

О. В. КОЛЕНЧЕНКО

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ РЕЗАНИЯ НА ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ И ХАРАКТЕРИСТИКИ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ

Разработана методика, алгоритм и программа управления режимами резания при обработке сложнофасонных деталей переменной жесткости, с целью стабилизации погрешностей и характеристик качества материала поверхностного слоя.
Механическая обработка; оптимизация; сложнофасонные детали

ВВЕДЕНИЕ

Повышение эксплуатационных характеристик газотурбинных двигателей приводит к усложнению конфигурации деталей и повышению физико-механических свойств материалов для их изготовления [1, 2]. Конструкция этих деталей, многообразие технологических процессов предопределяют наиболее эффективную обработку их на многоцелевых станках с ЧПУ. Анализ условий обработки на ряде предприятий авиадвигателестроения [3] показал, что при точении заготовок на станках с программным управлением обрабатываются около 75 % торцевых, цилиндрических, криволинейных и других поверхностей в условиях, когда непрерывно и одновременно изменяются несколько параметров обработки. В результате анализа выявлены возможные сочетания непрерывно изменяющихся (нестационарных) параметров и диапазоны их изменения (табл.1).

Таблица 1

Изменение параметров при точении деталей ГТД

Технологический параметр	Диапазон изменения
Диаметр обработки, мм	80÷700
Длина обработки, мм	300÷1500
Толщина стенки, мм	3,0÷40
Скорость резания, м/мин.	10÷80
Глубина резания, мм	0,3÷5,0
Подача, мм/об	0,08÷0,4
Главный угол в плане, град.	15÷105
Вспомогательный угол в плане, град.	15÷105
Износ инструмента, мм	0÷0,8

При этом при изготовлении ответственных деталей ГТД (например, валов) необходимо обеспечить достаточно жесткие технические требования:

- шероховатость рабочих поверхностей Ra – $0,8 \div 1,6$ мкм;
- точность рабочих поверхностей – $6 \div 7$ квалитет;
- отклонение формы рабочих поверхностей – до $0,005$ мм;
- отклонение расположения рабочих поверхностей (допуск биения) – $0,01 \div 0,02$ мм;
- допуск соосности – $0,05$ мм.

Рассматривая переменные факторы и их возможные сочетания, можно сделать вывод, что неизменных во времени (стационарных) процессов механической обработки нет, так как износ инструмента при прочих постоянных условиях изменяется постоянно. Непостоянство этих факторов приводит к изменению температурно-силовых условий механической обработки, стружкообразования и других факторов, определяющих износ инструмента и его стойкость с одной стороны, а также производительность, себестоимость обработки, характеристики качества материала обработанной поверхности и точность выполнения операции, с другой.

Требования описания нестационарных процессов приводят к необходимости использования математических зависимостей (моделей) и введения количественных оценок для определения оптимальных режимов обработки при наличии ограничений.

1. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Жесткость упругой технологической системы или ее элементов характеризуется способностью сопротивляться приложенной нагрузке.

Деформация заготовки вала при обработке зависит от величины силы резания, длины вала и места приложения усилия. Обработка таких ответственных деталей, как вал компрессора или турбины ГТД должна осуществляться на многоцелевых станках с ЧПУ с возможностью независимого регулирования элементов режима

резания – это во-первых. Во-вторых, процесс необходимо осуществлять на режимах, обеспечивающих постоянное значение деформации заготовки, независимо от положения инструмента на обрабатываемой поверхности. Это условие вытекает из развития первого и заключается в разработке алгоритма и программы изменения условий резания, гарантирующих деформацию заготовки в пределах установленного допуска на деталь (рис. 1).

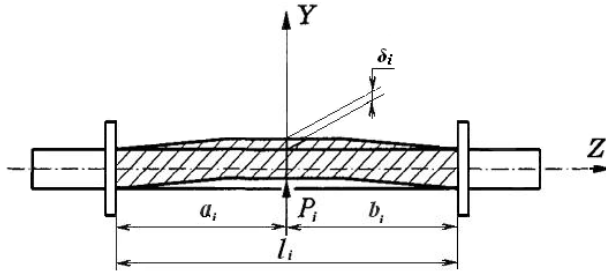


Рис. 1. Схема к расчету деформации вала

Величина прогиба вала под действием приложенной силы резания может быть определена:

$$\delta_i = \frac{P_i a_i^2 b_i}{6EJ_x} \sqrt{\frac{b_i}{2l_i + b_i}}, \quad (1)$$

где P_i – равнодействующая сила резания, Н; E – модуль упругости обрабатываемого материала, МПа; J_x – момент инерции площади поперечного сечения вала, м^4 ; a_i , b_i , l_i – линейные размеры, м.

Тангенциальную P_z и радиальную составляющую P_y силы резания можно определять по известным формулам, предложенным А. М. Розенбергом [5]:

$$P_z = 0,28Sk(S_i \cdot t \cdot K + l_p \cdot h_3), \quad (2)$$

$$P_y = 0,28Sk \left\{ S \cdot t \cdot K \cdot \text{tg}(\eta - \gamma) \cos(\varphi - \beta) + \frac{h_3}{f} [(l_p - S) \cos \varphi + S] \right\}. \quad (3)$$

Условные обозначения параметров и методика их определения представлены в работе [5].

2. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Современное состояние теории резания, применение автоматизированного многоцелевого оборудования, требования к различным показателям изготавливаемых деталей и другие условия предполагают, что основная информация, необходимая для эффективной реализации процессов обработки резанием в производстве, должна содержаться в виде математических моделей, полученных

статистическим обобщением опытных или расчетных данных. В настоящей работе используются модели, полученные методами регрессионного анализа в виде полиномов первого и второго порядка. В качестве входных управляемых параметров были приняты режимы обработки и геометрия инструмента, а в качестве выходных – характеристики стойкости, силы резания, глубина и степень наклепа, шероховатость обработанной поверхности, погрешность обработки, технологическая себестоимость и производительность. Допустимая область выбора технологических параметров механической обработки представлена в виде схемы на рис. 2.

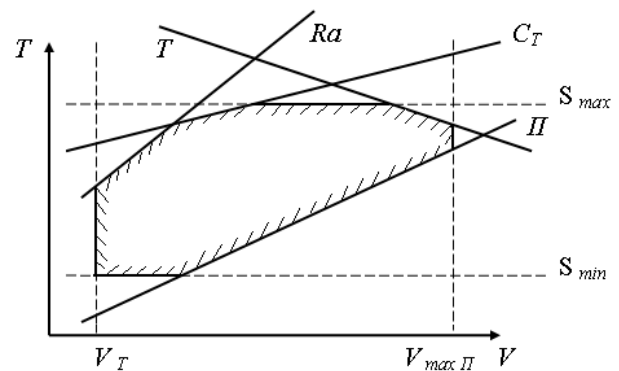


Рис. 2. Допустимая область выбора технологических параметров

Разработка моделей осуществлялась в производственных условиях при изготовлении валов из титанового сплава ВТ9 и жаропрочного сплава ХН73МБТЮ-ВД твердосплавными резцами ТК20SNMP, ТК25SNMP и ТК25SNMA. Полученные математические зависимости обрабатываемости исследованных материалов представлены в табл. 2.

Данные модели обрабатываемости получены в диапазоне изменения нестационарных условий обработки, соответствующих минимальной интенсивности износа инструмента и максимальной производительности обработки.

Погрешность обработки в условиях нестационарного резания зависит от жесткости элементов технологической системы. В настоящей работе рассмотрен один из элементов технологической системы – обрабатываемая заготовка. Силы резания при обработке являются фактором, определяющим погрешность размеров сложнофасонных деталей, имеющих значительную длину и малую толщину стенки. Необходимо обеспечить такие условия резания, при которых

погрешность профиля и размеров будут минимальными или стабильными по всей длине обрабатываемой поверхности. Силы резания при точении по принятой схеме обработки зависят от глубины, подачи, скорости резания.

Для реализации методики «управления» силами резания предложен алгоритм (рис. 3) и программа расчета режимов для каждой технологической зоны обработки [4]. В качестве параметра, изменение которого приводит к стабилизации деформации под действием сил резания, выбрана подача. Программа «управления» режимами резания реализована на станках MDW-20S. При разработке программы в качестве параметра оптимизации выбраны характеристики качества обработанной поверхности (Ra , $N\%$), остальные параметры, представленные в моделях (табл. 2), используются в качестве технологических ограничений.

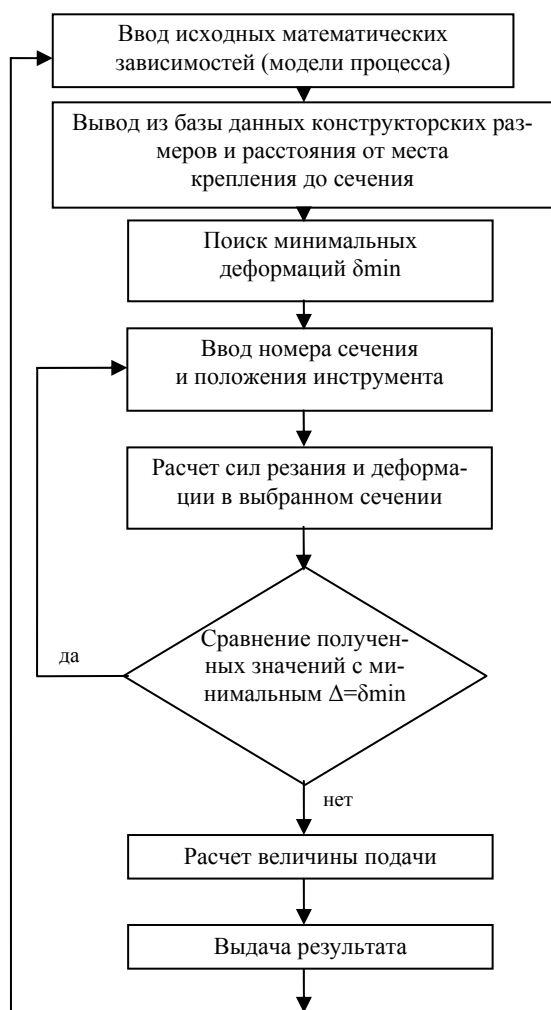


Рис. 3. Алгоритм работы программы управления силами резания

В отличие от существующих программ в работе контролируется кратность основного времени обработки той или иной поверхности вала и стойкости инструмента.

Применение разработанной методики и программы управления режимами резания в пределах каждой технологической зоны показывает, что, например, при обработке валов ГТД (рис. 4), обладающих переменной жесткостью, можно обеспечить достаточно стабильные характеристики качества материала поверхностного слоя и погрешность обработки (рис. 5).



Рис. 4. Вал средний

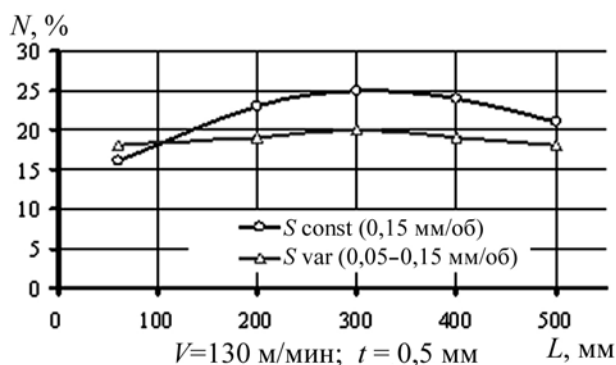
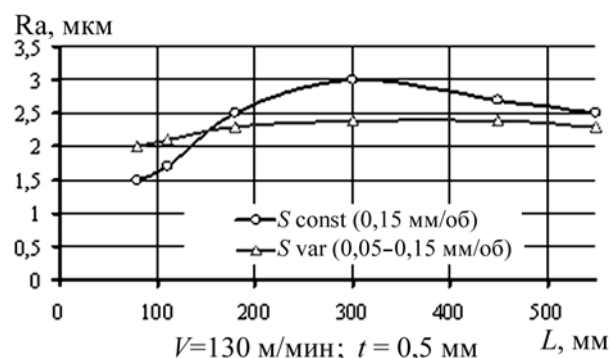


Рис. 5. Влияние подачи на шероховатость и степень упрочнения материала поверхностного слоя

Управление процессом резания снижает погрешность размеров на 15÷20%, позволяет получить более стабильную шероховатость (колебания 10÷15%) и уменьшает глубину и степень наклепа обработанной поверхности на 25÷30%.

Математические модели обрабатываемости сплавов ВТ6 и ХН73МБТЮ-ВД

$$\ln Y = C_0 + C_1 \ln V + C_2 \ln S + C_3 \ln t + C_4 \ln \delta$$

Выходные параметры	C_0	C_1	C_2	C_3	C_4
Титановый сплав ВТ9, резец ТК20SNMP					
T, мин.	6,42	-3,87	-2,01	-0,99	2,14
Ra, мкм	2,30	-0,21	0,78	0,15	0,31
C_r , руб.	3,16	0,73	0,07	0,31	-0,39
Π_{T1} , 1/мин.	-2,37	0,22	0,23	0,001	0,004
Δ , мкм	1,6	0,25	-0,031	0,036	0,12
N, %	8,66	-0,136	0,61	0,48	-0,022
hc, мкм	84,308	2,223	-4,095	-7,749	-9,095
Жаропрочный сплав ХН73МБТЮ-ВД, резец ТК25SNMA					
T, мин.	-29,17	-4,26	-0,72	-0,56	9,95
Ra, мкм	1,8	-0,33	0,54	0,027	0,197
C_r , руб.	15,69	0,42	-0,46	0,13	-2,82
Π_{T1} , 1/мин.	-2,81	0,38	0,39	0,006	0,027
Δ , мкм	1,12	0,14	-0,02	0,044	0,308
N, %	21,45	-0,74	-0,045	-0,453	-0,127
hc, мкм	138,65	-1,01	-0,081	-0,39	-0,026

ВЫВОДЫ

1. Полученные результаты показывают, что технологические условия обработки сложнофасонных валов являются нестационарными, а их точность зависит от жесткости элементов технологической системы.

2. Разработаны математические модели обрабатываемости жаропрочных и титановых сплавов, которые могут быть использованы для определения оптимальных условий резания с учетом технологических ограничений по точности обработки, производительности и себестоимости.

3. Разработана методика, алгоритм и программа управления режимами при тчении валов ГТД с целью стабилизации погрешности обработки. Полученные результаты показывают, что применение методики управления режимами в пределах каждой технологической зоны по длине вала обеспечивает более равномерную степень упрочнения материала поверхностного слоя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизация технологии изготовления газотурбинных авиационных двигателей / В. Ф. Безъязычный, В. Н. Крылов, В. А. Полетаев и др.; под ред. Безъязычного В. Ф. и Крылова В. Н. Ч. 1. М.: Машиностроение, 2005. 560 с.

2. Технология производства авиационных газотурбинных двигателей: учеб. пособие для вузов / Ю. С. Елисеев, А. Г. Бойцов, В. В. Крымов, Л. А. Хворостухин. М.: Машиностроение, 2003. 512 с.

3. Юрьев В. Л. Совершенствование технологических процессов нестационарной

механической обработки сложнофасонных деталей газотурбинных двигателей: учеб. пособие / УГАТУ Уфа, 2004. 132 с.

4. Коленченко О. В. Исследование влияния условий фрезерования на величину деформаций и характеристики качества обработанной поверхности // СТИН. 2010. № 5. С.32–36.

5. Розенберг А. М., Розенберг О. А. Механика пластического деформирования в процессах резания и деформирующего протягивания. Киев: Наукова думка, 1990. 320 с.

ОБ АВТОРЕ

Коленченко Ольга Вячеславовна, ст. преподаватель кафедры оборудования и технологии сварочного производства. Дипл. инж. (УАИ, 1986). Иссл. в обл. металлообработки.