

ОСОБЕННОСТЬ НАГРУЖЕНИЯ ЗУБА ФРЕЗЫ ПРИ ВРЕЗАНИИ

Ц. Чжан, аспирант гр. А6-21,

В.Н. Козлов, к.т.н., доц.,

Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина,30

тел.(3822)-606-389

E-mail: 965075948@qq.com

При оценке прочности инструмента требуется знание величины и характера распределения контактных нагрузок на поверхностях инструмента с учётом его износа. Износ инструмента может проявляться на следующих поверхностях режущего инструмента (рис. 1):

- 1) на передней поверхности с образованием лунки износа глубиной h_d и длиной c_d ;
- 2) на режущей кромке инструмента с образованием округления радиусом ρ ;
- 3) на задней поверхности с образованием фаски износа длиной h_z , h_{zi} и с задним углом на фаске износа α_h , который при большом износе может иметь даже отрицательный знак.

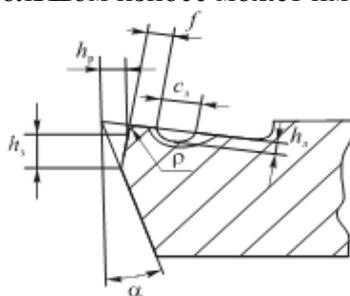


Рис. 1. Зоны износа режущего клина

Наиболее интенсивно режущие инструменты изнашиваются по задней поверхности, при этом существенно увеличиваются составляющие силы резания: тангенциальная P_z , радиальная P_y и осевая P_x . Для экспериментального исследования их изменения была использована измерительная система с динамометром Kistler модели 9257В, которая позволяет не только измерить величину сил резания, но и получить графики их изменения.

При измерении составляющих силы резания обычным трёхкомпонентным динамометром при фрезеровании будут зафиксированы изменения технологических составляющих силы резания: P_{hd} (действующей в горизонтальной плоскости против направления вектора подачи $s_{мин}$), P_{vd} (действующей в горизонтальной плоскости перпендикулярно направлению подачи $s_{мин}$), P_{xd} (действующей вниз вдоль оси вращения фрезы, т.е. в вертикальной плоскости перпендикулярно направлению подачи $s_{мин}$).

На зуб фрезы будут действовать соответствующие составляющие силы резания, равные по абсолютной величине, но имеющие противоположные направления: P_h , P_v , P_x (рис. 2).



Рис. 2. Направление составляющих силы резания при несимметричном встречном фрезеровании торцовой фрезой. а) – вид сбоку; б) – вид сверху

Для расчёта НДС зуба фрезы желательно знать физические составляющие: нормальную N и касательную F к передней поверхности зуба. Для этого необходимо выделить технологические составляющие P_z , P_y и P_x , действующих в системе координат, поворачивающихся относительно оси вращения фрезы вместе с её зубом (рис. 2). На рис. 2 б символом a'_i обозначена толщина среза a_i на виде сверху.

При фрезеровании зуб фрезы поворачивается, поэтому для выделения составляющих силы резания P_z и P_y была использована фреза небольшого диаметра с углом наклона главной режущей кромки $\varphi = 45^\circ$, а ширина фрезерования b была равна половине диаметра фрезы. Поэтому во время врезания зуба фрезы динамометр показывает по одному из каналов составляющую силы резания P_z , совпадающую с P_h , а через четверть оборота перед выходом зуба из контакта с заготовкой по этому же каналу P_h будет показана P_y .

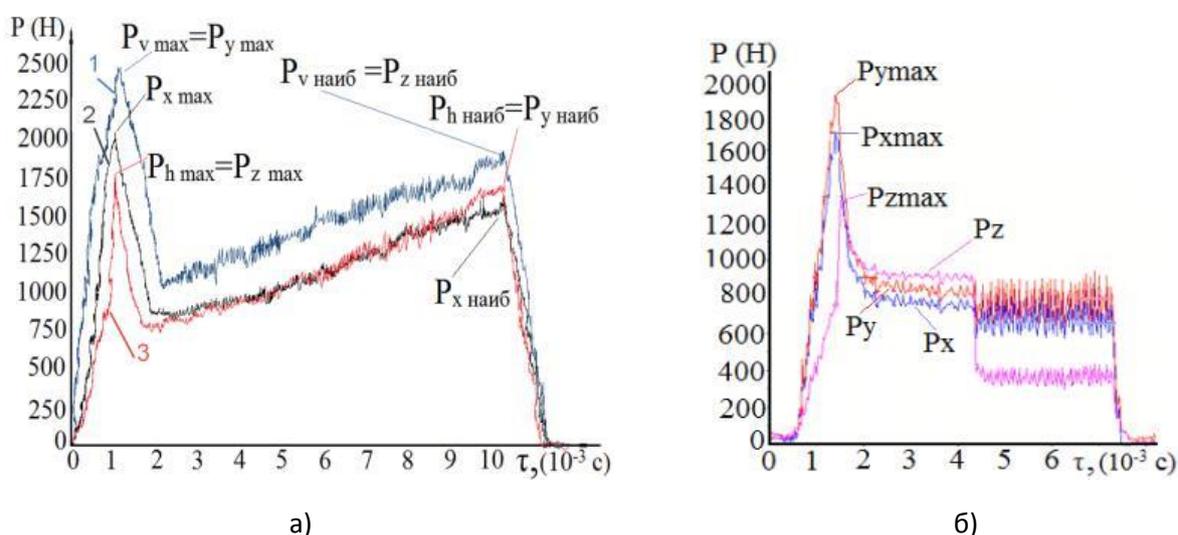


Рис. 3. Изменение составляющих силы резания при обработке стали 40Х. Ордината – составляющие силы резания (Н), абсцисса – время обработки τ (с). а) – при торцовом фрезеровании фрезой с одним зубом с углом наклона главной режущей кромки $\varphi = 45^\circ$, 1 – P_v , 2 – P_x , 3 – P_h (Н); б) – при точении резцом с углом в плане $\varphi = 45^\circ$ с врезанием в коническую поверхность, оставшуюся после предыдущей обработки резцом с этим же

По другому каналу соответственно будет сначала показываться составляющая силы резания P_y , совпадающую с P_v , а через четверть оборота по этому же каналу P_v будет показана P_z перед выходом зуба из контакта с заготовкой. Составляющая P_x будет действовать всё время вертикально и постоянно будет показываться по третьему каналу (каналу P_x).

При черновом фрезеровании чаще всего применяется встречное фрезерование, при котором в начальный момент контакта зуба фрезы с поверхностью заготовки, оставшейся от резания предыдущим зубом, толщина среза равна нулю ($a_{i \text{ нач}} = 0$ мм). При дальнейшем повороте зуба фрезы толщина среза a_i постепенно увеличивается до $a_{i \text{ наиб}}$ на конечном этапе контакта зуба с заготовкой, а затем быстро уменьшается до нуля при выходе зуба из контакта. В начальный момент контакта зуба фрезы с заготовкой стружка не образуется, и материал заготовки подминается под режущую кромку зуба. В этот момент составляющие силы резания сначала быстро увеличиваются, а затем, после начала образования стружки, быстро уменьшаются (рис. 3 а, левая часть графиков).

Толщина среза a_i (мм) рассчитывается по формуле $a_i = s_z \cdot \sin \psi$, где ψ – центральный угол, образованный радиусами, проведенными из центра оси вращения фрезы к точкам входа и текущим положением её исследуемого зуба, s_z – подача на зуб (мм/зуб). В результате увеличения толщины среза a_i составляющие силы резания увеличиваются до момента, пока зуб фрезы не выйдет из контакта с заготовкой. После этого они резко уменьшаются до нуля (рис. 3 а).

Из-за короткого времени фрезерования (обычно зуб находится в контакте с заготовкой в течение нескольких миллисекунд) и поворота зуба фрезы погрешность измерения составляющих P_z и P_y силы резания может быть большой.

Для проверки характера изменения сил было выполнено моделирование врезания зуба торцевой фрезы с углом $\alpha = 45^\circ$ (рис. 2 а) на токарном станке путём врезания токарного резца с главным углом в плане $\phi = 45^\circ$ в коническую поверхность заготовки, оставшуюся после предыдущей обработки резцом с этим же углом в плане (рис. 4). В этом случае главная режущая кромка токарного резца начинает касаться конической поверхности заготовки сразу по всей длине b , имитируя врезание зуба фрезы.

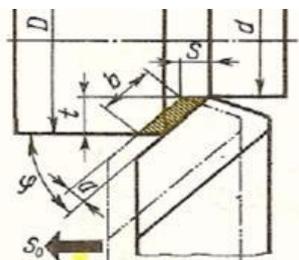


Рис. 4. Моделирование
врезания зуба торцевой фрезы
с $\phi = 45^\circ$ на токарном станке
резцом с $\phi = 45^\circ$

При врезании токарного резца составляющие силы резания сначала быстро увеличиваются, а затем, после начала образования стружки, быстро уменьшаются до величины, характерной для установившегося резания (рис. 3 б, середина графиков).

В наших экспериментах после выхода на установившееся резание продольная механическая подача отключалась, но резец от заготовки некоторое время не отводился, и производилась запись изменения сил резания в процессе контакта резца с заготовкой по главной режущей кромке или по искусственной фаске на задней поверхности с задним углом $\alpha_h = 0^\circ$, моделирующей износ. Обращает на себя внимание тот факт, что величина составляющих сил резания P_y и P_x в процессе такого трения приблизительно равны этим составляющим, действующим при установившемся резании (рис. 3 б, правая часть графиков).

Характер изменения сил резания можно получить также с помощью компьютерного программного обеспечения. С помощью программы Deform, можем исследовать изменение составляющих сил резания при фрезеровании. Сравнение экспериментально полученных графиков (рис. 3 а) и полученных при моделировании с использованием программы Deform (рис. 5) показывает, что изменение составляющих силы резания описывается схожим образом.

При компьютерном моделировании также, как и при реальном фрезеровании, при врезании происходит сначала увеличение составляющих силы резания, которые быстро уменьшаются после образования стружки. Величина сил при моделировании отличается от экспериментальных почти в 2 раза, что связано, на наш взгляд, с несовершенством программного обеспечения Deform.

При повороте зуба фрезы происходит незначительное увеличение сил (рис. 5), после чего средние величины сил остаются практически неизменными длительное время, а затем они уменьшаются до нуля. Отсутствие существенного увеличения сил при повороте зуба фрезы связано, на наш взгляд, с несовершенством программного обеспечения Deform.

При исследовании прочности режущей пластины фрезы необходимо рассчитать её напряжённо-деформированное состояние (НДС) при нагружении её составляющими P_z , P_y и P_x силы резания. При увеличении подачи составляющие силы резания возрастают и повышаются эквивалентные напряжения в режущем клине. Поэтому нам нужно определить

подачу на зуб s_z (мм/зуб) при заданной ширине фрезерования b (мм) и глубине резания t (мм), при которой максимальное эквивалентное напряжение в режущем клине не будет превышать предельно допустимого напряжения на изгиб, сжатие или растяжение для используемого материала пластины.

Для моделирования износа на пластине затачивалась фаска на задней поверхности с задним углом $\alpha_h=0$. Длина этой фаски при её первоначальной заточки составляла $h_f=2$ мм. После экспериментов с разной подачей s (мм/об) и скоростью резания v (м/мин) резец снимался со станка и затачивался по задней поверхности с прежним углом $\alpha=10^\circ$ до тех пор, пока длина фаски на задней поверхности не принимала необходимую величину. После этого резание продолжалось с прежним режимом резания. Переточка только по главной задней поверхности позволяла оставлять неизменный угол на фаске задней поверхности $\alpha_h=0^\circ$, характерный при длине фаски износа по задней поверхности менее 1,8 мм [1, 2].

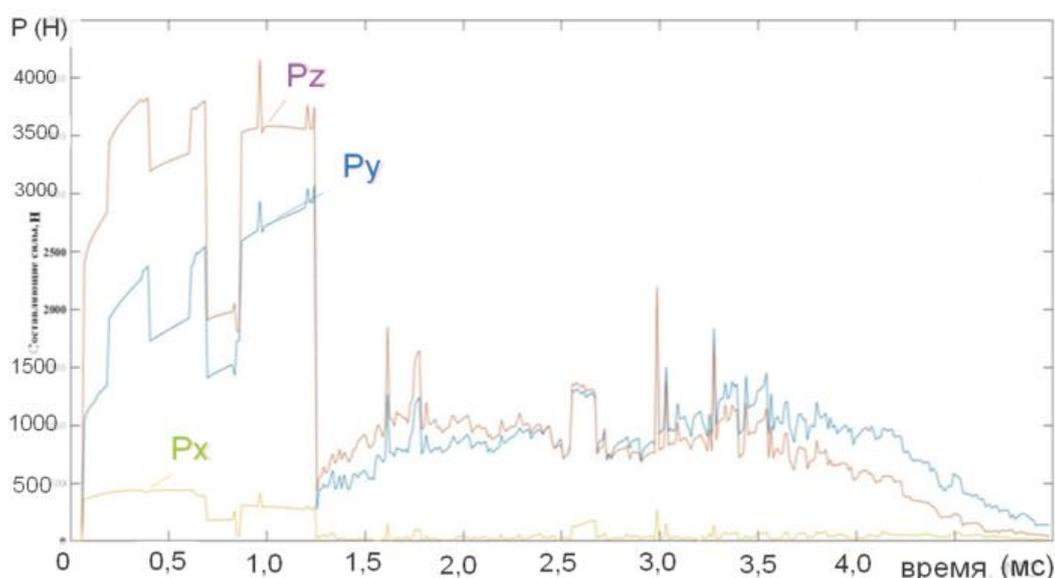


Рис. 5. Изменение составляющих силы резания P_z , P_y и P_x (Н) во время резания τ (миллисекунд) одним зубом при моделировании встречного фрезерования торцевой фрезой с использованием программы Deform. 40X – T15K6; подача на зуб $s_z=0,15$ мм/зуб; скорость резания $v=120$ м/мин

Нормальные и касательные контактные напряжения на передней поверхности и на искусственной фаске износа задней поверхности при установившемся резании и врезании определялись в соответствие с ранее выполненными исследованиями в этой области [1, 2, 3].

Анализ НДС методом конечных элементов с использованием программы ANSYS показал, что при обработке стали 40X режущая пластина, используемая в качестве зуба фрезы, при длине фаски по задней поверхности $h_z=0,13$ мм и наибольшей толщине среза $a_{\text{наиб}}=0,13$ мм, т.е. при выходе из контакта с заготовкой, имеет наибольшее эквивалентное внутренние напряжения $\sigma_{\text{э наиб}}=200$ МПа, в то время как при врезании $\sigma_{\text{э наиб}}=1367$ МПа. При толщине среза $a_{\text{наиб}}=0,5$ мм на выходе зуба из контакта с заготовкой $\sigma_{\text{э наиб}}=600$ МПа, в то время как при врезании $\sigma_{\text{э наиб}}=6000$ МПа. Это говорит о том, что в наших условиях фрезерования при врезании зуб фрезы испытывает гораздо большие нагрузки, чем при выходе из контакта.

Список литературы:

XII Международная научно-техническая конференция
«Современные проблемы машиностроения»

1. Zhang J., Kozlov V. N., Guo Y., Sabavath S. K. Contact loads on surfaces of worn out cutter in steel machining [Electronic resource] / Zhang Jiayu [et al.]; sci. adv. V. N. Kozlov // Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов : сборник докладов VIII Всероссийской научно-практической конференции, Томск, 16-18 мая 2018 г. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — Томск: Изд-во ТПУ, 2018. — [С. 39-45].
2. Kozlov V. N., Zhang J., Zhang J., Guo Y., Sabavath S. K. Research of Contact Stresses Distribution on Plunge-Cutting into a Steel Workpiece [Electronic resource] / V. N. Kozlov [et al.] // Key Engineering Materials : Scientific Journal. — 2018. — Vol. 769 : High Technology: Research and Applications (HTRA 2017). — [284-289].
3. Козлов В.Н., Чжан Ц. Влияние вида нагружения на расчёт внутренних напряжений в режущем клине // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2017. — № 8, ч. 2. — с. 88-94.