

Хэ Лин (Китай), Ян Анькан (Китай),
Козлов Виктор Николаевич (Россия)

Томский политехнический университет, г. Томск

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

АНАЛИЗ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ РЕЖУЩЕГО КЛИНА ПРИ ОБРАБОТКЕ СТАЛИ

При косоугольном несвободном резании внимание уделяется напряжениям в главной секущей плоскости, которая проходит перпендикулярно основной плоскости и **проекции** главной режущей кромки на основную плоскость (рис. 1). При расположении этой плоскости на расстоянии более двух радиусов при вершине r от вершины инструмента напряжённое состояние считается приближённым к плоскому, т.е. во всех главных секущих плоскостях наблюдается одинаковое напряжённо-деформированное состояние (НДС) [1-4].

Поскольку основная внешняя нагрузка от силы резания приходится на главную режущую кромку, переднюю и заднюю поверхности, примыкающие к ней, то можно рассматривать НДС простого режущего клина при прямоугольном свободном резании, что существенно упрощает задачу и позволяет избавиться от неопределённости от сил, действующих со стороны вспомогательной режущей кромки b (рис. 1).

Неопределённость нагрузки со стороны вспомогательной режущей кромки вызвана сложностью экспериментального исследования её влияния на контактные напряжения в этой области из-за объёмного деформированного состояния вблизи вершины [1, 2]. С другой стороны, это влияние на НДС режущей части незначительно из-за меньшей, по сравнению с главной режущей кромки, внешней нагрузке, особенно при небольшой подаче s (в англоязычной литературе f) (менее 0,3 мм/об) и большом вспомогательном угле в плане φ_1 (более 20°).

Поэтому в наших экспериментах выполнялось несвободное косоугольное резание с постоянной глубиной резания $t = 2$ мм, постоянным главным углом в плане $\varphi = 45^\circ$, а для уменьшения влияния контакта по вспомогательной режущей кромке использовались малый радиус при вершине $r = 0,05$ мм и большой вспомогательный угол в плане $\varphi_1 = 45^\circ$.

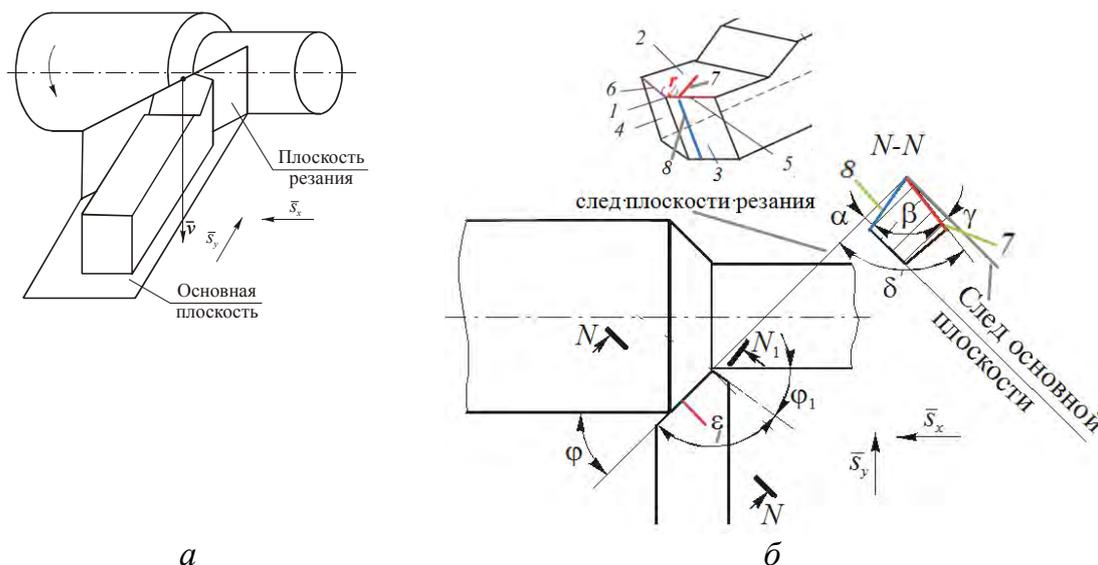


Рис. 1. Положение основной плоскости (а) и сечение режущего инструмента в главной секущей плоскости $N-N$ (б). 1 – вершина режущей части; 2 – передняя поверхность; 3 – главная задняя поверхность; 4 – вспомогательная задняя поверхность; 5 – главная режущая кромка; 6 – вспомогательная режущая кромка; 7 – след передней поверхности на главной секущей плоскости; 8 – след главной задней поверхности на главной секущей плоскости

Ширина контакта стружки с передней поверхностью принималась равной ширине среза $b_{\text{среза}} = t/\sin \varphi$ из-за очень небольшого уширения стружки. Продольная подача s (мм/об) изменялась в разных сериях экспериментов от 0,07 до 0,52 мм/об. На процесс образования стружки влияет не подача s сама по себе, а толщина среза, которая рассчитывается по формуле: $a = s \cdot \sin \varphi$ (мм).

Для приложения внешней нагрузки были определены эпюры (распределение) контактных напряжений на передней поверхности и фаске износа по задней поверхности для разных толщин среза a от 0,05 до 0,368 мм и переднего угла γ от -10 до $+35^\circ$.

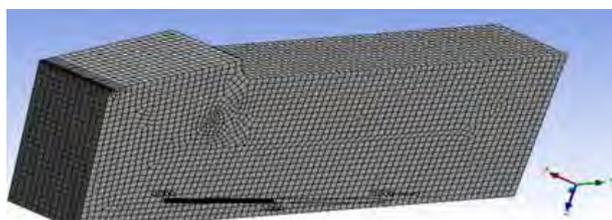


Рис. 2. Пример 3Д модели режущего клина с направлениями осей

Расчёт НДС режущего клина выполнялся методом конечных элементов с использованием программы Ansys (ANSYS). После создания 3Д модели с необходимыми размерами задаются направления осей, которые

соответствуют направлению осей технологических составляющих силы резания (рис. 2). Т.к. рассматривалось прямоугольное свободное резание диска с радиальной подачей s , то направление оси OX было задано вдоль режущей кромки.

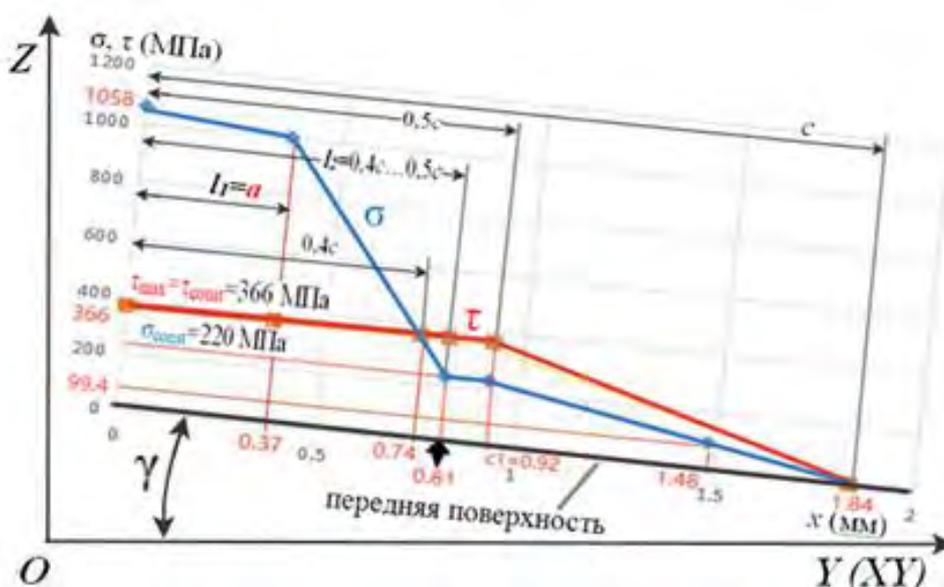


Рис. 3. Пример эпюр нормальных σ и касательных τ контактных напряжений на передней поверхности режущего клина с направлениями осей OZ и OY при расчёте НДС методом конечных элементов. Сталь 40Х-Т15К6, $\gamma = +7^\circ$, $a = 0,368$ мм

Для приложения контактных напряжений на передней поверхности длина контакта стружки с ней разбивалась на участки шириной b , равной ширине контакта стружки с передней поверхностью $b_{стр}$, и длиной l_i , которая назначалась в зависимости от интенсивности изменения нормальных контактных напряжений σ (рис. 3): при интенсивном изменении σ на небольшом удалении от режущей кромки ($l_i < 0,5c$) [3] длина участка Δl_i вдоль длины контакта стружки с передней поверхностью режущего клина c не более **0,1 мм**, а при дальнейшем отдалении, когда изменения σ не столь интенсивные $\Delta l_i = 0,2 \dots 0,4$ мм.

При переднем угле $\gamma \neq 0^\circ$ необходимо рассчитать эти составляющие, силы. В том случае, если внешняя нагрузка задаётся удельными средними контактными нагрузками q (МПа) на рассматриваемом участке, то рассчитываются суммарные контактные нагрузки вдоль осей OZ ($q_{\Sigma Z i}$) и OY ($q_{\Sigma Y i}$) (табл. 1).

Расчёты НДС режущего клина традиционным способом (без поворота клина) и предложенным способом (с поворотом клина) показали одинаковые результаты по основным параметрам НДС (Табл. 2).

Таблица 2

Наибольшие деформации и напряжения без поворота режущего клина и с его поворотом. Сталь 40Х-Т15К6, $v=120$ м/мин, $t=1,99$ мм, $b=2,82$ мм, $\lambda=0^\circ$, $\alpha=8^\circ$
 $\gamma = +15^\circ$, $a = 0,05$ мм.

№ порядковый и название параметра	Толщина среза a° (мм)	Сокращенное название параметра	с поворотом	без поворота	Соотношение между № 5 и № 4
№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
1 - наибольшие эквивалентные напряжения $\sigma_{экв}^{max}$ (МПа)	$a=0,05$	$\sigma_{экв}^{max}$	1099,6	1141	103,0%
2 - наибольшие нормальные напряжения по оси OY σ_{y}^{max} (МПа)	$a=0,05$	σ_{y}^{max} по оси OY	6,26	45,57	7,27%
3 - наибольшие нормальные напряжения по оси OZ σ_{z}^{max} (МПа)	$a=0,05$	σ_{z}^{max} по оси OZ	18,35	16,97	92,4%
4 - наибольшая деформация ϵ_{max} (мм)	$a=0,05$	ϵ_{max}	0,00187	0,00207	110%
5 - наибольшие касательные напряжения в плоскости YOZ τ_{yz}^{max} (МПа)	$a=0,05$	τ_{yz}^{max} в плоскости YOZ	9,19	12,07	131,0%
6 - наибольшие касательные напряжения в плоскости XOZ τ_{xz}^{max} (МПа)	$a=0,05$	τ_{xz}^{max} в плоскости XOZ	21,64	25,2	116,0%

При нагружении передней поверхности внешними нагрузками были рассмотрены варианты с малым (5 участков) и большим количеством участков (35 участков), на которые делится длина контакта стружки с передней поверхностью. Разница величины основных параметров НДС была незначительная как при $\gamma > 0^\circ$ (табл. 3), так и при $\gamma < 0^\circ$, а также при разной толщине среза a (Табл. 3).

Таблица 3

Наибольшие деформации и напряжения при разном количестве участков и толщине среза. Сталь 40Х-T15K6, $v=120$ м/мин, $t=1,99$ мм, $\varphi=45^\circ$, $b=2,82$ мм, $\varphi l=45^\circ$, $\lambda=0^\circ$, $r=0,1$ мм, $\gamma = +15^\circ$, $\alpha=8^\circ$.

№ порядковый и название параметра	Толщина среза: a^a (мм)	Сокращенное название параметра	Маленькое количество участков	Большое количество участков	Соотношение между № 4 и № 5, (№ 4/№ 5)
№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
1-наибольшие эквивалентные напряжения $\sigma_{\text{экв}}^{\text{max}}$ (МПа)	$a^a=0,05$	$\sigma_{\text{экв}}^{\text{max}}$	1099,6	1219,9	0,901 (№ 5/№ 4-1,1)
	$a^a=0,368$		1498,5	1522,2	0,984
2-наибольшие нормальные напряжения по оси OY: σ_y^{max} (МПа)	$a^a=0,05$	σ_y^{max} по оси OY	6,26	19,94	0,314
	$a^a=0,368$		50,35	41,05	1,226
3-наибольшие нормальные напряжения по оси OZ: σ_z^{max} (МПа)	$a^a=0,05$	σ_z^{max} по оси OZ	18,35	19,94	0,92
	$a^a=0,368$		42,93	75,88	0,565
4-наибольшие деформация: ε_{max} (мм)	$a^a=0,05$	ε_{max}	0,00187	0,00249	0,751 (№ 5/№ 4-1,33)
	$a^a=0,368$		0,00626	0,00625	1,0016
5-наибольшие касательные напряжения в плоскости YOZ: τ_{yz}^{max} (МПа)	$a^a=0,05$	τ_{yz}^{max} в плоскости YOZ	9,19	4,74	1,94
	$a^a=0,368$		54,91	56,31	0,975
6-наибольшие касательные напряжения в плоскости XOZ: τ_{xz}^{max} (МПа)	$a^a=0,05$	τ_{xz}^{max} в плоскости XOZ	21,64	30,19	0,717
	$a^a=0,368$		59,4	53,03	1,12

Поэтому нет большой разницы в НДС режущего клина при расчёте 3Д модели **без поворота** и **с поворотом** режущего клина (чтобы передняя поверхность была параллельна оси OY) в величине $\sigma_{\text{экв}}^{\text{max}}$. По σ_y^{max} есть небольшая разница по величине (6,26 МПа и 45,57 МПа соответственно) и по картине линий равных напряжений, т.к. оси OY направлены под углом γ . Также есть небольшая разница по величине σ_z^{max} и картине линий равных напряжений σ_z .

Таким образом, немного больше влияние количества участков на наибольшие деформация ε_{max} при положительном переднем угле $\gamma = +15^\circ$ и при малой толщине среза $a = 0,05$ мм: происходит увеличение ε_{max} в 1,33 раза при увеличении количества участков в 7 раз.

Анализ результатов расчёта НДС простого режущего клина при прямоугольном свободном резании стали 40Х показывает, что увеличение количества участков, на которые разбивается участок контакта стружки с передней поверхностью, не влияет на результаты расчёта в большом диапазоне толщины среза a .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Развитие науки о резании металлов /В.Ф. Бобров, Г.И. Грановский, Н.Н. Зорев и др. – Москва: Машиностроение, 1967. – 416 с.
2. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента/Полетика М.Ф. – Москва: Машиностроение, 1969. – 148 с.
3. Методика измерения контактных напряжений на поверхностях резца [Электронный ресурс] / 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.
4. 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.