

- Communication Systems with MMSE DFE and OFDM Receivers' (IEEE, 2011, edn.), pp. 1-5
4. Fedosov, V., Lomakina, A., Legin, A., and Voronin, V.: 'Three-dimensional model of hydro acoustic channel for research MIMO systems', in Editor (Ed.)^(Eds.): 'Book Three-dimensional model of hydro acoustic channel for research MIMO systems' (International Society for Optics and Photonics, 2017, edn.), pp. 101860W
 5. Fedosov, V., Legin, A., and Lomakina, A.: 'Adaptive algorithm for wireless data transmission (including images) based on SISO system and OFDM technique', Serbian Journal of Electrical Engineering, 2018, 15, (3), pp. 353-364
 6. Korowajczuk, L.: 'LTE, WiMAX and WLAN network design, optimization and performance analysis' (John Wiley & Sons, 2011. 2011)
 7. Li, Y., and Sollenberger, N.R.: 'Adaptive antenna arrays for OFDM systems with cochannel interference', IEEE Transactions on Communications, 1999, 47, (2), pp. 217-229
 8. Nam, Y.-H., Li, Y., and Zhang, J.C.: '3D channel models for elevation beamforming and FD-MIMO in LTE-A and 5G', in Editor (Ed.)^(Eds.): 'Book 3D channel models for elevation beamforming and FD-MIMO in LTE-A and 5G' (IEEE, 2014, edn.), pp. 805-809
 9. Fedosov, V., Legin, A., and Lomakina, A.: 'Adaptive algorithm for data transmission in wireless channels based on MIMO –OFDM technique', in Editor (Ed.)^(Eds.): 'Book Adaptive algorithm for data transmission in wireless channels based on MIMO-OFDM technique' (IEEE, 2017, edn.), pp. 218-221

Дин Цзэжу (Китай), Чжан Хао (Китай),
Козлов Виктор Николаевич (РФ)

Томский политехнический университет, г. Томск

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

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ РЕЗЦА ПРИ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ

Работоспособность режущего инструмента определяется его прочностью и износостойкостью. Износ инструмента неизбежен, если он работает достаточно долго. Время его непрерывной работы до предельно допустимого износа определяет стойкость T (мин). Для определения стойкости необходимо построить графики влияния времени работы

τ (мин) на длину фаски износа по задней поверхности h_z , или в англоязычной литературе h_f , где символ f означает сокращённое от *flank surface* – задняя поверхность. Исследовать зависимость $h_f=f(\tau)$ необходимо при заданном режиме резания, и прежде всего при используемой скорости резания v , т.к. она больше всего влияет на интенсивность износа и характер этого графика (рис. 1).

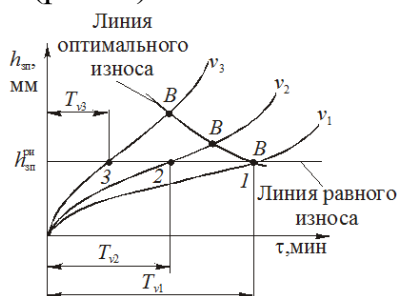


Рис. 1. Графики влияния времени работы τ (мин) инструмента на длину фаски износа по задней поверхности h_z (мм) при рассматриваемой скорости резания v (м/мин) [1]

Конечно, износ происходит и на передней поверхности с образованием лунки износа глубиной h_n и длиной c_n , и на режущей кромки с её округлением с радиусом ρ (рис. 2). Но основной причиной прекращения работы инструментом является появление износа по задней поверхности, т.к. увеличиваются силы на фаске, особенно радиальная составляющая P_{yh} (Н) [1, 2, 3]. При этом увеличивается температура инструмента из-за трения по этой фаске, что приводит к ещё большему увеличению интенсивности износа.

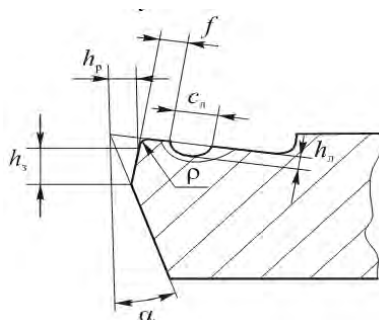


Рис. 2. Зоны износа реза

Увеличение радиальной составляющей P_y силы резания приводит к увеличению вероятности поломки режущего клина инструмента, поэтому обычно принимается, что длина фаски износа по задней поверхности h_z не должна превышать 0,75 мм [1, 2, 3]. Эта предельно допустимая длина фаски h_z пред зависит от многих факторов. В наибольшей степени от марки обрабатываемого материала – от его прочности, т.е. от его предела прочности на растяжение σ_b (МПа), от его модуля упругости E (МПа), от его пластичности и др. механических характеристик.

Величина $h_{з\text{ пред}}$ зависит также от состояния обрабатываемой поверхности заготовки, установки в приспособлении на станке (от радиального биения, которое будет определять неравномерность силы резания), от режима резания: от подачи s (мм/об), глубины резания t (мм). Скорость резания v (м/мин) в меньшей степени влияет на $h_{з\text{ пред}}$, но при большей скорости резания может быть допущена большая предельная длина фаски износа без опасности хрупкого разрушения (рис. 1).

Объясняется это увеличением температуры резания, что вызывает увеличение температуры режущего клина в области действия больших внутренних напряжений у режущей кромки. Это, в свою очередь, вызывает увеличение пластичности кобальтовой связки твёрдосплавного инструмента, а значит и меньшей вероятности его хрупкого разрушения.

Конечно, увеличение $h_{з\text{ пред}}$ приводит к увеличению интенсивности нагрева инструмента, но прочность обрабатываемого материала в зоне первичной пластической деформации уменьшается быстрее, поэтому и сохраняется работоспособность инструмента.

Для оценки прочности инструмента необходимо знать наибольшие напряжения в режущем клине, т.е. в сечении, перпендикулярном к проекции главной режущей кромки на основную плоскость и к основной плоскости. В режущей части инструмента наибольшие нормальные напряжения (единица измерения Н/мм² или МПа) определяются в направлении осей OY (σ_y), OZ (σ_z) и OX (σ_x) (рис. 2).

В главной секущей плоскости находятся оси OZ и OXY . Нормальные напряжения вдоль оси OXY обозначаются как σ_{xy} . Результирующая сил P_x и P_y обозначается P_{xy} и рассчитывается по формуле $P_{xy} = \sqrt{P_x^2 + P_y^2}$, или $P_{xy} = (P_x^2 + P_y^2)^{0,5}$. Принимается, что для неизношенного инструмента с небольшим контактом по вспомогательной режущей кромке сила P_{xy} находится в главной секущей плоскости.

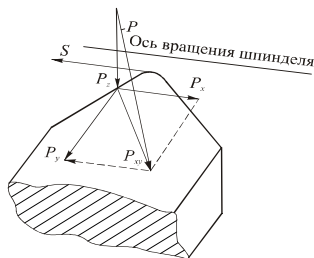


Рис. 3. Направление технологических составляющих силы резания

В качестве результирующего напряжения принимается эквивалентное напряжение $\sigma_{\text{эКВ}}$ (МПа), а в англоязычной литературе используется обозначение σ_e [4]. Отношение предела прочности материала на растяжение σ_b к наибольшему эквивалентному напряжению есть коэффициент

запас прочности $n_{пр} = \sigma_B / \sigma_{экв}$. Чем больше запас прочности, тем меньше вероятность хрупкого разрушения режущей части инструмента. Считается допустимым, когда $n_{пр} \geq 1,5$. Таким образом, когда оценивается прочность инструмента, необходимо смотреть не на геометрическую форму и размеры объекта, а определять коэффициент запас прочности $n_{пр}$.

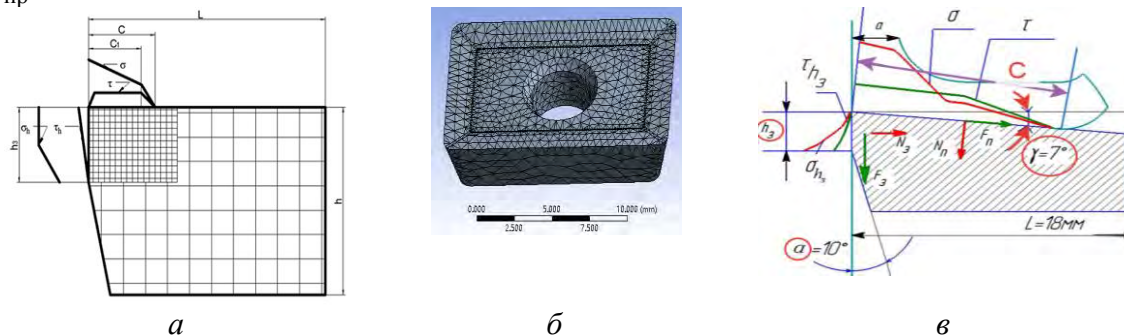


Рис. 4. Схема наложения заделки и нагружения внешними нагрузками (а), 3Д модель СМП (б), нагружение режущего клина при обработке стали (в) [5]

При анализе НДС учитывается не только величина, но и знак нормального напряжения: при растяжении указывается плюс (+), при сжатии – знак минус (-). Большинство материалов, особенно хрупких, при сжатии могут выдерживать гораздо большую величину напряжения по абсолютному значению. Так, у твёрдого сплава предельно допустимая величина напряжения при сжатии $|\sigma_B| = 4200 \text{ МПа}$, а при растяжении почти в 7 раз меньше – $|\sigma_B| = 750 \text{ МПа}$ [1-4]. Часто действующее напряжение сравнивается с пределом прочности инструментального материала на изгиб ($\sigma_{и пред}$, МПа).

Поэтому помимо картины распределения в режущем инструменте эквивалентного напряжения, которое имеет всегда знак плюс, необходимо анализировать и картины распределения σ_y , σ_z и σ_x , смотреть, где находятся области растягивающих напряжений, а где сжимающих. При обработке титановых сплавов возникают сжимающие напряжения большой величины, приближающиеся к пределу прочности на сжатие, что говорит о возможном выкрашивании режущей кромки.

Для расчёта напряжённо-деформированного состояния (НДС) режущего инструмента необходимо создать его 3Д модель (рис. 4), а после этого назначить ограничения в направлении всех трёх осей (задать заделку). Эти ограничения показывают, на каком расстоянии от внешней нагрузки упругие деформации и напряжения будут ничтожно малыми, т.е. вне этих размеров (границ) остальная часть объекта будет считаться как абсолютно жёсткое тело. Такое ограничение необходимо делать для

уменьшения области расчёта НДС, что уменьшает время расчёта и вероятность сбоя программы, или позволяет применить более мелкую сетку разделения объекта на конечные элементы, что увеличивает точность расчёта НДС.

Очень часто для расчёта НДС используется метод конечных элементов (МКЭ), что связано и с большей точностью расчёта, и с наличием готовых универсальных программ для его реализации. Сущность этого метода заключается в том, что рассматриваемая область разбивается на большое число отдельных элементов простой геометрической формы, связанных в узловых точках налагаемыми связями. Каждому элементу предписываются конкретные свойства, неизменные внутри каждого элемента. На узлы, являющимися общими для выделенного элемента и остальным телом инструмента, налагаются необходимые связи. К элементам рабочих поверхностей прикладываются контактные нагрузки, после чего определяются деформации и напряжения в каждом элементе [4].

Следующим этапом подготовки к расчёту является приложение внешней нагрузки. Желательно эту нагрузку указывать не как сосредоточенную, а как распределённую на передней поверхности виде эпюр нормальных σ и касательных τ контактных напряжений на участке длиной c (длина контакта стружки с передней поверхностью) и шириной b (ширина контакта стружки с передней поверхностью) (рис. 4) [4].

При расчёте НДС изношенного инструмента на 3Д модели задаётся фаска износа по задней поверхности, на которой прикладываются нагрузка в виде эпюр нормальных σ_h и касательных τ_h контактных напряжений.

Таким образом, необходимым условием расчёта НДС является знание распределения контактных напряжений на рабочих поверхностях. Контактных нагрузки на рабочих поверхностях инструмента могут быть измерены тремя методами: поляризационно-оптическим, интерференционным и методом разрезного резца. Каждый из этих методов имеет свои достоинства и недостатки, но более информативным и универсальным является последний [1-5].

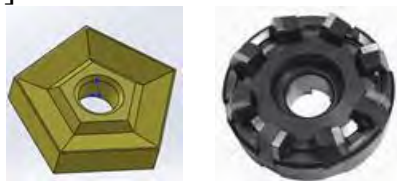


Рис. 5. Пятигранная сменная режущая пластина (СМП) и торцовая фреза с СМП

В настоящее время режущие инструменты часто оснащаются сменными многогранными пластинами (СМП) (рис. 5), которые имеют не

одну, а несколько режущих кромок, высокую точность их изготовления, что уменьшает вспомогательное время и себестоимость обработки, т.к. не требуется заменять державку, а достаточно повернуть СМП для работы новой вершиной или её заменить без необходимости долгой настройки на требуемый исполнительный размер заготовки.

Расчёты НДС СМП выполнялись с использованием программного обеспечения ANSYS. Расчёты показали, что 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 и 7).

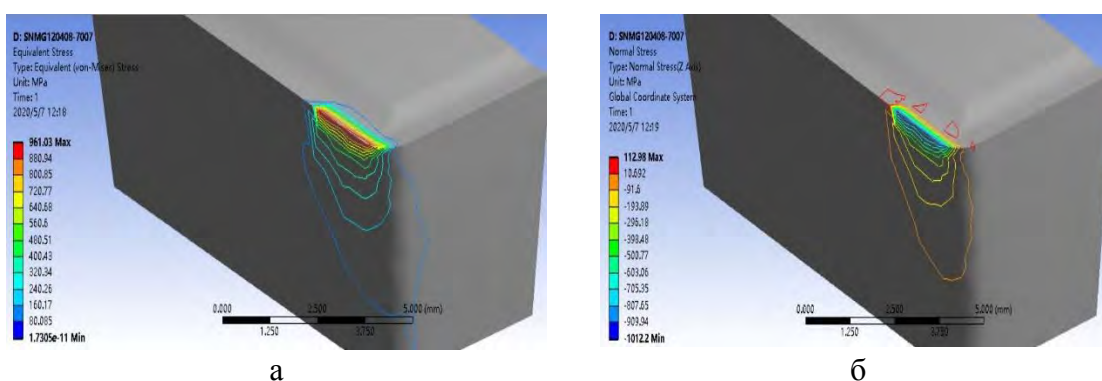


Рис. 6. Распределение эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{э}}$ (а) и нормальных σ_z напряжений (МПа) в СМП с передним углом $\gamma = 7^\circ$. Сталь 40Х – Т15К6, $v = 120$ м/мин, $t = 1,9$ мм, $s = 0,07$ мм/об. $\sigma_{\text{э} \text{кв} \text{ max}} = 961$ МПа; $\sigma_z \text{ max} = -1012$ МПа

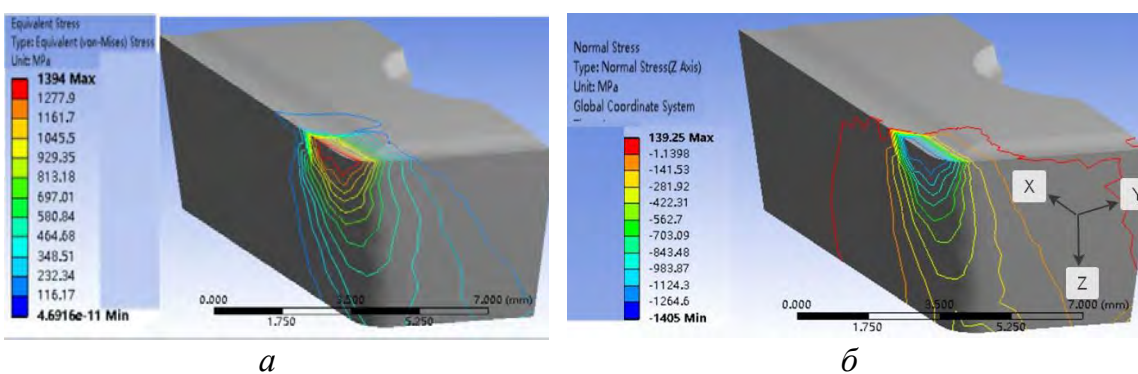


Рис. 7. Распределение эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{э}}$ (а) и нормальных σ_z напряжений (МПа) в СМП с передним углом $\gamma = 7^\circ$. Сталь 40Х – Т15К6, $v = 120$ м/мин, $t = 1,9$ мм, $s = 0,52$ мм/об. $\sigma_{\text{э} \text{кв} \text{ max}} = 1\,394$ МПа; $\sigma_z \text{ max} = -1405$ МПа

Для повышения работоспособности СМП в настоящее время практически всегда используются износостойкие покрытия. Тонкие покрытия

позволяют создавать новые композиционные инструментальные материалы, характеризующиеся высокой прочностью в сочетании с высокой износостойкостью. Это позволяет увеличить предельно допустимую подачу и износ инструмента, если это не вызывает значительного ухудшения формы стружки, которая начинает хуже дробиться и опутывать державку и заготовку. Часто это происходит не от увеличений длины фаски износа, а от появления локального износа в месте контакта главной режущей кромки с обрабатываемой поверхностью. Это и вызывает необходимость замены вершины СМП.

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. Развитие науки о резании металлов /В.Ф. Бобров, Г.И. Грановский, Н.Н. Зорев и др. – Москва: Машиностроение, 1967. – 416 с.
3. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента/Полетика М.Ф. – Москва: Машиностроение, 1969. – 148 с.
4. 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.
5. 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].