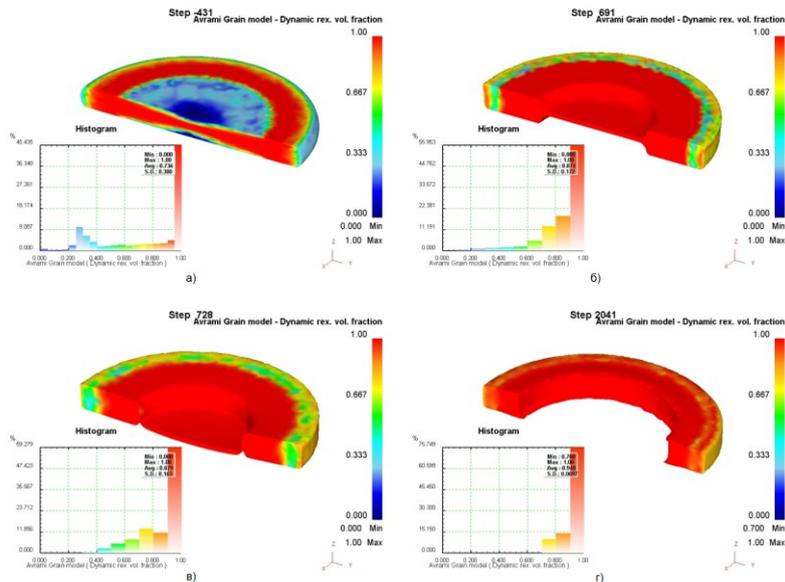


Рис.6 Доля глобулярных зерен по сечению поковки: а) после осадки; б) после штамповки; в) после прошивки; г) после раскатки

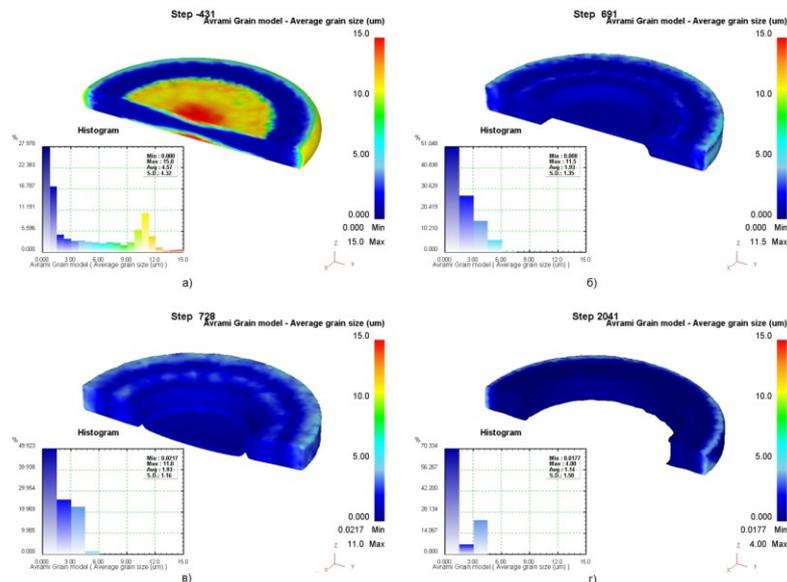


Рис.7 Средний размер зерна α -фазы по сечению поковки: а) после осадки; б) после штамповки, в) после прошивки, г) после раскатки

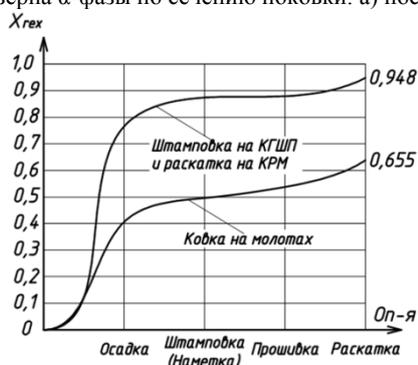


Рис.8 Сравнительный график изменения объемной доли глобулярной структуры

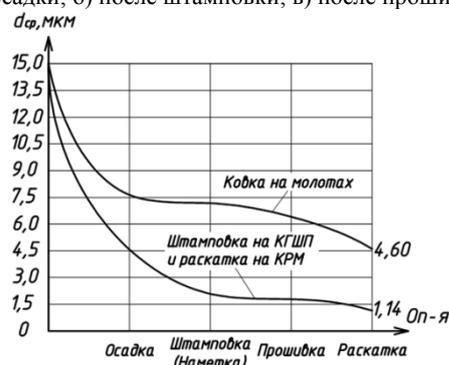


Рис.9 Сравнительный график изменения среднего размера зерна α -фазы

Наиболее полно глобуляризация (см. рис.8) происходит в технологических операциях, в процессе которых поковка получает наибольшую деформацию, в данном случае, осадке и закрытой штамповке. При высоких скоростях деформирования титановые сплавы имеют низкую пластичность. При скоростях деформирования, характерных для КГШП и ниже, многие титановые сплавы имеют хорошую пластичность и позволяют деформировать их со степенью деформации до 0,9. Из рис.9 видно, что после штамповки на КГШП и раскатке на КРМ получается мелкозернистая однородная микроструктура, при которой наблюдается повышение пластичности, ударной вязкости, прочности.

Наиболее интенсивное уменьшение среднего размера зерна α -фазы происходит в процессе осадки на КГШП (до 4,57 мкм) и закрытой штамповки на КГШП (до 1,93 мкм). После раскатки на кольцераскатной машине образуется мелкозернистая однородная структура со средним размером зерна α -фазы 1,14 мкм.

К сожалению, в данное время не существует математических моделей динамической, статической и метадинамической рекристаллизации многих сплавов, в том числе титановых, а также стандартных методик для их получения. Кроме того, кривые упрочнения многих сплавов содержат узкий диапазон температур, степеней деформации и скоростей деформации и получаются авторами по разным методикам. Это не позволяет проводить комплексные исследования технологических процессов с целью повышения качества и долговечности получаемых поковок и разрабатывать процессы получения новых деталей.

Выводы

1. Процесс закрытой штамповки на КГШП и раскатки на КРМ поковки детали «Кольцо» можно осуществлять за один нагрев.
2. Коэффициент использования металла увеличен с 11,9% до 18,2% (на 52,9%);
3. В процессе раскатки на КРМ образуется незначительная утяжина.
4. В процессе раскатки на КРМ образуется заусенец, который может привести к трудностям при дальнейшей механической обработке.
5. Высокая степень деформации при закрытой штамповке на КГШП и раскатке на КРМ снижает анизотропию материала и повышает механические свойства.
6. Штамповка на КГШП с последующей раскаткой обеспечивает мелкозернистую однородную микроструктуру, объемная доля глобулярной структуры после обработки равна 0,948, что обеспечивает высокие механические свойства.

Список литературы

1. N. V. Lopatin, O. N. Maradudina, and G. S. D'yakonov , “Analysis of the Structure Formation and Properties of the VT6 Alloy during Upsetting of the Symmetrically Truncated Conical Billets”, Russian Journal of Non Ferrous Metals, 2011, Vol. 52, No. 1, 33–38.
2. Сторожев М.В. (ред.) Ковка и объемная штамповка стали. Справочник в 2-х томах, том. 2, М., «Машиностроение», 1967. – 448с.
3. Чечулин Б.Б., Ушаков С.С. Титановые сплавы в машиностроении , Л., «Машиностроение» (Ленингр. отделение), 1977. – 248с.