

жаровой трубы, коэффициенты гидравлических потерь и восстановления полного давления.

Показана возможность применения газозофазного приближения в стационарной постановке, обеспечивающей результаты моделирования, сопоставимые с результатами, которые получены по модели распыла и испарения жидкого топлива.

Наиболее целесообразным подходом при проектировании КС с вращающейся форсункой к моделированию газодинамических

процессов и процессов горения является стационарный подход с применением RNG $k-\varepsilon$ модели турбулентности, позволяющей корректировать эффекты закрутки потока, и модели ламинарных микропламён, что определяется, в первую очередь, возможностями вычислительных ресурсов. Для корректной реализации данного подхода требуется детальный механизм химических реакций горения керосина.

УДК 621.914.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРАЦИЙ ТВЁРДОСПЛАВНЫХ ФРЕЗ ПРИ ОБРАБОТКЕ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

©2016 М.Б. Сазонов, Л.В. Соловацкая

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

RESEARCH OF VIBRATIONS OF HARD-ALLOY MILLING CUTTERS AT TREATMENT OF TITANIC ALLOYS

Sazonov M.B., Solovatskaya L.V. (Samara National Research University, Samara, Russian Federation)

Have been examined reasons of vibrations appearance, and also influence of blank and instrument vibrations on capacity of hard-alloy end capping milling cutters at machining of blanks from titanic alloys. Have been described researches of vibrations influence on firmness of milling cutters, dependences of firmness on the parameters of the cutting mode. Has been presented the chart of dependence of milling cutters firmness at a treatment of titanic alloys. Have been concerned questions of beating points of milling cutters and methods of decline.

При изготовлении лопаток компрессора низкого и среднего давления газотурбинного двигателя большая доля операций механической обработки приходится на операции фрезерования спинки и корыта пера лопаток, а в ряде случаев и замковой части. Для обработки таких лопаток применяются твёрдосплавные концевые фрезы диаметром от 10 мм и выше. Задача повышения стойкости и работоспособности таких фрез является актуальной для современного производства.

Процесс фрезерования всегда сопровождается вибрациями, которые представляют собой вынужденные колебания в сочетании с автоколебаниями. Основными причинами вибраций являются периодическое врезание зубьев, изменение толщины среза по углу поворота фрезы, нелинейная характеристика доминирующей колебательной системы металлорежущего станка, процесса

резания и др. Наибольшее влияние на стойкость фрез оказывают автоколебания, которые происходят с частотой, немного превышающей частоту собственных колебаний системы инструмента. Эта частота определяется по формуле

$$f = \left(\frac{c}{m} \right)^{0.5},$$

где c - жёсткость системы; m - масса системы.

Величина частоты обычно находится в пределах $f = 300 \dots 700$ Гц.

Частота врезания зубьев f_e , Гц составляет

$$f_e = \frac{n \cdot z}{60},$$

n - частота вращения фрезы, об/мин; z - число зубьев фрезы.

Частота f_e в среднем составляет $f_e = 300 \dots 700$ Гц.

Одновременно с вибрациями инструмента возникают вибрации и в самой обрабатываемой заготовке. Амплитуда и частота вибраций заготовки определяется её жёсткостью, массой и демпфированием. Обычно интенсивность вибраций заготовки значительно меньше, чем инструмента. Также установлено, что увеличение амплитуды вибраций инструмента вызывает уменьшение вибраций в заготовке и наоборот. Тем не менее, следует отметить, что любые вибрации, возникающие в процессе резания, ведут к снижению стойкости режущего инструмента, ограничению параметров режима резания, уменьшению производительности обработки и качества обрабатываемых поверхностей.

Лишь только очень малые амплитуды вибраций порядка $A = 2...5$ мкм могут, наоборот вызвать увеличение стойкости инструмента, что связано с уменьшением сил трения в таких условиях резания. Но при фрезеровании такие амплитуды маловероятны.

Исследованиями установлено, что вибрации при фрезеровании вызывают существенное снижение стойкости инструмента, которое составляет от 2 до 6 раз и более в зависимости от действующих амплитуд и частот вибраций.

На рис. 1 представлены зависимости стойкости концевых и дисковых фрез, оснащённых пластинами из твёрдого сплава ВК8 при обработке титановых сплавов ВТ20 и ОТ4.

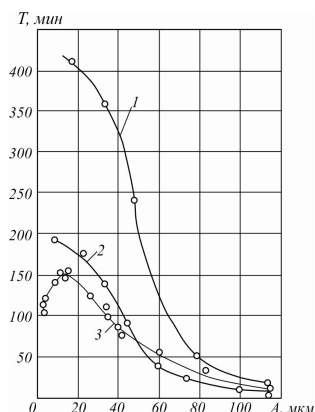


Рис. 1. Графики зависимостей стойкости фрез при обработке титановых сплавов:

1 – дисковая фреза ВК8; обрабатываемый материал – ОТ4; 2 – концевая фреза ВК8; $z = 5$; $\omega = 5^\circ$; материал - ВТ20; 3 – концевая фреза ВК8; $z = 4$; $\omega = 20^\circ$; материал - ВТ20

Из рассмотрения графиков видно, что увеличение амплитуд вибраций ведёт к монотонному уменьшению стойкости фрез и только в области очень малых амплитуд имеется перегиб зависимости.

Зависимость стойкости инструмента от амплитуды вибраций хорошо аппроксимируется уравнениями вида

$$T = QA^m e^{-n},$$

где T – стойкость инструмента, мин; A – амплитуда вибраций, мкм; Q – постоянные коэффициенты; m, n – зависящие от рода обрабатываемого и инструментального материалов и условий резания.

В процессе фрезерования всегда имеет место биение зубьев фрез. Биение зубьев измеряется в пределах одного оборота фрезы. Причинами биения зубьев являются неточность заточки зубьев фрезы, погрешности расположения установочных поверхностей фрезы и шпинделя (переходных втулок) станка относительно оси вращения и др. Обычно биение зубьев составляет $0,03...0,06$ мм. Однако вибрации, возникающие в процессе резания и происходящие с частотой, близкой к собственной частоте доминирующей колебательной системы, также происходят с биениями и существенно увеличивают биение зубьев. В результате часть зубьев фрезы испытывает нерасчётные толщины среза и быстро разрушаются, после чего такие же условия работы накладываются на остальные зубья. Стойкость фрезы резко уменьшается. В наибольшей степени вредное воздействие биения проявляется при соизмеримых величинах толщин среза и биения зубьев, т.е. при малых подачах, незначительных при фрезеровании труднообрабатываемых материалов, в том числе титановых сплавов.

Таким образом, чтобы увеличить стойкость фрезы в реальных производственных условиях, необходимо добиться минимального биения зубьев. Это можно сделать, если производить заточку фрезы по задней поверхности зубьев непосредственно на рабочем месте после установки фрезы в шпинделе фрезерного станка.