

УДК 621.914.1

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ

© 2013 А.В. Савилов, А.С. Пярых, С.А. Тимофеев

Национальный исследовательский
Иркутский государственный технический университет

Поступила в редакцию 29.11.2013

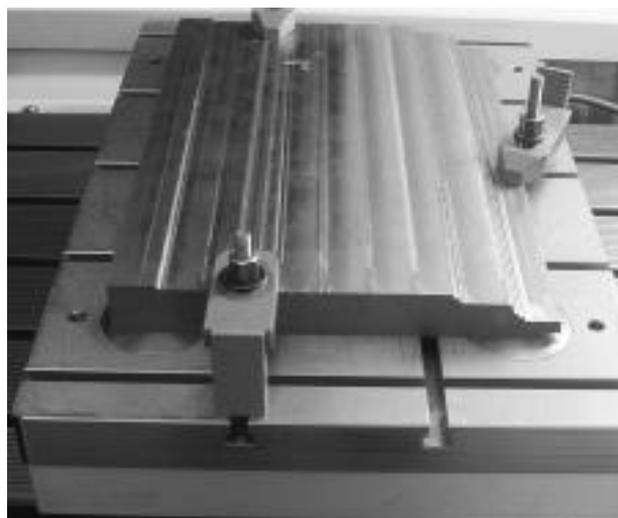
Приведены результаты научно-исследовательских и технологических работ по определению оптимальных режимов резания для высокопроизводительного фрезерования титанового сплава BT22 фрезами с встроенным демпфером с использованием модального и динамометрического анализа.

Ключевые слова: *высокопроизводительное фрезерование, фреза, модальный анализ, динамометр, вибрация*

Анализ состояния дел в области механообработки на отечественных предприятиях машиностроения показывает общие проблемы, стоящие перед отраслью. Внедрение современных обрабатывающих центров и прогрессивного режущего и вспомогательного инструмента ведущих мировых производителей позволили резко повысить технологический уровень производства. В результате этого на предприятиях-лидерах произошло снижение машинного времени обработки и трудоёмкости изготовления деталей в 1,5-5 раз при одновременном повышении качества и сложности изготавливаемых деталей [1, 2]. Однако это не позволило достичь мирового уровня производительности в металлообработке. Основными причинами являются: выбор неоптимальных режущих и вспомогательных инструментов и назначение неоптимальных режимов обработки. Как показывает мировой опыт, выбор инструмента и назначение режимов резания осуществляется по критерию максимальной производительности для конкретной технологической системы и с учётом экономически приемлемой стойкости инструмента. Это, в свою очередь, требует освоения и внедрения наукоемких технологий.

Рассмотрим применяемые для исследования и оптимизации процессов механообработки методы модального и динамометрического анализа [3, 4]. Применение этих методов проиллюстрируем на примере фрезы со сменными многогранными пластинами и встроенным демпфером R390D-020C5-11L125, Sandvik Coromant. Эти

фрезы позволяют проводить обработку в труднодоступных местах деталей с большим вылетом инструмента.



а)



б)

Рис. 1. Динамометры фирмы Kistler: а) – динамометрическая платформа 9253B23 с заготовкой; б) – ротационный динамометр 9123CQ05

Савилов Андрей Владиславович, кандидат технических наук, доцент. E-mail: savilov_av@irkut.ru; saw@istu.edu

Пярых Алексей Сергеевич, аспирант

Тимофеев Сергей Александрович, аспирант

Динамометрический анализ используется для измерения проекций сил резания при механообработке. Результаты измерения применяются при определении оптимальных конструктивных и геометрических параметров режущих инструментов, а также режимов резания и стратегий обработки, обеспечивающих минимальный расход энергии на удаление единицы объема материала. Для этой цели применяются динамометры типа стационарных платформ (рис. 1а) и ротационные динамометры (рис. 1б).

На рис. 2 приведены результаты измерения проекций сил резания при определении режимов обработки фрезой R390D-020C5-11L125, оснащенной сменными пластинами R390-11 T3 31 M-PM S30T, заготовки из титанового сплава BT22 на фрезерном 5-и координатном обрабатывающем центре DMU80P duoBlock. Анализ приведенных зависимостей позволил установить влияние параметров обработки на силы резания и выбрать оптимальные режимы резания для определенной схемы обработки. В частности, увеличение скорости резания в меньшей степени приводит к увеличению сил резания, что стимулирует применение более износостойких сплавов и покрытий для сменных пластин. Полученные результаты согласуются с теоретическими и практическими данными, приведенными в трудах ряда авторов [5, 6].

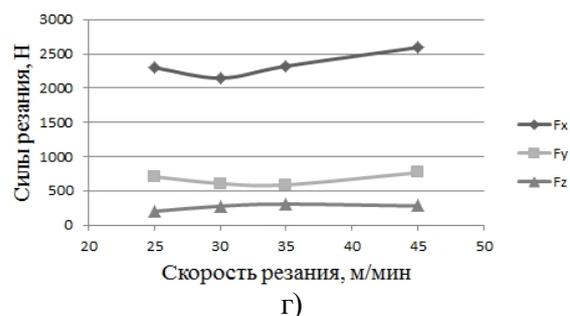
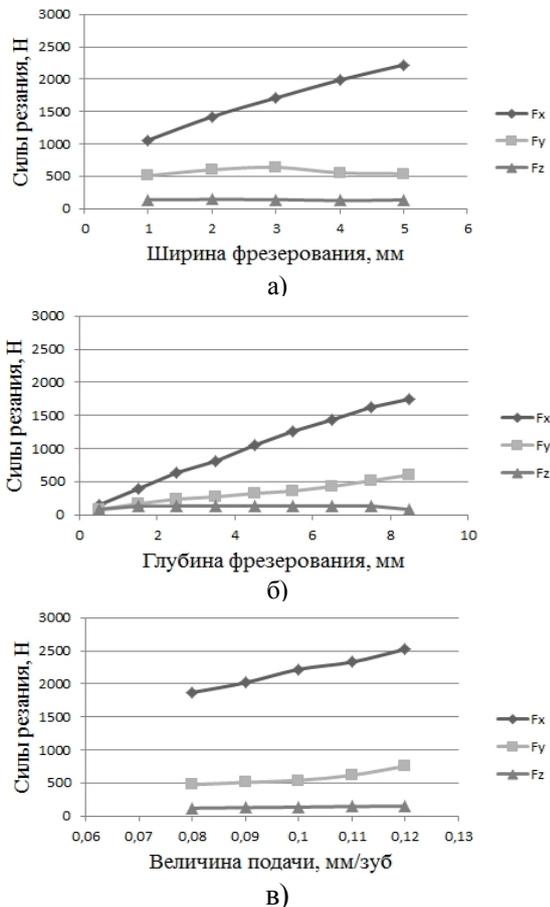


Рис. 2. Графики зависимостей сил резания от: а) радиальной глубины резания a_e ($a_p=10$ мм, $V_c=40$ м/мин, $F_z=0,1$ мм/зуб); б) осевой глубины резания a_p ($a_e=10$ мм, $V_c=40$ м/мин, $F_z=0,1$ мм/зуб); в) подачи F_z ($a_p=10$ мм, $a_e=5$ мм, $V_c=40$ м/мин); г) скорости резания V_c ($a_p=10$ мм, $a_e=5$ мм, $F_z=0,1$ мм/зуб)

Следующим способом исследования инструментальной наладки является ее модальный анализ, основанный на измерении собственных частот колебаний технологической системы с помощью так называемого «Таре»-теста. Цель анализа – определение областей стабильного резания представляющих собой диапазоны частот вращения шпинделя, на которых обеспечивается безвибрационный процесс резания, что позволяет увеличить производительность и стойкость инструмента. Данный тест выполняется с использованием специального аппаратно-программного комплекса MAL CutPro. При проведении теста вибрации инструментальной наладки, возбуждаемые специальным молоточком, фиксируются акселерометрами, закреплёнными на режущей части инструмента (рис. 3).



Рис. 3. Модальный анализ инструментальной наладки

Результатом измерений является математическая модель наладки, содержащая ее основные вибрационные характеристики. Такая модель, рассчитанная для исследуемой наладки на базе фрезы R390D-020C5-11L125, показана на рис. 4, а её характеристики приведены в табл. 1. Полученная математическая модель позволяет охарактеризовать поведение технологической системы при резании [3]. Например, для исследуемой наладки характерны следующие особенности:

- частота собственных колебаний фрезы, на которой возможны возникновения резонансных колебаний $\omega_n=1152$ Гц, что значительно выше, чем реальная частота входа зуба фрезы в материал при максимальной скорости резания $V_c=60$ м/мин ($F_{фр}=31,8$ Гц);

- коэффициент демпфирования фрезы R390D-020C5-11L125 на самой низкой резонансной частоте составляет 4,218%, что примерно в 10 раз выше, чем у стандартных фрез без встроенного демпфера типа R390-020C5-11L.

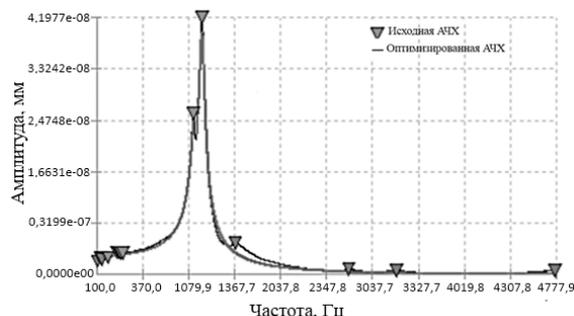


Рис. 4. Математическая модель инструментальной наладки

Таблица 1. Модальные характеристики математической модели

Мода	Вид	Частота, Гц	Коэффициент демпфирования, %	Остаток (Re), м/Н	Остаток (Im), м/Н	Модальная жесткость, Н/м	Масса, кг
1	N/A	198,8244	4,218	-2,6519E-07	1,9147E-06	-3,2651E+08	-209,2182
2	N/A	314,1772	0,164	3,7982E-07	9,3720E-08	-1,0532E+10	-2702,6041
3	N/A	335,4777	1,043	2,2989E-06	4,0954E-07	-2,5736E+09	-579,2358
4	N/A	356,6281	0,675	1,0941E-06	7,5717E-07	-1,4797E+09	-294,7079
5	N/A	377,6876	0,241	3,2293E-07	2,9097E-07	-4,0780E+09	-724,1320
6	N/A	1152,8044	3,363	1,0061E-04	-3,2624E-04	1,1108E+07	0,2117
7	N/A	1225,8008	2,625	-2,3944E-05	-6,8512E-04	5,6191E+06	0,0949

На базе полученной математической модели модуль MAL CutPro позволяет рассчитать частоты вращения шпинделя, на которых вибрации будут минимальны. Такие частоты названы областями стабильного резания. На рис. 5 показана зависимость осевой глубины резания от частоты вращения шпинделя при заданной радиальной глубине и подаче для процесса обработки сплава ВТ22 фрезой R390D-020C5-11L125.

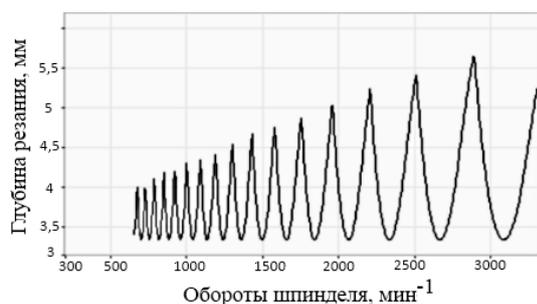
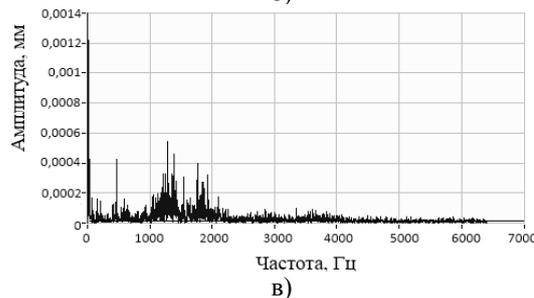
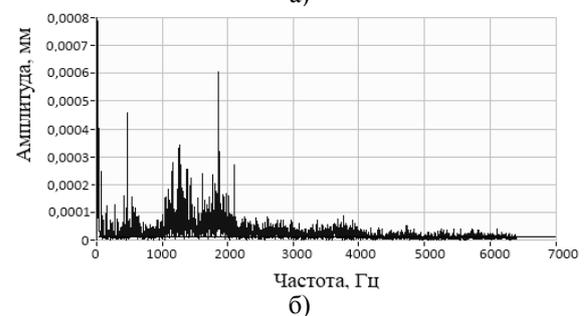
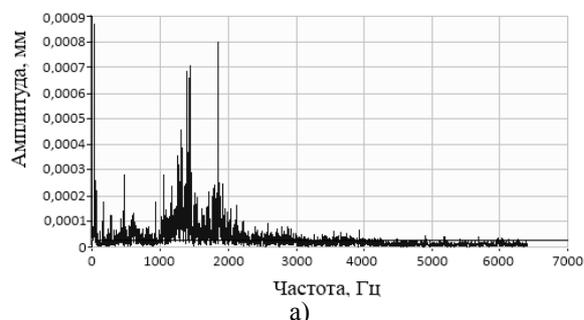


Рис. 5. Диаграмма областей стабильного резания для инструментальной наладки на базе фрезы R390D-020C5-11L125

На приведенной диаграмме области стабильного резания расположены в районе максимальных значений глубины резания. Из диаграммы следует, что прогнозирование процесса резания начинается с частоты вращения шпинделя 600 об/мин, однако проведенные ранее исследования показали, что фактическая глубина резания в области низких частот вра-

щения (≤ 1000 об/мин) выше, чем расчётная, благодаря эффекту «технологического демпфирования» [3].



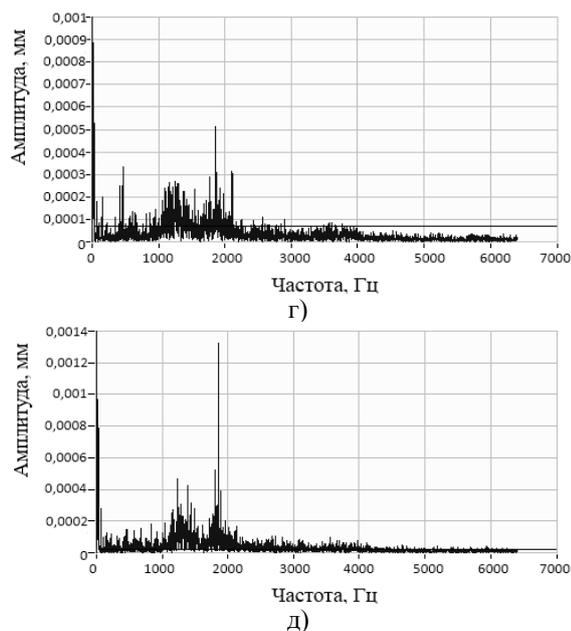


Рис. 6. Протоколы измерения вибраций при обработке с режимами резания $a_e=5\text{ мм}$, $a_p=10\text{ мм}$, $V_c=40\text{ м/мин}$, $n=636\text{ об/мин}$ с подачами на зуб: а) $F_z=0,08\text{ мм/зуб}$; б) $F_z=0,09\text{ мм/зуб}$; в) $F_z=0,1\text{ мм/зуб}$. г) $F_z=0,11\text{ мм/зуб}$; д) $F_z=0,12\text{ мм/зуб}$

На рис. 6 приведены диаграммы, характеризующие вибрации исследуемой фрезы при изменении подачи на зуб. При этом на рис. 6в и 6г показана стабильная обработка, а на рисунках 6а, 6б и 6д видны вибрации, возникающие на частоте 1857 Гц. Из рис. 6 следует, что снижение подачи на зуб, часто используемое в условиях реального производстве для борьбы с вибрациями, не обеспечивает достижения желаемого эффекта. На режимах резания, соответствующих рис. 6в и 6г, достигнут наиболее стабильный процесс фрезерования без потери производительности.

Выводы: практическое применение рассмотренных методов в механообрабатывающих цехах Иркутского авиационного завода – филиала «Корпорация «Иркут» позволило повысить производительность обработки для выбранной номенклатуры деталей в среднем на 30-50% [1].

Представленная в рамках данной статьи работа проводится при финансовой поддержке правительства Российской Федерации (Минобрнауки России) по комплексному проекту 2012-218-03-120 «Автоматизация и повышение эффективности процессов изготовления и подготовки производства изделий авиатехники нового поколения на базе Научно-производственной корпорации «Иркут» с научным сопровождением Иркутского государственного технического университета» согласно постановлению Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. №и218.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Савилов, А.В. Оптимизация процессов механообработки на основе модального и динамометрического анализа / А.В. Савилов и др. // Наука и технологии в промышленности. 2013. №1-2. С. 42-46.
2. Савилов, А.В. Современное состояние производства высокопроизводительного режущего инструмента из порошковых быстрорежущих сталей и твердых сплавов / А.В. Савилов и др. // Вестник ИрГТУ. 2013. №6. С. 26-33.
3. Altintas, Y. Manufacturing Automation: Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations, and CNC Design. – Cambridge University Press, 2012, P. ?.
4. Budak, E. Analytical Prediction of Chatter Stability Conditions for Multi-Degree of Systems in Milling. Part I: Modeling, Part II: Applications / E. Budak, Y. Altintas // Transactions of ASME, Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control. 1998. Vol. 120. Pp. 22-36.
5. Макаров, А.Д. Оптимизация процессов резания. – М.: Машиностроение 1976. 270 с.
6. Грановский, Г.И. Резание металлов: учебник для машиностр. и приборостр. спец. вузов / Г.И. Грановский, В.Г. Грановский. – М.: Высш. шк., 1985. 304 с.

THE MODERN METHODS OF OPTIMIZATION THE HIGH PRODUCTIVE MILLING

© 2013 A.V. Savilov, A.S. Pyatykh, S.A. Timofeev
National Research Irkutsk State Technical University

Results of research and technological works on definition the optimum cutting modes for high productive milling of BT22 titanic alloy by mills with the firmware damper, using modal and dynamometer analysis are given.

Key words: high productive milling, mill, modal analysis, dynamometer, vibration

Andrey Savilov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor. E-mail: savilov_av@irkut.ru; saw@istu.edu;
Aleksey Pyatykh, Post-graduate Student;
Sergey Timofeev, Post-graduate Student