

УДК 621.9.06 - 529: 621.7.044

В.Ф. Сорокин, д-р техн. наук,
И.А. Тернюк,
А.В. Беловол, канд. техн. наук,
Е.В. Шандыба, канд. пед. наук

УРОВНИ КОНЦЕНТРАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ МОНОКОЛЕС КОМПРЕССОРОВ И ТУРБИН ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Моноколеса компрессоров и турбин газотурбинных двигателей (ГТД) относятся к одним из самых сложных изделий двигателестроения, содержащих периодически повторяющиеся высокоточные поверхности двойной кривизны [1]. Их механическая обработка является весьма трудоемкой и во многом обуславливает высокую себестоимость изделий. Уровень концентрации технологического воздействия при механической обработке таких колес существенно влияет на производительность и энергоэффективность производства. Поэтому оптимизация этого уровня является важным фактором удешевления ГТД.

В работах [2–6] исследовано влияние концентрации технологического воздействия на производительность механической обработки, а также другие технико-экономические показатели процессов производства общемашиностроительных деталей и зубчатых колес.

В работах [7–11] рассмотрены различные аспекты технологии изготовления осевых и центробежных колес компрессоров и турбин ГТД и показано, что изготовление этого класса деталей возможно в технологических системах с высоким уровнем концентрации технологического воздействия, оснащенных многокоординатным оборудованием с числовым программным управлением.

Однако в общем виде вопросы классификации схем технологического воздействия и определения возможных уровней концентрации этого воздействия в опубликованных работах не рассмотрены.

Целью данной статьи является определение возможных уровней концентрации технологического воздействия при обработке моноколес компрессоров и турбин газотурбинных двигателей

Для решения задачи определения возможных уровней концентрации технологического воздействия воспользуемся методикой, изложенной в работах [4, 6, 12]. Выделим типовую иерархию процессов и их составляющих в соответствии с табл. 1.

На каждом из приведенных иерархических уровней может быть разная концентрация технологического воздействия.

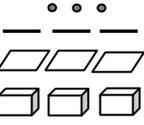
Путем последовательного перехода от минимальных геометрических образований в зоне технологического воздействия к максимальным, с учетом вариантов управления и возможности или целесообразности

применения в различных типах производства можно составить упорядоченное множество структурных схем методов механической обработки (табл. 2).

Таблица 1 – Типовая иерархия процессов и их составляющих

Иерархические уровни	Процесс или его составляющие
1	Производственный процесс
2	Технологический процесс
3	Операция
4	Переход
5	Ход, прием

Таблица 2 – Упорядоченное множество структурных геометрических схем методов механической обработки в автоматизированных производствах

Уровень концентрации технологического воздействия	Геометрические схемы технологического воздействия		Управление процессом при осуществлении метода: интегральное (И), дифференциальное (Д)	Применение в однономенклатурном (О) или многономенклатурном (М) производствах
	По Кошкину	Предложенные		
Точка	•	•	И	О
Группа точек	–	•••	$\frac{И}{Д}$	$\frac{О}{М}$
Линия	—	—	И	О
Группа линий	–	— — —	.	$\frac{О}{М}$
Поверхность			И	О
Группа поверхностей	–		$\frac{И}{Д}$	$\frac{О}{М}$
Объем			И	О
Группа объемов	–		$\frac{И}{Д}$	$\frac{О}{М}$
...
Комбинирование точек, линий, поверхностей и объемов	–		$\frac{И}{Д}$	$\frac{О}{М}$

Данное множество учитывает различия в геометрии деталей, входящих в множество объектов обработки, а также уровни концентрации технологического воздействия для одной детали, введенные Л.Н. Кошкиным [7]. Методы геометрического и кинематического воздействия, приведенные в табл. 2, упорядочены путем последовательного возрастания уровня концентрации технологического воздействия при применении способа за счет перехода от точки к группе точек, от линии к группе линий, от поверхности к группе поверхностей, от объема к группе объемов и использования их комбинаций [5]. Приняв за основу названия методов формообразования в соответствии с работой Коновалова Е.Г. [8], можно выделить следующие схемы технологического воздействия на уровне поверхности (односторонней) лопатки и составить соответствующие им функциональные модели:

– прерывистую:

$$\Pi_{p1}^{(1)} \rightarrow \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (d\mathcal{L}_i \times d\mathcal{L}_j); \quad (1)$$

– полупрерывистую:

$$\Pi_{p2}^{(1)} \rightarrow \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{\frac{n}{b}} (d\mathcal{L}_i \times d\mathcal{L}_j); \quad (2)$$

– единовременно-прерывистую:

$$\Pi_{p3}^{(1)} \rightarrow \sum_{i=1}^m (d\mathcal{L}_i \times \bigcap_{j=1}^n d\mathcal{L}_j); \quad (3)$$

– непрерывную:

$$\Pi_{p4}^{(1)} \rightarrow \sum_{j=1}^n (\bigcap_{i=1}^m d\mathcal{L}_i \times d\mathcal{L}_j); \quad (4)$$

– единовременно-непрерывную:

$$\Pi_{p5}^{(1)} \rightarrow \sum_{j=1}^{\frac{n}{b}} (\bigcap_{i=1}^m d\mathcal{L}_i \times b \cdot d\mathcal{L}_j); \quad (5)$$

– единовременную:

$$\Pi_{p6}^{(1)} \rightarrow (\bigcap_{i=1}^m d\mathcal{L}_i \times \bigcap_{j=1}^n d\mathcal{L}_j). \quad (6)$$

В уравнениях знак \sum обозначает последовательное воздействие, а знак \cap – параллельное (совмещенное) воздействие.

На уровне лопатки как совокупности поверхностей можно выделить две схемы:

– одностороннюю:

$$\Pi_{p1}^{(2)} \rightarrow \sum_{k=1}^2 \Pi_{pik}^{(1)}, \quad i \in \{1, 2, \dots, 6\}; \quad (7)$$

– двухстороннюю:

$$\Pi_{p2}^{(2)} \rightarrow \bigcap_{k=1}^2 \Pi_{pik}^{(1)}, \quad i \in \{1, 2, \dots, 6\}. \quad (8)$$

Каждая из сторон может обрабатываться по схемам в соответствии с любым из уравнений (1) – (6).

На уровне очередного законченного геометрического образования – моноколеса, образованного совокупностью поверхностей множества лопаток, можно выделить три схемы технологического воздействия:

– последовательную:

$$\Pi_{p1}^{(3)} \rightarrow \sum_{k=1}^z \Pi_{pik}^{(2)}, \quad i \in \{1, 2\}; \quad (9)$$

– частично параллельную:

$$\Pi_{p2}^{(3)} \rightarrow \sum_{k=1}^{\frac{z}{q}} (q \cdot \Pi_{pik}^{(2)}), \quad i \in \{1, 2\}; \quad (10)$$

– параллельную:

$$\Pi_{p3}^{(3)} \rightarrow z \cdot \Pi_{pi}^{(2)}, \quad i \in \{1, 2\}. \quad (11)$$

Комплекс лопаточных венцов может подвергаться воздействию по следующим схемам, образующим полную систему схем:

– не совмещенной:

$$\Pi_{p1}^{(4)} \rightarrow \sum_{f=1}^F (q \cdot \Pi_{pef}^{(3)}), \quad e \in \{1, 2, 3\}; \quad (12)$$

– частично совмещенной:

$$\Pi_{p2}^{(4)} \rightarrow \sum_{f=1}^{\frac{F}{k}} (k \cdot \Pi_{pef}^{(3)}), \quad e \in \{1, 2, 3\}; \quad (13)$$

– совмещенной:

$$\Pi_{p3}^{(4)} \rightarrow F \cdot \Pi_{pe}^{(3)}, \quad e \in \{1, 2, 3\}. \quad (14)$$

На уровне партии можно выделить схемы:

– однопозиционную:

$$\Pi_{p1}^{(5)} \rightarrow \sum_{\eta=1}^h \Pi_{px\eta}^{(4)}, \quad x \in \{1, 2, 3\}; \quad (15)$$

– двухпозиционную:

$$\Pi_{p2}^{(5)} \rightarrow \sum_{\eta=1}^{\frac{h}{2}} (2 \cdot \Pi_{px\eta}^{(4)}), \quad x \in \{1, 2, 3\}; \quad (16)$$

– многопозиционную:

$$\Pi_{p3}^{(5)} \rightarrow h \cdot \Pi_{px}^{(4)}, \quad x \in \{1, 2, 3\}. \quad (17)$$

Все множество партий может обрабатываться и контролироваться поочередно, частично одновременно и одновременно. Поэтому схемы технологического воздействия и их уравнения на этом уровне будут:

– поочередная:

$$\Pi_{p1}^{(6)} \rightarrow \sum_{z=1}^Q \Pi_{pyz}^{(5)}, \quad y \in \{1, 2, 3\}; \quad (18)$$

– частично одновременная:

$$\Pi_{p2}^{(6)} \rightarrow \sum_{z=1}^Q (t \cdot \Pi_{pyz}^{(5)}), \quad y \in \{1, 2, 3\}; \quad (19)$$

– одновременная:

$$\Pi_{p3}^{(6)} \rightarrow Q \cdot \Pi_{py}^{(5)}, \quad y \in \{1, 2, 3\}. \quad (20)$$

Выделенные схемы технологического воздействия можно классифицировать. Обозначим структуру класса $K = X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_4 \cdot X_5 \cdot X_6$, где X_i – числа, обозначающие вид схемы технологического воздействия на уровне единичной поверхности, лопатки в целом, венца, комплекса венцов, партии и группы партий соответственно.

Численные значения этих величин представлены в табл. 3. В этой таблице уровень соответствует перечисленным выше поверхностям и их совокупностям.

В приведенной классификации увеличение класса соответствует потенциальному росту производительности труда.

Выводы

При обработке моноколес компрессоров и турбин ГТД можно выделить шесть уровней концентрации технологического воздействия, приняв за основу геометрические и кинематические характеристики процесса формообразования.

Отличие способов формообразования проявляются в степени локализации технологического воздействия, последовательности обработки и степени непрерывности.

Степень локализации технологического воздействия определяется общими структурами схем методов обработки. Последовательность обработки зависит от числа одновременно обрабатываемых элементов объектов, а степень непрерывности – от системы организации процессов на верхних иерархических уровнях.

Таблица 3 – Классификация схем технологического воздействия

Уровень	Название схемы					
	Значение X:					
6	Поочередная $X_6 = 1$		Частично-одновременная $X_6 = 2$		Одновременная $X_6 = 3$	
5	Однопозиционная $X_5 = 1$		Двухпозиционная $X_5 = 2$		Многопозиционная $X_5 = 3$	
4	Не совмещенная $X_4 = 1$		Частично-совмещенная $X_4 = 2$		Совмещенная $X_4 = 3$	
3	Последовательная $X_3 = 1$		Частично-параллельная $X_3 = 2$		Параллельная $X_3 = 3$	
2	Односторонняя $X_2 = 1$			Двухсторонняя $X_2 = 2$		
1	Прерывистая $X_1 = 1$	Полупрерывистая $X_1 = 2$	Единовременно-прерывистая $X_1 = 3$	Непрерывная $X_1 = 4$	Единовременно-непрерывная $X_1 = 5$	Единовременная $X_1 = 6$

Разработанная классификация схем технологического воздействия может быть применена как средство конкретизации и направленного синтеза методов формообразования поверхностей лопаток моноколес компрессоров и турбин ГТД, в том числе – в системах автоматизированного проектирования технологических процессов.

Дальнейшее развитие выполненных исследований может происходить в направлении установления логико-математических зависимостей между классами схем технологического воздействия и показателями производительности обработки.

Список использованных источников

1. Богуслаев, В.А. К новейшим технологиям создания, производства, эксплуатации и восстановления газотурбинных двигателей [Текст] / В.А. Богуслаев // Вестник двигателестроения. – 2002. – № 1. – С. 6 – 10.
2. Сулов, А.Г. Научные основы технологии машиностроения [Текст] / А.Г. Сулов, А. М. Дальский. – М.: Машиностроение, 2002. – 684 с.
3. Никифоров, А.Д. Современные проблемы науки в области техно-

логии машиностроения [Текст] / А.Д. Никифоров. – М.: Высш. шк., 2006. – 392 с.

4. Тернюк, Н.Э. Основы комплексной оптимизации технологических систем для производства зубчатых колес: дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.08 / Тернюк Николай Эммануилович. – Х., 1983. – 433 с.

5. Сорокин, В.Ф. Направленный синтез гибких технологических систем высокой и сверхвысокой производительности [Текст] / В.Ф. Сорокин, Н.Э. Тернюк // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Вып. 3 (54). – Х., 2008. – С. 110 – 115.

6. Беловол, А.В. Обеспечение производительности многономенклатурных механообрабатывающих производств на основе синтеза структур технологических систем: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / Беловол Анна Владимировна. – Х., 2010. – 191 с.

7. Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик деталей ГТД. Лопатки компрессора и вентилятора [Текст] / В.А. Богуслаев, Ф.М. Муравченко, П.Д. Жеманюк и др. – Запорожье: Мотор Сич, 2003. – 396 с.

8. Автоматизация технологии изготовления газотурбинных авиационных двигателей [Текст] / В.Ф. Безъязычный, В.И. Крылов, В.А. Полетаев и др. – М.: Машиностроение, 2005. – 556 с.

9. Прогрессивные технологии изготовления центробежных колес ГТД [Текст] / Г.И. Пейчев, Э.В. Кондратюк, С.Д. Зиличихис и др. // Новые технологии, методы обработки и упрочнения деталей энергетических установок: вторая междунар. науч.-техн. конф., тезисы докл. – Запорожье: ЗНТУ, 2002. – С. 107 – 109.

10. Богуслаев, А.В. Высокоскоростное финишное фрезерование лопаток моноколес [Текст] / А.В. Богуслаев, А.Я. Качан, В.П. Карась // Вестник двигателестроения. – 2002. – № 1. – С. 110 – 111.

11. Сорокин, В.Ф. Формообразование неразвертывающихся поверхностей лопаток моноколес боковой поверхностью инструмента [Текст] / В.Ф. Сорокин // Авиационно-космическая техника и технология. – 2006. – № 9 (35). – С. 19 – 23.

12. Кошкин, Л.Н. Роторные и роторно-конвейерные линии [Текст] / Л.Н. Кошкин. – М.: Машиностроение, 1982. – 336 с.

13. Коновалов, Е.Г. Основы новых способов металлообработки [Текст] / Е.Г. Коновалов. – Мн.: Изд-во АН БССР, 1961. – 297 с.

Поступила в редакцию 16.12.2013.

*Рецензент: д-р техн. наук, проф. А.И. Долматов,
Национальный аэрокосмический университет
им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков.*