

УДК 621.9.06-119

Братухин А. В.
ОАО «Нормаль». РФ, Нижний Новгород

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КРЕПЕЖНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ТИТАНОВОГО СПЛАВА VT16

Анотація

У статті розглянуті технологічні особливості виготовлення кріпильних виробів з титанового сплаву VT16.

Викладено основні вимоги до матеріалів для холодної висадки, описано обладнання і технологія виготовлення високоресурсних титанових кріпильних виробів.

Окремо розглянуто питання щодо мікроструктури титанового сплаву VT16, що забезпечує необхідні пластичні характеристики.

Також приділено увагу практичному застосуванню титанового кріплення в авіабудуванні.

Abstract

The article considers the technological features of manufacture of fasteners made of titanium alloy SLABS.

Set out the basic requirements to materials for cold heading, description of equipment and technology for manufacturing high-resource titanium fasteners. Separately considered on the microstructure of titani-



um alloy SLABS, providing the necessary plastic characteristics. Also focus on the practical application of titanium fasteners in the aviation industry.

Введение

ОАО «Нормаль» — ведущее предприятие по разработке и производству универсальных, стандартных видов авиационно-космических крепежных изделий.

Более пятидесяти лет основным потребителем продукции ОАО «Нормаль» является авиакосмический комплекс России и тридцать лет предприятие изготавливает крепежные изделия из титанового сплава ВТ16 (рис. 1). Предприятие владеет уникальной технологией, имеет уникальное многопозиционное оборудование для холодной высадки, другое высокоэффективное оборудование (рис. 2). Имеется многолетний конструкторско-технологический опыт, длительные коммерческие контакты с поставщиками полуфабрикатов титановых сплавов.

Высокоресурсные титановые крепежные изделия широко используются в конструкциях лета-

тельных аппаратов с применением, как металлов, так и полимерных композиционных материалов. Так, указанные соединения применяют в конструкциях крыла, фюзеляжа, вертикального и горизонтального оперения, элементов управления и агрегатов механизации крыла дозвуковых и сверхзвуковых самолетов пассажирской, грузовой, военнотранспортной, военной авиации.

Во многих странах ведутся научно-исследовательские работы по созданию высокопрочных титановых сплавов и разработке новых высокоэффективных процессов изготовления крепежных изделий для авиационно-космических комплексов. Основой технологических процессов до недавнего времени оставалась горячая высадка, резание. В объединении «Нормаль» впервые в мировой практике разработан и внедрен в серийное производство принципиально новый способ изготовления высококачественных деформационно-упрочненных крепежных деталей массового применения. Новый способ защищен патентами в США, Франции, Англии.

Проблема широкомасштабного производства титанового крепежа была решена созданием специального ($\alpha+\beta$) сплава ВТ16, сочетающего высокую прочность с возможностью деформации с большими степенями без нагрева.

В условиях крупносерийного и массового производства изготовление крепежных деталей методами холодного пластического деформирования выполняется на специальных холодновысадочных пресс-автоматах, которые, несмотря на конструктивные отличия, основаны примерно на одном и том же принципе работы. Калиброванный прут (проволока) через роликовую подачу поступает в станок. Затем его отрезают в соответствии с установленной длиной и деформируют за одну или несколько операций. Все холодновысадочные пресс-автоматы условно можно разделить на две группы: одномат-

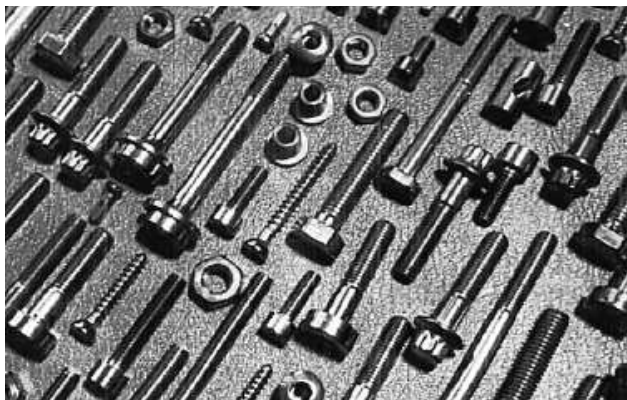


Рис. 1. Некоторые виды крепежных изделий



Рис. 2. Холодновысадочные пресс-автоматы

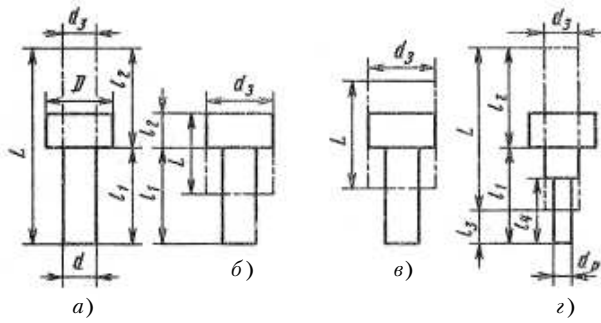


Рис. 3. Размеры исходной заготовки при различных способах холодного пластического деформирования: а – высадка; б – выдавливание; в – редуцирование и высадка; г – двойное редуцирование и высадка

ричные холодновысадочные и с двумя или более матрицами. В одноматричном холодновысадочном пресс-автомате процесс высадки головки стрелковой детали производится в одной матрице за один, два или три удара ползуна прессы и соответственно одним, двумя или тремя пуансонами. Пресс-автоматы с двумя или более матрицами позволяют осуществлять различные операции холодного деформирования металла (высадка, осадка, выдавливание, прошивка и др.). При этом возможно получить одинаковые степени деформации во всех сечениях, что создает равномерное упрочнение изготавливаемой детали. Кроме того, с помощью указанного пресс-автомата можно изготавливать детали из малопластичных сплавов [1].

При холодной высадке всей заготовке придается заданная форма и размеры путем заполнения материалом рабочей полости штампов. Высадка, в отличие от штамповки, заключается в осадке части заготовки между подвижным (пуансоном) и неподвижным (матрицей) инструментом (рис. 3).

Холодная высадка обеспечивает благоприятное расположение волокон макроструктуры, в результате чего повышаются прочность деталей и сопротивление истиранию. Увеличение диаметра заготовки при высадке ограничивается её продольной устойчивостью или вероятностью разрушения с образованием продольных трещин.

Холодная высадка крепежных изделий обеспечивает при высокой производительности процесса максимальное использование исходного металла, а также сохраняет в изделии целостность внутренней структуры металла (отсутствие перерезания волокон), что неизбежно при изготовлении крепежа механической обработкой, что, в конечном счете, повышает эксплуатационные свойства изделий.

Стабильность технологического процесса холодной высадки и качество высаживаемых изделий во многом определяются качеством исходного металла. Холодная высадка предъявляет специфические требования к исходному металлу. Материал, применяемый для холодной высадки, должен обладать

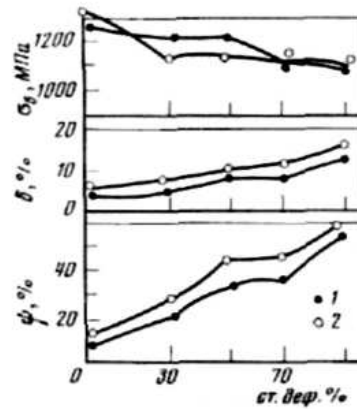


Рис. 4. Влияние степени деформации при осадке при температурах $T_{min} + 250^{\circ}C$ (1) и $T_{min} + 100^{\circ}C$ (2) на механические свойства ВТ16

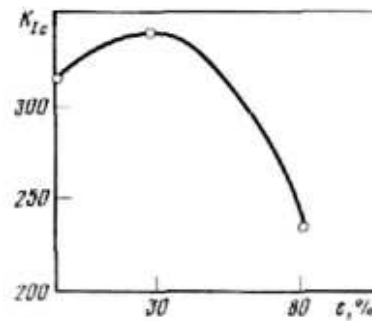


Рис. 5. Влияние степени деформации при осадке при температурах

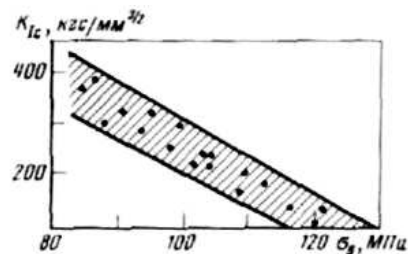


Рис. 6. Изменение вязкости разрушения сплава ВТ16 с повышением предела прочности

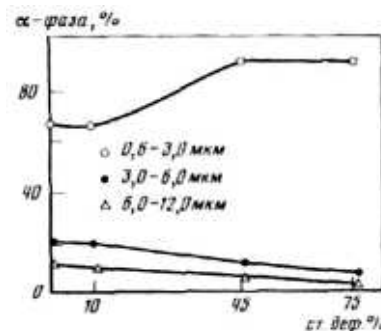


Рис. 7. Изменение размера частиц α -фазы при холодной деформации ВТ16



высокой пластичностью, иметь равномерные механические свойства и химический состав и не иметь поверхностных и внутренних дефектов.

Деформируемость металла в холодном состоянии, т.е. его способность претерпевать пластическое формоизменение без разрушения, зависит от многих факторов: качества поверхности заготовки; химического состава; структуры; механических свойств и технологических параметров процесса штамповки.

Как правило, дефекты поверхности металла заготовки являются одной из основных причин возникновения надрывов и трещин при холодной высадке. Они могут образовываться на разных стадиях переработки металла, начиная от плавки слитка и кончая калибровкой перед высадкой.

Известно, что применение любого конструкционного материала определяется его физико-механическими свойствами. По комплексу физико-механических свойств титановый сплав ВТ16 является универсальным конструкционным материалом, сочетая нехладноломкость алюминия и аустенитных сталей, высокую коррозионную стойкость лучших медноникелевых сплавов, немагнитность, прочность и удельную прочность более высокие, чем у большинства конструкционных материалов [2].

Отличительной способностью сплава ВТ16 в отожженном состоянии от других титановых сплавов является сочетание достаточно высоких прочностных характеристик с высокими показателями пластичности, и, что особенно важно, способностью деформироваться в холодном состоянии. Эти преимущества следует отнести за счет рационального легирования сплава, в котором содержится достаточно большое количество α -стабилизаторов Мо и V.

Рациональное легирование сплава предопределяет возможность получения высоких прочностных и пластических свойств, однако основное влияние при этом, по-видимому, оказывает микроструктура сплава.

Как и для большинства титановых сплавов, повышение пластичности свойств на сплаве ВТ16 следует связывать с измельчением микроструктуры при увеличении степени деформации.

На рис. 4 показано, что при деформации осадкой в β -области при температурах $T_{\text{мн}} + 250^\circ\text{C}$ относительное сужение 40 % и относительное удлинение 10 % достигается при степени деформации только более 80 %, а при более низкой температуре ($T_{\text{мн}} + 100^\circ\text{C}$) указанные характеристики механических свойств за счет более интенсивного измельчения зерна можно получить уже при 40 % деформации.

Как следует из рис. 5 вязкость разрушения на образцах сплава ВТ16, осаженных с различной степенью деформации при $T_{\text{мн}} + 100^\circ\text{C}$, первоначально возрастает, а при больших степенях деформации — снижается. Измельчение зерна и внутризеренной структуры приводит к повышению прочностных

свойств сплава и при этом происходит снижение характеристик вязкости разрушения (рис. 6). Такая зависимость является характерной и для других титановых сплавов.

Отличительной особенностью титанового сплава ВТ16 является способность сочетать наряду с высокой прочностью способность к холодному деформированию с большими степенями. Изучение влияния параметров структуры на способность к холодной пластической деформации проводилось с помощью микроскопа (рис. 7).

Эксперименты показали, что размер частиц α -фазы, которые образуются в сплаве перед холодной деформацией, является определяющим. Образцы с различным содержанием α -фазы трех размеров: 0,6–3,0; 3,0–6,0 и 6,0–12,0 мкм подвергали холодной деформации. Было показано, что холодная деформация сопровождается непрерывным измельчением α -фазы. Величина допустимой холодной деформации определяется соотношением количества крупных и мелких частиц. Когда количество частиц размером 0,6–3,0 мкм достигает 90–95 %, сплав перестает деформироваться в холодную.

Эксперименты показали, что для того, чтобы сплав мог держать 75 %-ную холодную деформацию, количество частиц размером более 3 мкм должно быть в нем не менее 40 %.

Создание в сплаве регламентированной структуры, в которой около 60 % α -фазы должно быть размером 0,6–3,0 мкм (это обеспечивает необходимое сопротивление разрыву) и не менее 40 % α -фазы размером более 3 мкм (для реализации не менее 75 % холодной деформации), позволяет изготавливать крепежные детали методом холодной деформации, и за счет деформационного упрочнения повышать прочность и гарантировать стабильность требуемых механических свойств [3].

Способность сплава выдерживать держать 75 %-ную холодную деформацию позволяет изготавливать в холодную достаточно сложные (с точки зрения пластической деформации) изделия:

ОСТ 1 10572-72 Болты с потайной головкой $\angle 90^\circ$ с крестообразным шлицем, с полем допуска диаметра стержня f9

ОСТ 1 10574-72 Болты с полупотайной головкой $\angle 120^\circ$ с крестообразным шлицем, с полем допуска диаметра стержня h9

ОСТ 1 31244-88 Болты с потайной головкой $\angle 120^\circ$, с полем допуска диаметра стержня f9

ОСТ 1 11530-74 Гайки шестигранные высокие самоконтрающиеся

Изготовление титанового крепежа производится холодной высадкой путем многократного редуцирования стержня из заготовки, большей на 1,05–1,18 диаметра изделия, что позволяет устранить наложение концентрации технологических и конструктивных напряжений под головкой болта. Перед холод-

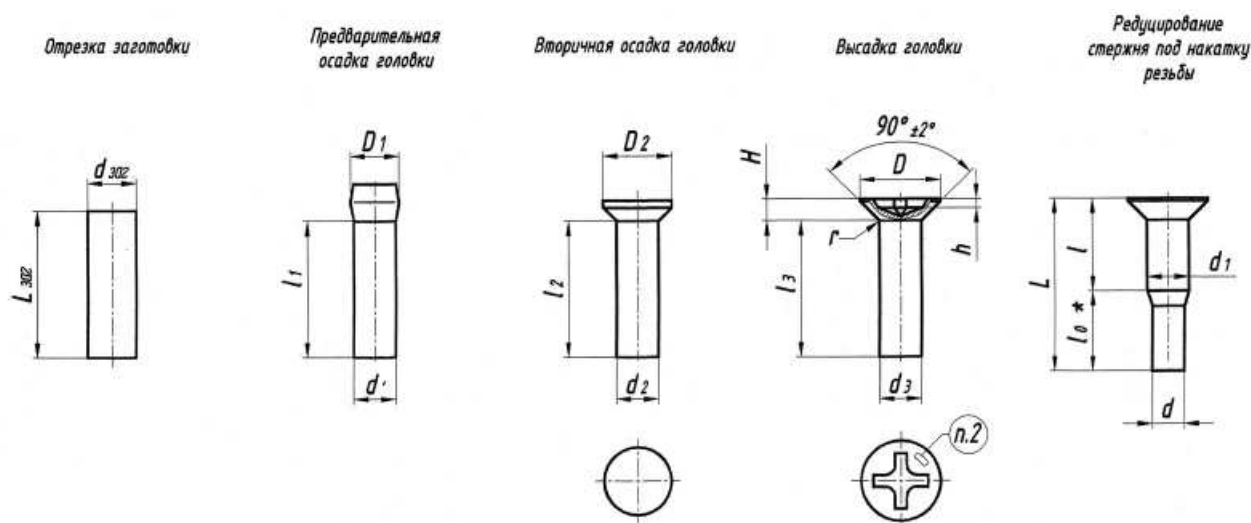


Рис. 8. Схема технологических переходов при изготовлении болта с потайной головкой и крестообразным шлицем методом холодной высадки

ной высадкой на заготовку, представляющей из себя прутки или проволоку, наносят специальное антизакисное оксидное покрытие, которое позволяет производить многократное деформирование заготовки. Высадка и редуцирование осуществляется со скоростью 0,5–1,0 м/с с целью обеспечения высокой стабильности процесса холодного пластического деформирования и сохранения высокой пластичности титанового сплава (рис. 8).

Для повышения усталостной прочности изделий производят обкатку роликами радиуса под головкой и гладкой части стержня болтов. Резьбу накатывают со скоростью 16–20 об/мин при давлении резьбонакатных роликов 1450–1850 кгс/мм² в течение 1 сек., подобные условия формирования резьбы обеспечивают ее накатывание в незаполненном контуре рабочих витков инструмента и позволяют создать в поверхностных слоях впадин резьбы наибольшую микротвердость и высокие осевые сжимающие напряжения, которые снижают концентрацию внешних (рабочих) напряжений во впадинах резьбы и повышают до 6 раз выносливость резьбовых соединений при переменных нагрузках.

Первыми в отечественном авиастроении начали применять титановый крепеж в Авиацционной Компании (АК) имени С. В. Ильюшина. Благодаря внедрению титанового крепежа (болтов, винтов, болт-заклепок) обеспечивается снижение массы кон-

Тип изделия	Число деталей титанового крепежа (болты, гайки, болт-заклепки)	Масса крепежа на 1 изделие, кг
Ил-62М	1 600	24
Ил-76Т	20 000	300
Ил-86	126 000	1 890
Ил-96-300	142 000	2 130

струкции планера, увеличение заданного ресурса самолетов.

В таблице приведены данные по применению титанового крепежа в изделиях АК им. С. В. Ильюшина [4].

Широко применяется в агрегатах самолетов Авиацционной Компании «Антонов» (Украина) титано-



Рис. 9. SSJ-100 — самый перспективный конкурентоспособный ближнемагистральный самолет в российском авиастроении XXI века



вый крепеж, обладающий комплексом механических и эксплуатационных свойств [5].

В Авиацонной Компании «Туполев» в среднемагистральных самолетах Ту-154 и Ту-204 титановый крепеж из ВТ16 составляет соответственно на одно изделие 45 кг и 940 кг.

ОАО «Нормаль» производит как деформационно-упрочненный титановый крепеж, так и термоупрочненный. Благодаря термической обработке изделия приобретают повышенные прочностные характеристики с сохранением пластических свойств.

Качество крепежной продукции обеспечивается на всех этапах технологического цикла изготовления продукции и подтверждается приемо-сдаточными испытаниями, в том числе и испытаниям на малоцикловую усталость (МЦУ) [6].

Выводы

Действующая технология производства крепежных систем, система качества, исследования по дальнейшему повышению качества крепежных изделий позволяют выполнять требования Генеральных конструкторов авиационной техники при испытании техники для подтверждения заявленного ресурса. Об этом свидетельствует, например, сертификат МАКа (международного авиационного комитета), выданный в 2011 году магистральному самолету SSJ-100 производства ОАО «КнААПО» (Генеральный директор Пекарш А. И.) Авиацонной Компании «Сухой» (Генеральный директор д.т.н., про-

фессор, член-корр. РАН Погосян М. А.) (рис. 9). В конструкции SSJ-100 применяются крепежные изделия из титановых сплавов, высокопрочных сталей и других материалов, в основном разработки и производства ОАО «Нормаль» (Главный конструктор Братухин В. А.)

Литература

1. *Петриков В. Г., Власов А. П.* Прогрессивные крепежные изделия. — М.: Машиностроение, 1991. — 256 с.
2. *Чукулин Б. Б., Ушков С. С., Разуваева И. Н., Гольдфайн В. Н.* Титановые сплавы в машиностроении. Л., Машиностроение, 1977. — 248 с.
3. *А. Г. Братухин, И. С. Польшкин, В. Г. Петриков.* Некоторые особенности влияния структурных факторов на механические свойства сплава ВТ16 — Легкие и жаропрочные сплавы и их обработка. М., Наука, 1986. — с. 213–217.
4. *Братухин А. Г., Новожилов Г. В., Мишин В. И., Куликов Ф. Р.* Применение сплавов титана в конструкциях магистральных и тяжелых транспортных самолетов. Журнал «Титан» № 1, 1996.
5. *Балабуев П. В.* Титановые сплавы в изделиях АНТК им. О. К. Антонова. Журнал Титан №1 (10) 1998 г.
6. *Б. А. Колачев, Ю. С. Елисеев, А. Г. Братухин, В. Д. Талалаев.* Титановые сплавы в конструкциях и производстве авиадвигателей и авиационно-космической технике. Москва, МАИ, 2001 г., 411 с.