

- Materials : Scientific Journal. — 2018. — Vol. 769 : High Technology: Research and Applications (HTRA 2017). — [284-289].
4. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т.2/Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Сулова – 5-е изд., перераб. и доп. – Москва: Машиностроение-1, 2001 г., 912 с., ил.

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

Томский политехнический университет, г. Томск

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ РЕЖУЩИХ ПЛАСТИН

В настоящее время большинство режущих инструментов оснащаются сменными многогранными пластинами (СМП) из-за их быстрой замены после предельно допустимого износа. Использование от двух до шести режущих кромок позволяет увеличить срок службы режущей пластины, а значит и уменьшить себестоимость обработки.

Практически все СМП покрываются износостойкими покрытиями, применение которых хоть и увеличивает стоимость пластин, но благодаря увеличению стойкости от трёх до восьми раз также способствует снижению себестоимости обработки.

Надёжность работы СМП определяется её гарантированной стойкостью при рациональных режимах резания. Стойкость зависит и от интенсивности износа, и от хрупкого разрушения. Для оценки вероятности выкрашивания режущей кромки (удаления небольших объёмов режущего материала на режущей кромке) или скола (удаления больших объёмов режущего материала), определения рациональной геометрии и режима резания необходим расчёт напряжённо-деформированного состояния (НДС) СМП или её режущего клина.



Рисунок 1. Токарный резец с квадратной СМП

Видов СМП очень много, но чаще всего используются квадратные пластины и треугольные. Квадратные пластины позволяют использовать оптимальный главный угол в плане $\phi = 45^\circ$, необходимый и для поперечной обточки торца, и для черновой обработки цилиндрических поверхностей в продольном направлении, и для обточки фасок с наиболее часто встречаемым углом 45° .

Использование прямоугольных пластин позволяет увеличить глубину резания t за счёт увеличения длины режущей кромки, но уменьшает количество используемых режущих кромок до двух.

Квадратная форма СМП и угол $\phi = 45^\circ$ не позволяют обтачивать уступы, перпендикулярные цилиндрическим поверхностям. У деталей это до 70% поверхностей, и для их обточки используются треугольные СМП, которые могут иметь форму обычного треугольника или «шестигранника», хотя всё равно имеют три вершины и три режущие кромки (рис. 2). Главный угол в плане чаще всего указывается как $\phi = 95^\circ$, но может быть установлен и равным 90° за счёт небольшого поворота державки резца на гол 5° перед закреплением в резцедержателе и предварительной настройке этого положения.



Рисунок 2. Токарный резец с треугольной СМП

В большинстве случаев треугольные СМП используются для получистой и чистой обточки цилиндрическими поверхностями с продольной подачей $s_{пр}$ до упора (контакта) с уступом, углубления на величину продольного припуска $z_{пр}$ и с последующим выводом СМП из контакта с поперечной подачей $s_{поп}$ в сторону оператора (от заготовки). В этом случае угол $\varphi = 5^\circ$ или 0° , что вызывает увеличение силы резания даже при удалении небольшого припуска $z_{пр} = 0,5-1$ мм.

Составляющая сила P_x силы резания при этом достигает больших величин из-за большой длины контакта режущей кромки с заготовкой и уменьшения толщины среза a , что в совокупности может вызвать вибрацию и выкрашивание режущей кромки. Уменьшение толщины среза a менее $0,02$ мм приводит к увеличению толщины слоя материала заготовки, подминаемого под округлённую режущую кромку, имеющую обычно радиус округления $\rho = 0,005-0,01$ мм [2]. С другой стороны, увеличение толщины среза a более 1 мм также приводит к увеличению силы P_x и P_z из-за увеличения объёма удаляемого материала и тоже грозит появлением вибрации и выкрашиванием режущей кромки.

Исследование прочности режущих пластин заключается в расчёте НДС СМП при повышенной подаче, глубине резания и большом износе. Чаще всего большой износ по задней поверхности приводит к необходимости замены режущей пластины, в противном случае может произойти скол и безвозвратная потеря СМП. При черновой обработке длина фаски износа по задней поверхности h_z должна быть не более $0,75$ мм, а при получистой $h_z \leq 0,25$ мм [2]. Рассмотрение НДС острого инструмента необходимо для сравнения с НДС изношенного.

Для нагружения 3D модели СМП необходимо знать распределение контактных напряжений (эпюры), а для этого знать технологические (P_x , P_y и P_z) и физические (нормальную N и касательную F) составляющие силы резания, длину контакта стружки с передней поверхностью инструмента s , нормальную N_h и касательную F_h силы на фаске износа по задней поверхности.

В нашем исследовании было решено ограничиться анализом НДС СМП при разной величине износа.

Часть 3D моделей СМП разделялись на две части для уменьшения объёма расчётов методом конечных элементов (МКЭ) и сравнения затем результатов расчёта НДС (рис. 3 и 4).

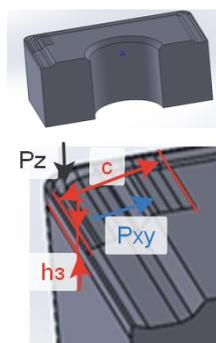


Рисунок 3. 3D модель квадратной СМП с длиной фаски износа по задней поверхности $hз = 0,7$ мм

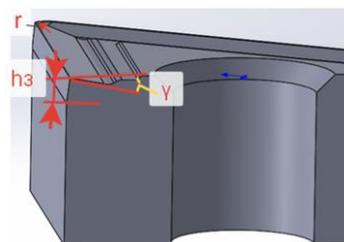


Рисунок 4. 3D модель треугольной СМП с длиной фаски износа по задней поверхности $hз = 0,7$ мм и исходным главным передним углом $\gamma = +7$

Для сокращения объёма вычислений часто принимается, что СМП за пределами 10 длин контакта стружки с передней поверхностью и 10 длин фаски износа является абсолютно жёстким телом, поэтому не важны размеры модели за пределами этой области. Это позволяет уменьшить размеры конечных элементов и увеличить точность расчётов при ограниченной мощности компьютера.

В ходе выполнения исследований была определена длина контакта стружки с передней поверхностью при разных передних углах γ (рис. 5).

По силам P_x и P_y рассчитывалась величина их результирующей P_{xy} по формуле $P_{xy} = (P_x^2 + P_y^2)^{1/2}$.

Эта результирующая использовалась для дополнительных расчётов НДС режущего клина в главной секущей плоскости, при которых принималось, что контакт СМП происходит только по главной режущей кромке с исключением участка у вершины пластины с радиусом при вершине r (рис. 4), т.е. при свободном косоугольном резании. При этом принимается, что составляющая P_{xy} направлена перпендикулярно главной режущей кромке.

Распределение контактных напряжений в области вершины инструмента определить экспериментально при сегодняшнем уровне развития техники и технологий невозможно, поэтому при расчёте целой СМП принималось, что распределение контактных напряжений такое же, что и при прямоугольном свободном резании, которое изучено достаточно хорошо с использованием метода разрезного реза [2].

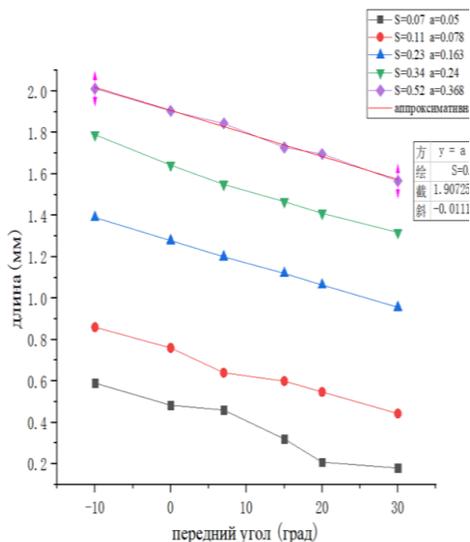


Рис. 5. Влияние переднего угла γ ($^\circ$) на длину контакта стружки с передней поверхностью s (мм) при разных толщинах среза $a = s \cdot \sin \varphi$ (мм)

Наши ранее выполненные исследования показали, что глубина резания t практически не влияет на распределение контактных напряжений и их величину, поэтому были рассчитаны удельные силы резания, приходящиеся на 1 мм длины режущей кромки q_P (Н/мм) (рис. 6 и 7). По удельной силе можно рассчитать составляющие R_{xy} и R_z при любой длине контакта b главной режущей кромки с поверхностью резания, т.е. при одной и той же величине главного угла в плане φ с любой глубиной резания t . Это позволяет сократить количество экспериментов по измерению сил резания при разных глубинах резания.

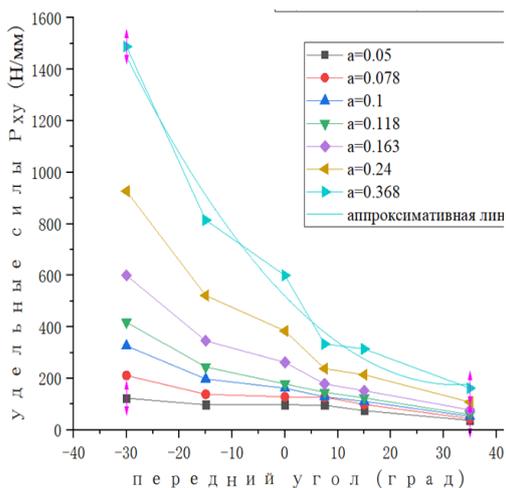


Рисунок 6. Влияние переднего угла γ ($^\circ$) на удельную силу резания, qP_{xu} (Н/мм) при разных толщинах среза a (мм)

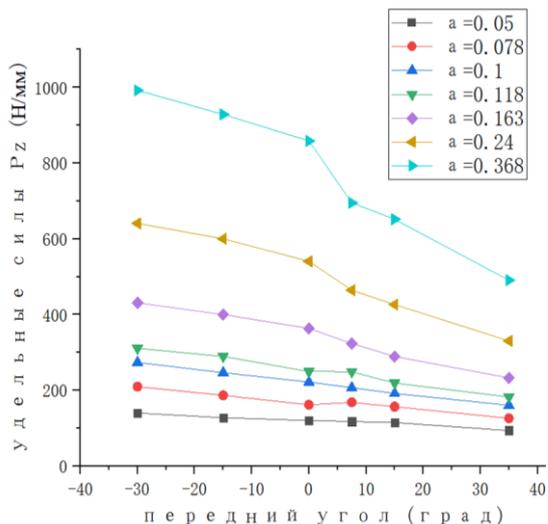
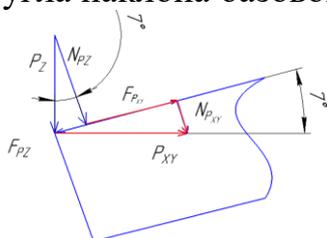


Рисунок 7. Влияние переднего угла γ ($^\circ$) на удельную силу резания, qP_z (Н/мм) при разных толщинах среза a (мм)

Длина контакта режущей кромки с поверхностью резания b рассчитывается по формуле $b = t/\sin\phi$; составляющие силы резания $P_{xu} = qP_{xu} \times b$ (Н), $P_z = qP_z \times b$ (Н).

При установке СМП на державку главный передний γ и задний α углы режущей пластины будут зависеть не только от угла самой СМП, но и от угла наклона базовой площадки под СМП (рис. 8).



$$\vec{P}_z = \vec{N}_{pz} + \vec{F}_{pz};$$

$$\vec{P}_{xy} = \vec{F}_{pxy} + \vec{N}_{pxy};$$

Рисунок 8. Схема действия сил резания на передней поверхности

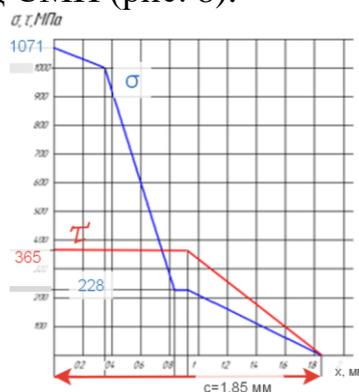


Рисунок 9. Эпюры нормальных σ и касательных τ контактных напряжений (МПа) на передней поверхности СМП при $\gamma = +7^\circ$, $s = 0,52$ мм/об ($a = 0,37$ мм)

Физические составляющие силы резания нормальная N и касательная F к передней поверхности рассчитываются по формулам:

$$N = NP_z + NP_{xy} = P_z \times \cos \gamma + P_{xy} \times \sin \gamma; \quad (1)$$

$$F = FP_{xy} - FP_z = P_{xy} \times \cos \gamma - P_z \times \sin \gamma. \quad (2)$$

Результаты измерения технологических и расчёта физических составляющих силы резания для разных передних углов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Влияние угла γ на силы резания

Передний угол γ	Силы резания при глубине резания $t = 2$ мм и подаче $s = 0,52$ мм/об			
	Технологические силы		Физические составляющие силы	
	P_{xy} ср, Н	P_z ср, Н	F, Н	N, Н
+7°	1140	2370	1425	2214
0°	1465	2424	1465	2424
-7°	1929	2512	1608	2728

По физическим составляющим силы резания и длине контакта стружки с были построены эпюры нормальных σ и касательных τ контактных напряжений на передней поверхности (рис. 9), которые прилагались к передней поверхности неизношенных СМП.

При расчёте НДС МКЭ использовалась программа ANSYS 20. Определялось распределение нормальных, эквивалентных и касательных напряжений в СМП, а также деформация.

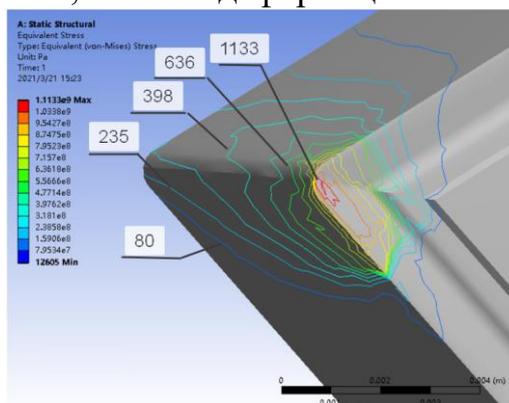


Рисунок 10. Распределение эквивалентных напряжений $\sigma_{экв}$ (МПа) в треугольной СМП, $\gamma = +7^\circ$, $s = 0,37$ мм/об ($a = 0,37$ мм)

При расчёте НДС изношенного инструмента использовалась 3D модель с фаской на задней поверхности (см. рис. 3 и 4), к которой дополнительно прикладывалось распределение контактных напряжений на искусственной фаске износа [3].

Результаты расчёта НДС СМП представлены на рис. 10 и 11 в виде влияния переднего угла γ на наибольшее эквивалентное напряжение.

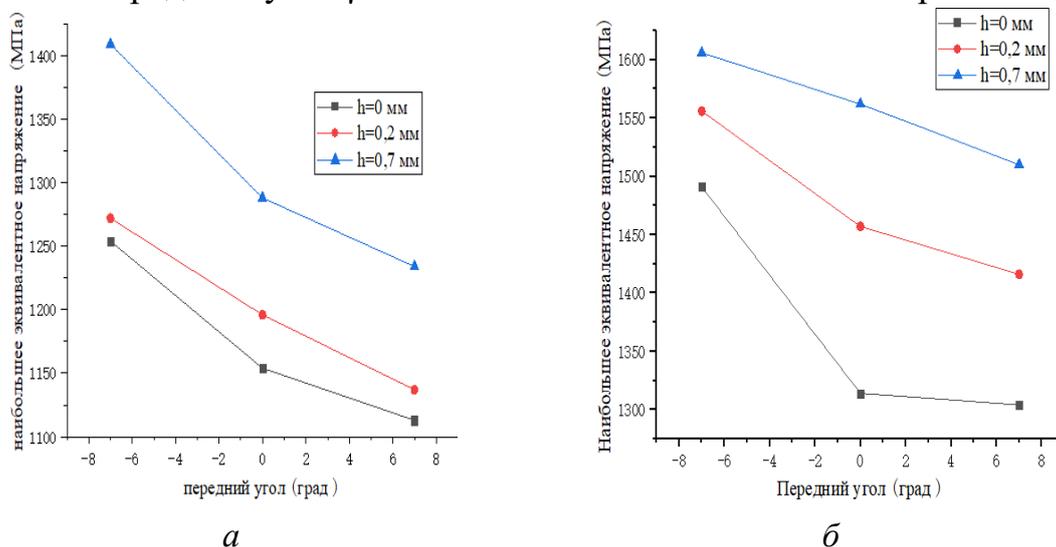


Рисунок 11. Влияние переднего угла γ ($^\circ$) и длины фаски износа по задней поверхности h (мм) на величину наибольшего эквивалентного напряжения $\sigma_{\text{экв max}}$ (МПа). Сталь 40Х - Т15К6, $v = 120$ м/мин, $t = 2$ мм: а – в 3-гранных СМП при $s = 0,368$ мм/об ($a = 0,368$ мм при $\varphi = 90$ $^\circ$); б – в квадратных СМП при $s = 0,52$ мм/об, ($a = 0,368$ мм при $\varphi = 45$ $^\circ$).

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 Work-

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.