АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫЙ АНАЛИЗ РАСТОЧНЫХ ОПРАВОК

Л. С. Васильев

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Псковский государственный университет», Российская Федерация

Научный руководитель И. П. Никифоров

Проведены экспериментальные исследования разработанной биметаллической и традиционной монолитной оправок при растачивании заготовок из Стали 20. Оценка вибраций проведена по среднеквадратичному значению сигнала и спектральному анализу. Установлено, что применение разработанной оправки обеспечивает снижение уровня вибраций в 2,4–2,9 раза, при этом шероховатость обработанной поверхности уменьшается на 14–78 %.

Ключевые слова: растачивание, вибрации, расточная оправка, жесткость, спектральный анализ, среднеквадратичное значение сигнала (RMS).

Целью работы является амплитудно-частотный анализ двух расточных оправок – цельной (монолитной) оправки из стали 40Х13 после закалки и высокого отпуска и оправки новой конструкции, с предварительным внутренним напряжением, изготовленной из Стали 20 и 40Х13.

Вибрации, возникающие при растачивании, снижают устойчивость процесса и точность обработки. Их уровень определяется жесткостью инструмента, которая при увеличении длины рабочей части оказывается недостаточной. Повышение виброустойчивости может быть достигнуто за счет изменения конструкции оправки.

Конструкция и технология изготовления оправки. Разработанная оправка представляет собой составную конструкцию, в которой формируются предварительные внутренние напряжения за счет конических соединений с натягом (рис. 1). Конструкция формируется из попарно изготавливаемых коротких цилиндрических элементов с внутренними коническими поверхностями (конусность Морзе – 1 : 20).



Рис. 1. 3D-модель составной оправки из запрессованных конических элементов

Сборка осуществлялась путем запрессовки конических элементов с натягом с последующим соединением методом ротационной сварки трением. Внешняя часть оправки изготавливается из стали 40Х13 с последующей термической обработкой (закалка при 1050 °С в масло и отпуск при 420 °С), внутренние конические элементы – из Стали 20 (в состоянии поставки). Это обеспечивает требуемые механические свойства конструкции и формирование предварительных напряжений. Более подробно технология изготовления оправки отражена в работе авторов [1].

Методика проведения эксперимента. Экспериментальные исследования проводились при растачивании трубных заготовок из Стали 20 на станке 1К62. Окончательная обработка выполнялась при постоянной подаче $s = 0{,}11$ мм/об. Вылет оправок – 80 мм; диаметр оправок – 16 мм; диаметр обработки – 37 мм; длина обработки – 10–15 мм. В качестве режущего инструмента были использованы сменные пластины: 1) твердый сплав – карбид вольфрама; 2) твердый сплав со вставками из кубического нитрида бора (КНБ). Переменные факторы экспериментов указаны в таблице.

Исходные данные и результаты экспериментов

Номер опыта	Частота *n*, об/мин	Глубина резания *t*, мм	Материал пластины	Тип оправки	RMS, дБ	K	Шероховатость, *Ra*	*R*
1	630	0,5	Твердый сплав	Цельная	–10,01	2,9	0,91	14 %
2				Составная	–29,26		0,80	
3	800			Цельная	–10,67	2,4	0,73	25 %
4				Составная	–25,65		0,58	
5	1000	0,3	КНБ	Цельная	–10,94	2,6	1,89	78 %
6				Составная	–28,06		1,06	

Регистрация вибраций осуществлялась с использованием пьезоэлектрических датчиков, установленных на головках расточных резцов. Сигнал записывался в виде аудиозаписей с частотой дискретизации 48 кГц. Анализ выполнялся по участкам установившегося процесса чистового растачивания длительностью 5 с. Обработка сигналов осуществлялась с помощью программы Adobe Audition. Шероховатость измерялась профилометром модели 296.

Анализ результатов исследования. Для количественной оценки уровня вибраций использовалось среднеквадратичное значение сигнала *RMS* (Root Mean Square), рассчитываемое по формуле

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i^2}, \tag{1}$$

где x_i – значения сигнала; N – количество отсчетов.

Для оценки эффективности разработанной оправки использовалось отношение значений:

$$K = \frac{RMS_{\text{мон}}}{RMS_{\text{разр}}}, \tag{2}$$

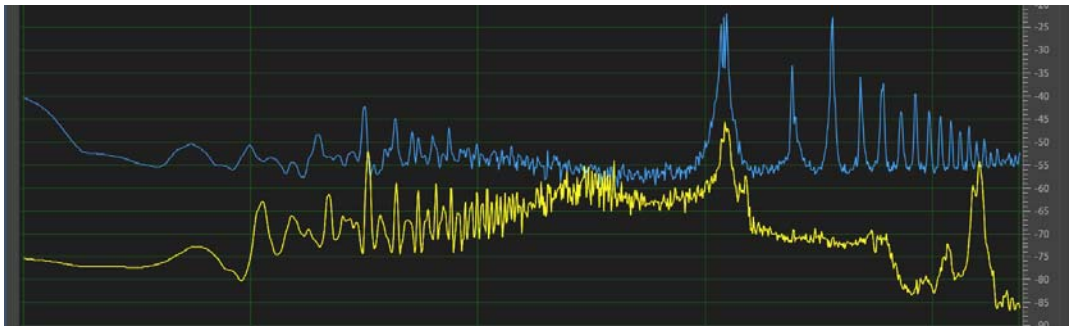
где $RMS_{\text{мон}}$ – среднеквадратичное значение сигнала для монолитной, цельной оправки; $RMS_{\text{разр}}$ – среднеквадратичное значение сигнала для разработанной, составной оправки.

Полученные значения коэффициента K приведены в таблице.

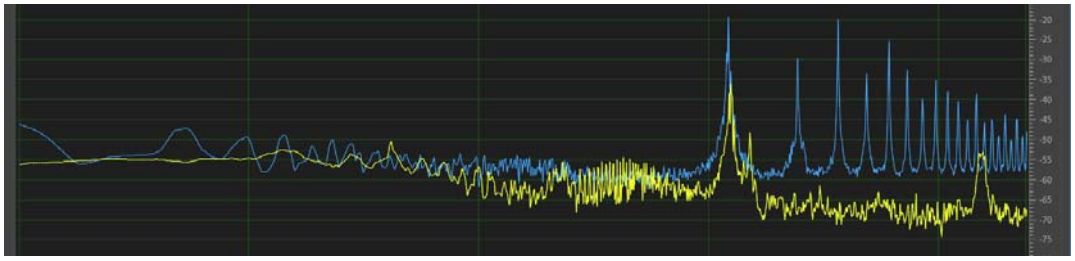
Для оценки шероховатости *Ra* используем относительное изменение параметра:

$$R = \left(\frac{Ra_{\text{разр}}}{Ra_{\text{мон}}} - 1\right) 100\ \%. \tag{3}$$

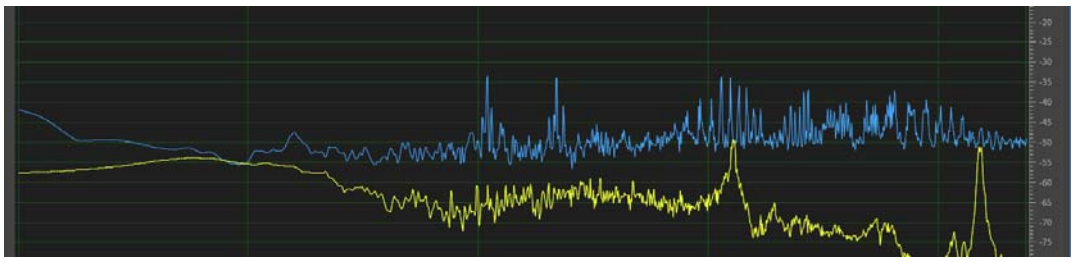
При анализе спектров вибрационного сигнала (рис. 2) установлено, что для обеих конструкций оправок сохраняется положение основных частотных составляющих. Наиболее выраженные пики наблюдаются в диапазонах 1–1,5 кГц и 2–4 кГц. При растачивании твердосплавной пластиной при $n = 630$ об/мин (рис. 2, *а*) наблюдается очевидное снижение амплитуды спектральных максимумов при использовании разработанной оправки. При этом снижается выраженность резонансных пиков и наблюдается сглаживание спектра вибрационного сигнала, что указывает на уменьшение интенсивности возбуждения колебаний. При $n = 800$ об/мин сохраняется аналогичная структура спектра (рис. 2, *б*). Эффект снижения вибраций выражен менее интенсивно по сравнению с режимом $n = 630$ об/мин. Для режима обработки пластиной со вставками из КНБ при $n = 1000$ об/мин (рис. 2, *в*) также наблюдается снижение уровня вибраций при использовании разработанной оправки. Спектр имеет более сложную и менее равномерную структуру, однако основные частотные пики сохраняют свое положение, а общий уровень амплитуд уменьшается.



а)



б)



в)

Рис. 2. Амплитудно-частные характеристики в логарифмическом масштабе (верхние графики – цельная оправка; нижние графики – составная оправка: *а* – опыты № 1–2; *б* – опыты № 3–4; *в* – опыты № 5–6 (см. таблицу)

В заключение можно отметить, что спектральный анализ показал: при использовании разработанной конструкции оправки с предварительным внутренним напряжением сохраняется положение основных частотных составляющих вибрационного сигнала, при этом уменьшается их амплитуда и снижается выраженность резонансных пиков. Количественная оценка по среднеквадратичному значению сигнала показала, что наблюдается снижение уровня вибраций в 2,4–2,9 раз, в зависимости от условия обработки, при этом шероховатость обработанной поверхности уменьшается на 14–78 %. Полученные результаты подтверждают эффективность применения оправки новой составной конструкции с предварительным внутренним напряжением.

Литература

1. Васильев Л. С. Повышение жесткости и виброустойчивости при глубоком растачивании / Л. С. Васильев, И. П. Никифоров, Е. А. Евгеньева // Металлообработка. – 2022. – № 4 (130). – С. 12–22.

ПРОБЛЕМЫ РЕЦИКЛИНГА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

У. А. Дуб

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель С. Н. Бобрышева

Рассмотрены проблемы рециклинга композиционных материалов и предлагаются современные методы их решения. Отмечено, что основная цель работы – показать актуальность и масштабность проблемы.

Ключевые слова: рециклинг, композиционные материалы, композит, утилизация, пиролиз, гетерогенная структура.

Инженеры прошлого века стремились создать материал, который не боится времени: не ржавеет, не гниет и не теряет прочности десятилетиями. Композиты стали триумфом человеческой мысли, воплотив в себе идею «вечного изделия». Однако сегодня это совершенство обернулось технологической ловушкой. Человечество научилось создавать материалы, которые природа не может переработать за тысячи лет, и сами не научились разбирать их на составляющие. С каждым годом увеличивается производство и повышается число отходов композиционных изделий, тем самым засоряя планету. Проблема рециклинга композитов – это поиск способа помочь экосистеме, превратить путь изделия от завода до свалки в бесконечный цикл превращений. Недостаточно просто, например, растворить изделие, нужно придумать, куда «деть» полученную смесь, как ее правильно использовать, минимизировав материальные потери и ущерб окружающей среде.

В современном мире невозможно развитие промышленности без применения композиционных материалов. Они прочные, легкие и долговечные, что делает их незаменимыми в авиации, автомобилестроении и энергетике. Однако среди множества достоинств есть один огромный недостаток: композиты крайне сложно перерабатывать. С учетом значительного срока разложения в окружающей среде (около 200 лет), проблема поиска технологий утилизации отходов композиционных материалов является актуальной задачей.

Ученые долгое время «бьются» с пластиком, ищут подходящие методы его переработки и повторного использования, за каждую неправильно переработанную де-