

Н.Д.Фалкина, А.Ю.Зыков

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВАКУУМА  
НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛА ОБРАЗЦОВ И ДЕТАЛЕЙ,  
ИЗГОТОВЛЕННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ СПОСОБАМИ

В связи с развитием техники в настоящее время наблюдается тенденция к увеличению длительности эксплуатации летательного аппарата.

При подборе материала деталей конструкций, технологии его обработки и прогнозирования работоспособности необходимо учитывать влияние различных факторов, таких, как вакуум, низкие температуры и др.

В данной работе приведены результаты экспериментов по определению влияния вакуума на материал деталей, изготовленных различными технологическими способами деформирования (МИОМ, ШП), и образцов, деформированных на различную величину остаточного удлинения. Материал деталей и образцов - АМг6БМ, л.3,0.

Из деталей были вырезаны образцы, которые затем подвергались воздействию вакуума  $10^{-7}$  мм рт.ст. в течение 30 дней. Для сравнения в вакуумную камеру были заложены также образцы, вырезанные из листового материала той же марки в состоянии поставки и нагартованные на 2,4,6,8,10, 12% остаточного удлинения.

После выдержки образцы испытывались на растяжение, ударный разрыв, ударную вязкость и чувствительность к трещинообразованию. По полученным результатам построены графические зависимости (рис. 1,2).

Магнитно-импульсная штамповка относится к высокоскоростным методам деформирования, которые характеризуются импульсным приложением нагрузки в чрезвычайно малый промежуток времени (доли микро секунды). Следствием такого быстрого распространения фронта давления, амплитуда которого во много раз может превышать предел текучести материала, является высокая скорость деформации ( $50-100^I/c$ ). Особенности механизма высокоскоростной деформации в значительной мере определяют формирование структуры, которая отличается от структуры материала, деформированного методом статического нагру-

жения. Эти отличия обуславливают свойства деформированного материала, влияющие на работоспособность и надежность деталей. С целью определения влияния динамического характера приложения нагрузки в процессе изготовления детали на работоспособность в условиях эксплуатации были проведены исследования по разработанной методике. По результатам испытаний построены графические зависимости механических свойств материала от степени деформации при различных способах нагружения.

Анализ полученных данных показал, что высокоскоростное деформирование улучшает пластические свойства материала деталей (по сравнению со статическим нагружением), а прочностные характеристики практически не изменяются. Это можно объяснить, проанализировав механизм деформации с точки зрения теории дислокаций.

Известны два основных механизма деформации: скольжение и двойникование. При высокоскоростном нагружении деформация осуществляется как скольжением, так и двойникованием, причем наибольший вклад в деформацию вносит множественное скольжение с образованием сплетений дислокацией. В отличие от статической деформации, в процессе которой в отдельном зерне действует преимущественно одна система скольжения, при высокоскоростном деформировании даже при малых степенях деформации одновременно в каждом зерне начинают действовать несколько однотипных систем скольжения. Двойникование также происходит по большему числу плоскостей. При статической деформации скольжение идет по системе, для которой касательная составляющая напряжения максимальна. Начавшееся перемещение дислокаций в этой системе приводит к снятию напряжений до момента достижения дислокациями критических значений в других системах скольжения. При динамическом нагружении в течение нескольких микросекунд действует давление более высокого порядка по сравнению со статическим. В результате возникшие касательные напряжения превышают критические значения для большего числа плоскостей скольжения и двойникования, и они начинают действовать одновременно. Двойникование переориентирует плоскости сдвига в наиболее благоприятное для деформирования положение, что оказывает влияние на повышение пластичности материала.

С увеличением степени деформации при высокоскоростном нагружении плотность дислокаций растет быстрее, чем при статическом. Под действием больших напряжений происходит поперечное скольжение винтовых дислокаций, в результате чего образуется ячеистая струк-

тура. Причем размер ячеек (дислокации располагаются в стенках ячеек) значительно меньше при динамическом деформировании, что свидетельствует о более равномерном распределении дислокаций.

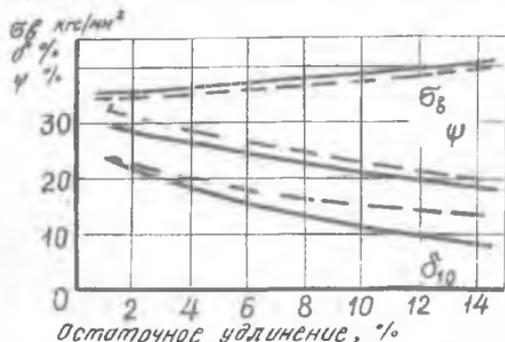
Такое перераспределение дислокаций должно бы вызвать дополнительное упрочнение, но раннее развитие поперечного скольжения сдвигает время наступления стадии динамического возврата в области меньших деформаций. Это приводит к снижению интенсивности упрочнения при больших степенях деформации.

Таким образом, высокоскоростное деформирование приводит к улучшению пластических свойств материала детали (рис.1). Но влияние дополнительных факторов (температура, наличие примесей и др.) может изменить эффект скоростного фактора.

В рассматриваемом случае на снижение прочностных характеристик (см.рис.1), по-видимому, оказывают влияние такие факторы, как соударение в процессе штамповки детали с матрицей и наличие примесей в материале. При деформировании с ударом о матрицу величина зерен материала не изменяется, но наблюдается увеличение количества двойников и следы тонкого скольжения, что приводит к некоторому разупрочнению.

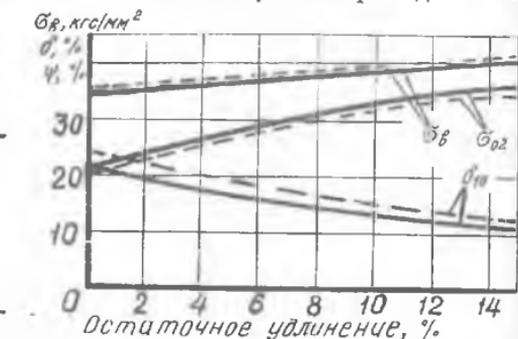
Р и с.1. Изменение механических свойств материала АМг6БМ, л.3,0 при высокоскоростном и статическом нагружении:

----- статическое нагружение  
 ————— динамическое нагружение



При рассмотрении графиков, построенных по результатам испытаний образцов, выдержанных в вакууме (рис.2), видно, что кривая  $\sigma_b$ , соответствующая материалу, подвергнутому воздействию вакуума расположена несколько выше, кривой  $\sigma_b$ , соответствующей материалу не подвергнутому воздействию вакуума.

Пластические свойства мате-



Р и с.2. Изменение механических свойств материала АМг6БМ, л.3,0 до и после действия вакуума: — до выдержки в вакууме; --- после выдержки в вакууме

риала также повысились. Заметна тенденция к уменьшению разницы между результатами, которые получены после испытания материала, но подверженного действию вакуума, и после вакуума с увеличением отсечени предварительной деформации.

Большую роль в изменении физико-механических свойств материала играет поверхностный слой металла, который непосредственно граничит со средой с низким давлением и наиболее подвергнут ее воздействию. На поверхности материала АМгб, как правило, существует окисная пленка, которая практически мгновенно образуется при кристаллизации расплава металла под воздействием атмосферы. При воздействии вакуума на материал возможно необратимое разрушение пленки (под необратимым разрушением пленки подразумевается потеря сцепления ее с металлической поверхностью основного материала, т.е. механическое отщепление пленки). К подобному эффекту может привести испарение вещества из поверхностного слоя материала, граничащего с окисной пленкой, через разрывы в ее поверхности - дефект, имеющийся, по-видимому, у большинства естественных пленок. При наличии в металле заметного количества летучих примесей рассматриваемый процесс может ускориться из-за возникновения в приповерхностном слое избыточного количества вакансий и последующей их коагуляции. Рассматриваемый механизм предполагает не разрушение межатомных связей в окисной пленке, а лишь разрыв соответствующих связей в промежуточном слое между окисной пленкой и металлом.

Начавшееся отщепление пленки в вакууме должно развиваться автокаталитически из-за прогрессирующего нарастания потока испаряющихся атомов, обусловленного обнажением все большей поверхности металла. Отсутствие поверхностей пленки приводит к исчезновению дислокаций, которые нельзя ни заблокировать, ни сконцентрировать вблизи поверхности образца. При удалении примесных атомов, главным образом из пограничных слоев между зернами, количество препятствий для подвижных дислокаций уменьшается, что приводит к свободному выходу их на поверхность и последующему уничтожению.

В результате этих процессов в приповерхностном слое металла уменьшается количество дислокаций. Поверхностный слой как бы "очищается" и это приводит к некоторому повышению прочностных и пластических свойств материала.

Факт сближения кривых  $\sigma_{0.2}$  и  $\sigma_{0.6}$  при увеличении степени предварительной деформации можно объяснить тем, что с ростом

пластической деформации все более усиливается искажение атомной решетки, т.е. увеличивается количество дислокаций. Это явление приводит к тому, что с увеличением степени пластической деформации воздействие вакуума на материал, вызывающее некоторое увеличение прочностных свойств, становится менее эффективным.

Таким образом, анализ проведенных исследований показал, что с точки зрения повышения работоспособности и надежности деталей летательных аппаратов в эксплуатации целесообразно изготавливать их из материала АМГ-6БМ высокоскоростным методом.

УДК 620.172:669.725.5

М.С.Скоробогатов, А.Н.Дунаев

### ОСОБЕННОСТИ ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ СПЛАВА ВМД-5

Сплав ВМД-5 по своему составу относится к магниево-литиевым сплавам, которые являются наиболее легкими конструкционными материалами с достаточно высокими механическими и хорошими технологическими свойствами. Удельный вес этих сплавов на 10-25% ниже удельного веса промышленных магниевых сплавов и в 2 раза ниже алюминиевых.

Конструкции из магниево-литиевых сплавов отличаются более высокой удельной прочностью и жесткостью по сравнению с конструкциями такого же веса из других металлических материалов, включая сталь и титан.

Сплавы магния с литием, легированные рядом других элементов, обладают повышенной теплоемкостью, хорошими криогенными свойствами, нечувствительностью к надразам и высокой пластичностью. В отличие от многих других сплавов, магниево-литиевые сплавы не проявляют склонности к вязко-хрупкому переходу при низких температурах. Они обладают повышенным сопротивлением к внедрению высокоскоростных частиц.

Перечисленные свойства магниево-литиевых сплавов определяют перспективность их применения в авиации.

Сплав ВМД-5 является типичным представителем магниево-литиевых сплавов. Он имеет кубическую объемно-центрированную кристаллическую решетку. Химический состав сплава приведен в табл. I.