

Под редакцией С. В. Кирсанова. - 2-е изд. доп. М.: Машиностроение, 2005. - 528 с: ил

6. Справочное руководство ISCAR. Обработка титана. Электронный ресурс:
https://www.iscar.ru/Catalogs/publication2019/machining_titanium_rus_metric.pdf.
7. Xiong X., Haiou Z., Guilan W. A new method of direct metal prototyping: hybrid plasma deposition and milling //Rapid Prototyping Journal. – 2008.
8. Tascioglu E, Kaynak Y, Poyraz Ö, et al. The effect of finish-milling operation on surface quality and wear resistance of inconel 625 produced by selective laser melting additive manufacturing[C]//International Conference on Advanced Surface Enhancement. Springer, Singapore, 2019: 263-272.

Ци Мэнсюй (Китай), Хань Цзунпэн (Китай), Мэн Сянцзюнь (Китай),
Козлов Виктор Николаевич (Россия)

Томский политехнический университет, г. Томск

Научный руководитель: Козлов Виктор Николаевич,
канд. техн. наук, доцент

АНАЛИЗ НАГРУЖЕНИЯ ЗУБА ФРЕЗЫ ПРИ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ

Фрезерование является основным видом при обработке корпусных деталей. При фрезеровании по схеме встречного фрезерования зуб начинает врезаться в заготовку с нулевой толщиной среза, что вызывает вдавливание (подмятие) обрабатываемого материала под главную режущую кромку, которая всегда, даже при отсутствии износа, имеет округление радиусом $\rho \approx 0,001 \dots 0,005$ мм в зависимости от размера зёрен инструментального материала [1].

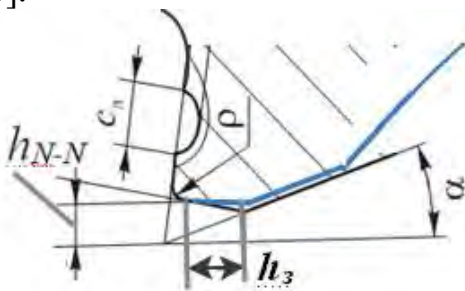


Рис. 1. Зоны износа зуба фрезы

В процессе работы происходит износ, который сопровождается и увеличением радиуса округления, и появлением фаски на задней поверхности длиной h_z (рис. 1).

При обработке стали износ по задней поверхности происходит более интенсивно, чем округление, к тому же в процессе увеличения длины фаски происходит удаление небольшого слоя материала режущего инструмента на фаске, поэтому радиус округления режущей кромки ρ не может увеличиваться слишком быстро.

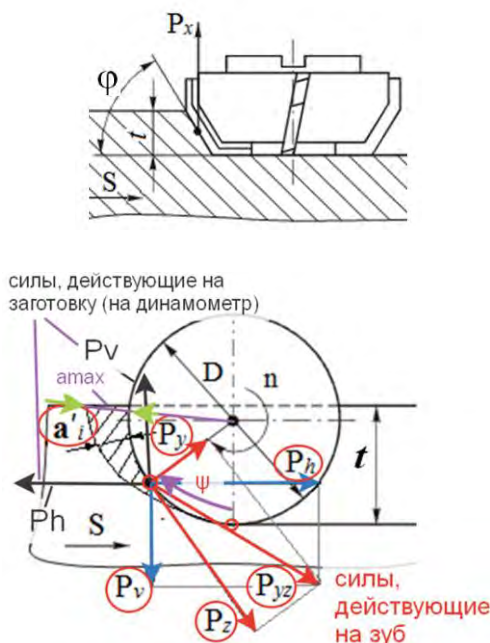


Рис. 2. Направление технологических составляющих P_v и P_h , P_z и P_y силы резания, действующих на зуб торцовой фрезы при схеме встречного фрезерования [1]

Вдавливание зуба фрезы с фаской износа в заготовку в момент врезания вызывает интенсивное увеличение составляющих силы резания. Измерение технологических составляющих силы резания с помощью динамометра возможно только в направлении подачи s (P_h), перпендикулярно направлению подачи (P_v) и вдоль оси концевой или торцовой фрезы (P_x) (рис. 2).

В момент врезания зуба происходит резкое увеличение всех перечисленных составляющих из-за вдавливания металла под режущую кромку (рис. 3, a). После появления стружки металл уже начинает перемещаться по передней поверхности, вдавливание существенно уменьшается, и силы быстро уменьшаются.

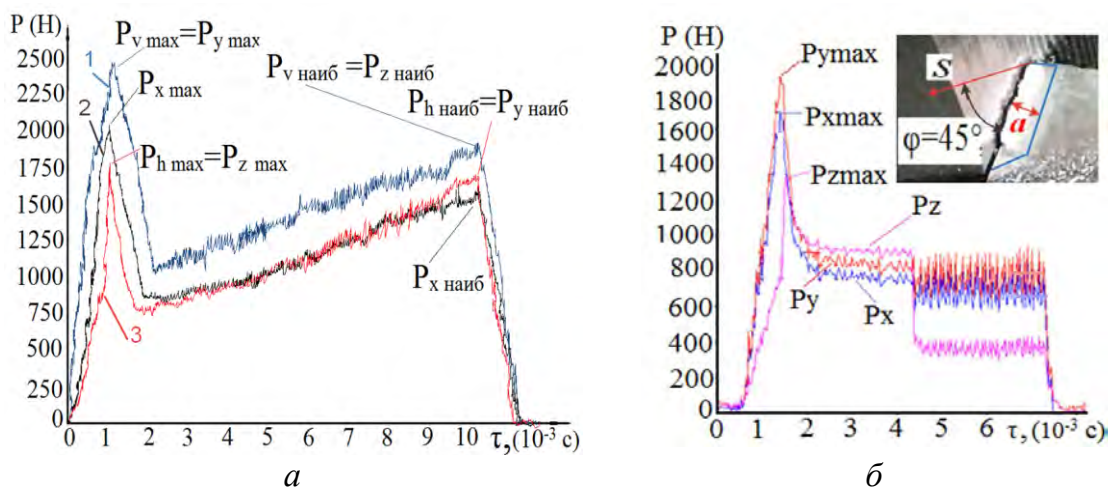


Рис. 3. Изменение составляющих силы резания при обработке стали 40X. Ордината – составляющие силы резания (Н), абсцисса – время обработки τ (с). а – при торцовом фрезеровании фрезой с одним зубом с углом наклона главной режущей кромки $\varphi = 45^\circ$, 1 – P_v , 2 – P_x , 3 – P_h (Н); б – при точении резцом с углом в плане $\varphi = 45^\circ$ с врезанием в коническую поверхность, оставшуюся после предыдущей обработки резцом с этим же углом φ ; $s = 0,07$ мм/об, $v = 120$ м/мин, $t = 1,8$ мм [2]

Дальнейший поворот зуба фрезы при постоянном движении с продольной подачей s (мм/мин) приводит к увеличению толщины среза a_i (мм), что вызывает увеличение всех составляющих сил резания до момента выхода зуба из контакта с заготовкой. На схеме рис. 2 указана толщина среза a_i , т.к. указано не перпендикулярное к главной режущей кромке сечение, а проекция на горизонтальную плоскость. Для определения сил необходимо знать толщину среза $a_i = s_z \cdot \sin \psi$, где s_z – подача на зуб (мм/зуб); ψ – центральный угол положения зуба относительно точки врезания (угол дуги контакта зуба в процессе резания).

В момент выхода зуба фрезы из контакта происходит достаточно быстрое уменьшение толщины среза, что приводит к быстрому уменьшению всех составляющих силы резания.

Измерение технологических составляющих P_z и P_y невозможно из-за изменения их направления при вращении фрезы. Возможно выделение этих сил только при двух положениях фрезы: 1) в начале контакта зуба фрезы с заготовкой, когда сила P_z совпадает по направлению с силой P_h , а сила P_y совпадает по направлению с силой P_v (рис. 2); 2) если ширина фрезерования B равна половине диаметра фрезы ($B = D_{фр}/2$), то в момент выхода зуба из контакта с заготовкой сила P_z совпадает по направлению с силой P_v , а сила P_y совпадает по направлению с силой P_h .

Пример графиков изменения составляющих силы резания при обработке плоской поверхности торцовой фрезой представлен на рис. 3, а.

При врезании зуба фрезы наибольшая величина наблюдается у составляющей P_v , которая по величине совпадает с P_y , т.к. в бóльшей степени подмятие металла под главную режущую кромку оказывает влияние на радиальную составляющую P_y силы резания. На самом деле резания ещё не происходит, т.к. ещё нет стружки, а наблюдается лишь трение фаски износа задней поверхности по **поверхности** заготовки, **оставшейся** после предыдущего удаления металла впереди расположенным зубом фрезы.

При врезании зуба составляющая P_h , которая по величине совпадает с P_z , сравнительно небольшая, т.к. она в этот момент представляет собой силу трения F' при нормальной силе $N' = P_y$. Таким образом, можно определить в каком-то смысле коэффициент трения в этот момент врезания $f = F'/N' = P_{z\max}/P_{y\max} = P_h/P_v = 2000/2490 = 0,8$. На самом деле сначала необходимо рассчитать нормальную N и касательную F силы с учётом угла наклона φ главной режущей кромки относительно направления подачи, т.е. главного угла в плане φ .

Для определения величины составляющих P_z и P_y было решено определять эти силы при точении с таким же углом $\varphi = 45^\circ$. В разные этапы положения зуба относительно момента врезания по углу дуги контакта ψ определялась толщина среза $a_i = s_z \cdot \sin \psi$, и устанавливалась соответствующая продольная подача s_i , которая определялась из известной формулы $a_i = s_i \cdot \sin \varphi$. Наибольшая толщина среза a_{\max} будет перед выходом зуба из контакта и рассчитывается по формуле: $a_{\max} \approx s_z \cdot 2 \cdot (t/D_{\text{фр}})^{0,5}$.

Для исследования изменения сил во время врезания зуба фрезы выполнялось врезание в коническую часть заготовки, оставшуюся после предыдущего резания (рис. 3, б). Резец использовался как неизношенный, так и затачивался с искусственной фаской на задней поверхности длиной h_3 и главным задним углом на фаске $\alpha_{\text{ф}} = 0^\circ$.

Также, как и при фрезеровании, наблюдается первоначальное увеличение всех составляющих силы резания, но после появления стружки они быстро уменьшаются до величин, соответствующих установившемуся резанию.

По окончанию резания, т.е. после измерения сил резания при установившемся резании, продольная подача отключалась, но резец от заготовки некоторое время не отводился. Несмотря на то, что при этом стружка не образовывалась, т.е. было только трение по фаске на задней поверхности, составляющие силы уменьшались незначительно, что говорит о большой величине сил на фаске задней поверхности в это время (рис. 3, б). Сила P_z всегда была меньше остальных, т.к. она представляет в это время силу трения по фаске задней поверхности.

Вышеуказанный эффект незначительного уменьшения сил при отсутствии стружки подтверждает гипотезу о наличии прогиба поверхности резания под действием радиальной составляющей силы резания на передней поверхности при образовании сливной стружки [2]. Если бы такого прогиба не было, то после прекращения подачи силы бы уменьшались практически до нуля. Во время резания, т.е. при наличии стружки на передней поверхности, составляющие силы действовали в основном на передней поверхности, а прогиб поверхности резания разгружал фаску задней поверхности от контакта с упруго восстанавливающейся поверхностью резания, т.е. по конической поверхности.

Обращает на себя внимание большая амплитуда изменения технологических составляющих P_y и P_x силы резания при контакте фаски токарного резца с бывшей поверхностью резания после выключения продольной подачи (рис. 3, б.). Если учесть, что результирующая P_{xy} есть векторная сумма составляющих P_y и P_x , то это означает, что резец как бы «прыгает» в радиально-осевом направлении, что проявляется в виде сильной вибрации и свиста, если резец не успевает отвести от заготовки. Большая амплитуда изменения этих технологических составляющих приводит к большим внутренним напряжениям в режущей части, что увеличивает вероятность хрупкого разрушения. Это особенно опасно при отсутствии дополнительного нагрева от зоны первичных пластических деформаций, т.к. стружка не формируется.

В то же время амплитуда изменения технологической составляющей P_z , представляющей силу трения на фаске износа, небольшая, что говорит о небольших изменениях этой силы на фаске износа после прекращения подачи.

Аналогичные процессы происходят, видимо, и при фрезеровании, когда фреза не выводится из контакта с обработанной поверхностью. По нашему мнению, чем меньше жёсткость фрезы, тем больше будет проявляться вышеописанный эффект, но это требует дополнительного исследования.

Для расчёта зуба фрезы на прочность необходимо знать составляющие силы резания **при врезании** (особенно при наличии износа по задней поверхности) и **в момент выхода зуба** из контакта с заготовкой. По этим силам необходимо рассчитать физические составляющие, действующие на передней поверхности и на фаске износа, а затем построить эпюры контактных напряжений [2, 3, 4] для нагружения 3Д модели зуба фрезы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кожевников Д. В., Гречишников В. Л., Кирсанов С. В., Кокарев В. И., Схиртладзе А. Г. Режущий инструмент: Учебник для вузов / Под редакцией С. В. Кирсанова. - 2-е изд. доп. М.: Машиностроение, 2005. - 528 с: ил.
2. 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].
3. Чжан Ц., Козлов В.Н. Влияние вида нагружения на расчёт внутренних напряжений в режущем клине // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Вып. 8: в 2 ч. Ч. 2. Тула: Изд-во ТулГУ, 2017. С. 352-356.
4. 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]. .

Цяо Иньсюань (Китай),

Цавнин Алексей Владимирович (Россия)

Томский политехнический университет, г. Томск

Научный руководитель: Цавнин Алексей Владимирович,
канд. техн. наук, доцент

РАЗРАБОТКА ГРАФИЧЕСКИХ ИНТЕРФЕЙСОВ ДЛЯ MATLAB

Введение

Одним из неотъемлемых компонентов любой автоматизированной системы управления технологическим процессом является операторский графический интерфейс. Для решения подобных задач используются различные программные и аппаратные средства, в том числе операторские панели промышленного исполнения, пакеты SCADA-систем или само-