

УДК 621.914.1

Д-р техн. наук Ю. Н. Внуков¹, А. И. Гермашев¹, канд. техн. наук Э. В. Кондратюк²,
канд. техн. наук В. Ф. Мозговой³, канд. техн. наук К. Б. Балушок³

¹ Запорожский национальный технический университет, ² ГП «Изченко-Прогресс»,

³ АО «Мотор Сич», г. Запорожье

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ВЯЗКОУПРУГИХ ДЕМПФИРУЮЩИХ СРЕД НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ И КАЧЕСТВО КОНЦЕВОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ТОНКОСТЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ

На основании экспериментальных данных показаны закономерности влияния вязкоупругих демпфирующих сред, применяемых для финишного фрезерования моноколес ГТД на ведущих предприятиях отрасли, на эффективность и размерную точность удаления назначенного припуска при финишном концевом фрезеровании.

Ключевые слова: вязкоупругая демпфирующая среда, тонкостенная деталь, встречное фрезерование, попутное фрезерование, эффективность обработки, обработанная поверхность.

В авиакосмической отрасли широко применяются детали, имеющие тонкостенные элементы, которые получают путем концевой фрезеровки на современных станках с ЧПУ, например, лопатки осевых и центробежных моноколес. Обработка таких деталей, ввиду их невысокой жесткости, приводит не только к появлению вибраций, ухудшающих шероховатость обработанной поверхности, но и к значительному снижению размерной точности. Из-за упругой деформации детали, установленный припуск снимается не полностью, приводя к отклонениям формы и расположения номинального профиля. Одним из эффективных технологических приемов гашения вибраций и уменьшения упругих деформаций детали во время финишной обработки является применение вязкоупругих демпфирующих сред (ВДС), заполняющих межлопаточное пространство моноколес.

Целью настоящей статьи является установление закономерностей влияния свойств ВДС, применяемых на ведущих предприятиях отрасли, на эффективность и размерную точность удаления назначенного припуска при финишном концевом фрезеровании.

На рис. 1 приведена схема исследования влияния ВДС на процесс концевой фрезеровки тонкостенной детали. Принципиальной особенностью этой схемы является возможность разделения зоны обработки и упругой системы (УС) тонкостенной детали. Такой подход позволяет отдельно рассматривать процессы силового воздействия в зоне обработки — b от различных условий резания, при одинаковых статических и динамических характеристиках УС детали. И наоборот, оценивать влияние изменения статичес-

ких и динамических характеристик УС детали при неизменных условиях резания. На рис. 1 показана рабочая часть устройства «межлопаточная

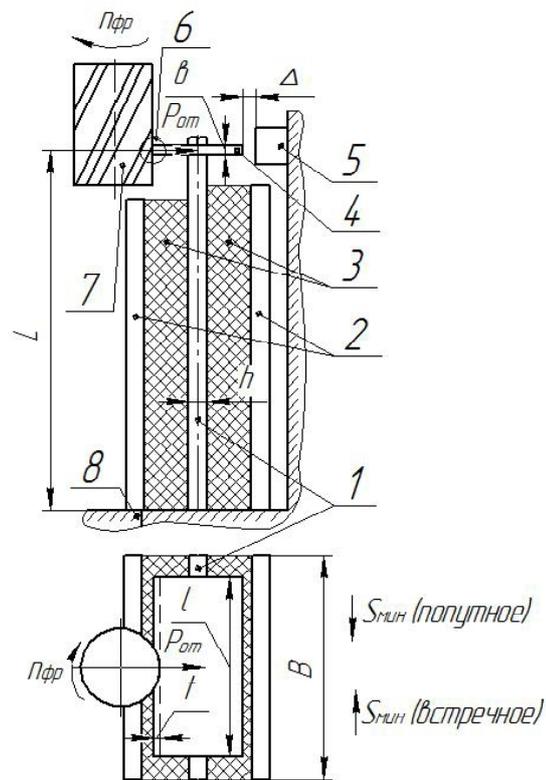


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для исследования ВДС: 1 — упругая система (УС) тонкостенной детали (пластина); 2 — пластины, имитирующие соседние лопатки; 3 — ВДС; 4 — обрабатываемый образец; 5 — датчик перемещения обрабатываемого образца; 6 — зона обработки фрезерованием; 7 — концевая фреза; 8 — технологическая часть устройства

ячейка» [1], моделирующего лопаточную решетку моноколеса ГТД. Устройство «межлопаточная ячейка» состоит: из двух составных частей, каждая из которых содержит пластину – 2, имитирующую соседнюю лопатку. Между этими частями приспособления устанавливается упругий элемент – пластина – 1, имитирующая УС лопатки во время ее обработки. На пластине – 1 закрепляется образец из обрабатываемого материала – 4, виброперемещение – Δ которой измеряется индуктивным датчиком – 5. Технологическая часть устройства – 8 крепится к измерительному стенду с массивным основанием. Благодаря такой конструкции устройства появляется возможность заполнения пространства между пластинами различными демпфирующими средами – 3. Изменением размеров пластины (ЛЧВЧн) можно моделировать различные статические и динамические свойства тонкостенной детали.

При фрезеровании, в результате действия силы отжима $P_{от}$ со стороны фрезы, происходит перемещение образца – 3, величину которого измеряют датчиком перемещения – 2 по изменению зазора – Δ .

Режим обработки задается числом оборотов шпинделя n [об/мин], величиной снимаемого припуска – t [мм], шириной фрезерования b [мм], а также величиной и направлением (встречное или попутное) подачи $S_{мин}$ [мм/мин].

Для измерения фактического объема удаленного припуска и профиля обработанной поверхности образца, разработано устройство, показанное на рис. 2. Основание устройства – 1 жестко закреплено на вертикальной стойке фрезерного

станка недалеко от зоны фрезерования. На основании 1 жестко закреплены индикаторные часы (ИЧ-10), у которых имеется наконечник с радиусом $r = 0,05$ мм – 3 для контакта с обрабатываемой и обработанной поверхностью и пяточка – 2. Индуктивный датчик жестко закреплен на основании 1, он позволяет с высокой точностью записывать профиль обработанной поверхности образца (при продольном перемещении стола) и определять реальный объем удаленного припуска.

На рис. 5, а приведена методика оценки размерной точности обработки (в соответствии с ГОСТ 24642-81). В основу нормирования положен принцип прилегающей прямой, которая имеет форму номинального профиля (прямой), расположена вне материала детали так, чтобы отклонение от нее наиболее удаленной точки реального профиля в пределах нормируемого участка имело минимальное значение. Оценку точности проводят по двум критериям: отклонению от прямолинейности в плоскости EFL и отклонению формы заданного профиля ECL.

Отклонение от прямолинейности в плоскости EFL – это наибольшее расстояние от точек реального профиля до прилегающей прямой в пределах нормируемого участка.

Отклонение формы заданного профиля ECL – это наибольшее отклонение точек реального профиля от номинального профиля, определяемое по нормали к номинальному профилю в пределах нормируемого участка.

Объем фактического удаленного припуска отличается от его теоретического значения, т. к. тонкостенная деталь имеет невысокую жесткость

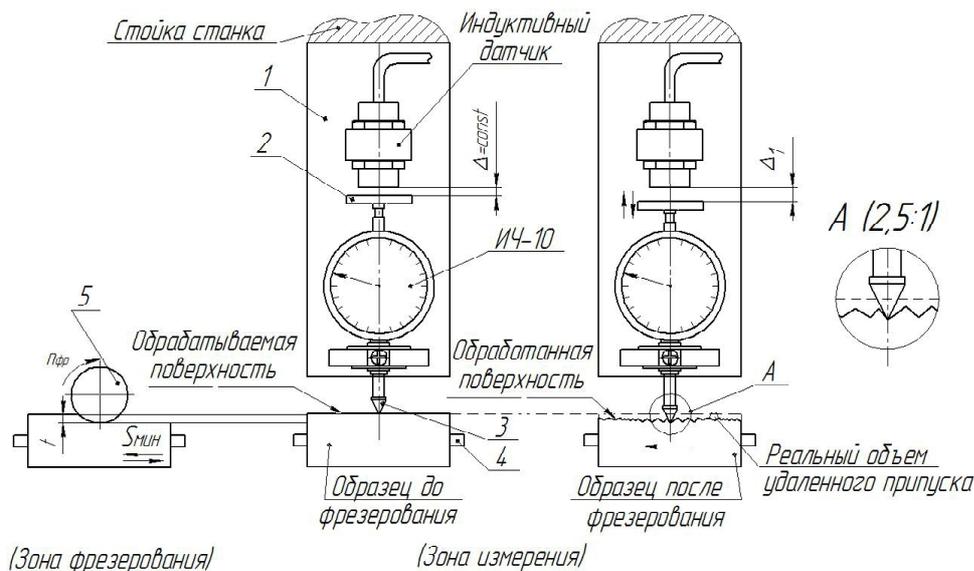


Рис. 2. Схема устройства для измерения удаленного припуска и профиля обработанной поверхности: 1 – основание устройства; 2 – пяточка; 3 – наконечник; 4 – УС тонкостенной детали (пластина); 5 – фреза; t – припуск на обработку

и под действием силы резания упруго отклоняется.

Теоретическую производительность обработки Q_T , равную удалению всего объема установленного припуска в единицу времени, можно рассчитать по формуле (1):

$$Q_T = b \cdot t \cdot S_{мин}, \quad (1)$$

где b – ширина образца, мм;

t – припуск, мм;

$S_{мин}$ – минутная подача, мм/мин.

Измерив фактический объем удаленного припуска можно определить фактическую производительность $Q_{ф}$. Отношение (2) показывает эффективность удаления припуска при фрезеровании тонкостенной детали в процентах (%):

$$\varepsilon_{ф} = \frac{Q_{ф} \cdot 100}{Q_T}. \quad (2)$$

Экспериментальные исследования проводили при следующих условиях:

а) ВДС, которые применялись для исследования;

В данной работе использовалось 2 ВДС: межлопатосная среда ОАО «МОТОР СИЧ» (МСМС) и межлопатосная среда ГП «Ивченко-Прогресс» (МСИП). В качестве сравнения эксперименты проводили без демпфирующей среды (на воздухе).

Параметры жесткости j , [Н/мм]; частоты собственных колебаний (ЧСК) f , [Гц] и логарифмического декремента затухания колебаний δ УС тонкостенной детали приведены в таблице 1. Методики определения характеристик УС тонкостенной детали описаны в работе авторов [2].

УС тонкостенной детали является пластина с размерами (80×60×4) из Стали 65Г (HRC 60).

б) Оборудование – универсально фрезерный станок модели FWD – 32J;

в) Инструмент – концевая 3-зубая фреза CANELA D20 Z3 со сменными многогранными неплетачиваемыми пластинками из твердого сплава АРКТ100305PDER JC8050 фирмы Dijet. В эксперименте устанавливался 1 режущий зуб. Вместо двух других зубьев устанавливали равные по весу свинцовые грузики, обеспечивающие балансировку фрезы. Геометрия режущего

зуба: $\gamma = 6^\circ$, $\alpha = 11^\circ$, $\lambda = -10^\circ$.

з) Образец из обрабатываемого материала размером 50×20×2 (Ст.Зкп ГОСТ 380-2005).

д) Режимы фрезерования:

- скорость вращения шпинделя от $n = 224$ до 1800 об/мин;

- продольная подача стола от $S_{мин} = 11,2$ до 90мм/мин;

- подача на зуб $S_z = 0,05$ мм/зуб;

- ширина среза $b = 2$ мм;

- глубина фрезерования (припуск) $t = 0,5$ мм;

- направление подачи – встречное и попутное;

- условие резания – свободное, косоугольное.

Результаты измерения эффективности удаления припуска, размерной точности, а также профилограммы обработанной поверхности, в зависимости от применяемой ВДС, скорости вращения шпинделя и направления подачи (встречное или попутное), приведены на рис. 3–7.

Для тонкостенных деталей эффективность удаления припуска при финишных операциях является очень существенной характеристикой, по которой ведут коррекцию величины глубины фрезерования для достижения необходимой точности обработки.

Если за 100 % принять полностью удаленный припуск на обработку (т. е. теоретический объем), то по результатам измерения фактически удаленного припуска видно (рис. 3), что эта характеристика для всех рассмотренных сред и условий резания, как правило, не достигает 100 % уровня. Причем, на величину эффективности удаления припуска оказывает влияние наличие ВДС, ее вид, скорость вращения шпинделя (фрезы) и направление подачи (встречное, попутное). Оценка эффективности удаления припуска без применения ВДС показывает, что при увеличении скорости вращения шпинделя от $n = 224$ об/мин до $n = 1800$ об/мин величина фактически удаленного объема припуска увеличивается и при максимальных оборотах достигает значений для встречного 91,3 %, а для попутного – 53,1%.

При использовании МСМС происходит значительное увеличение жесткости (в 3,6 раза), а также изменение динамических характеристик: увеличение ЧСК (более, чем в 3,2 раза) и декремента затухания собственных колебаний (в 2,4

Таблица 1 – Характеристики УС тонкостенной детали с применением различных ВДС

Характеристики УС детали	Без ВДС	МСИП	МСМС
Жесткость j , Н/мм	228	317,7	820,5
Частота f , Гц	264	468,8	859,4
Логарифмический декремент затухания колебаний δ	0,091	0,46	0,22

раза). Эти изменения резко улучшают уровень эффективности обработки. Эффективное удаление припуска в условиях встречного фрезерования начинается уже при $n = 560$ об/мин и составляет 78,1 %, в то время как, это значение без введения ВДС находится на уровне 43%. При $n = 1800$ об/мин МСМС способствует эффективности обработки равной 94,3 %, а в условиях попутного фрезерования 71,5%.

Применение МСИП также способствует увеличению жесткости (в 1,6 раза) и изменению динамических характеристик: увеличение ЧСК (более чем в 1,7 раза) и значительному увеличению декремента затухания свободных колебаний (в 5 раз). При этом эффективное удаление припуска в условиях встречного фрезерования начинается уже при $n = 224$ об/мин и составляет 84,2 %, а при $n = 1800$ об/мин $\mathcal{E}_\phi = 97,5$ %. Для попутного фрезерования эффективность обработки находится в пределах 55 % на всем скоростном диапазоне.

Во всех случаях эффективность снятия припуска при встречном фрезеровании выше, чем при попутном.

Возможность профилографирования обработанной поверхности непосредственно на станке до и после фрезерования (без снятия образца) позволяет определить точность обработки по характеристикам отклонения от прямолинейности в плоскости EFL и отклонения формы заданного профиля ECL. На рис. 4 приведены результаты измерения отклонения от прямолинейности в плоскости EFL при использовании различных ВДС в условиях широкого изменения скорости вращения шпинделя и различного направления подачи.

При фрезеровании без применения ВДС наблюдается следующая закономерность изменения параметра EFL (рис. 4). До скоростей $n = 900$ об/мин значение EFL для встречного фрезерования выше, чем попутного. При увеличении скоростей выше $n = 900$ об/мин значение EFL для встречного

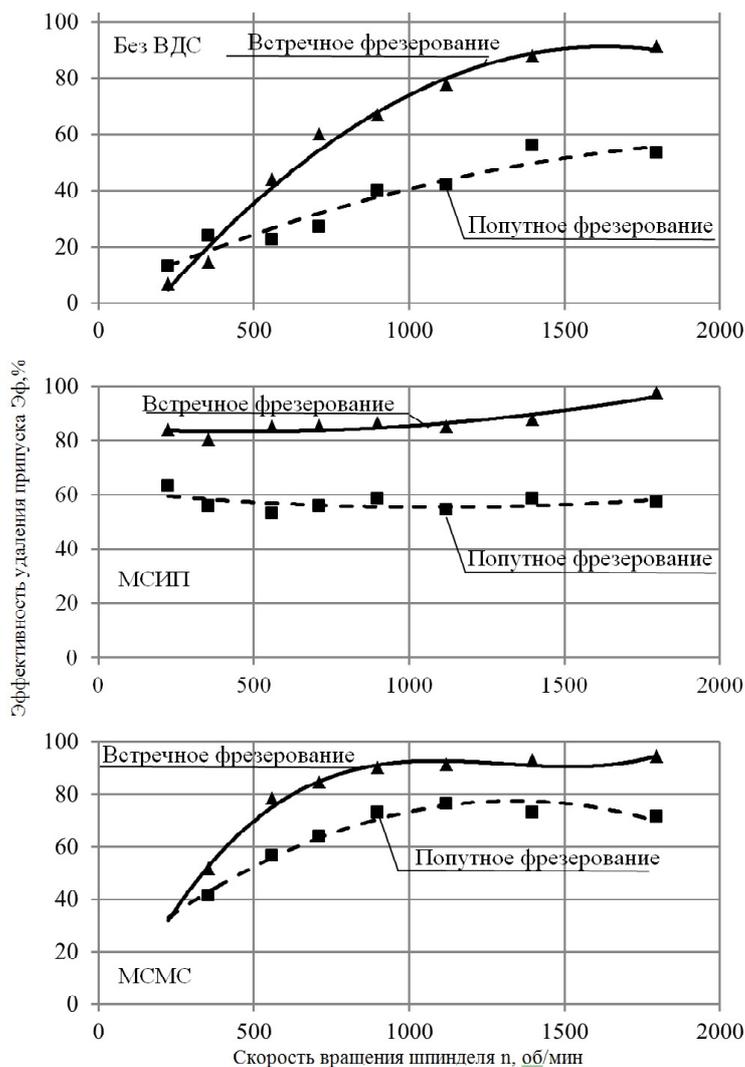


Рис. 3. Эффективность удаления припуска при использовании различных ВДС

фрезерования резко снижается и до скоростей $n = 1800$ об/мин остается значительно ниже, чем для попутного. Это явление подробно изучено в работе [3], где показано, что при концевом фрезеровании тонкостенных деталей, помимо вынужденных колебаний, связанных с входом и выходом зуба фрезы в припуск, в определенном скоростном диапазоне возникают регенеративные автоколебания. Природа этих колебаний связана с появлением волнистости на поверхности резания. Поэтому к переменной толщине среза, характерной для цилиндрического фрезерования, добавляется дополнительное изменение толщины среза, связанное с регенерацией, т. е. резанием по вибрационному следу от предыдущего прохода зуба. Скоростной диапазон и интенсивность регенеративных колебаний при встречном и попутном фрезеровании неодинаковы.

При использовании ВДС явно выраженные регенеративные колебания наблюдаются только при встречном фрезеровании, однако, ввиду увеличения жесткости системы волнистость обра-

ботанной поверхности на этих режимах, по сравнению с волнистостью без применения ВДС, значительно ниже (рис. 5). Это способствует значительному уменьшению параметра EFL при использовании ВДС, особенно это касается применения МСМС, которая способствует стабильно низкому значению EFL на всех режимах попутного фрезерования, и низкому, постепенно уменьшаемому с увеличением скорости значению EFL при встречном фрезеровании (при $n = 1800$ об/мин EFL = 0,02 мм). Применение МСИП способствует средним, постепенно увеличивающимся значениям параметра EFL. Это связано с тем, что увеличение частоты колебаний и недостаточное увеличение жесткости расширяет скоростной диапазон появления регенеративных колебаний и на участках наименьшего действия ВДС (участки контакта ВДС с окружающей средой, т. е. при фрезеровании участки вначале и в конце образца) могут наблюдаться регенеративные колебания и на высоких скоростях.

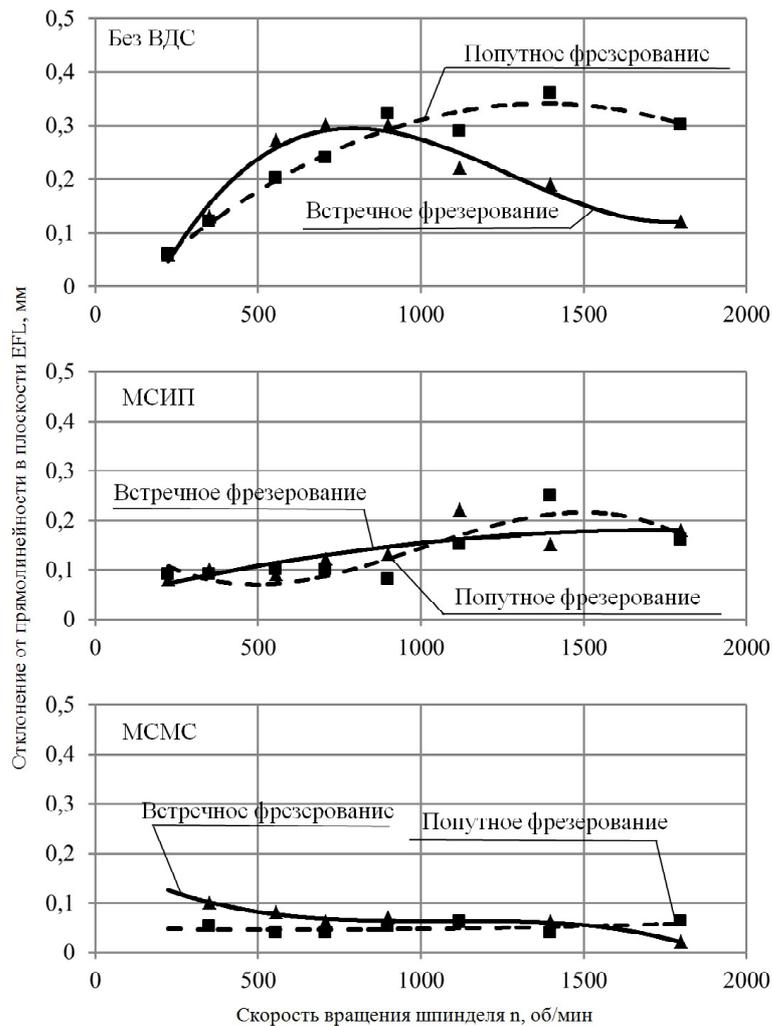


Рис. 4. Отклонение от прямолинейности в плоскости EFL при использовании различных ВДС

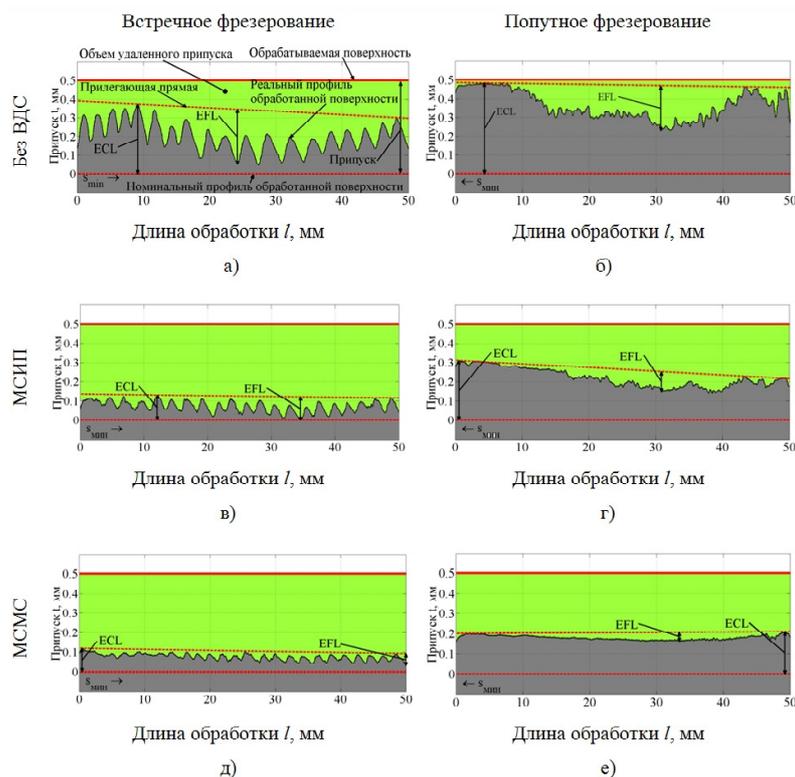


Рис. 5. Измерение объема удаленного припуска и профиля обработанной поверхности при $n = 710$ об/мин

Датчик перемещений – 5 (см. рис. 1) позволяет получать осциллограммы регенеративных колебаний при срезании припуска каждым зубом фрезы и определять скоростные зоны и интенсивность их появления. При фрезеровании без ВДС при встречном фрезеровании регенеративные колебания появляются в зоне скоростей от $n = 560$ об/мин до $n = 1120$ об/мин, а при попутном от $n = 710$ об/мин до $n = 1400$ об/мин. При использовании МСМС регенеративные колебания наблюдаются только при встречном фрезеровании в диапазоне от $n = 710$ об/мин до $n = 1400$ об/мин. МСИП характеризуется появлением регенеративных колебаний также при встречном фрезеровании, но в очень широком скоростном диапазоне от $n = 224$ об/мин до $n = 1400$ об/мин, а также появлением нерегулярных колебаний в зоне наименьшего действия смеси при $n = 1800$ об/мин.

На рис. 5 приведены профилограммы обработанной поверхности для различных схем УС детали при скорости $n = 710$ об/мин.

При встречном фрезеровании наблюдаются регулярные волны на обработанной поверхности, причем частота и амплитуда волн зависит от применяемой ВДС. Высокая частота и малая амплитуда наблюдается при использовании сред, причем с увеличением жесткости системы (применение МСМС) амплитуда уменьшается. Низкая частота волн на обработанной поверхности на-

блюдается при обработке без применения ВДС. Здесь необходимо отметить, что волны регенерации на поверхности резания возникают с частотой близкой к ЧСК для каждой схемы УС детали, а одна волна на обработанной поверхности (показанная на рис. 5) формируется в результате большого количества резов зубом фрезы. Регенеративные колебания на поверхности резания имеют зависимость при встречном фрезеровании и их можно разделить на две группы: колебания, которые возникают на подъеме волны обработанной поверхности и на спаде. Этот процесс периодичен, что подтверждается профилем обработанной поверхности. Установление более точных связей волн регенерации на поверхности резания и волн рельефа на обработанной поверхности требует специального рассмотрения.

На рис. 5 (б, г, е) показаны профили обработанной поверхности для аналогичных условий фрезерования, но при попутном направлении подачи. Они отличаются по виду. Здесь отсутствует ярко выраженная для встречного фрезерования волнистость. Однако исследования [3] показали, что при попутном фрезеровании без применения ВДС также наблюдается появление регенеративных колебаний на поверхности резания, но с более высокой частотой и меньшей амплитудой. Использование сред способствует уменьшению регенеративных колебаний, причем, если при применении МСИП можно наблюдать незначи-

тельные регенеративные колебания лишь на некоторых участках и при отдельных скоростях, то с МСМС регенеративные колебания отсутствуют на всем исследуемом скоростном диапазоне. Такой эффект требует дальнейших рассмотрений.

Различия в механизмах возбуждения регенеративных колебаний при встречном и попутном фрезеровании связаны с различными условиями срезания припуска каждым зубом от нуля до максимума для встречного и наоборот для попутного, а также направлением силы резания при одинаковых толщинах среза [3].

На рис. 6 приведены профилограммы обработанной поверхности для различных схем УС детали при скорости $n = 1800$ об/мин. С повышением скорости вращения n регенеративные колебания вырождаются и УС тонкостенной детали продолжают раскачивать только вынужденные колебания, связанные со входом и выходом зуба фрезы. Только при использовании МСИП наблюдается отдельный участок появления регенерации, связанный с расширением скоростного диапазона регенеративных колебаний ввиду соотношения параметров частоты и жесткости УС тонкостенной детали. Ранее установлено [3], что при высоких скоростях вращения n при входе каждого следующего зуба деталь еще имеет затухающие колебания с собственной частотой УС

от выхода предыдущего зуба. Увеличение логарифмического декремента затухания колебаний, которое обеспечивают ВДС, способствует быстрейшему успокоению системы после возбуждения зубом фрезы, и, как следствие, снятию припуска с покоящейся детали, что способствует улучшению качества поверхности. Такие условия обработки МСИП способна обеспечить на более высоких скоростях, чем МСМС, так как обладает более чем в 2 раза большим декрементом. При попутном фрезеровании для всех схем наблюдаются большие объемы несрезанного припуска по сравнению со встречным и большая высотная неоднородность.

Отклонение формы заданного профиля ЕСЛ реального рельефа обработанной поверхности от его номинального уровня для всех схем УС тонкостенной детали при встречном фрезеровании значительно ниже, чем при попутном (рис. 7). Это связано в первую очередь с эффективностью удаления припуска. При встречной схеме фрезерования отклонение формы заданного профиля ЕСЛ уменьшается, если УС тонкостенной детали вышла из скоростного диапазона появления регенеративных колебаний, а при попутной — увеличивается, что вызвано появлением волны на профиле обработанной поверхности на участке выхода фрезы из образца.

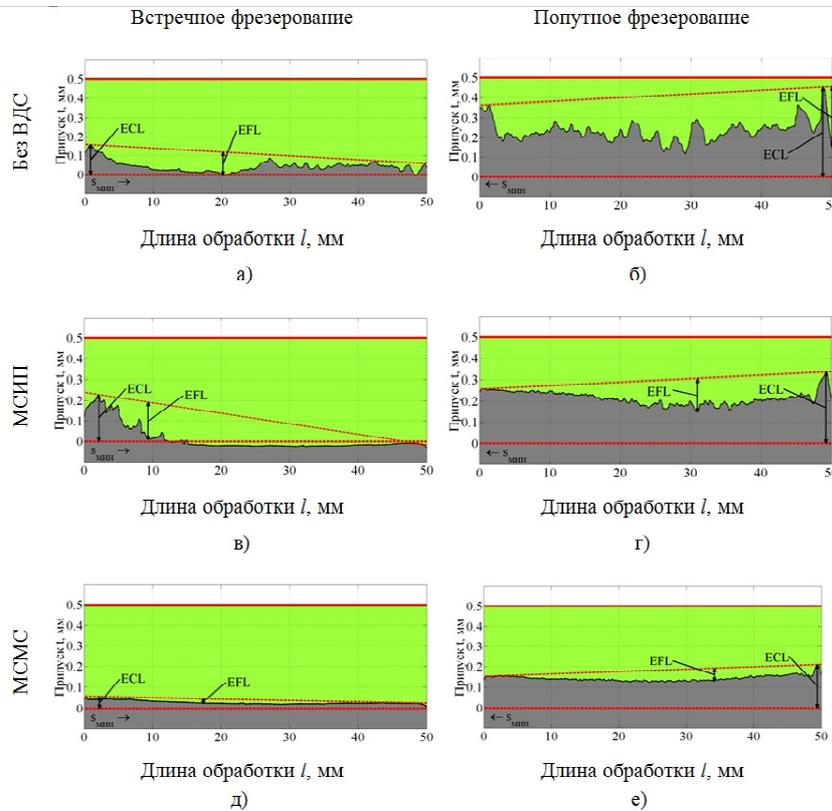


Рис. 6. Измерение объема удаленного припуска и профиля обработанной поверхности при $n = 1800$ об/мин

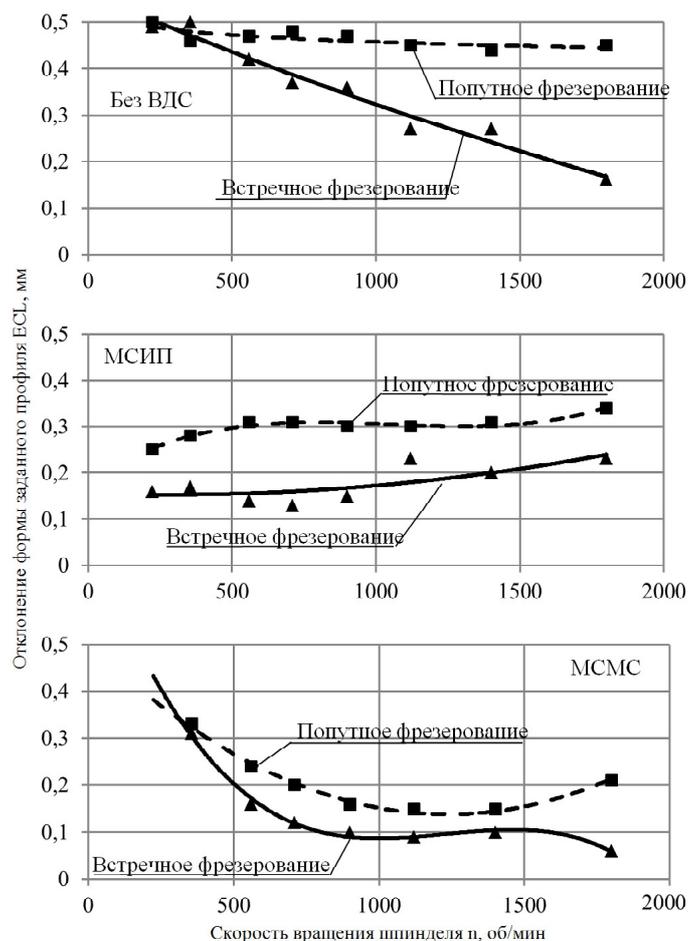


Рис. 7. Отклонение формы заданного профиля ECL при использовании различных ВДС

Выводы

1. Закономерности удаления припуска, формирование точности и шероховатости обработанной поверхности при концевом фрезеровании тонкостенных деталей существенно отличается от обработки массивных деталей. Эти отличия обусловлены недостаточной жесткостью тонкостенных деталей, приводящие к ее упругим отжатию и появлению вынужденных и автоколебаний.

2. Рассмотренные ВДС способствуют изменению статических и динамических характеристик УС тонкостенной детали. Наблюдаются общие закономерности их влияния: увеличение жесткости, ЧСК и логарифмического декремента затухания колебаний. Однако, в зависимости от применяемой ВДС, изменение характеристик УС тонкостенной детали происходит в различных пропорциях. Экспериментальные исследования показали, как определенное соотношение статических и динамических характеристик рассмотренных ВДС, влияет на формирование профиля обработанной поверхности.

3. Общие тенденции изменяемых характеристик УС тонкостенной детали при введении ВДС способствуют: увеличению эффективности уда-

ления припуска, снижению параметров отклонения формы заданного профиля ECL и отклонения от прямолинейности в плоскости EFL, снижению параметра шероховатости поверхности Ra.

4. Для всех рассмотренных случаев (использование МСИП, МСМС, а также фрезерование без ВДС) имеются общие закономерности, такие как: появление регулярной волнистости при встречном фрезеровании в скоростной зоне возбуждения регенеративных колебаний, а так же влияние направления подачи (встречное, попутное) на эффективность удаления припуска и характеристики точности обработки.

5. Результаты исследований показывают, что эффективность удаления припуска без использования ВДС при встречном фрезеровании значительно выше, чем при попутном и с увеличением скорости вращения шпинделя от $n = 224$ об/мин до $n = 1800$ об/мин изменяется в диапазоне от 6,6 % до 91,3 %. При попутном фрезеровании в аналогичных условиях эффективность снятия припуска изменяется от 12,9 % до 53,1 %. Таким образом, при фрезеровании без применения ВДС высокие значения эффективности обработки достигаются лишь на высоких скоростях вращения шпинделя,

когда вынужденные колебания максимальные, что негативно сказывается на качестве поверхности.

6. Применение МСМС способствует значительному увеличению эффективности обработки по сравнению с обработкой без ВДС. При встречном фрезеровании $\mathcal{E}_\phi = 51,4\%$ при $n = 560$ об/мин и увеличивается до $\mathcal{E}_\phi = 94,3\%$ при $n = 1800$ об/мин, эти же значения при попутном фрезеровании изменяются в диапазоне от $\mathcal{E}_\phi = 41,4\%$ до $\mathcal{E}_\phi = 71,5\%$. Применение МСИП способствует более стабильным показателям эффективности обработки при изменении скорости вращения шпинделя, чем МСМС. При встречном фрезеровании $\mathcal{E}_\phi = 84,2\%$ при $n = 224$ об/мин и увеличивается до $\mathcal{E}_\phi = 97,5\%$ при $n = 1800$ об/мин. Эффективность обработки с применением МСИП при попутном фрезеровании находится на уровне 57 % на всем исследуемом скоростном диапазоне. Итак, для достижения оптимальных показателей эффективности обработки целесообразно применять МСИП при встречном фрезеровании и МСМС на скоростях выше $n = 710$ об/мин при попутном фрезеровании.

7. Применение МСМС ввиду значительного увеличения жесткости способствует более низким параметрам отклонения от прямолинейности в плоскости EFL, чем МСИП. Также применение ВДС в значительной мере снижают волнистость на обработанной поверхности в скоростных зонах появлением регенеративных колебаний, что способствует снижению параметра EFL.

8. При попутной схеме фрезерования с применением ВДС наблюдается существенное уменьшение регенеративных колебаний на поверхности резания. Этот факт требует специального рассмотрения.

9. Отклонение формы заданного профиля ECL для встречного фрезерования значительно меньше, чем для попутного и это, в первую очередь, определяется большей эффективностью удаления припуска при встречном фрезеровании. При ис-

пользовании МСМС, параметр ECL ниже, чем при применении МСИП, что связано с расширением скоростного диапазона появления регенеративных колебаний ввиду сочетания статических и динамических характеристик УС тонкостенной детали. В связи с этим можно рекомендовать применять МСИП на высоких скоростях, вне зоны регенеративных колебаний, а также рассмотреть возможность увеличения жесткости, оказываемое данной средой на УС тонкостенной детали.

10. В целом результаты исследования показали, что применение встречного фрезерования, при условии выхода из скоростной зоны возбуждения регенеративных колебаний, является более эффективным и может быть рекомендовано для промышленного применения на скоростном современном оборудовании.

Список литературы

1. Устройство для исследования характеристик демпфирующих сред при фрезеровании тонкостенных деталей / [Гермашев А.И., Логоминов В.А., Внуков Ю.Н.] : тези доп., 22–25 жовт. 2012 р., м. Київ, XII Всеукраїнська молодіжна науково-технічна конференція : Машинобудування України очима молодих. — С. 42–43.
2. Влияние демпфирующих сред на снижение вибраций упругой системы тонкостенной детали / [Ю. Н. Внуков, А. И. Гермашев, Э. В. Кондратюк и др.] // Сучасні технології в машинобудуванні. — Харьков : НТУ «ХПИ», 2013. — Вип. 8. — С. 85–100.
3. Логоминов В. А. Формирование шероховатости обработанной поверхности при концевом цилиндрическом фрезеровании тонкостенных элементов деталей : дис. ... кандидата техн. наук : 05.03.01 / Логоминов Виктор Алексеевич. — Запорожье, 2013. — 226 с.

Поступила в редакцию 27.05.2014

Внуков Ю.М., Гермашев А.И., Кондратюк Е.В., Мозговий В.Ф., Балущок К.Б. Вплив застосування в'язкопружних демпфуючих середовищ на ефективність та якість фрезерування тонкостінних деталей

На підставі експериментальних даних показано закономірності впливу в'язкопружних демпфуючих середовищ, які застосовуються для фінішного фрезерування моноколіс ГТД на провідних підприємствах галузі, на ефективність і розмірну точність видалення призначеного припуску при фінішному кінцевому фрезеруванні.

Ключові слова: в'язкопружне демпфуюче середовище, тонкостінна деталь, зустрічне фрезерування, попутне фрезерування, ефективність обробки, оброблена поверхня.

Vnukov Yu., Germashev A., Kondratuk E., Mozgovi V., Balushok K. Impact of fixturing filling material use on efficiency and surface condition of end milling

This article deals with fixturing filling material, which use for milling of impellers and blisks of gas turbine engine. The regularity of filling material impact on efficiency and surface condition of end milling are shown. Conclusions were made by analysis experimental tests.

Key words: fixturing filling material, thin-walled detail, up-milling, down-milling, processing efficiency, surface finish.