

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СВАРКИ ДАВЛЕНИЕМ ОБЪЕМНОГО НАНОСТРУКТУРНОГО ТИТАНОВОГО СПЛАВА ВТ6 В СОСТОЯНИИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СВЕРХПЛАСТИЧНОСТИ

Мухаметрахимов М. Х.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем сверхпластичности металлов Российской академии наук (ИПСМ РАН), г. Уфа, Россия, msia@mail.ru*

Сварка давлением (СД) относится к перспективным ресурсосберегающим технологическим направлениям машиностроения, и ее эффективность может быть существенно повышена при использовании явления структурной сверхпластичности (СП). В экспериментальных работах авторов [1,2], к) в состоянии СП с достижением уровня свойств основного материала базируется преимущественно на термомодеформационных процессах и обеспечивается при условии максимальной реализации в процессе СД основного механизма СП деформации - зернограничного проскальзывания (ЗГП).

На современном этапе развития технологий горячего формообразования титановых сплавов весьма актуальным является вопрос снижения температуры осуществления технологического цикла. В частности, известно, что температура 760°C, по мнению зарубежных специалистов [3] могла бы рассматриваться как оптимизированная температура для серийной технологии изготовления изделий сложной конфигурации авиационного назначения путем сверхпластической формовки (СПФ) и СД из листовых заготовок титанового сплава Ti-6Al-4V, являющегося аналогом российского сплава ВТ6.

Известно [4], что снижение температуры СП деформации на 250–300°C возможно для титановых сплавов со средним размером зерен не более 0,5 мкм. Полученные в исследовательских работах [1,2] экспериментальные результаты свидетельствуют о ведущей роли термомодеформационных процессов в формировании ТФС. Это обстоятельство определяет насущную необходимость при разработке конкретных технологий СД детального изучения напряженно-деформированного состояния в зоне формирования сварного соединения [5].

Как показали предварительные структурные исследования, для сохранения наноструктурного (НС) состояния в сплаве ВТ6 его температура обработки не должна превышать 650°C [6].

Для титанового сплава ВТ6 перевод в НС увеличивает суммарную протяженность их границ в сплаве. Это определяет повышенную роль механизма ЗГП в деформации и приводит к улучшению его свариваемости и повышению качества сварного соединения. Заметим, что натурные эксперименты [7,8] показывают, что для титановых образцов с НС структурой повышение температуры сварки до 700°C приводит к снижению до 5% требуемой деформации, необходимой для достижения качественного соединения. Малая степень деформации необходимая для формирования сварного соединения, очевидно, указывает на возрастающую с повышением температуры роль диффузии между контактирующими поверхностями. Однако отрицательным фактором повышенной диффузии является ускоренный рост зерен, приводящий к выходу из НС состояния и, как следствие, - потере уникального комплекса физико-механических свойств обрабатываемого сплава.

Существенное сокращение сроков разработки и отладки технологии может быть достигнута за счет применения методов компьютерного и моделирования, позволяющих проанализировать все аспекты процесса образования ТФС.

Для моделирования процесса СД объемного образца из НС титанового сплава ВТ6 была использована университельская версия программы ANSYS 5.7

Рассматривалась задача деформирования упругопластического тела в статической постановке. Для описания его механических свойств выбран элемент PLANE182, наделенный упруго-пластическими свойствами. При этом учитывалась симметрия заготовки

вдоль оси  $OX$  и задавалась кусочно-линейная зависимость  $\sigma \sim \epsilon$ , соответствующая свойствам титанового сплава ВТ6 с НС структурой со средним размером зерен  $0,3 \text{ мкм}$  для заданной скорости деформирования  $\dot{\epsilon} = 7 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$  [7]. Разупрочнением материала пренебрегли в силу его незначительной величины в условиях СП деформации. При задании крайних условий учитывалось, что свариваемые образцы подвергаются деформации в одинаковых условиях, а сварка приводит к «прилипанию» их контактирующих поверхностей. Другими словами, соблюдалась симметрия также и вдоль оси  $OY$  и, соответственно, неподвижность контактирующей поверхности вдоль оси  $OX$ . Внешнее воздействие на образец моделировалось заданием перемещения задней торцевой поверхности, что соответствовало заданию и контролю программы деформирования у задействованной в натурном эксперименте машины нагружения.

Придание свариваемому образцу специальной конфигурации – выделение зоны соединения цилиндрической формы с меньшей площадью поперечного сечения (рис. 1а) позволяет обеспечить устойчивую локализацию пластического течения именно в этой зоне и обеспечить такие температурно-скоростные условия деформирования, при котором проявляется СП. Таким образом реализуется течение материала в энергетически наиболее выгодных условиях, путем оптимизации затрат энергии на деформацию. При этом основная деформация должна локализоваться в зоне соединения, в то время как большая часть образца слабо деформируется [9].

У образцов с переменной площадью поперечного сечения (рис. 1а) локализация деформации при осадке в зоне соединения появляется сразу, в отличие от образцов с постоянной площадью поперечного сечения (рис. 1б), и локально деформированный объем определяется геометрическими характеристиками образца.

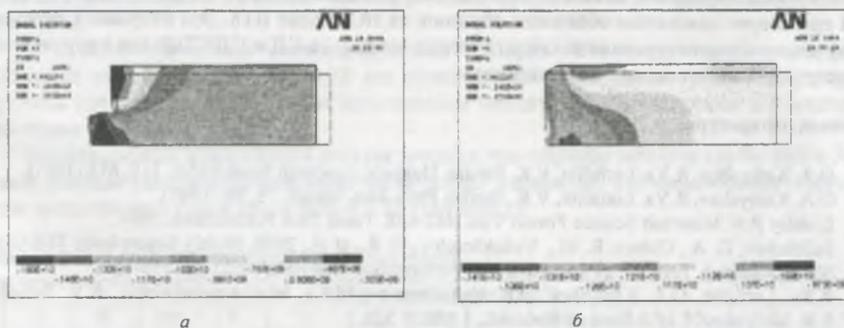


Рис.1. Нормальные напряжения в образце а) с выделенной приконтактной зоной и б) с постоянной площадью поперечного сечения

Рассмотрим в этой связи образец четвертого типа, с плавным уменьшением площади поперечного сечения от основы к поверхности сварки (рис. 2б). Очевидно, образец такой формы устойчивее по отношению к поперечным нагрузкам и должно обеспечивать ее лучшую свариваемость. Изменяя начальную конфигурацию образца, мы имеем возможность влиять на локализацию деформации и обеспечить более выгодные условия деформирования в зоне сварки [10]. Следовательно, радиус кривизны, характеризующий переходную зону от цилиндрической основы образца к свариваемой поверхности, оказывает заметное влияние на характер напряженно-деформированного состояния свариваемой образца и на конечный результат и представляется оптимизируемым параметром анализируемого процесса.

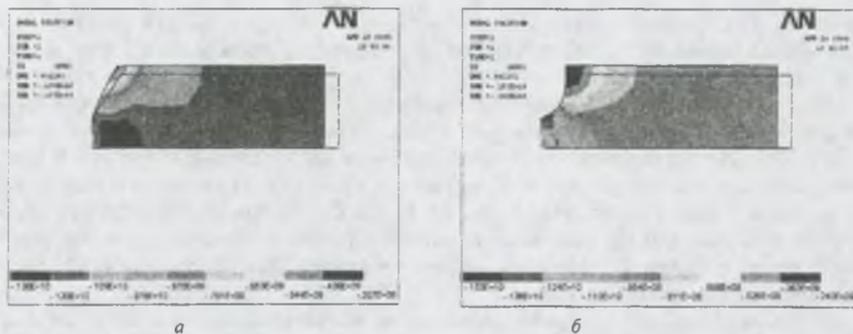


Рис. 2. Нормальные напряжения в образце а) с линейным уменьшением площади поперечного сечения и б) с плавным уменьшением площади поперечного сечения

Полученные результаты были использованы для разработки оптимизированных режимов сварки давлением НС сплава ВТ6 в условиях низкотемпературной СП при температуре 600°C. Испытания на растяжение при комнатной температуре сваренных образцов с поперечным расположением поверхности соединения показали следующие механические свойства:  $\sigma_b = 1150$  МПа,  $\sigma_{0.2} = 1082$  МПа,  $\delta = 13\%$ ,  $\psi = 32\%$ , что соответствует свойствам основного материала.

Таким образом, на основе проведенных экспериментов с использованием компьютерного моделирования показана возможность реализации эффекта низкотемпературной СП при сварке давлением объемных образцов из НС сплава ВТ6. Это открывает перспективу для совершенствования технологических процессов СД и СД/СПФ для изготовления конструкций ответственного назначения.

#### Список литературы

1. О.А. Kaibyshev, R.Ya. Lutfullin, V.K. Berdin. Doklady Akademii Nauk SSSR. 319, 615 (1991).
2. О.А. Kaibyshev, R.Ya. Lutfullin, V.K. Berdin. Phys. Met. Metall. 75, 96 (1993).
3. Comley P.N. Materials Science Forum Vols. 447-448, Trans Tech Publications, 2004.
4. Salishchev, G. A., Galeev, R. M., Valiakhmetov, O. R., et al., 2000. Highly Superplastic Ti-6Al-4V Sheet. Materials Technology and Advanced Performance Materials, 15(2), pp. 133-135.
5. R.Ya. Lutfullin, O.A. Kaibyshev, O.R. Valiakhmetov, M.Kh. Mukhametrakhimov, R.V. Safiullin, R.R. Mulyukov. J. of Advanced Materials, 4 (2003) 326.
6. M.Kh. Mukhametrakhimov, R.Ya. Lutfullin. Effect of vacuum annealing on the structure and mechanical properties of the NC alloy VT6., Deformation and Fracture of Materials №10, 2008.
7. Lutfullin R.Ya., Kaibyshev O.A., Safiullin R.V., Valiakhmetov O.R. and Mukhametrakhimov M.H. Superplasticity and Solid State Bonding of Titanium Alloys. Acta Metallurgica Sinica (English Letters), 2000, vol.13, No.2, pp.561-566.
8. M.Kh. Mukhametrakhimov, R.Ya. Lutfullin. In: Current Status of Theory and Practice of Superplasticity in Materials. Ufa, Gilem (2000) P. 118 (in Russian).
9. A.A. Presnyakov. localization of plastic deformation. (Mechanical engineering, Moscow, 1983).
10. A.K. Galimov, M.Kh. Mukhametrakhimov, R.Ya. Lutfullin. Proceedings of the 7-th International Workshop on Computer Science and Information Technologies. 2005, Ufa, Russia. Volume 3, pp. 328 – 332.