

В.Г. Нечепаев, М.С. Мышов, А.Л. Тагинцев
ГВУЗ "Донецкий национальный технический университет"

Виконано аналіз процесу повторної взаємодії різального інструменту зі стружкою при фрезеруванні Т-подібних пазів. Аналіз дозволив зробити висновок, що похибка обробки внаслідок повторної взаємодії становить істотну частину загальної похибки обробки пазів. Усунення або зниження цієї похибки є істотним резервом підвищення точності обробки профільних пазів.

Профильные пазы вследствие ограниченности пространства для размещения отделенной стружки являются весьма нетехнологичными элементами конструкций. При этом они составляют значительную часть общего объема металлообработки в процессе изготовления станочного оборудования.

Широкое применение и не технологичность конструкции таких пазов определяет актуальность поиска путей повышения точности их изготовления. Точность изготовления пазов в существенной мере определяется эффективной эвакуацией отделенной стружки – при несвоевременном ее удалении из зоны резания имеет место повторное взаимодействие стружки с зубьями фрезы, вызывающее дополнительную погрешность обработки.

Для изучения характера повторного взаимодействия режущего инструмента со стружкой при фрезеровании Т-образного паза выполнен анализ процесса её накопления и перемещения после отделения.

В течение оборота фрезы при обработке Т-образного паза можно выделить две характерные зоны (рис. 1):

- зона 1 (участки ВС и DA) – непосредственная обработка поверхностей паза зубьями фрезы (отделение стружки);
- зона 2 (участки АВ и CD) – перемещение зубьев фрезы без обработки (отсутствие отделения стружки).

В конце зоны 1 (положение зуба 1) элемент стружки, отделенный зубом фрезы, в зависимости от соотношения действующих сил имеет возможность перемещаться в двух противоположных направлениях:

- от центра фрезы к ее периферии;
- от периферии фрезы к ее центру.

Перемещаясь от центра к периферии, элемент стружки либо удаляется из рабочего пространства фрезы (положения зуба 2, 3, 4, 7), ли-

бо остается в этом пространстве. В последнем случае, повторно попадая в зону обработки и взаимодействуя с зубьями инструмента (положения зуба 5 и 8), он деформируется.

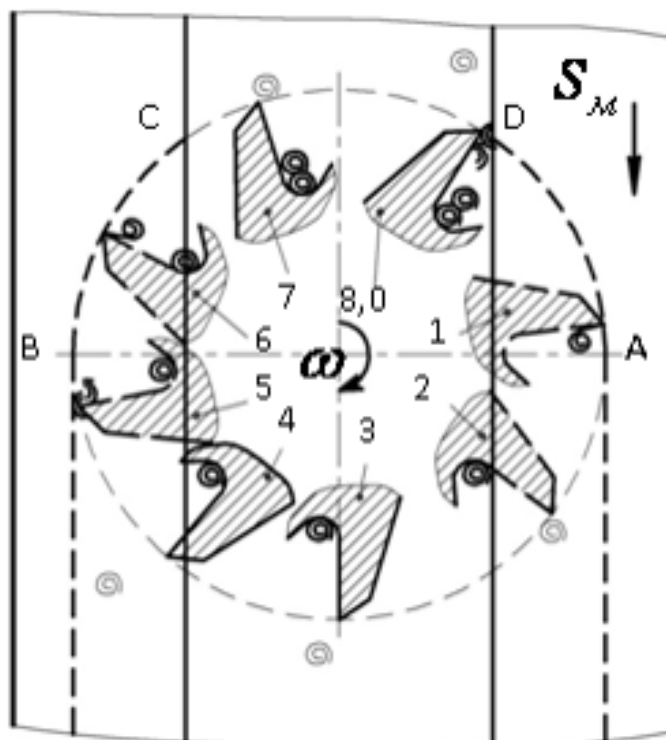


Рис. 1. Перемещение элемента стружки в рабочем пространстве фрезы:

1...8 - текущие положения зуба фрезы в течение её одного оборота

Установлено, что в 30...100 % случаев для рекомендованных стандартами [1,2] режимных и конструктивных параметров T-образных фрез элемент стружки перемещается в направлении от периферии фрезы к ее центру - то есть, в направлении, противоположном необходимому для удаления из рабочего пространства фрезы. В случае, когда отделенный элемент стружки на участке АВ не был удален из рабочего пространства фрезы, к нему на участке ВС добавляется еще один отделенный элемент стружки (положения зуба 7 и 8). В течение последующих оборотов фрезы в рабочее пространство дополнительно поступают вновь отделяемые элементы стружки.

Таким образом, фрезерование T-образного паза сопровождается циркуляцией стружки и ее деформированием в результате повторного взаимодействия с зубьями инструмента, что определяет возрастание сил резания, повышенный износ режущих кромок зубьев, появления дополнительных погрешностей обработки и снижение качества обрабатываемых поверхностей.

Для изучения характера повторного взаимодействия элементов стружки с режущим инструментом выполнены экспериментальные исследования. Обработка Т-образной фрезой диаметром 21 мм заготовок из стали осуществлялась в представительных режимах на вертикально-фрезерном станке модели 6М76П-1. Полученная стружка была классифицирована в соответствии с характером ее деформирования на четыре группы.

Группа 1 характеризуется отсутствием следов пластической деформации стружки (37 % от общего её количества).

Группа 2 характеризуется пластической деформацией элемента стружки в её поперечном сечении (14 % от общего её количества).

Группа 3 характеризуется пластической деформацией элемента стружки в её продольном сечении (8 % от общего её количества).

Группа 4 характеризуется комбинированной пластической деформацией элемента стружки одновременно в продольном и поперечном сечениях (7 % от общего её количества).

Группа 5 характеризуется разрушением элементов стружки на отдельные частицы (34 % от общего её количества).

Анализ приведённых данных позволяет сделать вывод о том, что около 63 % отделенной стружки повторно взаимодействует с режущим инструментом.

Для последних трёх групп, характеризующимся пластическим деформированием, выполнена схематизация процесса взаимодействия элемента стружки с лезвиями фрезы (рис. 2).

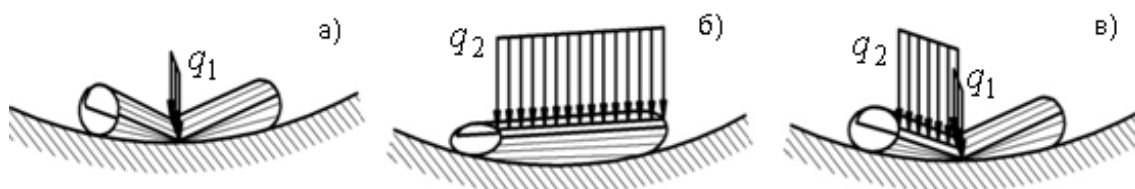


Рис. 2. Схематизация деформирования элемента стружки:

*а - в поперечном сечении; б - в продольном сечении;
в - одновременно в поперечном и продольном сечениях*

Поскольку пластическое деформирование и разрушение элемента стружки на части происходит вследствие воздействия значительных сил, то наблюдаемая картина свидетельствует о том, что фрезерование профильных пазов сопровождается формированием дополнительных сил вследствие повторного взаимодействия элементов стружки с режущим инструментом.

Исходя из изложенного, погрешность фрезерования Т-образных пазов можно представить в виде

$$\bar{\omega} = \bar{\omega}^{pez} + \bar{\omega}^{pez.cmp},$$

где $\bar{\omega}$ – погрешность вследствие упругих деформаций режущего инструмента; $\bar{\omega}^{pez}$ – погрешность вследствие упругих деформаций режущего инструмента, вызванных отделением стружки; $\bar{\omega}^{pez.cmp}$ – погрешность вследствие упругих деформаций режущего инструмента, вызванных повторным взаимодействием зубьев фрезы с отделенной стружкой.

Возникновение погрешности ω^{pez} обусловлено закономерностью ориентации составляющих силы резания на зубьях фрезы. На рис. 3 показано, что векторы вертикальных составляющих сил резания P_v^{pez} на участках ВС и DA параллельны и направлены в одну сторону. Поэтому эти составляющие в любой текущий момент времени при обработке паза всегда суммируются, вызывая соответствующую деформацию режущего инструмента.

Профильную фрезу при фрезеровании паза можно схематизировать в виде консольно-закрепленной балки (рис. 4). Приложение силы P_v^{pez} вызывает угловую деформацию $\Delta\alpha^{pez}$, приложение силы P_v^{cmp} – деформацию $\Delta\alpha^{cmp}$ и, соответственно, приложение суммарной силы $P_{v\Sigma}$ – суммарную угловую деформацию $\Delta\alpha_\Sigma$. Угловой деформации оси фрезы $\Delta\alpha^{pez}$ соответствуют систематические постоянные погрешности обработки паза $\delta_1^{pez} = f_1(\omega^{pez})$ и $\delta_2^{pez} = f_2(\omega^{pez})$. Угловой деформации $\Delta\alpha^{cmp}$ соответствуют $\delta_1^{cmp} = f_1(\omega^{cmp})$ и $\delta_2^{cmp} = f_2(\omega^{cmp})$.

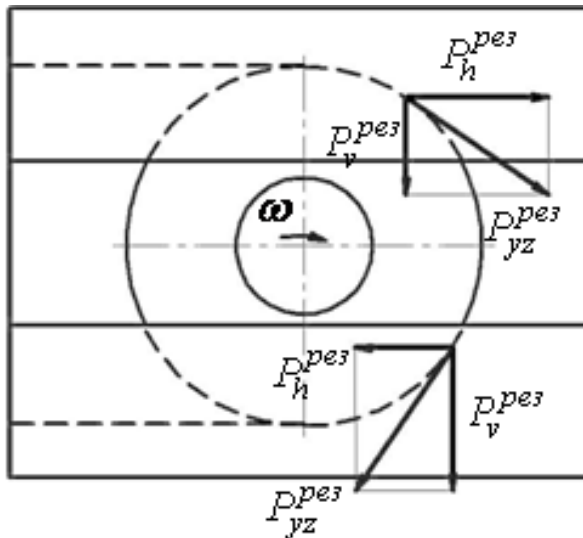


Рис. 3. Ориентация составляющих силы резания

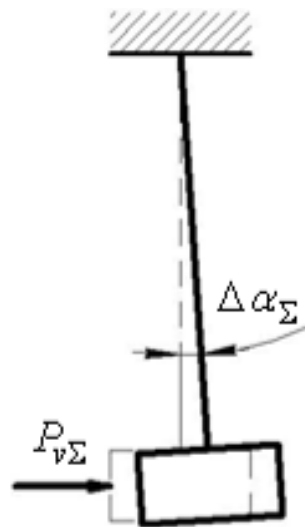


Рис. 4. Расчётная схема деформирования фрезы

Направление силы P_v^{cmp} (рис. 5) совпадает с направлением вертикальной составляющей P_v^{pez} силы резания P_{yz}^{pez} . Поэтому погрешность обработки, вызванная действием силы P_v^{cmp} , арифметически суммируется с погрешностью, вызванной деформацией инструмента под действием составляющей P_v^{pez} , существенно усугубляя ее

$$\delta_{1\Sigma} = f_1(\omega^{pez}) + f_1(\omega^{cmp});$$

$$\delta_{2\Sigma} = f_2(\omega^{pez}) + f_2(\omega^{cmp}).$$

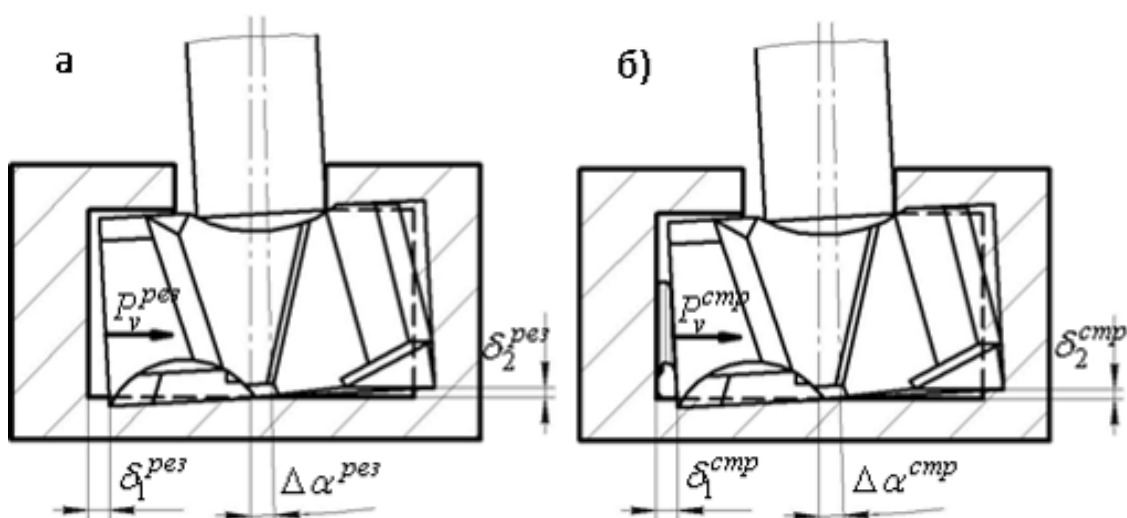


Рис. 5. Схема формирования погрешностей обработки Т-образного паза вследствие деформирования фрезы:

а - при отделении стружки;

б - при повторном взаимодействии отделенной стружки

Значение силы P_v^{cmp} , согласно данным [3], составляет до 25 % от значения силы P_v^{pez} . При консольном закреплении упругой балки и нагружении ее поперечной силой зависимость перемещения от приложенной нагрузки имеет линейный характер. Таким образом, в первом приближении можно считать, что угловая деформация инструмента $\Delta\alpha^{cmp}$ и погрешность обработки δ_1^{cmp} и δ_2^{cmp} (рис. 5б), обусловленные повторным взаимодействием стружки с инструментом, также будет составлять соответственно порядка 25 % от $\Delta\alpha^{pez}$ и δ_1^{pez} , δ_2^{pez} .

Для определения значений указанных погрешностей с достаточной точностью, необходимо выполнить моделирование и анализ деформирования режущего инструмента вследствие повторного взаимодействия зубьев фрезы с отделенной стружкой.

Выводы

1. Установлено, что при фрезеровании Т-образных пазов в стальных заготовках около 63 % отделенной стружки повторно взаимодействует с режущим инструментом. Выполнена схематизация процесса повторного взаимодействия отделённой стружки с режущим инструментом.

2. Установлена структура и механизм формирования погрешности обработки профильных пазов.

3. Показано, что устранение, либо снижение погрешности обработки, обусловленной повторным взаимодействием профильных фрез с отделенной стружкой, является существенным резервом повышения точности обработки профильных пазов.

Библиографический список

1. ГОСТ 7063-72 (СТ СЭВ 115-79, СТ СЭВ 4632-84). Фрезы для обработки Т-образных пазов. Технические условия. – Взамен ГОСТ 7063-63; введ. 01.01.74. – М.: Изд. стандартов, 1986. – 12 с.
2. ГОСТ 10673-75. Фрезы с напаянными твердосплавными пластинами для обработки Т-образных пазов. Технические условия. – Взамен ГОСТ 10673-63; введ. 01.01.77. – М.: Изд. стандартов, 1978. – 8 с.
3. Нечепаев В.Г., Гнитько А.Н. Результаты экспериментальных исследований фрезерования профильных пазов / Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем: збірник наукових праць. – Краматорськ-Київ: ДДМА, 2006. – Вип. 20. – С. 54-62.