

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ ТИТАНОВЫХ КОЛЕЦ КОВКОЙ НА МОЛОТАХ

А.И. Алимов, С.А. Евсюков
МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия

Благодаря комплексу ценных физико-химических, механических и технологических свойств, а также широкой номенклатуре полуфабрикатов из титановых сплавов последние находят все более широкое применение в различных отраслях промышленности. Титановые сплавы являются универсальным конструкционным материалом, сочетая нехладноломкость алюминия и аустенитных сталей, высокую коррозионную стойкость лучших медноникелевых сплавов и нержавеющей сталей, немагнитность, прочность и удельную прочность более высокие, чем у большинства конструкционных материалов. Поэтому титановые сплавы эффективны как авиационные и космические материалы, материалы для химической промышленности, судостроения и др. Следует отметить, что в авиационной и космической технике применяется в основном сплав ВТ6 (Ti-6Al-4V) или его аналоги [0].

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 технологического процесса изготовления детали «Кольцо» ковкой на молотах

Технологический процесс изготовления детали «Кольцо» ковкой на молотах включает в себя следующие операции: нагрев мерных заготовок (пруток ВТ6 ГОСТ 26492-85); осадка на молоте; прошивка отверстия на молоте; подогрев заготовки; раскатка на оправке.

После раскатки поковка разрезается на ленточнопильном станке пополам и используется для изготовления двух деталей. Коэффициент использования металла в данном технологическом процессе составляет 11,9%.

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 [0].

Исследование технологического процессаковки на молоте и раскатки на оправке

Моделирование показало, что для осадки требуется 23 удара молота. Температурное поле после осадки представлено на рис.2. Видно, что из-за большого количества ударов и продолжительного контакта нижнего бойка с заготовкой происходит значительное остывание нижней части поковки.

Это приводит к образованию зоны затрудненной деформации вблизи нижнего бойка. Это видно на рис.3, на котором изображено распределение накопленной деформации после осадки.

Далее проводилось исследование наметки и прошивки. В качестве критерия разрушения использовался критерий Кокрофта-Лэзема. Следует отметить, что данный критерий разрушения определяется опытным путем, но, из-за отсутствия возможности проведения опыта, было принято решение принять его равным 0,45. Эта величина определяет поверхность, по которой происходит отделение перемычки и момент начала отделения перемычки, таким образом, влияя на предсказываемое усилие.

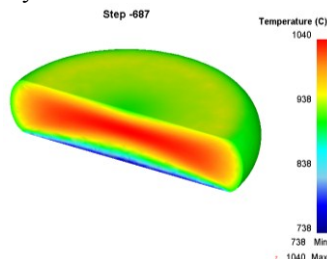


Рис.2 Температурное поле после осадки

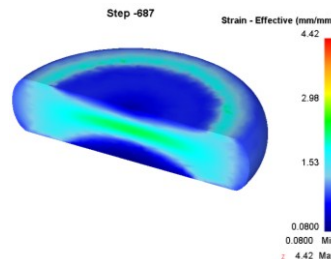


Рис.3. Накопленные деформации после осадки

Моделирование показало, что для наметки на половину высоты поковки требуется 4 удара, для прошивки требуется 2 удара.

Распределение температуры после прошивки показано на рис.4. Температура очень неоднородна по сечению и, кроме того, выходит за пределы интервала штамповки, поэтому перед раскаткой необходим промежуточный подогрев.

Температурное поле перед раскаткой на оправке представлено на рис.5.

Раскатку на оправке применяют при ковке кольцеобразных поволоков путем увеличения наружного и внутреннего диаметров прошитой заготовки за счет уменьшения толщины стенки (рис.6).

После каждого обжатия оправку поворачивают, благодаря чему несколько поворачивается и кольцо. В результате раскатки наружный и внутренний диаметры кольца увеличиваются, а толщина стенки уменьшается. В ширину кольцо раздается незначительно.

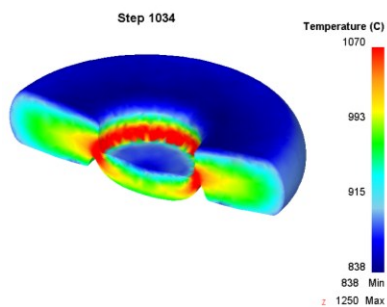


Рис.4 Температурное поле после прошивки

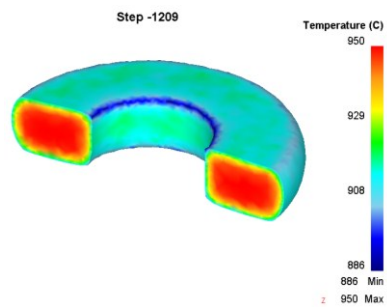


Рис.5 Температурное поле перед раскаткой

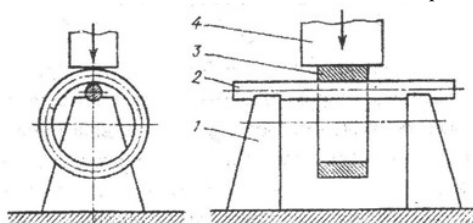


Рис.6 Схема раскатки на оправке

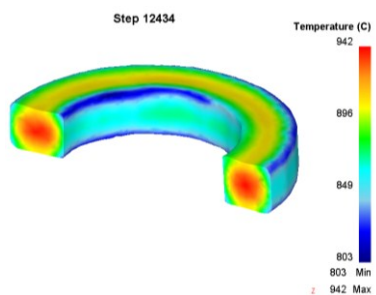


Рис.7 Поле температур после раскатки

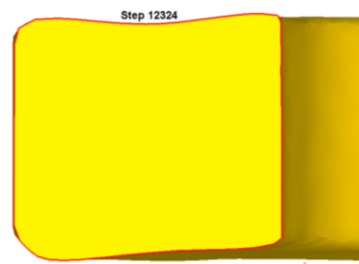


Рис.8 Сечение кольца после раскатки на оправке

Расчет показал, что для раскатки до требуемых размеров требуется 153 удара и 2 подогрева. Температурное поле после раскатки представлено на рис.7.

В процессе раскатки сечение кольцо искажается, а также образуется утяжина (рис.8). Величина утяжины и искажение сечения будет зависеть в большей степени от квалификации кузнеца.

Изменение доли глобулярных зерен в структуре по переходам представлено на рис.9. Видно, что при осадке вследствие образования зоны затрудненной деформации вблизи нижнего бойка глобуляризация в этой зоне не происходит. Из-за высокой скорости деформации степень глобуляризации после операции осадки составляет всего лишь 0,406. Во время наметки и прошивки доля глобуризованных зерен повышается до 0,541. В процессе раскатки доля глобулярных зерен в структуре поковки повышается до 0,655. Таким образом, не весь объем поковки глобуляризуется, что влечет за собой снижение механических свойств (в первую очередь пластичности).

Изменение среднего размера зерна α -фазы по переходам представлено на рис.10.

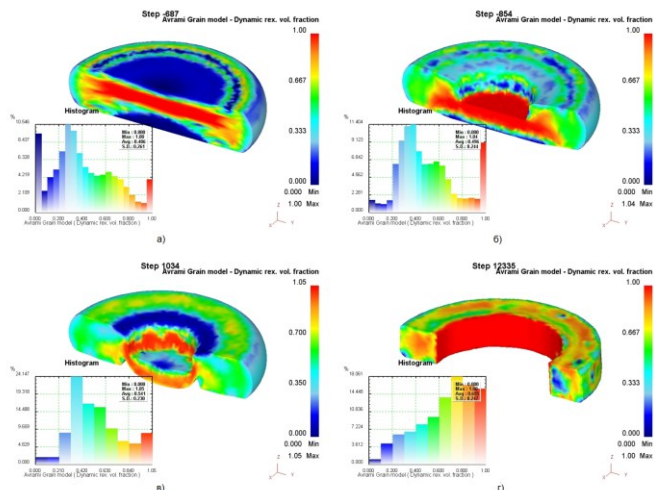


Рис.9 Доля глобулярных зерен по сечению поковки: а) после осадки; б) после наметки; в) после прошивки; г) после раскатки

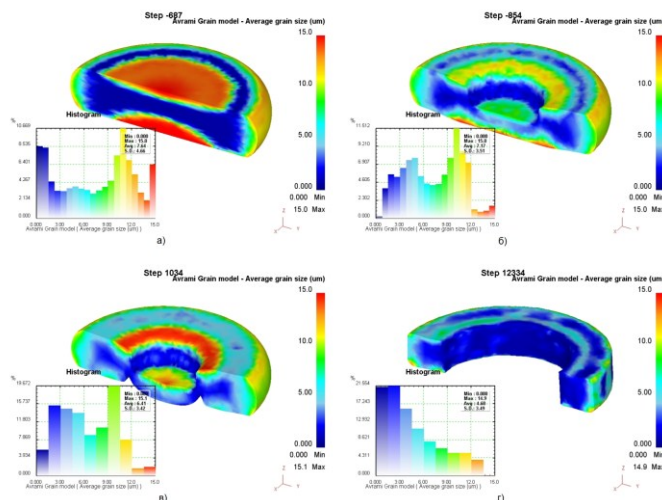


Рис.10 Средний размер зерна α -фазы по сечению поковки:
 а) после осадки; б) после наметки; в) после прошивки; г) после раскатки

Так как при осадке глобуляризация в зоне затрудненной деформации не происходит, то размер зерна α -фазы в процессе деформации не изменяется. Отчетливо видно уменьшение зерна в зоне интенсивного пластического течения (так называемого «ковочного креста»). После осадки средний размер зерна α -фазы составляет 7,64 мкм. В операциях наметки и прошивки средний размер зерна α -фазы меняется незначительно из-за низкой степени деформации, после прошивки он составляет 6,41 мкм. В процессе раскатки средний размер α -фазы уменьшается до 4,60 мкм. Имеется неоднородность микроструктуры: в отдельных зонах кольца средний размер α -фазы составляет 10-12 мкм.

Выводы

1. Технологический процессковки на молоте и раскатки на оправке имеет коэффициент использования металла, равный 11,9%.
2. Технологический процессковки на молоте и раскатки на оправке осуществляется за 182 удара.
3. При осадке на молоте происходит значительное остывание нижней части поковки, что приводит к увеличению зоны затрудненной деформации.
4. Большое количество нагревов при ковке на молотах приводит к увеличению альфированного слоя и снижению пластичности.
5. Высокая скорость деформации при ковке на молотах приводит к снижению пластичности.
6. В процессе раскатки сечение кольцо искажается, а также образуется утяжина.
7. В процессековки и раскатки на молотах доля глобулярных зерен составляет 65,5%, средний размер зерна 4,6 мкм, микроструктура неоднородная.

Список литературы

1. Чечулин Б.Б., Ушаков С.С. Титановые сплавы в машиностроении, Л., «Машиностроение» (Ленингр. отделение), 1977. – 248с.
2. 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.
3. Сторожев М.В. (ред.) Ковка и объемная штамповка стали. Справочник в 2-х томах, том. 2, М., «Машиностроение», 1967. – 448с.