

*Ю. М. АРЫШЕНСКИЙ, Б. Д. ШИЛЬМЕЙСТЕР,  
Т. М. ФЕДОРОВА, Т. А. ЮРКЕНИК*

## НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ОБТЯЖКИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ВТ1-2 И ОТ4-1

При изготовлении обшивок двойной кривизны из алюминиевых сплавов широко применяется способ обтяжки с растяжением. Трудность внедрения этого способа при изготовлении деталей из титановых сплавов объясняется неблагоприятной комбинацией их свойств по сравнению с алюминиевыми: низкий модуль упругости, высокое отношение предела текучести к пределу прочности  $\frac{\sigma_{0,2}}{\sigma_{II}} = 0,8 \div 0,85$  и др. Обтяжка может производиться как в холодном состоянии, так и с нагревом. Следует отдать предпочтение холодной обтяжке, хотя бы для таких сплавов как ВТ1-2 и ОТ4-1, которые обладают сравнительно хорошей пластичностью (ВТ-1—2  $\delta_5 = 22—35\%$  и ОТ4-1  $\delta_5 = 20—35\%$ ).

К недостаткам горячей обтяжки следует отнести длительность операции за счет подогрева обтяжных пуансонов и заготовок, а также возможность образования местных утонений и разрывов из-за трудности обеспечить равномерную температуру по всей заготовке.

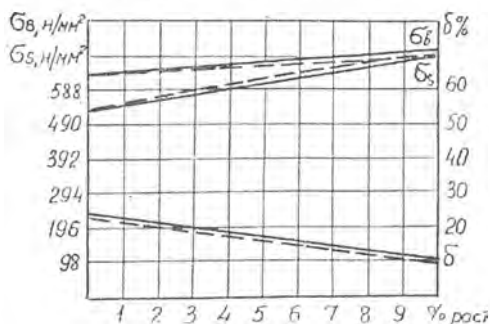
В процессе деформации обтяжкой титановые сплавы получают значительное упрочнение. Снимать его путем отжига готовой обшивки технологически весьма затруднительно, так как в процессе отжига деталь получает значительные деформации.

Для промышленного внедрения процесса обтяжки титановых сплавов необходимо, в первую очередь, ответить на два вопроса:

1) До какой степени можно деформировать материал заготовки, чтобы величина нагартовки не сказывалась на его механических свойствах, т. е. они были бы в пределах допуска на механические свойства материала в состоянии поставки.

2) Какая максимальная суммарная степень деформации может быть получена путем ряда последовательных обтяжек и отжигов.

Для того, чтобы выявить состояние металла в нагартованном виде, были проведены испытания образцов из листов марок ВТ1-2 л 0,8 и 1,2 мм, ОТ4-1 л 1,0 и 1,5 мм деформированных растяжением до получения 2, 3, 5, 10, 12 и 15% остаточного удлинения. При проведении экспериментов было принято допущение, что изменение свойств сплавов при обтяжке с достаточной для технических расчетов точностью можно выявить при испытании стандартных образцов на одноосное растяжение. Возможность такого допущения была подтверждена сравнительными испытаниями стандартных образцов и образцов, вырезанных из обтянутых деталей. В результате испытаний определялись  $\sigma_b$ ,  $\sigma_{0,2}$ ,  $\delta$  и  $\psi$ . Для сравнения и проверки полученных данных проведен теоретический расчет механических свойств нагартованных сплавов по методике д. т. н. проф. Г. П. Зайцева. На фиг. 1 представлена одна из диаграмм зависимости  $\sigma_b$ ,  $\sigma_{0,2}$  и  $\delta$  от величины нагартовки, полученной различной степенью растяжения. На диаграмме совмещены данные, полученные экспериментальным и расчетным путем; как видно, они достаточно хорошо совпадают.



Фиг. 1. Изменение механических свойств материала ВТ1—2л 0,8 в зависимости от степени деформации растяжением. — экспериментальные данные. — теоретические данные.

Результаты испытаний показали, что механические свойства образцов, нагартованных растяжением до 8% удовлетворяют техни-

ческим условиям. Дополнительно было установлено, что влиянием незначительной нагартовки, которая может быть у листов в состоянии поставки, можно пренебречь.

Для определения степени влияния нагартовки растяжением на угол загиба была проведена соответствующая технологическая проба. Испытания показали, что нагартовка растяжением до 10% оказывает незначительное влияние на уменьшение угла загиба, который не выходит из пределов технических условий.

Для выявления способности сплавов сопротивляться ударным нагрузкам проводились испытания на ударный разрыв образцов деформированных растяжением от 2 до 10%. С увеличением степени нагартовки наблюдается постепенное снижение сопротивляемости ударному разрыву. Установлено, что влияние ударной нагрузки менее значительно, чем влияние статической нагрузки на уменьшение пластических свойств сплавов.

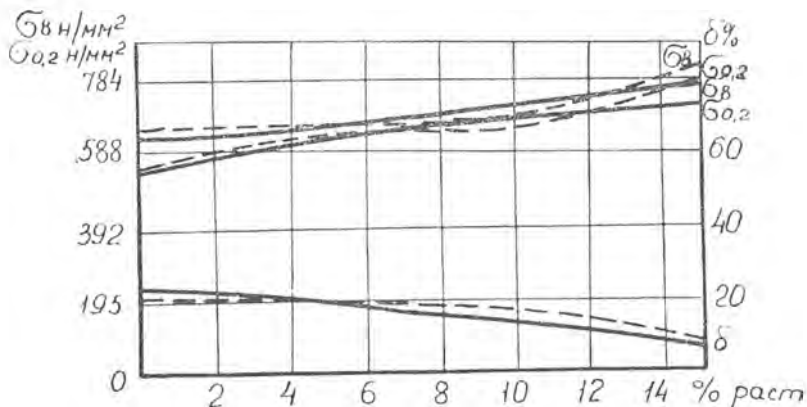
Исследование влияния деформирования растяжением на усталостную прочность титановых сплавов показало, что последняя в пределах 8—10% повышается.

Одной из технологических операций, которой часто подвергаются обтянутые детали, является сварка. Для выяснения степени влияния величины нагартовки на свариваемость, ленты из сплавов ВТ1-2 и ОТ4-2 деформировались от 2 до 10%. Ленты с одинаковой степенью деформирования попарно сваривались аргоно-дуговой сваркой. Испытания вырезанных из них образцов на растяжение и загиб показали, что нагартовка до 10% не оказывает существенного влияния на свариваемость.

Как известно, у сильно наклепанных титановых сплавов со временем могут появляться трещины. Поэтому, чтобы проверить, наблюдается ли это явление у сплавов нагартованных растяжением до 12—15% (максимально допустимый процент обтяжки), было проведено соответствующее испытание путем хранения нагартованных образцов в течение 12 месяцев в атмосферных условиях.

Как видно из фиг. 2, исследуемые образцы не изменили своих механических свойств. Ежемесячный осмотр с помощью микроскопа кромок и поверхности образцов показал, что ни трещин, ни следов коррозии со временем не обнаружено.

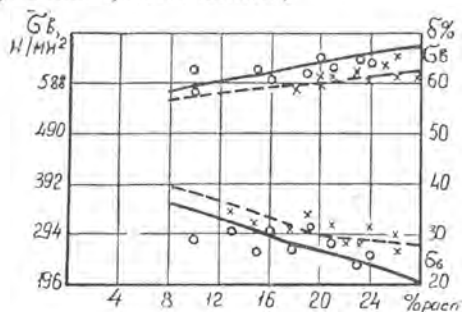
Весь цикл проведенных исследований позволил сделать вывод, что нагартовка растяжением до 5—6% практически не изменяет основных свойств сплавов ВТ1-2 и ОТ4-1 и может быть допущена при изготовлении деталей обтяжкой без последующего отжига.



Фиг. 2. Влияние длительной выдержки на механические свойства сплава ВТ1—2, деформированного растяжением. Лист  $S = 0,8$  мм.  
 — после нагартовки в исходном состоянии.  
 - - после нагартовки и выдержки в течение 12 месяцев в атмосферных условиях.

Для решения вопроса о предельно суммарной степени деформирования при обтяжке необходимо рассмотреть ряд факторов:

а) изменение механических свойств в процессе деформирования растяжением;



Фиг. 3. Изменение механических свойств материала ВТ1—2 в зависимости от суммарной степени деформирования.  
 — до отжига.  
 - - после отжига.

б) изменение величины допустимого утонения и сужения материала.

С этой целью стандартные образцы были подвергнуты нагартовке растяжением на ряд степеней деформирования с применением промежуточного отжига после каждого растяжения, кроме последнего. Изменение механических свойств сплава ВТ1-2 при суммарной деформации до 28% представлено на фиг. 3. Полу-

ченные данные говорят о том, что механические свойства не выходят из пределов механических условий для ВТ1-2 при остаточном удлинении до 24, а для ОТ4-1 до 21%.

Уточнение материала в процессе деформации незначительно, так как деформация происходит в основном за счет его ширины. Что касается величины поперечного сужения, то уже при суммарной деформации в пределах 12—15% удлинения оно выходит за пределы допустимых отклонений.

Таким образом, можно сделать вывод, что суммарная степень деформирования с применением межоперационных отжигов для получения высококачественных деталей не должна превышать 12—15% остаточного удлинения.

---