

Технология сборки турбины низкого давления: возможные дефекты

М.И. Кудряшов

Московский авиационный институт

(национальный исследовательский университет), г. Москва, Россия

В работе приводится классификация дефектов ТНД. Содержатся рекомендации по возможному устранению дефектов, возникающих или проявляющихся при сборке ТНД. Полученные результаты направлены на повышение качества сборки ТНД и всего создаваемого изделия.

Ключевые слова: технология сборки, турбина низкого давления, дефекты, устранение дефектов, качество, качество сборки, повышение качества

Турбина низкого давления (ТНД) – узел авиационного двигателя, расположенный после турбины высокого давления. Рабочим телом выступает смесь горючих газов, поступающих из камеры сгорания. Турбина придает смеси необходимое давление, для перехода ее в форсажную камеру или сопло.

Лопатки - одна из наиболее ответственных деталей ротора ТНД, поскольку они являются наиболее напряженной деталью. Лопатки ТНД (рис. 1) получают путем кристаллизации и тщательно проверяют их качество, поскольку даже незначительный дефект лопатки способен полностью вывести ее из строя.



Рисунок 1 – Лопатки ротора ТНД: 1- бандажная полка; 2 - крепление типа "елочка"

Лопатки ТНД имеют крепление типа "елочка", поскольку оно наиболее надежное и позволяет установить большое количество лопаток на одном диске. Лопатки крепятся специальным стопорным кольцом. Для повышения вибропрочности у лопаток ТНД присутствует специальная бандажная полка, которая также способствует уменьшению протекания газов через радиальные зазоры. В

рассматриваемом узле используется кольцевой тип бандажирования, когда все лопатки рабочего колеса объединены в кольцо бандажными полками.

Дефекты, возникающие в роторе ТНД можно условно разделить на производственные, сборочные и эксплуатационные. Всё это дефекты, касающихся всех деталей данного узла в целом. Для отдельных деталей можно так же выделить отдельные группы. Так для основных деталей, таких как диск и вал, подходит разделение на поверхностные и внутренние дефекты, в виду сложности и ответственности их конструкции. Это предъявляет существенные требования по качеству [1-3].

Поверхностные дефекты могут возникнуть на любом этапе производства и при механической обработке [4], поскольку включают в себя: налет, коррозии, забоины, надирь, риски, наклеп, следы схватывания, отклонения посадочных размеров и овальности, эрозию. Так, например, работы по сборке ротора ТНД проводятся в специальной монтажной стойке (рис. 2) и в фиксаторах, расположенных на стойке может скапливаться алюминиевая стружка, которая при вращении вала в стойке так же может оставлять после себя риски.



Рисунок 2 – Монтажная стойка с отмеченными фиксаторами

Внутренние дефекты, как правило, возникают в процессе эксплуатации под воздействием сил, действующих на узел, хотя некоторые из них зарождаются еще на стадии производства, в виду накопления различных ошибок, что связано с проведением работ в условиях технического риска [5].

Незначительные дефекты могут быть устранены еще на стадии производства, но накопление этих дефектов, могут иметь катастрофические последствия. Все изготовленные детали перед сдачей в сборочный цех проходят осмотр в БТК. Строгому контролю подвергаются посадочные размеры, которые обеспечивают определенный натяг для деталей узла.

Для примера рассмотрим ротор ТНД. Одним из наиболее ответственных размеров является посадочный диаметр на переднем валу турбины. Он включает в себя два посадочных диаметра, шлицы и переход. На участке сборки контролируются лишь посадочные диаметры, шлицы и переход не измеряются. Ответная часть располагается во внутренней части переднего и заднего носков ротора. Там, в свою очередь, так же замеряются лишь посадочные диаметры. По результатам замеров высчитывается натяг, с которым диск должен быть запрессован на вал. Если натяг будет превышен, то при демонтаже на посадочном

диаметре останутся сильные надирсы, риски и даже наклеп металла. В данном случае как правило страдает именно вал ТНД, поскольку диск выполнен из более прочного сплава. Если натяг будет недостаточно сильным, то возникнет нежелательный люфт, который приведет к усиленной вибрации еще на стадии балансировки узла и может нанести сильный ущерб деталям вплоть до сколов и деформации посадочных шлицов.

На стадии производства могут быть заложены микродефекты, которые в процессе эксплуатации могут развиться в более серьезные внутренние или поверхностные дефекты.

Подобно классификации самих дефектов, можно разделить на несколько групп дефекты, по способу их устранения: легко устранимые, средней степени сложности, трудно устранимые и неустраняемые.

К легко устранимым дефектам относятся всевозможные риски на различных поверхностях ротора и вала ТНД. Бывают и более серьезные дефекты, такие как закусы или замины. В зависимости от глубины и интенсивности, их можно устранить абразивным камнем, напильником или наждачной бумагой.

Незначительные дефекты резьбы так же поддаются устранению вручную. К подобным дефектам можно отнести незначительное повреждение одного или нескольких витков резьбы.

Незначительные дефекты графитовых колец так же можно устранить вручную с помощью нулевой наждачной бумаги, но это относится лишь к торцевым сколам и незначительным царапинам. Дефекты на рабочей поверхности графита не подлежат устранению и деталь бракуется.

Незначительные загибы, замины или заусенцы на лабиринтах диска или вала возможно устранить вручную, в зависимости от серьезности дефекта.

Некоторые дефекты, возникающие в процессе сборки узла подразумевают под собой демонтаж турбины для соответствующей переборки. Тем не менее, некоторые из них возможно устранить, не разбирая изделия. Например, выскальзывание разжимающей графиты пружины возможно устранить на месте с помощью плоской пластины.

В случае серьезных повреждений графитовых колец на заднем пакете или валу ТНД возможна переборка пакета без демонтажа всего ротора.

К типу дефектов средней сложности можно отнести дефекты, для устранения которых можно использовать рабочего на участке сборки или же отправить узел в цех-изготовитель.

Способ устранения дефекта зависит от сложности самого дефекта. Если отклонение в большую сторону незначительное, то довести размер до ТУ можно в группе сборки с помощью специальных притиров и специальной абразивной смеси. Когда отклонение в большую сторону слишком велико, то остается только вариант отправки детали в цех-изготовитель. Подобное решение так же принимается в случае, когда дефектный размер меньше обозначенного. В таком случае может применяться напыление хромом, но если размер проточен слишком сильно, то деталь считается бракованной.

Биение может быть завышенным в виду дефектов контролируемой поверхности, но в случае, когда вручную дефект устранить не удастся, то деталь

необходимо вернуть в цех-изготовитель, для доработки. Дисбаланс, который может появиться на участке балансирования роторов, если он не большой устраняют путем расположения специальных грузиков на диске ротора ТНД, однако если дисбаланс зашкаливает еще до олопачивания ротора, то одним из способов устранения данного дефекта является перестыковка диска с валом ТНД.

При сборке изделия к дефектам может приводить попадание инородных предметов во внутреннюю полость ротора ТНД. Как правило, этим предметом является контровочная пластина (рис. 3, а). Что предъявляет требования к сборке данного пакета уплотнения с высокой долей осторожности. Контровочную пластину можно использовать лишь один раз, повторное сгибание (рис. 3, б) может привести к ее разрушению (рис. 3, в) в месте сгиба.

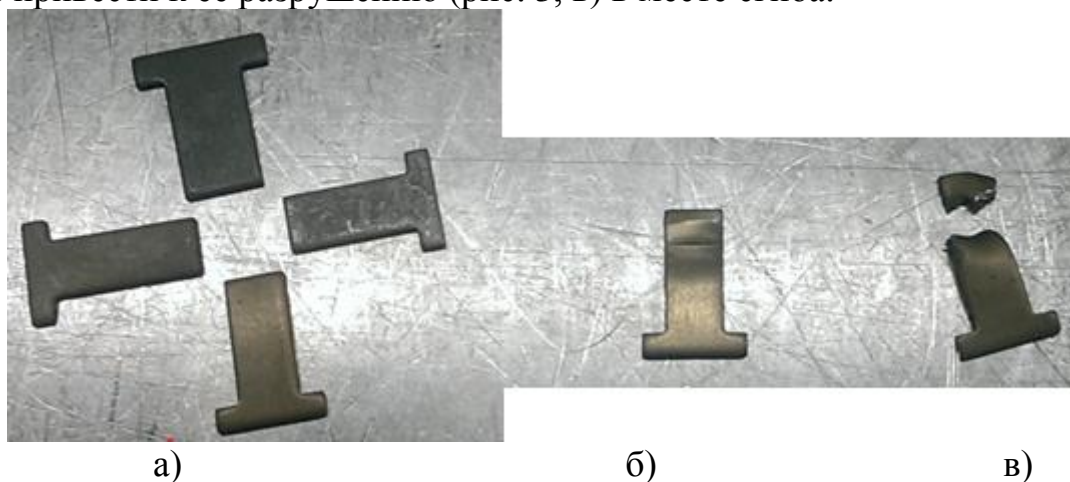


Рисунок 3 – Контровочные пластины ТНД: а - контровочные пластины разных типов; б - использованная контровочная пластина; в - контровочная пластина после срыва гайки

К сложно устранимой группе дефектов можно отнести дефекты, которые нельзя устранить вручную в сборочном цеху. При первичном входном контроле к этой категории можно отнести грубые ошибки, выявленные перед сборкой ТНД.

Некоторые дефекты становятся заметны уже в процессе сборки изделия. Подобные дефекты могут встречаться и на внутреннем диаметре заднего вала ТНД, которые обнаруживаются во время проведения балансировочных работ. Вал компрессора низкого давления может не пройти внутрь вала ТНД в виду заниженного внутреннего диаметра или же не сойтись шлицами. Подобные дефекты так же необходимо устранять в цехе-изготовителе.

Однако, помимо возможного дисбаланса на этой стадии сборки может возникнуть и другой дефект, допущенный уже непосредственно при сборке узла. Гайка, фиксирующая вал с диском имеет максимальный момент для обжатия узла, и сама гайка затягивается соответственно. При возникающих нагрузках на участке балансировки может произойти смещение диска, которое повредит данную гайку и открутить ее станет невозможно. В случае закусывания данной гайки узел отправляется в цех-изготовитель, где гайку распиливают вместе с

передним валом ТНД и последний соответственно подлежит замене. В таком случае балансировку необходимо будет проводить повторно.

Контрольный замок для этой гайки отличается от "Т-образных" замков на других гайках и имеет вид "Звезда" (рис. 3). При сборке, когда все три контрольных элемента гайки установлены, проставочное кольцо должно проворачиваться и между ним и замком-звездочкой должен быть некоторый зазор. При заниженном показателе будет возникать повышенное напряжение, которое может привести к деформации замка-звездочки и пазов вала, при завышенном будет наблюдаться вибрация, а гайка не будет достаточно зафиксирована, что может привести к ее откручиванию на больших оборотах и срыву замка и закусыванию резьбы гайки. Проставочные кольца по этой причине делаются разной толщины и подбираются для каждой турбины методом подбора.

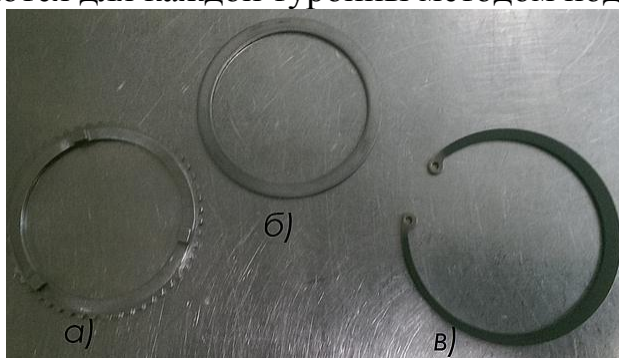


Рисунок 3 – Контрольные элементы: а - контрольное кольцо типа "Звездочка"; б - проставочное кольцо; в - стопорное кольцо

Узлы и детали после предъявительских испытаний могут быть отправлены в цех-изготовитель в случае получения серьезных дефектов в процессе работы. При этом возможно применение альтернативных механической обработке методов, например, электрофизических методов обработки [6] или электроэрозионного фрезерования [7]. Одним из таких дефектов, кроме нарушения целостности мельхиорового покрытия, может быть сильный дефект гребешков лабиринтов или их разрушение. При последнем лабиринт подлежит замене, поскольку других способов устранить нарушение целостности лабиринта нет.

После испытаний или в процессе сборки может быть так же повреждена контактная поверхность колец, что может повлечь за собой повреждение графитового уплотнения. Устранить данный дефект в сборочном цеху так же нельзя, поэтому деталь отдается на хромирование в цех-изготовитель.

К неустраняемым дефектам в первую очередь относятся дефекты лопаток ТНД. Лопатки ротора ТНД подвержены максимальной нагрузке и поэтому на них недопустимы даже малейшие дефекты, поскольку под воздействием высоких температурных нагрузок и изгибающих моментов, даже небольшая забоина может разрастись в трещину и привести к обрыву лопатки.

Второй особо ответственной деталью являются подшипники. Замины, забоины, трещины, сколы обойм подшипника или роликов, а также нарушения целостности сепаратора не подлежат восстановлению и деталь бракуется.

Бракуются так же диски и валы, на которых появились усталостные или другого вида трещины. Нарушение общей целостности диска и вала приводит деталь в негодность. Учитывая тот факт, что вал и диск являются составными из нескольких частей узлами, то возможно часть данного узла удастся сохранить, если она так же не получила похожие дефекты. Самой дорогой и массивной частью диска является именно полотно диска. Передний и задний носки меньше подвержены дефектам.

Лабиринты стоят на втором месте по неустранимым дефектам, поскольку они достаточно хрупкие и малейший удар приведет их в негодность.

Вал ТНД как и диск так же состоит из нескольких частей, так что при разрушении одной из частей остальные еще возможно восстановить. В отличие от диска самым уязвимой частью вала является передний вал, который входит во внутреннюю полость диска.

Следующим по неисправимым дефектам является задний вал ТНД, поскольку на нем располагается высоконагруженный узел соединения с ЦКП и внутренним соединением с КНД. Соответственно, какой-нибудь дефект, который может возникнуть в этом соединении, может привести к разрушению заднего вала. Центральный вал, на котором распределяется нагрузка от переднего и заднего валов, может прийти в негодность в результате общего разрушения узла, перегрузки, дефектов сплава или прямого механического воздействия.

Среди деталей комплектовки к неустранимым дефектам можно отнести разрушение целостности контактных колец, сильные сколы или разрушение графитовых колец, протирание или недостаточную упругость разжимающих пружин. Сильные сколы вершин гаек, стирание резьбы, нарушение общей целостности, трещины. Для защиты графитовых уплотнений в процессе сборки вплоть до введения турбины в основную ходовую часть двигателя необходимо, чтобы графиты всегда были закрыты специальными кожухами, чтобы избежать попадания инородных частиц и ударов, способных нарушить целостность графитового кольца. Так же кожух фиксирует графитовые кольца, не давая разжимающей пружине внезапно выскочить из пазов графита.

В докладе даны рекомендации по возможному устранению дефектов возникающих или проявляющихся при сборке ТНД. Приведённые рекомендации могут быть полезны, как для повышения качества сборки ТНД, так и всего создаваемого изделия.

Библиографический список

1. Высоцкая В.И., Добровольский В.И., Маликов С.Б. Разработка комплекса мер по повышению качества высокотехнологической продукции авиационной промышленности / Научные труды (Вестник МАТИ). Вып. 20 (92). М.: МАТИ, 2013. С. 276–281.
2. Высоцкая В.И., Маликов С.Б. Повышение качества продукции авиапрома / Восьмой международный аэрокосмический конгресс. Тезисы докладов. 2015. С. 199-200.
3. Высоцкая В.И., Маликов С.Б., Токмакова Т.В. Вопросы качества авиационной техники / Девятый международный аэрокосмический конгресс. Тезисы докладов. 2018. С. 174–175.

4. Высоцкая В.И., Маликов С.Б., Токмакова Т.В. Влияние механической обработки на свойства КМ на основе высокотемпературных карбидов с металлическими наполнителями // *Авиационная промышленность*, 2017, № 4. С. 42–45.

5. Маликов С.Б. Метод анализа технического риска при организации подготовки опытного производства деталей: автореферат дисс. ... канд. техн. наук. - М.: МАТИ, 2012. - 19 с.

6. Высоцкая В.И., Маликов С.Б., Токмакова Т.В. Влияние электрофизических методов обработки на свойства КМ на основе высокотемпературных карбидов с металлическими наполнителями // *Авиационная промышленность*. 2018. № 2. С. 41–43.

7. Бойцов А.Г., Токмакова Т.В., Высоцкая В.И., Маликов С.Б. Влияние режимов электроэрозионного фрезерования на производительность прошивки отверстий малого диаметра в деталях ГТД // *Авиационная промышленность* 2018. № 3-4. С. 35–37.