

## ОСОБЕННОСТИ ФРЕЗЕРОВАНИЯ ОБРАЗЦОВ ПОСЛЕ АДДИТИВНОГО СИНТЕЗА.

*Е.Н. Петровский, старший преподаватель,  
Л. Шэ, магистрант гр. 4АМ11,  
Ц. Чжан, магистрант гр. 4АМ11,  
В.Н. Козлов, к.т.н., доц.,*

*Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30  
тел.(3822)-606-389*

E-mail: [kozlov-viktor@bk.ru](mailto:kozlov-viktor@bk.ru)

Для подготовки образцов к исследованию их структуры после их изготовления методом порошковой или проволочной аддитивной технологии на металлическом принтере необходимо применять субтрактивную обработку. Т.к. полученные образцы имеют форму прямоугольного параллелепипеда, то необходимо вести обработку на консольном вертикально-фрезерном станке. Дополнительно необходимо измерить силы резания, чтобы оценить обрабатываемость полученных образцов с точки зрения сил резания.

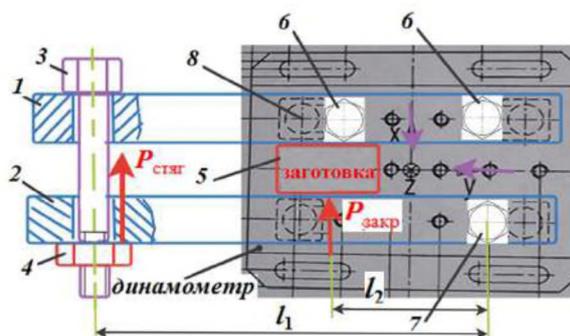


Рис. 1. Схема закрепления образца на динамометре Kistler. 1 – планка А; 2 – планка Б; 3 – болт М12; 4 – гайка М12; 5 – заготовка; 6 – болт М8 (2 шт.); 7 – болт М8; 8 – датчики динамометра.

Для этого использовался токарный трёхкомпонентный динамометр Kistler, который имеет высокую жёсткость и точность. Размеры образцов, как правило, небольшие 60×20×20, поэтому необходимо использовать небольшие тисочки для закрепления заготовки. Высота тисочков должна быть небольшая, чтобы при концевом фрезеровании не возникал дополнительный момент силы резания относительно опорной поверхности динамометра, который может исказить измеряемые силы.

С учётом этих требований вместо тисочков было разработано приспособление в виде двух планок, одна из которых, планка 1, жёстко крепится к динамометру двумя болтами 6, а другая, планка 2, имеет

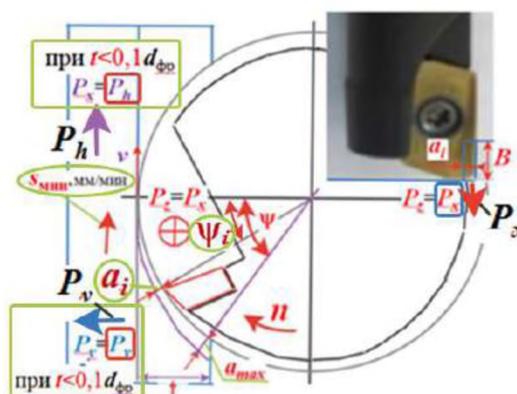


Рис. 2. Схема направления составляющих  $P_h$ ,  $P_v$  и  $P_x$  силы резания при попутном фрезеровании концевой фрезой с СМП

закрепление на динамометре только одним болтом 7, что позволяет ей поворачиваться относительно него как на оси (рис. 1). Притягивание этой планки 2 к неподвижной планке 1 с помощью болта 3 и гайки 4 приводит к закреплению заготовки 5 по её боковым поверхностям. После закрепления заготовки планка 2 дополнительно прижимается к заготовке эксцентриком (не указан на схеме) для предотвращения вибрации при фрезеровании.

Схема действия составляющих силы резания при фрезеровании концевой фрезой представлена на рис. 2.

При установке заготовки вдоль динамометра и придании столу станка продольной подаче  $s_{\text{мин}}$  на неё при фрезеровании будут действовать силы  $P_h$ , которая будет совпадать по направлению с продольной подачей и силой  $P_x$  динамометра, направление которой «зашиито» в программное обеспечение динамометра Kistler как для токарной обработке [1]. Боковая сила  $P_v$  по направлению будет перпендикулярно направлению продольной подаче и совпадать с направлением силы  $P_y$  динамометра. Вертикальная сила фрезерования  $P_x$ , действующая вдоль оси фрезы вниз, по направлению будет совпадать с направлением силы  $P_x$  динамометра. Поэтому при анализе графиков изменения составляющих сил резания, демонстрирующихся на экране монитора под символами  $P_z$ ,  $P_y$  и  $P_x$ , необходимо понимать совсем другие составляющие силы резания при фрезеровании.

В том случае, если глубина фрезерования  $t$  намного меньше диаметра фрезы  $d_{\text{фр}}$  ( $t < 0,1 \cdot d_{\text{фр}}$ ) сила  $P_h$  будет приблизительно равна силе  $P_z$  (на мониторе будет показывать как  $F_x$ ), а боковая сила  $P_v$  – силе  $P_y$  (на мониторе будет показывать как  $F_y$ ). Осевая сила при фрезеровании  $P_x$  – силе  $P_x$  (на мониторе будет показывать как  $F_z$ ) независимо от глубины резания.

Глубина фрезерования  $t$  (ширина уступа  $b$ ) назначалась не более 4 мм при диаметре фрезы  $d_{\text{фр}} = 8$  мм, а ширина фрезерования  $B$  (высота уступа  $h$ ) – не более 5 мм. Ограничение по высоте и ширине уступа связано с необходимостью выполнять фрезерования с разными подачами  $s_m$  (мм/мин), или  $s_z$  (мм/зуб), и скоростями резания  $v$  (м/мин), что приводит к быстрому уменьшению заготовки по высоте и ширине, а они небольшие, поэтому можно удалить только 2-3 слоя, с учётом того, что крепление заготовки по боковым поверхностям у её основания занимает  $h_{\text{крепл}} = 10$  мм, т.е. высота для испытаний  $h_{\text{исп всего}} = h_{\text{обр}} - h_{\text{крепл}} = 20 - 10 = 10$  мм.

При фрезеровании образца из титанового сплава ВТ1-0 при  $n=3981$  об/мин офрезой с механическим креплением одной сменной многогранной пластиной (СМП) (см.рис. 1) были получены графики изменения составляющих силы резания, которые на мониторе отображаются по направлению как для токарной обработки. Поэтому составляющая  $F_x$  на

экране монитора на самом деле есть составляющая  $P_h$  при фрезеровании, а с учётом малой глубины резания  $t = 0,75$  мм при  $d_{фр} = 12$  мм, – это изменения силы  $P_z$ , т.к.  $t = 0,06 \cdot d < 0,1 \cdot d$ . Её величина постепенно увеличивалась до 255 Н через 0,004 с, после чего также плавно уменьшалась до нуля через 0,008 с, затем становилась отрицательной до минус 50 Н, выходила в ноль при выходе режущей кромки режущей пластины из контакта с заготовкой через 0,011 с после начала врезания.

Составляющая  $F_y$  на экране монитора на самом деле есть составляющая  $P_v$  при фрезеровании, а с учётом малой глубины резания  $t = 0,75$  мм это изменения силы  $P_y$ . Её величина сначала была отрицательной (-100 Н через 0,001 с), после чего постепенно увеличивалась до 250 Н через 0,007 с, после чего более круто уменьшалась до нуля через 0,011 с после начала врезания. Отставание силы  $P_y$  относительно  $P_z$  связано, на наш взгляд, с изменением направления действия силы  $P_v$  при врезании зуба фрезы, т.к. измеряется не радиальная составляющая  $P_y$ , а боковая составляющая  $P_v$ .

Составляющая  $F_z$  на экране монитора на самом деле при фрезеровании есть составляющая  $P_x$ , которая при любой величине глубины резания  $t$  является силой  $P_x$ , она наиболее плавно сначала увеличивается до 100 Н через 0,005 с, а затем также плавно уменьшается до нуля через 0,011 с после начала врезания.

### **Список литературы:**

1. Утенков, В.М. Возможности использования динамометра Kistler для испытания металлорежущих станков / В.М. Утенков, П.А. Быков // Инженерный вестник. – 2012. - № 10. – с.9.