

ской детали методом конечно-элементного моделирования с использованием расчётного комплекса PATRAN/NASTRAN // Вестник УГАТУ. – 2015. – Т. 19, №2 (68). – С. 35-40.

20. Павлов В.Ф., Сазанов В.П., Вакулюк В.С. К вопросу оценки влияния гидродробеструйной обработки на предел выносливости деталей по первоначальным деформациям образца-свидетеля // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. – 2019. – №1. Т. 21. – С. 55-62.

УДК 621.787:539.319

*В.П. Сазанов, А.В. Письмаров, В.К. Шадрин, С.А. Анисимов,
В.С. Майоров*

О ПРЕДЕЛЕ ВЫНОСЛИВОСТИ БОЛТОВ С НАКАТАННОЙ РЕЗЬБОЙ ПРИ ПОВЫШЕНИИ СРЕДНЕГО НАПРЯЖЕНИЯ ЦИКЛА

Введение. Создание надёжных в эксплуатации и минимальных по массе разъёмных соединений в авиационной технике требует применения резьбовых деталей из высокопрочных материалов (стали и титановые сплавы) [1,2]. Наибольший практический интерес представляет вопрос повышения сопротивления усталости резьбового соединения при действии переменных нагрузок, так как предел выносливости высокопрочного материала при симметричном цикле составляет всего 20-30% от его предела прочности. Усилие предварительной затяжки соединения, назначаемое из условия нераскрытия стыка при действии эксплуатационных нагрузок, имеет достаточно значительную величину, которая по напряжениям в детали составляет до 0,5-0,7 от предела текучести материала и это приводит к существенной асимметрии цикла.

Методика исследования. Резервом повышения сопротивления усталости резьбовых деталей является использование технологий, которые позволяют создавать во впадинах профиля резьбы сжимающие остаточные напряжения. Одним из таких наиболее распространённых способов является изготовление резьбы накатыванием. Накатанная резьба имеет статическую прочность на 4-8% выше, чем нарезанная, а сопротивление усталости по сравнению с ней возрастает до 80-100% [1]. Вместе с тем асимметрия цикла напряжений при действии переменных нагрузок может

приводить к значительному снижению эффекта упрочнения от сжимающих остаточных напряжений во впадинах резьбы. Поэтому данный вопрос требует изучения в первую очередь по результатам испытания резьбовых деталей на усталость.

Влияние асимметрии цикла на сопротивление усталости исследовалось на болтах М6 из стали 16ХСН с радиусом впадин резьбы 0,17 мм. Половина всех болтов после накатывания подвергалась отжигу для снятия остаточных напряжений, наведенных при изготовлении резьбы. Резьба другой половины болтов накатывалась на предварительно отожжённых заготовках. Исходные механические характеристики материала болтов приведены в табл. 1.

Табл. 1. Механические характеристики материала болтов М6

Материал	Механические характеристики			
	σ_s , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	ψ , %
16ХСН	1280	940	18	41

Распределение остаточных напряжений в болтах, накатанных после отжига, по глубине впадины a , показано на рис. 1, которое определялось методом частичного удаления поверхности [1, 3]. В других болтах, отожжённых после накатывания, остаточные напряжения практически отсутствовали.

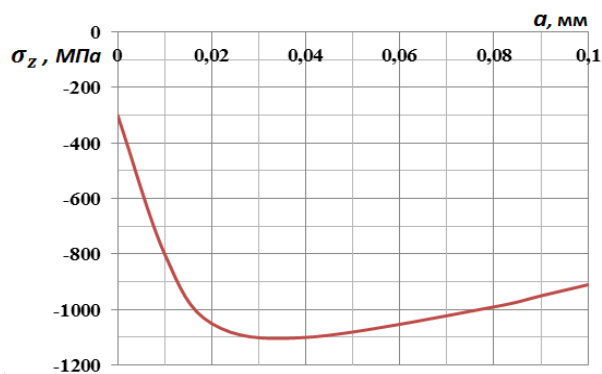


Рис. 1. Распределение осевых остаточных напряжений σ_z во впадине резьбы М6 после отжига и накатывания

Резьбовые детали для испытаний на усталость изготавливались одновременно с деталями, в которых исследовались остаточные напряжения, то есть выборка деталей для испытаний на усталость и определения остаточных напряжений производилась из одной серии. При испытаниях на усталость партия состояла из 20-30 деталей. Испытания болтов на многоцикловую усталость проводились на вибрационных электродинамических установках. Для возбуждения колебаний использовались резонансные приставки, которые позволяют вести испытания с частотой 300-950 Гц, что резко сокращает время эксперимента. Предельная амплитуда цикла σ_{Ra} определялась в соответствии с ОСТ 1 00152-74 методом ступенчатого изменения нагрузки. Перед началом испытаний каждой партии на двух деталях оценивалось значение σ_{Ra} последовательным нагружением их до разрушения. Если при заданной базе испытаний и принятой амплитуде деталь не разрушалась, то амплитуда увеличивалась на 10 МПа, вновь проводились испытания и так до тех пор, пока не наступало разрушение. Затем с этого уровня амплитуды напряжений начинались испытания зачётной партии деталей. Величина приращения принималась равной 4-6 МПа. По результатам испытаний проводилось определение средних значений предельной амплитуды цикла напряжений методами математической статистики, которые приведены в табл. 2.

Табл. 2. Результаты испытаний на усталость болтов М6 при различных средних напряжениях цикла

Материал	Среднее напряжение цикла σ_m , МПа	Предельная амплитуда цикла σ_{Ra} , МПа	
		накатывание + отжиг	отжиг + накатывание
16ХСН	200	82	173
	350	76	131
	400	69	120
	500	70	82

Диаграмма предельных амплитуд цикла напряжений приведена на рис. 2.

Из рис. 2 следует, что предельная амплитуда цикла болтов без остаточных напряжений во впадинах после операций накатывание+отжиг (n+o) практически мало изменяется при увеличении среднего напряжения, а для болтов с остаточными напряжениями после операций отжиг+накатывание (o+n) характерна тенденция к её значительному снижению.

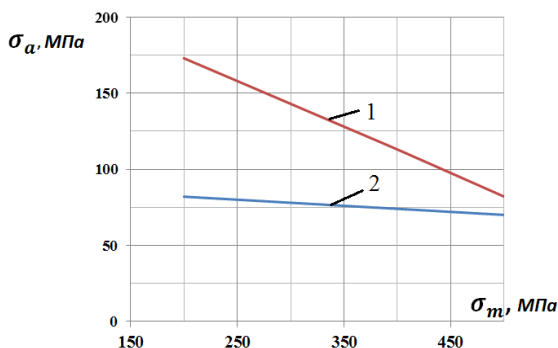


Рис. 2. Диаграмма предельных амплитуд цикла напряжений болтов М6:
1 – после отжига и накатывания; 2 – после накатывания и отжига

В связи с выше изложенным, важным обстоятельством является практический вопрос сохранить эффект повышения сопротивления усталости за счёт сжимающих остаточных напряжений во впадинах резьбы. Для этого необходимо ввести ограничение на средние напряжения цикла, например, при назначении предварительного усилия затяжки болтов в соединении. С этой целью была построена зависимость отношения предельной амплитуды цикла болтов с остаточными напряжениями во впадинах σ_{Ra}^{o+n} к её величине без таковых σ_{Ra}^{n+o} в соответствии с изменением отношения среднего напряжения σ_m цикла к условному пределу текучести материала $\sigma_{0,2}$. Результаты построения приведены на рис. 3.

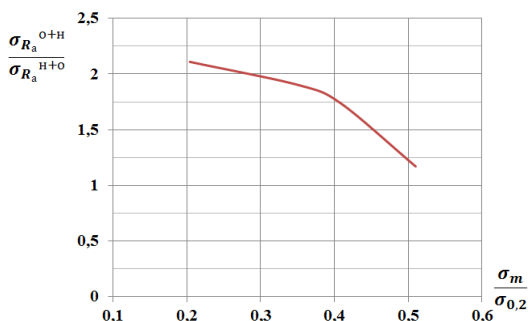


Рис. 3. Зависимость отношения предельной амплитуды цикла болтов с остаточными напряжениями во впадинах (о+н) и без них (н+о) от отношения среднего напряжения к условному пределу текучести

Заключение. Из данных рис. 3 следует, что для повышения сопротивления усталости среднее напряжение цикла при нагружении исследуемых болтов М6 из материала 16ХСН не должно превышать величины 0,4 от условного предела текучести материала, что необходимо учитывать при назначении момента предварительной затяжки болта. Полученный результат достаточно точно сходится с рекомендациями по затяжке резьбовых соединений, приведённых в работе [2].

Список использованных источников

1. Иванов, С. И. Остаточные напряжения и сопротивление усталости высокопрочных резьбовых деталей / С.И. Иванов, В.Ф. Павлов, Б.В. Минин, В.А. Кирпичёв, Е.П. Кочеров, В.В. Головкин. – Самара: Издательство СНЦ РАН, 2015. – 170 с.
2. Биргер, И.А. Остаточные напряжения / Биргер И.А. – М.: Машгиз, 1963. – 232 с.
3. Павлов, В.Ф. Прогнозирование сопротивления усталости поверхностно упрочнённых деталей по остаточным напряжениям / В.Ф. Павлов, В.А. Кирпичёв, В.С. Вакулюк. – Самара: Издательство СНЦ РАН, 2012. – 125 с.

УДК 621.787:539.319

В.П. Сазанов, В.В. Лунин, А.А. Декань, Е.А. Огурцов, М.В. Юронин

ВЛИЯНИЕ ДИАМЕТРА СЕЧЕНИЯ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В УПРОЧНЁННЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЕТАЛЯХ

В результате поверхностного пластического деформирования (ППД) в поверхностном слое деталей изменяется структура, возникают наклёп и сжимающие остаточные напряжения. Результаты испытаний показывают [1,2], что основную роль в повышении сопротивления усталости упрочнённых деталей играют осевые сжимающие остаточные напряжения. При этом наиболее эффективным упрочнение поверхности является для деталей с концентраторами напряжений.

В данной работе проведено исследование влияния наружного диаметра гладких цилиндрических деталей на параметры упрочнённого слоя