

## АНАЛИЗ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЗУБА ФРЕЗЫ

Козлов В.Н.<sup>1</sup>, Дин Ц.<sup>2</sup>, Чжан Х.<sup>3</sup>, Жуй М.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Томский политехнический университет, ИШНПТ, доцент ОМШ  
E-mail: kozlov-viktor@bk.ru;

<sup>2</sup>Томский политехнический университет, ИШНПТ, гр. 4АМ21  
E-mail: czechu1@tpu.ru;

<sup>3</sup>Томский политехнический университет, ИШНПТ, гр. 4АМ21  
E-mail: 1764602262@qq.com;

<sup>4</sup>Томский политехнический университет, ИШНПТ, гр. 4АМ31  
E-mail: 3359093873@qq.com;

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

При фрезеровании пазов и уступов чаще всего используются цельные фрезы из быстрорежущей стали или из твёрдого сплава (рис. 1, а). Твёрдосплавные фрезы имеют гораздо большую стойкость, но их стоимость очень большая. Поэтому при диаметре фрезы более 20 мм предпочтительнее использовать фрезы с механическим креплением сменных многогранных пластин (СМП). Если диаметр корпуса фрезы менее 25 мм используются фрезы с одной СМП (рис. 1, б).

Для оценки прочности СМП необходимо рассчитать её напряжённно-деформированное состояние (НДС). Чаще всего для этого используется программное обеспечение ANSYS [1].

Для расчёта методом конечных элементов (МКЭ) создаётся 3D модель режущей пластины (рис. 2), к которой в качестве внешней нагрузки прикладывается не сосредоточенные силы (рис. 3), а контактные напряжения (рис. 4), распределённые по выявленному закону (рис. 5) [2, 3, 4].

Поскольку измерить силы резания, действующие на зуб фрезы при фрезеровании невозможно из-за его непрерывного поворота, то принималось, что подобные нагрузки будут действовать на СМП при точении, если будет одинаковая толщина среза  $a = s \cdot \sin\varphi$ .

При фрезеровании толщина среза  $a = s_z \cdot \sin\psi_i$  непрерывно изменяется даже при постоянной подаче на зуб  $s_z$ , поэтому при расчёте НДС зуба фрезы к нему прилагалась нагрузка, действующая при наибольшей толщине среза  $a_{\max}$  (рис. 3 а).

Режим резания легированной стали фрезой со сменной многогранной пластиной (СМП) из твёрдого сплава Т15К6 без покрытия Н10 (обозначение марки твёрдого сплава по международному стандарту, используемому на Кировоградском заводе твёрдых сплавов, – легированный среднезернистый сплав Т15К6) при полуставном и черновом точении ( $s = 0,25–0,55$  мм/об,  $t = 1,6–4,1$  мм,  $v \approx 185$  м/мин), диапазон твёрдости обрабатываемой стали по Бринеллю от 180 до 350 НВ.



Рис. 1. Цельная концевая фреза (а) и сборная фреза с СМП (б)

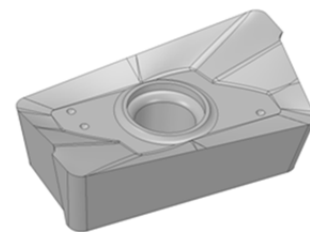


Рис. 2. 3D модель режущей пластины

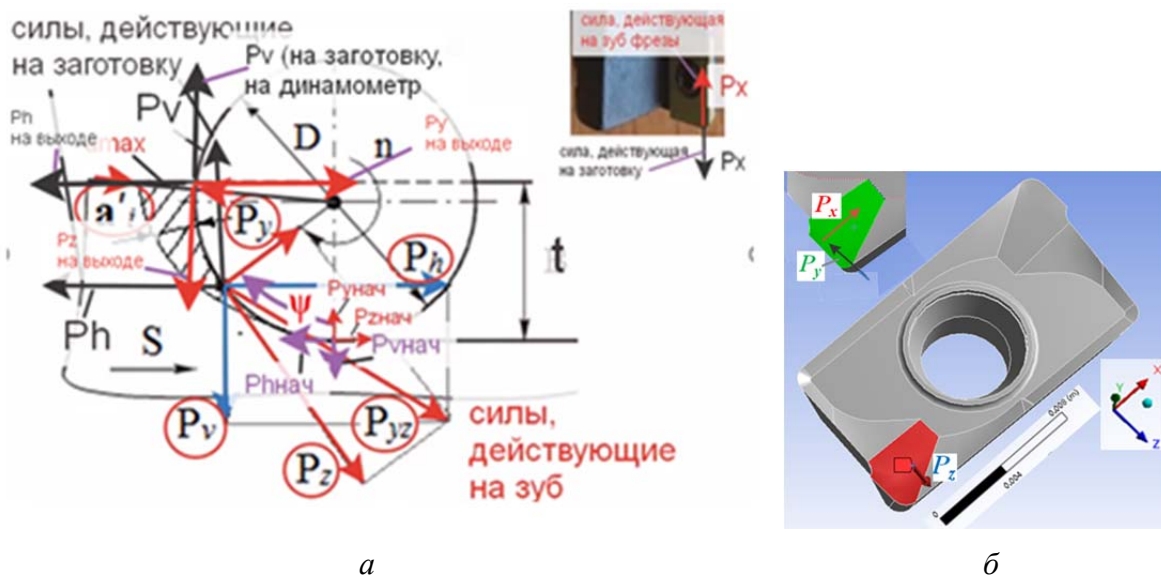


Рис. 3. Направление технологических составляющих  $P_h$ ,  $P_v$  и  $P_x$ , действующих на заготовку (на динамометр) при фрезеровании (а), и сил  $P_y$ ,  $P_x$  и  $P_z$  силы резания, действующих на зуб фрезы (б)

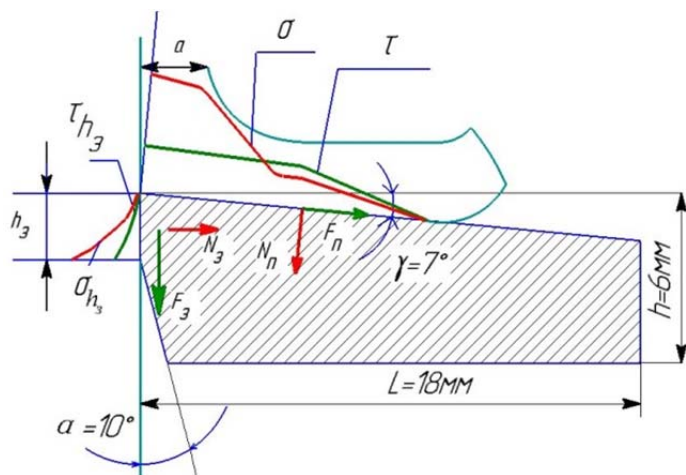


Рис. 4. Распределение нормальных  $\sigma$  и касательных  $\tau$  контактных напряжений на передней поверхности и нормальных  $\sigma_h$  и касательных  $\tau_h$  контактных напряжений на фаске задней поверхности в главной секущей плоскости упрощённой СМП концевой фрезы при обработке стали

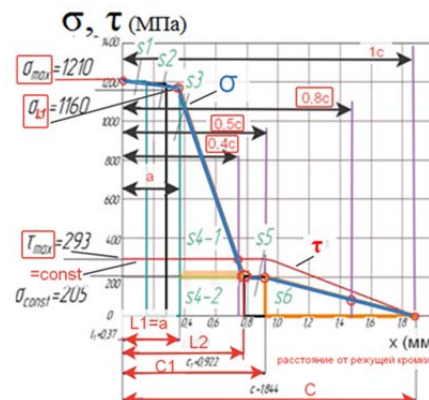


Рис. 5. Эпюры нормальных  $\sigma$  и касательных  $\tau$  контактных напряжений на передней поверхности СМП при обработке стали

Перед приложением сил на рабочие части нам нужно закрепить пластину (наложить внешние связи) с помощью программы ANSYS. ANSYS – это универсальный сеточный генератор, интегрированный в расчётную среду ANSYS Workbench, и позволяющий создавать конечно-элементную сетку автоматически или с участием пользователя. Размер сетки этой модели был первоначально установлен 0,2 мм, затем уменьшен для увеличения точности расчётов.

Чтобы исследовать влияние переднего угла  $\gamma$  на НДС режущей пластины фрезы создали серию моделей с разными передними углом  $\gamma$  и задним углом  $\alpha$ . Модель режущей пластины с  $\gamma = +7^\circ$  и  $\alpha = 15^\circ$  приведена на рис. 2.

Расчёты показали, что у СМП с увеличенным передним углом  $\gamma = +15^\circ$  при подаче 0,05 мм/об наибольшие эквивалентные напряжения у режущей кромки приближаются к предельно допустимым на изгиб (рис. 5).

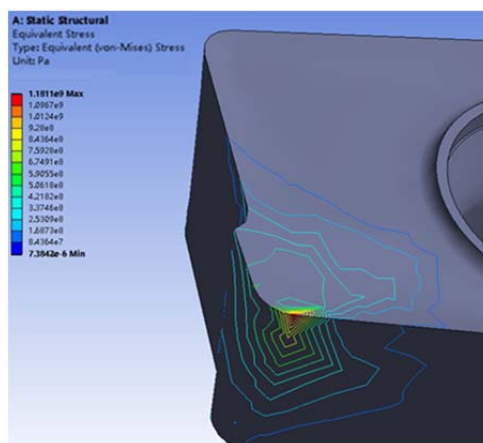


Рис. 5. Распределение эквивалентных напряжений  $\sigma_e$  (МПа) в СМП с увеличенным передним углом  $\gamma = 15^\circ$

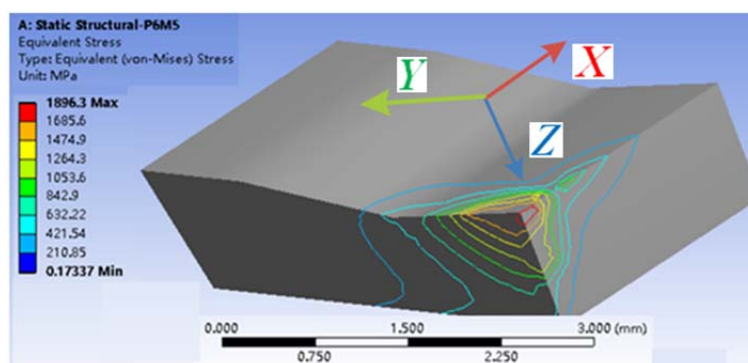


Рис. 6. Распределение эквивалентных напряжений  $\sigma_e$  (МПа) в СМП с передним углом  $\gamma = 7^\circ$

Расчёты показали, что у СМП с  $\gamma=+7^\circ$  при увеличении подачи с 0,05 мм/об до 0,52 мм/об наибольшие внутренние напряжения увеличиваются почти в 1,5 раза и приближаются к предельно допустимым на изгиб (рис. 6). Увеличение переднего угла с  $7^\circ$  до  $15^\circ$  при подаче  $s = 0,07$  мм/об приводит к увеличению  $\sigma_{\text{экр max}}$  в 1,2 раза.

В работе применялось оборудование ЦКП НОИЦ НМНТ ТПУ, поддержанного проектом Минобрнауки России № 075-15-2021-710.

### Список литературы

1. Козлов В.Н., Чжан Ц., Шэ Л. Напряжённо-деформированное состояние режущей пластины при её износе // Современные проблемы машиностроения: сборник трудов XV Международной научно-технической конференции. – Томск: Томский политехнический университет, 2022. – с. 123–125.
2. Методика измерения контактных напряжений на поверхностях резца / В.Н. Козлов [и др.]; науч. рук. В.Н. Козлов // Молодежь и современные информационные технологии сборник трудов XIV Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 7–11 ноября 2016 г.: в 2 т.: / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Институт кибернетики (ИК); под ред. В.С. Аврамчук [и др.]. – Томск: Изд-во ТПУ, 2016. – Т. 2. – С. 350–352.
3. Козлов В.Н., Чжан Х., Петровский Е.Н. Построение эпюр контактных напряжений на передней поверхности инструмента при обработке стали // Современные проблемы машиностроения: сборник трудов XV Международной научно-технической конференции. – Томск: Томский политехнический университет, 2022. – с. 94–97.
4. Зубарев, Ю.М. Основы резания материалов и режущий инструмент: учебник / Ю.М. Зубарев, Р.Н. Битюков. – Санкт-Петербург: Лань, 2019. – 228 с. – URL: <https://e.lanbook.com/book/126717>.