

УДК 621.931

В.И. Малыгин, Н.В. Лобанов, Л.В. Кремлева

Филиал «Севмашвтуз» С.-Петербургского государственного морского
технического университета

Малыгин Владимир Иванович родился в 1952 г., окончил в 1979 г. Университет Дружбы народов им. П. Лумумбы, доктор технических наук, профессор, действительный член АИН РФ, проректор по научной работе филиала «Севмашвтуз» С.-Петербургского государственного морского технического университета. Имеет более 150 научных работ в области математического моделирования физических процессов при резании.

E-mail: rector@sevmashvtuz.edu.ru



Лобанов Николай Владимирович родился в 1966 г., окончил в 1988 г. Севмашвтуз, кандидат технических наук, доцент кафедры подъемно-транспортного и технологического оборудования филиала «Севмашвтуз» С.-Петербургского государственного морского технического университета. Имеет более 15 научных работ в области математического моделирования физических процессов при резании, прикладной механики и лесопильного оборудования.

E-mail: rector@sevmashvtuz.edu.ru



Кремлева Людмила Викторовна родилась в 1967 г., окончила в 1989 г. Севмашвтуз, кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой автоматизированных систем технической подготовки производства филиала «Севмашвтуз» С.-Петербургского государственного морского технического университета. Имеет около 50 научных работ в области математического моделирования физических процессов при резании и автоматизации проектирования средств технологического оснащения.

E-mail: rector@sevmashvtuz.edu.ru

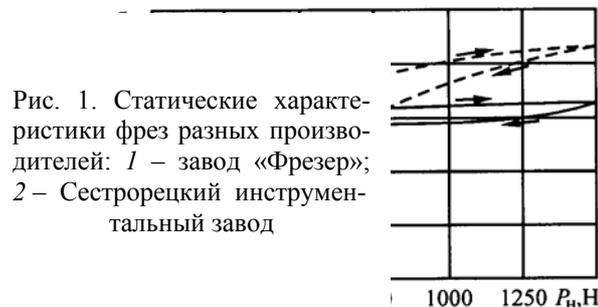
МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ И ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ДЕРЕВОРЕЖУЩИХ ФРЕЗ ПРИ СТЕНДОВОМ И МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ. III. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ НА ДИНАМИЧЕСКОЕ КАЧЕСТВО СБОРНЫХ ФРЕЗ ПРИ СТЕНДОВОМ МОДЕЛИРОВАНИИ

Приведены результаты исследований состояния сборного режущего инструмента (на примере сборных фрез) при стендовом (неразрушающем) моделировании физических процессов резания.

Ключевые слова: сборный инструмент, фрезы, вибрации, статические и частотные характеристики, фаза, динамика, адмитанс, импеданс, жесткость, податливость.

Анализ полученных нами ранее результатов показал, что разработанные методы и технические средства позволяют решать задачу выбора конструкций сборных фрез неразрушающими экспресс-методами без трудоемких и дорогостоящих опытов с резанием. В то же время «чистые» лабо-

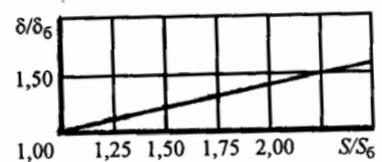
раторные испытания, когда условия эксперимента дают возможность оценить влияние какого-либо одного параметра и практически исключают влияние других, трудно реализуемы в процессе испытаний промышленно выпускаемых стандартных фрез. При оценке качества металлорежущих фрез установлено, что даже фрезы, выпускаемые в соответствии с одним и тем же ГОСТ разными предприятиями при жестком техническом контроле, существенно отличаются своими характеристиками. В качестве примера на рис. 1 приведены статические характеристики фрез конструкции ВНИИинструмент (ГОСТ 22085–76) Сестрорецкого и Московского («Фрезер») инструментальных заводов, свидетельствующие о существенной разнице в форме и характере зависимостей «нагружающая сила – линейное смещение».



Таким образом, становится актуальным поиск коррекционных решений, позволяющих осуществлять сравнительные испытания реальных стандартных фрез посредством введения коэффициентов коррекции для различных конструктивных и технологических показателей. С этой целью исследовали влияние конструктивных и технологических параметров на статические и динамические характеристики сборных дереворежущих фрез [1–3].

В рамках данной работы решали следующие задачи. Во-первых, оценивали чувствительность разработанных способов, технических средств и методик исследования в широком диапазоне изменения конструктивных и технологических параметров (способ крепления режущих элементов (ножи, пластины), их размеры и форма, шероховатость опорных поверхностей и их отклонение от плоскостности, твердость, влияние дополнительных стыков при кассетной установке режущих элементов). Во-вторых, оценивали предельные значения статической и динамической податливостей различных узлов крепления режущих элементов, что важно при разработке математической модели сборной фрезы и дальнейшем совершенствовании методик исследования.

Статическую податливость изучали в соответствии с методикой [4]. В процессе испытаний, при плавном изменении нагружающей силы от 0 до



500 Н, регистрировали смещение восьми точек измерительного креста с дальнейшим пересчетом их в смещения вершины режущей пластины в направлении координатных осей и углов поворота режущей пластины вокруг них.

По результатам исследований влияния размера опорной поверхности режущей пластины на статическую податливость в направлении главной составляющей силы резания OZ построена зависимость, позволяющая в процентах оценить изменение статической жесткости от увеличения площади опорной поверхности режущей пластины по отношению к выбранной в качестве базовой (рис. 2). В нашем случае в качестве базовой принята пластина квадратной формы 14×14 мм.

Для поправочного коэффициента на изменение статической податливости от изменения площади опорной поверхности режущей пластины в первом приближении можно использовать линейную зависимость

$$k_1 = 0,63 + 0,37(S/S_6), \quad (1)$$

где S/S_6 – отношение площадей опорной поверхности узла крепления с произвольной (рассматриваемой) режущей пластиной и с базовой пластиной.

На рис. 3 приведены амплитудно-частотные характеристики одного конструктивного исполнения узлов крепления режущих пластин (диаметр 3,6 и 7,0 мм) из используемого в деревообработке композита 01 (Эльбор),

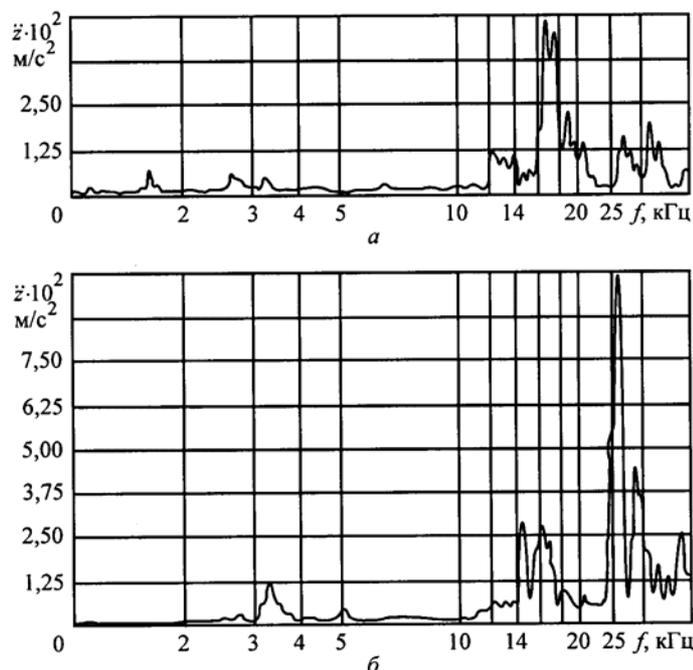


Рис. 3. Амплитудно-частотные характеристики узлов крепления режущих пластин из Эльбора: *a* – диаметр 3,6 мм; *б* – 7,0 мм

которые свидетельствуют в пользу узлов крепления с меньшими размерами пластин. В этом случае поправочные коэффициенты по критериям амплитуд виброскоростей и виброускорений могут быть определены из графиков (рис. 4) или по следующим линейным зависимостям:

$$k_2 = 0,7 + 0,3(S / S_6); \quad (2)$$

$$k_3 = 0,033 + 1,033(S / S_6). \quad (3)$$

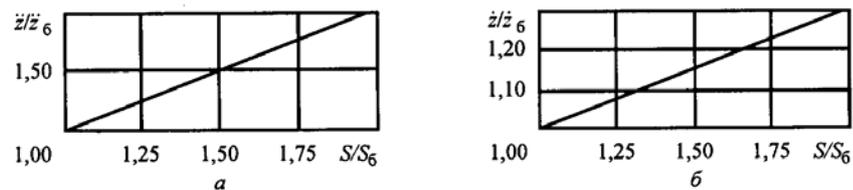
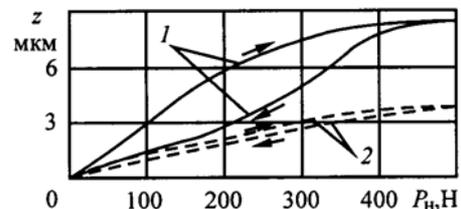


Рис. 4. Зависимости виброускорений (а) и виброскоростей (б) от относительной площади опорной поверхности режущей пластины

Влияние отклонений формы опорной поверхности режущей пластины от плоскостности оценивали на серийно выпускаемых твердосплавных пластинах из сплава ВК8 по ГОСТ 24253–80 SEGN-140416. Исследования показали, что неплоскостность опорной поверхности до 5 мкм приводит лишь к незначительным изменениям статической податливости для всех

Рис. 5. Статическая жесткость узла крепления при кассетной (1) и непосредственной (2) установке режущей пластины в корпус



видов рельефа. Увеличение отклонения от плоскостности до 7 мкм снижает жесткость узла крепления режущей пластины в 1,4–1,5 раза и увеличивает динамическую податливость. К сожалению, этот фактор трудно контролировать и учитывать в производственных условиях, в связи с чем введение поправочного коэффициента на отклонение опорной поверхности режущей пластины от плоскостности желательно, но трудно реализуемо.

Изучение влияния количества стыков в конструкции узла крепления режущей пластины на его статическую податливость проводили, сравнивая два варианта конструктивного исполнения крепления режущей пластины ($14 \times 14 \times 2$ мм) винтом через центральное тороидальное отверстие в едином корпусе экспериментальной фрезы [4]. В первом случае пластину устанавливали непосредственно в корпусе, во втором – в кассете, которую крепили в корпусе. Кассетный вариант позволяет менять различные по геометрии режущие пластины в одном корпусе.

Результаты испытаний, представленные на рис. 5, показывают, что введение дополнительного элемента (кассеты) приводит к значительному

увеличению статической податливости. При этом следует отметить, что ширина и площадь петли гистерезиса свидетельствуют о большей демпфирующей способности кассетного узла крепления. Подтверждением тому служит сравнение работы вышеперечисленных узлов крепления при динамических испытаниях по амплитудно-частотным характеристикам механической подвижности – адмитансу h (рис. 6). И в том, и в другом случае величина начального безрезонансного уровня характеристик свидетельствует о лучшей демпфирующей способности кассетного узла крепления режущей пластины. Это нашло подтверждение и при сравнительных испытаниях стандартных фрез F2010 фирмы «Valter Novex» и AR1006 фирмы «Heinlein» по амплитудно-частотным характеристикам адмитансов (рис. 7).

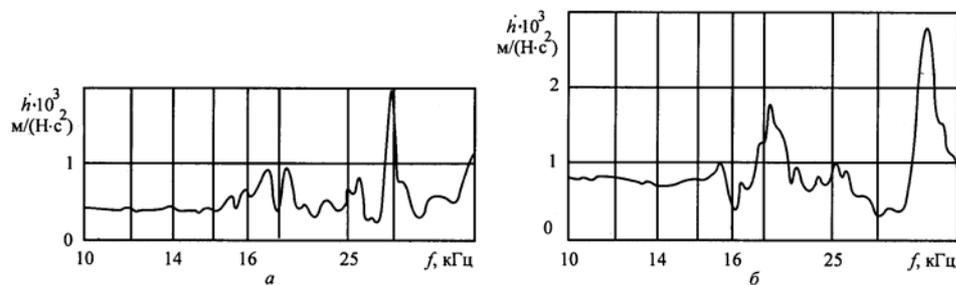


Рис. 6. Амплитудно-частотные характеристики механической подвижности узлов крепления при кассетной (а) и непосредственной (б) установке режущей пластины в корпус

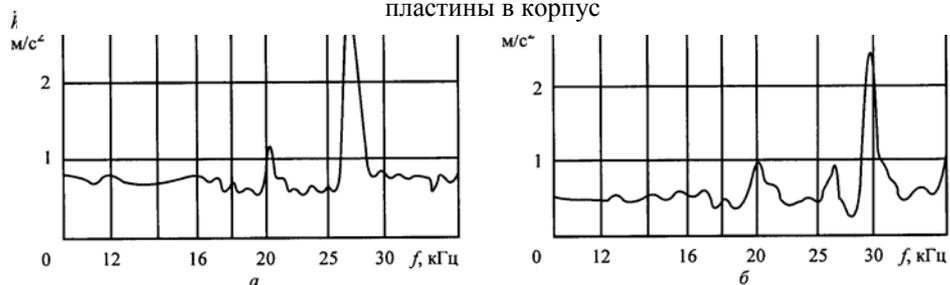
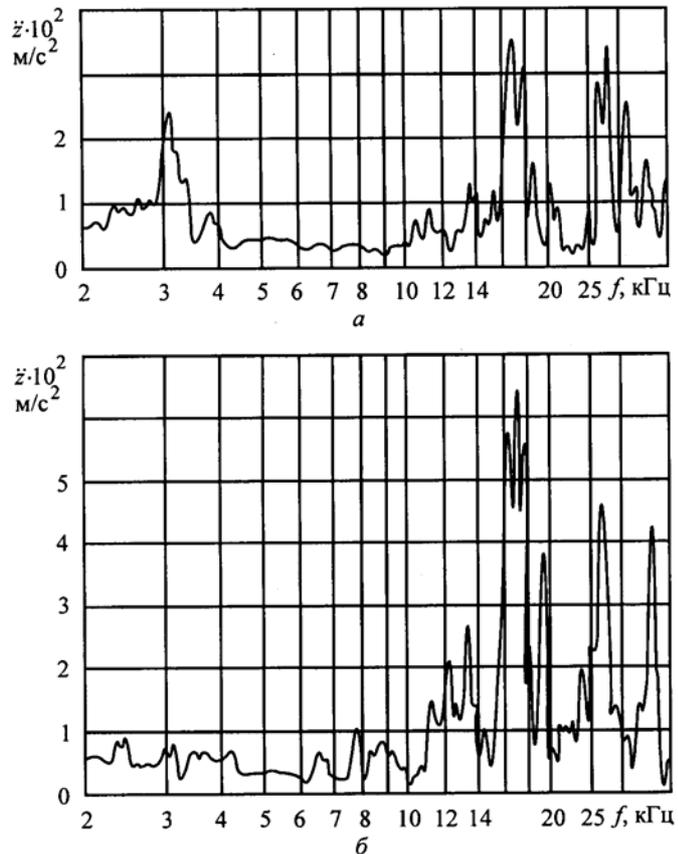


Рис. 7. Амплитудно-частотные характеристики адмитансов h стандартных фрез: а – F2010 «Valter Novex»; б – AR1006 «Heinlein»

В том случае, когда статические и динамические характеристики противоречивы, выбор конструктивного исполнения фрезы следует производить исходя из поставленной цели. С позиций качества обработанной поверхности предпочтение следует отдавать способу крепления ножа или режущей пластины непосредственно в корпусе, а с позиций увеличения периода стойкости – кассетной установке режущего элемента.

Рис. 8. Амплитудно-частотные характеристики виброускорений узлов крепления режущих пластин шлифованными (а) и фрезерованными (б) опорными поверхностями ($P_{\text{const}} = 100 \text{ Н}$): а – $Ra = 0,25 \text{ мкм}$, б – $2,5 \text{ мкм}$



Можно также ввести поправочный коэффициент, учитывающий влияние шероховатости опорной поверхности корпуса по динамическим характеристикам узла крепления режущей пластины. На это указывают результаты сравнительных испытаний узлов крепления со шлифованными (шероховатость по шкале $Ra = 0,25 \text{ мкм}$) и фрезерованными ($2,50 \text{ мкм}$) опорными поверхностями, представленные на рис. 8. Влияние шероховатости на амплитуды виброускорений в этом случае может быть определено в первом приближении по следующим линейным зависимостям:

$$k_4 = 0,88 + 0,46Ra; \quad (4)$$

$$k_4 = 0,89 + 0,44Ra; \quad (5)$$

где Ra – шероховатость по шкале Ra , мкм.

В общем случае комплексный коэффициент приведения тех или иных характеристик можно выразить произведением коэффициентов:

$$k = \prod_{i=1}^n k_i.$$

Выводы

1. Разработанные методы и технические средства позволяют дать заключение о качестве сборных фрез без проведения опытов с резанием.

2. Полученные результаты свидетельствуют, что разработанные методы и технические средства обладают высокой чувствительностью к конструктивным различиям и качеству изготовления элементов конструкций сборных фрез.

3. Установлено, что тангенциальное расположение режущей пластины снижает динамическую податливость узла ее крепления до 3 раз; снижение шероховатости опорной поверхности корпуса под режущей пластиной от 2,50 до 0,25 мкм позволяет снизить динамическую податливость примерно в 2 раза; увеличение в 2 раза площади опорной поверхности режущей пластины повышает механическую подвижность узла ее крепления примерно в 2 раза, механическую инертность в 1,3 раза. Учет указанных результатов на стадии проектирования сборных фрез приводит к повышению их качества.

4. Установлены поправочные коэффициенты на статическую и динамическую податливость сборных фрез, позволяющие приводить конструкции, отличающиеся по своим параметрам, к единой, принятой за эталонную.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Малыгин, В.И.* Зависимость качества сборных фрез от их конструктивных особенностей [Текст] / В.И. Малыгин, П.В. Перфильев, М.П. Худяков // Опыт применения прогрессивной технологии механообработки и сборки. – Л.: ЛДНТН, 1990. – С. 62–66.

2. *Малыгин, В.И.* Зависимость работоспособности сборного режущего инструмента от его спектральных характеристик [Текст] / В.И. Малыгин, А.Д. Шустиков // Вибрация и вибродиагностика, проблемы стандартизации: тез. докл. II Всесоюз. НТК. – Горький, 1988. – С. 135–136.

3. *Малыгин, В.И.* Методы и технические средства комплексной диагностики инструмента и оптимального режима резания [Текст] / В.И. Малыгин. – М.: МГТУ «Станкин», 1994. – 40 с.

4. *Малыгин, В.И.* Методы оптимизации и оценки качества дереворежущих фрез при стендовом и математическом моделировании. 1. Алгоритм решения задачи оптимизации конструкции сборного инструмента при физическом и математическом моделировании [Текст] / В.И. Малыгин, Н.В. Лобанов, Л.В. Кремлева // Лесн. журн. – 2008. – № 2. – С. 60–66. – (Изв. высш. учеб. заведений).

Поступила 28.09.06

V.I. Malygin, N.V. Lobanov, L.V. Kremleva

Branch «Sevmashvtuz» of Saint-Petersburg State Marine Technical University

Optimization Methods and Quality Assessment of Wood-milling Cutters in Bench-testing and Mathematic Simulation. III. Investigation of Design Parameters Infimence on Dynamic Quality of Assembly Cutters in Bench-testing Simulation

The investigation results of cutting instruments assembly state in bench-testing (nondestructive) simulation of physical cutting processes are provided.

Keywords: cutting instruments assembly, cutters, vibrations, statistical frequency characteristics, phase, dynamics, admittance, impedance, stiffness, compliance.
