

# ВЛИЯНИЕ ТЕПЛООВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ В ИНТЕРВАЛЕ ФАЗОВОГО ПРЕДПРЕВРАЩЕНИЯ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ НА ИХ СВОЙСТВА И ДЕФОРМАЦИЮ

**В. И. Муравьев, А. В. Фролов, А. А. Кузнецов,  
А. М. Мартынюк, Р. А. Физулаков**

Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет,  
г. Комсомольск-на-Амуре, Россия

При изготовлении деталей горячей листовой штамповкой заготовок сложной пространственной формы из титановых сплавов возникают проблемы, связанные с нестабильностью и снижением как статических механических свойств (прочности и пластичности), так и усталостной прочности.

Известно, что для полуфабрикатов из титанового сплава BT20 повышение прочностных характеристик связано с накоплением в них дефектов кристаллического строения, происходящем в основном в процессе пластической деформации.

Цель исследования заключалась в выявлении зависимости между параметрами дозированного теплового воздействия в процессе горячей листовой штамповки титановых сплавов и их свойствами.

## **Методика проведения исследований**

Исследования проводились на заготовках из сплава BT20 размерами 2000x600x1,5 мм. Заготовка закреплялась неподвижно закреплёнными контактными зажимами, установленными на столе гидропресса снаружи матрицы. В ходе испытаний заготовка равномерно нагревалась электрическим током до температуры фазового превращения (900–1000 °С). По достижении заданной температуры производилось пластическое деформирование заготовки прессом и дальнейшее её естественное охлаждение.

Измерение температуры заготовки производилось вводящими в заготовку термопарами. В процессе нагрева производилась киносъёмка образца и определялся максимальный прогиб заготовки.

После завершения формообразования и остывания заготовки она подвергалась испытаниям на растяжение, ударный изгиб, а также определялась её твёрдость, проводился химический и металлографический анализы. Кроме того, проводились малоцикловые испытания на трёх группах образцов с различными амплитудами напряжений, но с одинаковым средним напряжением цикла.

## **Результаты исследований**

На первой стадии нагрева из-за теплового расширения металла заготовка начинает упруго выгибаться, а величина прогиба пропорциональна температуре заготовки. При достижении температуры полиморфного превращения (970 °С) [2] наблюдается смена упругого прогиба свободным провисанием заготовки под собственным весом. Такой эффект объясняется тем, что при температуре фазового предпревращения наступает максимальная подвижность атомов, обуславливающая эффект сверхпластичности материала [3].

Исследование микроструктуры заготовки до деформации и после обнаруживают следующее. Существенного различия в микроструктурах образцов после их формообразования при различных температурах не выявлено. Отличия микроструктуры деформированного материала от микроструктуры исходного материала заключаются в раздробленности, равноосности. В зоне максимальной деформации структура приобретает смешанный волокнисто-глобулярный характер,  $\alpha$ -частицы вытягиваются и приобретают явно выраженную направленность.

Содержание азота в поверхностных слоях образцов до и после нагрева практически не изменилось. Концентрация кислорода и водорода в поверхностных слоях изменилась, но не вышла за регламентированные ОСТ 90013-81 границы.

Результаты механических испытаний образцов представлены в таблице 1.

Видно, что электроконтактный нагрев практически не изменяет прочность и вместе с тем приводит к значительному увеличению пластичности во всём исследованном интервале температур. Заслуживает особого внимания режим формообразования при температуре 960 °С, при котором наблюдается одновременное максимальное увеличение как прочности, так и пластичности.

Таблица 1 – Статические механические характеристики образцов при различных режимах их формообразования

Режим формообразования		Состояние поверхности	Механические характеристики			
Т, °С	t, с		$\sigma_b$ , МПа	$\delta$ , %	угол изгиба	
					в сторону пуансона	в сторону матрицы
Исходное состояние		сост. поставки	1130	11	51°	
		хим. травл.	1100	10	45°	
920	98	окисленная	1050	16,3	45°	42°
		травленная	1040	16,5	48°	46°
960	126	окисленная	1230	15	45°	40°
		травленная	1190	16	57°	49°
995	176	окисленная	1080	13	49°	47°
		травленная	1060	13	51°	45°

Результаты малоцикловых испытаний приведены на рисунке 1.

Из экспериментальных данных видно, что температура формообразования образцов оказывает значительное влияние на малоцикловую усталость изделий. Наилучший результат достигается в случае штамповки при температуре фазового превращения 960 °С. Такая технология формообразования также обеспечивает улучшение усталостных свойств материала в среднем на 15 % по сравнению с его исходным состоянием.

Обнаруженный эффект одновременного увеличения пластичности и прочности при проведении формообразования в интервале температур фазового превращения скорее всего связан с подвижностью атомов обеих фаз, в результате которого происходит самосогласованное движение элементов внутренней структуры всех масштабных уровней, вызывающее упорядочение концен-

трационного распределения дислокаций за счёт рассеивания локальных зон концентраторов напряжений с критической плотностью дислокаций, способной вызвать разрушение.

Таким образом, для титанового сплава BT20 обнаружены и практически подтверждены следующие эффекты, обусловленные электроконтактным нагревом материала до температуры фазового превращения 960 °С:

- эффект сверхпластичности, заключающийся в резком увеличении пластических свойств сплава;

- эффект одновременного увеличения прочностных и пластических свойств материала после его формообразования при температуре полиморфного превращения и последующего охлаждения, заключающийся в одновременном увеличении  $\sigma_b$  и  $\sigma_{0,2}$  на 13 %,  $\delta$  на 45 %, угла загиба на 15 %, сопротивления малоцикловой усталости на 15 %.

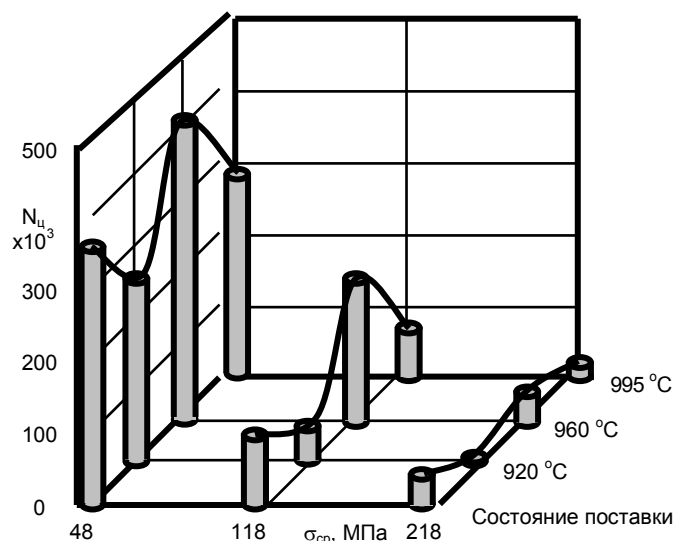


Рисунок 1 – Диаграммы малоцикловой усталости образцов из сплава BT20 при различных температурах их формообразования