

piece [Electronic resource] / V. N. Kozlov [et al.] // Key Engineering Materials : Scientific Journal. — 2018. — Vol. 769 : High Technology: Research and Applications (HTRA 2017). — [284-289].

Чжао Цзялунь (Китай), Ю Цзяньюй (Китай), Ци Мэнсюй (Китай),
Козлов Виктор Николаевич

Томский политехнический университет, г. Томск

Научный руководитель: Козлов Виктор Николаевич
к.т.н., доцент

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЧНОСТИ РЕЖУЩИХ ПЛАСТИН СБОРНЫХ ФРЕЗ

Сборные фрезы применяются для увеличения производительности обработки, т.к. закрепляемые на них сменные многогранные пластины (СМП) чаще всего изготавливаются из твёрдого сплава, что позволяет увеличить скорость резания в 5-10 раз по сравнению с фрезами из быстрорежущей стали [1].

Нанесение износостойких покрытий на небольшие по размеру СМП упрощает технологию подготовки и нанесения покрытия по сравнению с цельными фрезами, уменьшает время технологического процесса, увеличивает качество покрытий и уменьшает себестоимость изготовления СМП.

Однако существенным недостатком твёрдосплавных СМП является их меньшая прочность и хрупкость по сравнению с быстрорежущими фрезами, что требует более точного соблюдения режима резания. Даже небольшое выкрашивание или скол режущей кромки пластины приводит к необходимости её замены, т.к. при этом увеличивается опасность развития микротрещин и вызывает увеличение вероятности поломки СМП и браку обрабатываемой заготовки. Поэтому исследование напряжённо-деформированного состояния (НДС) СМП при фрезеровании является актуальной задачей.



Рисунок 1. Концевая сборная фреза с механическим креплением СМП

Чаще всего сборные фрезы используются при торцовом и концевом фрезеровании. Концевые фрезы имеют меньшую жёсткость из-за небольшого диаметра и большой длины вылета фрезы l от торца шпинделя, что приводит к необходимости уменьшать подачу на зуб sz , глубину резания t и ширину фрезерования B (высоту уступа или глубину паза h). Это вызывает необходимость более внимательного исследования прочности их СМП.

При схеме встречного фрезерования (рис. 2), которая наиболее часто используется при черновой обработке, в момент врезания зуба фрезы происходит подмятие материала заготовки под округлённую режущую кромку. Это вызывает кратковременное увеличение составляющих P_z , P_y и P_x силы резания, величина которых быстро уменьшается после начала образования стружки (рис. 3) [2]. После этого наблюдается постепенное увеличение составляющих P_z , P_y и P_x из-за увеличения толщины среза a (мм), рассчитываемой по формуле: $a_i = sz \cdot \sin\psi_i$, где ψ_i – центральный угол от точки врезания зуба до его текущего положения ($^\circ$) (рис. 2). Угол ψ_i может быть рассчитан по формуле: $\cos\psi_i = 1 - 2 \cdot t_i / D$, где t_i – текущее значение глубины фрезерования, D – диаметр фрезы (мм).

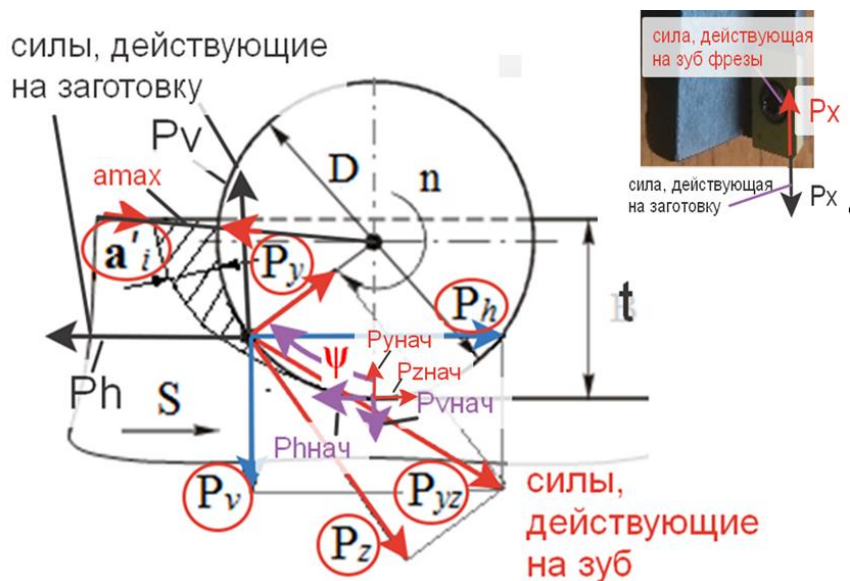


Рисунок 2. Схема действия составляющих силы резания при несимметричном встречном фрезеровании концевой фрезой

При экспериментальном исследовании силовых зависимостей во время фрезерования большой проблемой является изменение направления действия составляющих P_z и P_y силы резания, действующих на зуб фрезы (рис. 2). В начальный момент при врезании зуба на заготовку действуют силы P_z нач и P_y нач, а при дальнейшем повороте зуба эти силы изменяют своё направление на $P_z i$ и $P_y i$.

К этой проблеме прибавляется другая – с помощью динамометра, на котором закрепляется заготовка, можно измерять только технологических составляющие P_h и P_v силы резания, действующие вдоль продольной подачи s (мм/мин) и перпендикулярно ей соответственно (рис. 2).

Фрезерование торцовой фрезой с $\varphi=45^\circ$ (а) и точение резцом с $\varphi=45^\circ$ (б)

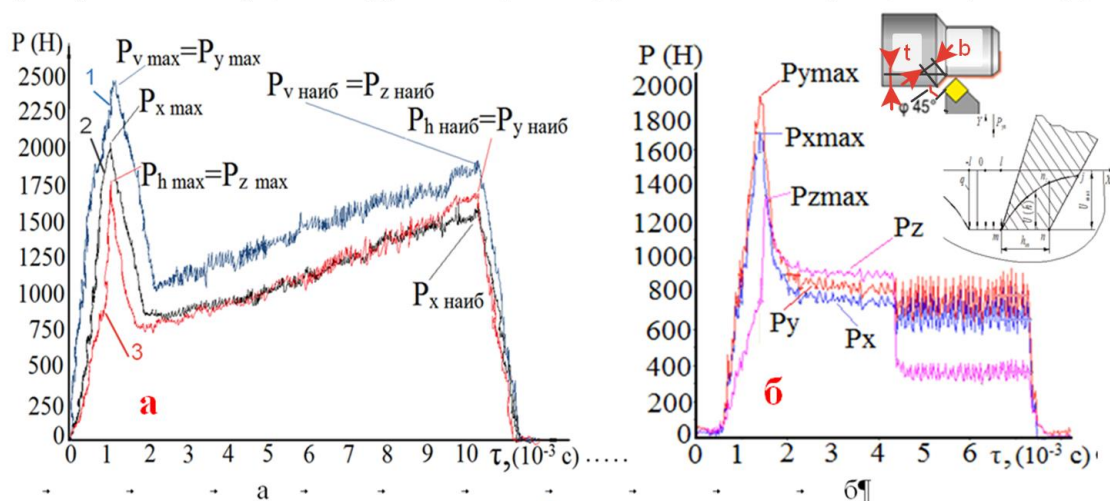


Рисунок 3. Графики изменения составляющих силы резания при фрезеровании (а) и при моделировании врезания зуба фрезы с использованием токарного резца (б). Ордината – составляющие силы резания (Н), абсцисса – время обработки τ (с).

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 ;

б — при точении резцом с врезанием в коническую поверхность, оставленную после предыдущей обработки резцом с углом в плане $\varphi = 45^\circ$, $s = 0,07$ мм/об, $v = 120$ м/мин, $t = 1,8$ мм, длина фаски износа по задней поверхности $h_z = 0,95$ мм

Сила P_x , действующая на зуб фрезы, направлена в противоположном направлении силы P_x заг, действующей на заготовку (рис. 1, 2). Она не меняет своего направления, но при наличии угла подъёма винтовой канавки ω на обычных правозаходных фрезах эта сила может быть направлена вниз, т.е. на динамометр, заставляя фрезу врезаться в заготовку. В этом случае противоположно направленная сила P_x заг старается поднять заготовку с динамометром вверх, т.е. на мониторе измерительной аппаратуры будет видно отрицательное значение этой силы.

Сложности по измерению технологических составляющих P_z и P_y силы резания вынуждают использовать моделирование фрезерования токарной обработкой, при которой резец с главным углом в плане $\varphi = 45^\circ$ врезается в коническую поверхность, оставшуюся от предыдущего эксперимента с такой же глубиной резания t (мм) (рис. 3 б), подача s (мм/об) не имеет значения. В этом случае режущая кромка входит в контакт с конической поверхностью (бывшая поверхность резания) одновременно по всей рабочей длине, которая определяет ширину сре-

за b (мм): $b = t/\sin \varphi$. Это имитирует врезание зуба или СМП торцовой фрезы в начальный момент врезания.

При токарной обработке также сначала кратковременно увеличивается величина всех составляющих сил резания, а после образования стружки они быстро уменьшаются до величин, характерных для установившегося резания (рис. 3 б).

Кратковременное увеличение сил резания при врезании связано с вдавливанием слоя материала заготовки под режущую кромку с радиусом округления ρ . Эксперименты показали, что с увеличением длины фаски износа по задней поверхности h_z происходит большее увеличение сил при врезании по сравнению с установившемся резанием.

При фрезеровании имеются два опасных положения зуба фрезы с точки зрения его прочности: момент врезания и момент выхода зуба фрезы из контакта заготовки. Во втором случае толщина среза наибольшая, которую можно рассчитать по формуле:

$$a_{\max} \approx s_z \cdot 2 \cdot \sqrt{\frac{t}{D}} \quad (1)$$

Во втором случае дополнительная опасность связана с резким изменением направления действия сил P_z и P_y : перед выходом зуба из контакта с заготовкой они направлены как показано на рис. 3, а сразу же после выхода зуба – в противоположном направлении из-за упругой деформации материала зуба фрезы под действием сил P_z и P_y . Особенно опасно это положение зуба для твёрдого сплава, т.к. при резании в режущем клине создаются напряжения сжатия, а твёрдый сплав имеет достаточно большой предел прочности на сжатие (для твёрдого сплава ВК8 $\sigma_{\text{сж}} \approx 4200$ МПа), а сразу же после снятия сил – напряжения растяжения, а твёрдый сплав имеет меньший предел прочности на растяжение (для твёрдого сплава ВК8 $\sigma_{\text{р}} \approx 750$ МПа).

Поэтому при определении рациональных геометрических параметров зуба фрезы или СМП необходимо определить НДС режущего клина при врезании и при выходе зуба из контакта. Для расчёта НДС СМП необходимо знать:

1) при врезании: технологические составляющие $P_z h$, $P_y h$ и $P_x h$, действующие на фаске износа по задней поверхности, по которым можно рассчитать физические составляющие N_h и F_h силы, действующие на фаске износа по задней поверхности при врезании. Перед этим необходимо выделить силы, действующие на фаске износа по главной режущей кромки $P_z h$, $P_y h$ и $P_x h$, и на вспомогательной режущей кромке $P_z h_{\text{всп}}$, $P_y h_{\text{всп}}$ и $P_x h_{\text{всп}}$. При этом принимаем, что при врезании на

передней поверхности сил P_z п, P_y п и P_x п нет, т.к. нет стружки, от которой могли бы появиться эти силы.

2) при выходе зуба или СМП из контакта:

а) технологические составляющие P_z h, P_y h и P_x h, действующие на фаске износа по задней поверхности, по которым можно рассчитать физические составляющие нормальную N_h и касательную F_h силы, действующие на фаске износа по задней поверхности при врезании. Перед этим необходимо выделить силы, действующие на фаске износа по главной режущей кромки P_z h, P_y h и P_x h, и на вспомогательной режущей кромке P_z h всп, P_y h всп и P_x h всп;

б) технологические составляющие P_z п, P_y п и P_x п, действующие на передней поверхности, по которым можно рассчитать физические составляющие нормальную N и касательную F силы, действующие на передней поверхности непосредственно перед выходом из контакта, т.е. при толщине среза $a_i = a_{max}$. При этом принимаем, что на передней поверхности у вспомогательной режущей кромки силы P_z п всп, P_y п всп и P_x п всп пренебрежимо малы по сравнению с остальными силами или они учтены при их выделении.

Для выделения сил на задней поверхности необходимо из сил P_z , P_y и P_x , полученных при износе, вычитать силы на остром режущем инструменте. При этом принимается, что на передней поверхности силы от износа по задней поверхности не зависят.

Распределение контактных напряжений на передней поверхности и на фаске задней поверхности при обработке стали 40Х было исследовано ранее [2, 3], для построения эпюр требуется рассчитать физические составляющие силы резания на передней поверхности и фаске задней поверхности.

Результаты расчёта НДС СМП при использовании программы ANSYS представлены на рис. 4. При небольшой длине фаски износа задней поверхности $h_3 = 0,13$ мм на передней поверхности имеется зона с наибольшей величиной эквивалентного напряжения $\sigma_{э\text{ наиб}} = 379$ МПа, на задней поверхности эти напряжения небольшие ($\sigma_{э\text{ наиб}} = 126$ МПа). При увеличении длины фаски износа задней поверхности до $h_3 = 0,54$ мм на передней поверхности наибольшая величина эквивалентного напряжения увеличивается до $\sigma_{э\text{ наиб}} = 415$ МПа, а на задней поверхности эти напряжения увеличиваются более существенно: до $\sigma_{э\text{ наиб}} = 415$ МПа. Это увеличение негативно сказывается на запасе прочности СМП, особенно с учётом возможного развития трещины, соединяющей эти две опасные зоны.

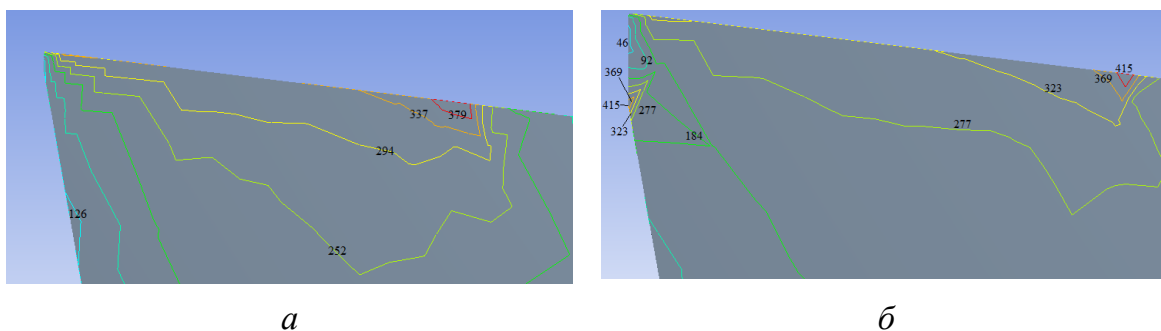


Рисунок 4. Распределение эквивалентного напряжения $\sigma_{\text{э}}$ [МПа] в режущем клине СМП сборной концевой фрезы. Сталь 40Х – ВК8; $D_{\text{фр}} = 32$ мм, $t = 16$ мм, $B = 16$ мм, $v = 120$ м/мин; $sz = 0,17$ мм/зуб, $a_{\text{max}} = 0,24$ мм, округление режущей кромки $\rho = 5$ мкм. Длина фаски износа задней поверхности: *a* – $h_z = 0,13$ мм; *б* – $h_z = 0,54$ мм

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. Чэнь Юэчжоу. Расчёт эпюр контактных напряжений при обработке стали / Чэнь Юэчжоу, Чжан Цзяюй, В. Н. Козлов; науч. рук. В. Н. Козлов // Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов сборник докладов X Всероссийской научно-практической конференции, Томск, 22-24 апреля 2020 г.: / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) . – Томск : Изд-во ТПУ , 2020 . - [С. 243-250] .
3. 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].