

Е.В.Бурмистров, Е.Н.Воронов, А.С.Горячев, В.В.Жунип

ПОВЫШЕНИЕ ВИБРОУСТОЙЧИВОСТИ И СТОЙКОСТИ ИНСТРУМЕНТОВ
ДЛЯ ОБРАБОТКИ ОТВЕРСТИЙ В ДЕТАЛЯХ ИЗ АВИАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Обработка отверстий в изделиях авиационной техники встречается на производстве большие трудности. Это связано с широким применением труднообрабатываемых материалов: нержавеющей высокопрочных сталей, жаропрочных и титановых сплавов, и с повышенными требованиями к точности и качеству обрабатываемых отверстий.

Кроме того, применяемые инструменты (сверла, зенкеры, развертки, многолезвийный комбинированный инструмент) имеют недостаточную жесткость, в результате чего в процессе резания возникает вибрация, которые приводят к снижению стойкости инструментов, производительности и качества обработки отверстий.

Наибольшее влияние на работоспособность инструментов при обработке отверстий оказывают крутильные (тангенциальные) колебания. Это связано с тем, что крутильные колебания приводят к изменению скорости резания и толщины срезаемого слоя, в результате чего снижается стойкость инструментов [1], особенно при обработке труднообрабатываемых материалов: жаропрочных и титановых сплавов, высокопрочных сталей и др. Поперечные колебания, вызванные неравномерностью радиальных сил, действующих на отдельные режущие кромки инструментов, приводят к искажению формы обработанных отверстий, появлению волнистости на их поверхности и снижению качества обработки.

Для математического моделирования крутильных и поперечных колебаний инструментов в данной работе использован аппарат дифференциально-разностных уравнений с запаздывающим аргументом [2],

При анализе динамики процесса в качестве основных причин возникновения и развития крутильных колебаний сверл были приняты: периодическое изменение толщины среза и отставание от этого изменения силы резания.

Изменение толщины среза при наличии колебаний может быть вызвано удлинением и укорочением сверла при его угловых деформациях, а также влиянием волнообразного следа, оставляемого на поверхности резания режущими кромками сверла [3]. Как показали исследования [4], при-

чиной периодического изменения толщины среза, наряду с указанными, может служить также изменение угловой скорости сверла при возникновении крутильных колебаний. Особое значение этот фактор приобретает при анализе колебаний перовых инструментов, у которых отсутствует спиральная часть. Установлено, что при уменьшении угловой скорости с 16,2 до 6,8 рад/с толщина среза может возрастать более чем в 3 раза. Полученные данные позволили усовершенствовать математическую модель, принятую в работе [3], и получить более достоверную картину крутильных колебаний сверл.

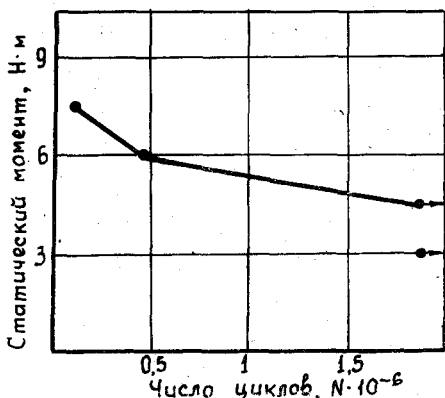
Для сопоставления результатов расчетов с фактическими значениями амплитуд и частот колебаний было разработано виброизмерительное устройство с токовихревыми датчиками, позволившее исследовать крутильные и поперечные колебания сверл.

Исследованиями установлено, что при обработке отверстий $d = 3 - 6$ мм сверлами стандартной конструкции в деталях из титановых и жаропрочных сплавов амплитуда крутильных колебаний изменяется от I до 3^0 , а частота - от 700 до 1000 Гц в зависимости от длины вылета сверла и режимов резания. Экспериментальные виброграммы хорошо согласуются с расчетными.

Помимо влияния на стойкость через изменение скорости резания и подачи, крутильные колебания обуславливают также циклический характер нагружения инструментов, что, в конечном счете, может привести к их усталостному разрушению. Так, например, при сверлении только одного отверстия $d = 6$ мм на глубину 18 мм в деталях из титанового сплава OT4 (режим резания: $v = 0,12$ м/с; $S = 0,09$ мм/об) сверло испытывает $3 \cdot 10^4$ циклов нагружения при напряжениях, близких к допускаемым при кручении. За время обработки 20 отверстий, что соответствует рекомендуемому значению стойкости для сверл данного размера ($T = 10$ мин), число циклов нагружения составит $6 \cdot 10^5$.

Усталостные испытания при кручении, выполненные на машине МКП-8, показали, что при амплитуде колебаний $A_d = 1^0$ и статическом моменте 6 Н·м усталостное разрушение сверл происходит по достижении

$N = 4,77 \cdot 10^5$ циклов нагружения (рис. 1), т.е. сверлом при указанных выше условиях можно обработать не более 16 отверстий. Сказанное свидетельствует о том, что при выборе геометрических и конструктивных параметров сверл, назначении режимов резания и определении сроков службы инструментов необходимо учитывать интенсивность колебаний и их влияние на усталостную прочность сверла.



Р и с. 1. Результаты усталостных испытаний на кручение при постоянной амплитуде колебаний $A_{\varphi} = 1^{\circ}$

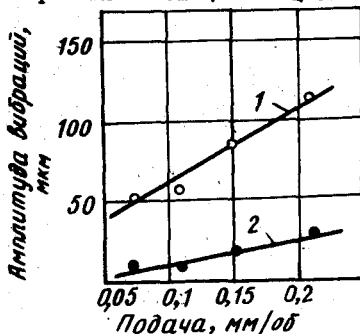
Сопоставление виброграмм, полученных при обработке ступенчатых отверстий первыми многолезвийными комбинированными инструментами, свидетельствует о том, что скорость резания оказывает значительное влияние на характер и величину амплитуды вибраций. Так, например, увеличение скорости от 0,48 до 0,96 м/с приводит к увеличению амплитуды вибраций от 50 до 74 мкм. Это сопровождается увеличением волнистости обработанных поверхностей, особенно торцевых. При этом высота волнистости W_z , измеренная с помощью специальной приставки к профилографу-профилометру "ВЭИ-Калибр", возрастала от 4 до 6 мкм.

Увеличение подачи от 0,074 до 0,21 мм/об (рис. 2) также приводит к увеличению амплитуды вибраций при изменении частоты в пределах от 500 до 650 Гц.

С целью снижения интенсивности вибраций и повышения качества обработанных поверхностей был разработан ряд конструкций клеесборных многолезвий-

Снижение уровня вибраций при сверлении может быть достигнуто путем уменьшения длины вылета сверла, его спиральной части, а также за счет применения четырехлепесточных сверл, обладающих повышенной жесткостью и виброустойчивостью.

Большое внимание в работе уделено теоретическому и экспериментальному исследованию вибраций при обработке отверстий зенкерами, развертками и многолезвийными комбинированными инструментами.



Р и с. 2. Влияние подачи на амплитуду вибраций: 1 — первое сверло; 2 — клеесборное первое сверло с разделенной режущей частью

ных комбинированных инструментов, в том числе с разделенной режущей частью.

Как видно из сопоставления графиков на рис. 2, использование таких инструментов дает снижение амплитуды вибраций примерно в 5 раз.

Стойкостные исследования и производственные испытания разработанных конструкций инструментов дали хорошие результаты. Так, например, замена применяемых на производстве перовых многолезвийных комбинированных инструментов на клеесборные с разделенной режущей частью позволила повысить режим обработки на 20% и увеличить стойкость инструментов в три раза.

Как показали теоретические расчеты, большое влияние на интенсивность вибраций оказывает обобщенный коэффициент сопротивления (демпфирования). Полученные данные легли в основу разработанных на кафедре резания Куйбышевского авиационного института конструкций зенкеров и разверток с демпфирующими [5] и демпфирующе-выглаживающими вставками.

Одна из таких конструкций разверток представлена на рис. 3. К корпусу развертки I припаяны твердосплавные режущие зубья 2, определяющие исполнительный размер развертки Φ . За каждым зубом в специальных пазах 6 и 7 располагаются твердосплавные пластины 3, опирающиеся на эластичные полиуретановые вставки 4. При этом пластины 3 выступают над режущей частью зубьев развертки на 0,1...0,2 мм.

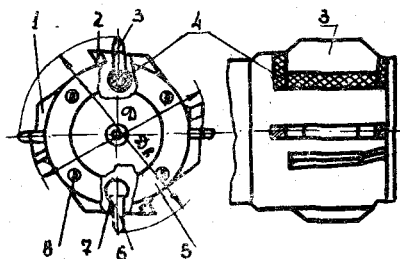


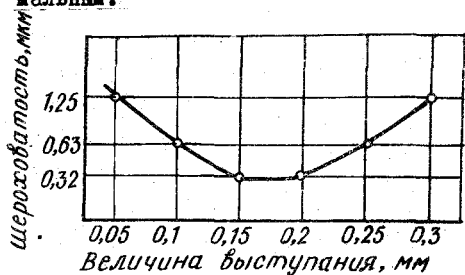
Рис. 3. Конструкция режущей части развертки с демпфирующе-выглаживающими вставками: 1-корпус; 2-режущий зуб; 3-выглаживающая пластина; 4-демпфирующие вставки; 5-шайба; 6, 7-пазы; 8-винт

Развертки указанной конструкции обеспечивают благоприятные условия работы, особенно при входе инструмента в отверстие. Направляющие твердосплавные пластины, опирающиеся на полиуретановые вставки, предотвращают жесткий удар режущих кромок о поверхность отверстий и уменьшают амплитуду поперечных колебаний.

Исследования показали, что логарифмический декремент колебаний для стандартных разверток составляет 0,18, а для разверток но-

вой конструкции - 0,4. Это приводит к 3-кратному снижению амплитуд вибрации при использовании разверток с демфирующе-выглаживающими пластинами.

Колебания инструмента можно полностью исключить подбором величины выступания направляющих пластин относительно режущих зубьев. Однако следует учитывать, что величина выступания влияет также на шероховатость обработанной поверхности. Как показано на рис. 4, выступание направляющих пластин из твердого сплава относительно режущих зубьев на величину 0,15 - 0,2 мм является оптимальным.



Р и с. 4. Влияние величины выступания направляющих твердосплавных пластин на шероховатость обработанной поверхности: материал твердосплавных пластин - Т15К6; размеры пластин; толщина - 2,5 мм; длина 12 мм

Меньшая величина выступания 0,05-0,1 мм недостаточна для выглаживания обработанной поверхности и гашения поперечных колебаний, а при выступании направляющих пластин более 0,2 мм на поверхности отверстий остаются царапины в виде глубоких рисок.

Развертки и зенкеры с демфирующе-выглаживающими вставками нашли широкое

применение в производстве при обработке деталей летательных аппаратов из закаленных высокопрочных сталей с $\sigma_s = 1100-2000$ МПа.

Снижение интенсивности поперечных колебаний обеспечивает получение отверстий правильной геометрической формы, а также способствует увеличению стойкости инструментов в 1,5-2 раза. Направляющие пластины из твердого сплава выглаживают обработанную поверхность, что приводит к уменьшению шероховатости.

Шероховатость поверхностей при работе развертками предложенной конструкции составляет $R_a = 0,16 \dots 0,63$ мм. Это создает благоприятные возможности для исключения таких трудоемких финишных операций, как притирка и хонингование.

На основании изложенного можно сделать вывод о том, что применение рекомендуемых инструментов повышенной жесткости и виброустойчивости позволяет значительно повысить производительность, стойкость и качество обработанной поверхности.

Л и т е р а т у р а

1. Б у р м и с т р о в Е.В., Т а р а с о в А.В. Исследование угловых деформаций и крутильных колебаний сверл малых диаметров. - В сб.: Исследование обрабатываемости жаропрочных и титановых сплавов, Вып. 51.-Куйбышев; КуАИ, 1973, с. 150-156.
2. М а р к у ш и н Е.М. Оптимальные системы автоматического регулирования с запаздыванием по времени. Иня-во Саратовского университета, 1971.
3. Б у р м и с т р о в Е.В., М а р к у ш и н Е.М., Т а р а с о в А.В. Исследование динамики процесса сверления отверстий малых диаметров в деталях из жаропрочных и титановых сплавов. - В сб.: Исследование обрабатываемости жаропрочных и титановых сплавов. Вып. 54.-Куйбышев; КуАИ, 1976, с. 119-128.
4. Б у р м и с т р о в Е.В., М а р к у ш и н Е.М., В о р о н о в Е.Н. Влияние крутильных колебаний на изменение толщины срезаемого слоя. - В сб.: Исследование обрабатываемости жаропрочных и титановых сплавов. Вып. № 5.-Куйбышев; КуАИ, 1978, с. 148-154.
5. Г о р я ч е в А.С., Ж е л е з н о в Г.С., Х у н и н В.В. Развертка. Авт.свид. № 252055. Открытия и промышленные образцы. Товарные знаки. 1969, № 28.

УДК 621.951.02:539.371:534.1

А.В.Тарасов

ИССЛЕДОВАНИЕ ЖЕСТКОСТИ СВЕРЛ МАЛЫХ ДИАМЕТРОВ ПРИ СТАТИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

Под действием системы сил сверло, представляющее собой закрученный стержень сложной формы и сечения, испытывает угловые и продольные деформации. В связи с наличием спирали эти деформации взаимосвязаны, что обуславливает наличие у спиральных сверл четырех форм жесткости [1]: жесткости на кручение при раскручивании, жесткости на кручение при сжатии, жесткости на сжатие при сжатии и жесткости на растяжение (сжатие) при кручении. Такая специфика деформаций сверла в процессе сверления приводит к образованию следа на