



Инженерная школа новых производственных технологий

15.03.01 «Машиностроение»

Отчёт
по дисциплине:
Учебно-исследовательская работа студентов
за весенний семестр 2024-25 уч.г.
на тему:
**ВЛИЯНИЕ МОДЕЛИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА НА
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ**

Выполнил:

студент группы

4A12

№ группы

Будницкая Алина Игоревна

Ф.И.О.

12.04.2025

дата

Проверил:

к.т.н., уч. звание

доцент, должность:

доцент ОМШ

ИШНПТ

Козлов В. Н.

дата

Томск – 2025

Отчёт по УИРС выполнен на основе статьи: Л. Хэ, Ц. Дин, Х. Чжан «ВЛИЯНИЕ МОДЕЛИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ» (INFLUENCE OF THE CUTTING TOOL MODEL ON THE STRESS DISTRIBUTION IN THE CUTTING PART).

Был выполнен анализ оформления статьи. Формат указан на **рис. 01**.

Поля – назначаются редакцией и должны быть **обязательно выполнены**;

Шрифт: Times New Roman, размер 12 пт. (обычно для статей), **интервал** и **отступы** – всё это назначается редакцией и должно быть **обязательно выполнено**. Часто в таблицах и рисунках назначается шрифт на 1-2 пт. меньше для компактности (12→11).

Абзац → **Отступы и интервалы** → **Отступ** слева и справа 0 см, **Интервал** (одинарный, перед и после 0 пунктов), **Абзацный Отступ** 1,25 мм (обычно эти параметры назначаются редакцией и должны быть **обязательно выполнены**, иначе статья или ВКР **не будет рассматриваться** вообще!);

Формат надписи: Положение – **всегда обтекание текста вокруг рамки**, **горизонтальное выравнивание** – обычно по центру, но может быть и **другое** (в этом случае автор может переместить рамку с рисунком и подрисовочной надписью в любое положение на странице). Все **рисунки обязательно** должны быть размещены **в рамке**, т.к. в этом случае **они** не будут отрываться от подрисовочной надписи, куда бы автор не переносил рамку с рисунком. Все рисунки должны быть пронумерованы **по порядку**.

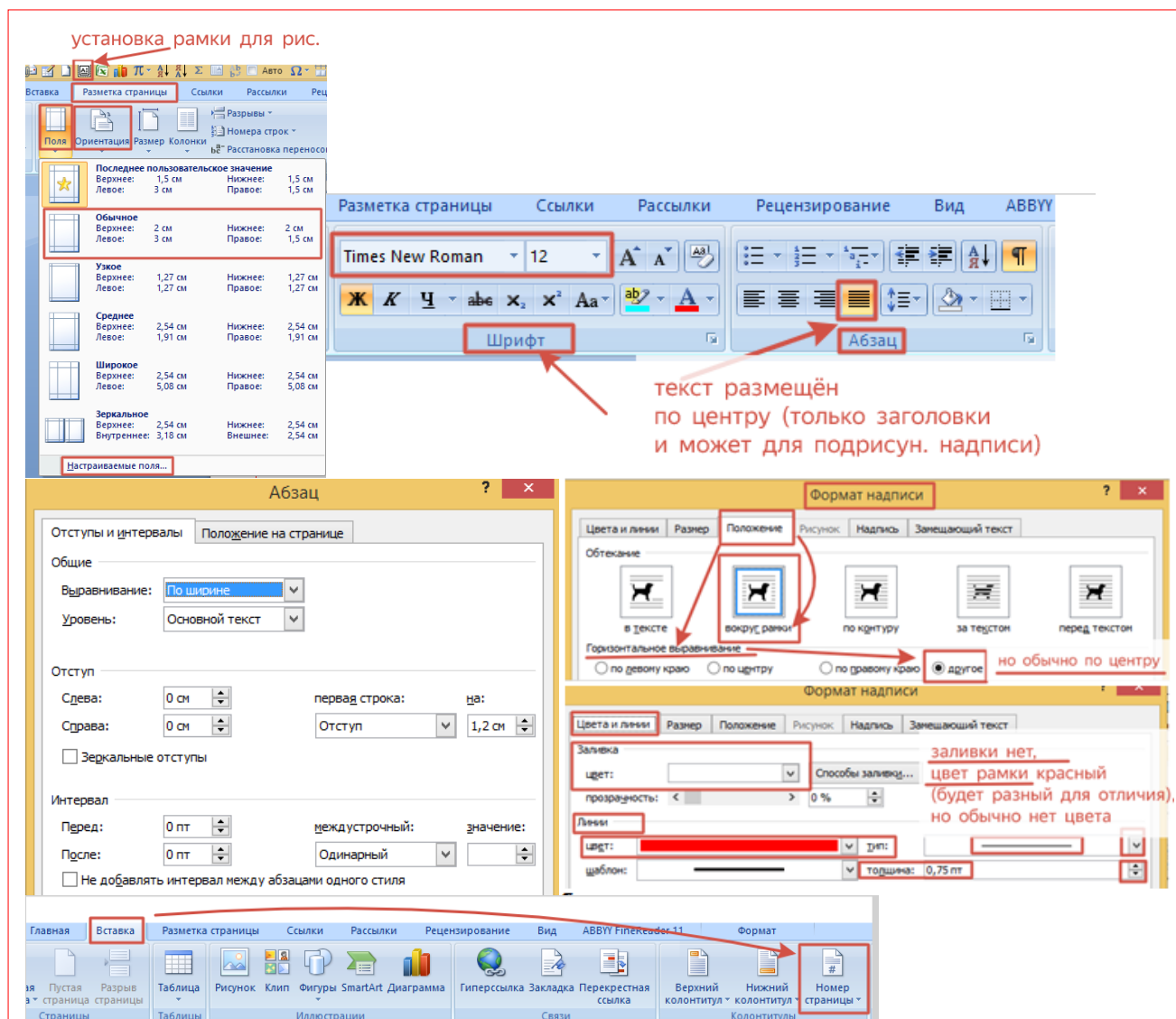


Рис. 01. Пример проверки и **назначения** форматирования текста **файла**.

**ВЛИЯНИЕ МОДЕЛИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ
НАПРЯЖЕНИЙ В РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ**
**INFLUENCE OF THE CUTTING TOOL MODEL ON THE STRESS
DISTRIBUTION IN THE CUTTING PART**

Л. Хэ, Ц. Дин, Х. Чжан

ФГБОУ ВО Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г.
Томск, Россия

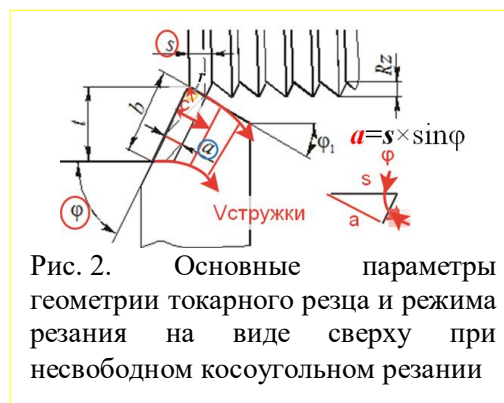
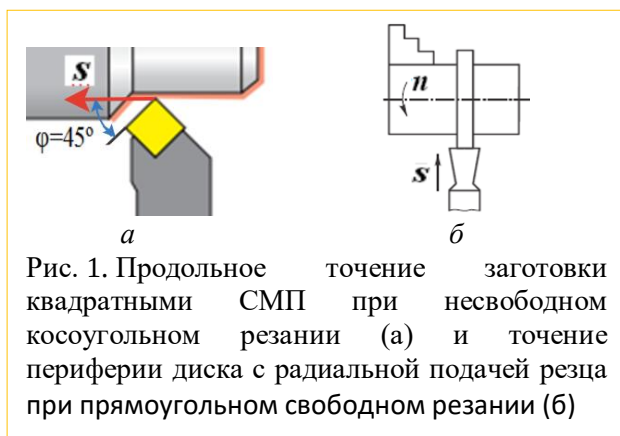
Научный руководитель: канд. техн. наук, доцент НИ ТПУ В.Н. Козлов

Ключевые слова: износ инструмента, распределение контактных напряжений, прочность инструмента, обработка стали.

Keywords: tool wear, distribution of contact stresses, strength of cutting tool, machining of steel.

При прямоугольном резании направление подачи перпендикулярно главной режущей кромке (рис. 1, а). При свободном резании (рис. 1, б) в работе принимает участие только одна режущая кромка.

Реализация прямоугольного свободного резания при точении периферии диска с радиальной подачей наиболее часто используется для начального изучения процесса резания, т.к. все участки режущей кромки находятся в одинаковых условиях, а направление перемещения всех частей стружки одинаково [1, 2]. Распределение контактных напряжений будет одинаковым в любом сечении перпендикулярном к режущей кромке, а значит и распределение внутренних напряжений в режущем клине будет тоже одинаковым. Если толщина диска будет более 3 мм, то можно пренебречь небольшим изменением контактных напряжений на боковых границах стружки.



Если ширина резца будет на 0,1 мм больше ширины диска, то можно пренебречь небольшим изменением НДС на боковых поверхностях резца. Поэтому принимается, что расчёт НДС такого режущего клина будет наиболее простым и достоверным.

Несвободное косоугольное резание (рис. 2) воспроизводится в наиболее распространенных технологических схемах обработки металлов – при точении, строгании, фрезеровании, сверлении и пр. Со стороны вспомогательной режущей кромки возникает дополнительные составляющие P_{z1} , P_{y1} и P_{x1} силы резания, что приводит к изменению НДС режущего инструмента вблизи вершины инструмента и более интенсивному износу.

При несвободном резании наибольшая доля нагрузки от силы резания приходится на главную режущую кромку, особенно при глубине резания t более 1 мм (см. рис. 2). НДС режущего клина в главной секущей плоскости, проходящей на расстоянии более трёх радиусов при вершине r , принимается плоским и должно быть таким же, что и при прямоугольном свободном резании [2, 3] (рис. 3).

При черновой обработке удаление припуска происходит при большой глубине резания t – более 2-3 мм, что оправдывает допущение о плоском НДС вдали от вершины резца [1, 2].

Для исследование НДС при прямоугольном свободном резании была создана 3-Д модель режущей клина (рис. 4), а для несвободного косоугольного резания – 3Д модель квадратной СМП (рис. 5).

Квадратные СМП предназначены как для продольного точения, так и обточки торца и фаски, поэтому обычно имеют главный угол в плане $\phi = 45^\circ$, вспомогательный угол в плане $\phi_1 = 45^\circ$, угол наклона главной режущей кромки $\lambda = 0^\circ$, главный задний угол $\alpha = 8^\circ$.

Наличие стружкозавивающей канавки вдоль режущих кромок обеспечивает разный главный передний угол γ . У созданной 3-Д модели $\gamma = +7^\circ$. Для более близкого условия резания при сравнении с прямоугольным свободным резанием радиус при вершине был $r = 0,1$ мм, но были рассмотрены случаи и с $r = 0,8$ мм, и с $r = 2,0$ мм.

Глубина резания t при проведении экспериментов назначалась равной 2 мм, но из-за упругой деформации системы станок - приспособление - инструмент - деталь (СПИД) получалась действительная глубина резания $t = 1,99$ мм, что при $\phi = 45^\circ$ давало ширину среза $b = t/\sin\phi = 1,99/\sin 45^\circ = 2,81$ мм. Поэтому при прямоугольном свободном резании ширина диска назначалась $b_d = 2,81$ мм, а ширина 3Д модели режущего клина $b_p = 2,82$ мм, т.е. немного больше, чем ширина диска (среза), чтобы даже на боковой поверхности

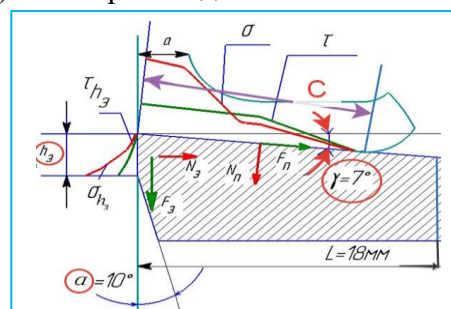


Рис. 3. Распределение контактных напряжений на поверхностях резца в главной секущей плоскости

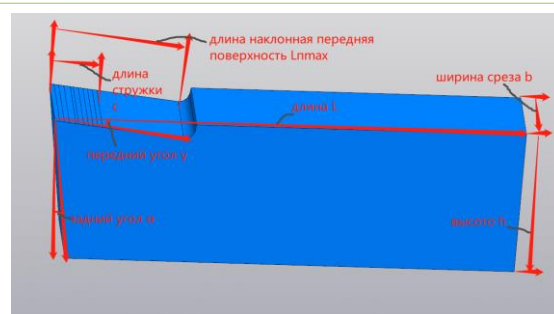


Рис. 4. Геометрические параметры 3Д модели режущей клина: ширина $b = 2,82$ мм, толщина $h = 6$ мм, длина $L = 18$ мм, $\lambda = 0^\circ$, $\gamma = +7^\circ$, $\alpha = 8^\circ$.

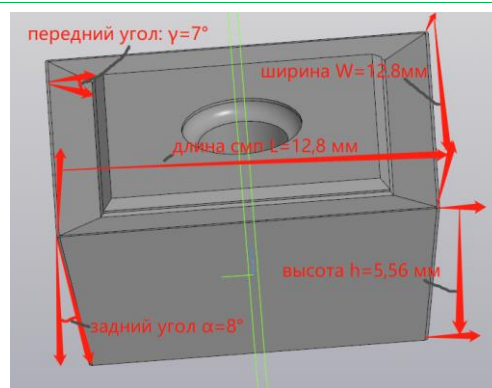


Рис. 5. Геометрические параметры 3Д модели квадратной СМП: ширина $W = 12,8$ мм, толщина $h = 5,56$ мм, длина $L = 12,8$ мм, $\phi = 45^\circ$, $\phi_1 = 45^\circ$, $\lambda = 0^\circ$, $\gamma = +7^\circ$, $\alpha = 8^\circ$, $r = 0,1$ мм, $\gamma = +7^\circ$, $\alpha = 8^\circ$.

можно было увидеть распределение основных параметров НДС (напряжений и деформаций).

Для увеличения разрешающей способности при расчёте НДС необходимо ограничить объём 3-Д модели. Основой ограничения размеров является малая упругая деформация и очень маленькие напряжения вне выбранной зоны, т.е за выбранными пределами принимается наличие абсолютно жёсткого тела. Для этого выполняется расчёт НДС сначала целого объекта (в нашем случае СМП). Затем анализируется полученное НДС и назначаются ограничения по длине, ширине и высоте.

Анализ полученного НДС СМП при выбранных режимах резания, а значит, и величине составляющих силы резания, показал, что наклонная передняя поверхность должна иметь длину L_n не менее удвоенной величины наибольшей длины контакта стружки c с передней поверхностью. Для толщины среза $a = 0,368$ мм длина должна быть не менее $2c$. При обработке стали 40Х длины контакта стружки $c = (4-6) \times a = 6 \times 0,368 = 2,2$ мм. Принимаем длину $L_{n \max} = 2 \times c = 2 \times 2,2 = 4,4 \approx 5$ мм, которая использовалась при создании моделей режущего клина (см. рис. 4).

С помощью динамометра Kistler измеряем во время установившегося резания технологические составляющие P_z , P_y и P_x силы резания, по ним рассчитываем нормальную N и касательную F физические составляющие силы резания с учётом главного переднего угла γ [2].

По рассчитанным физическим составляющим силы резания и величине длины контакта стружки c с передней поверхностью инструмента рассчитываем основные параметры эпюр и строим эпюры нормальных σ и касательных τ контактных напряжений на передней поверхности режущего инструмента (см. рис. 3) [2].

Для нагружения 3-Д модели неизношенного режущего инструмента внешними нагрузками разбиваем длину контакта стружки c на небольшие участки, внутри которых по эпюрам определяем средние контактные напряжения $\sigma_{ср i}$ и $\tau_{ср i}$ и записываем в таблицу 1.

Таблица 1 – Средние контактные напряжения на участках контакта стружки для нагружения 3-Д модели резца шириной $b_p = 2,82$ мм. Сталь 40Х-T15K6, $v=120$ м/мин, $\gamma = +7^\circ$, $\alpha = 8^\circ$, $c = 1,84$ мм, $a = 0,368$ мм.

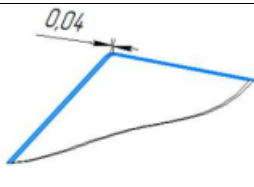
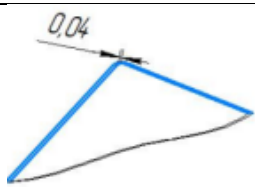
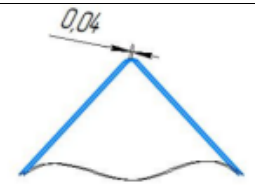
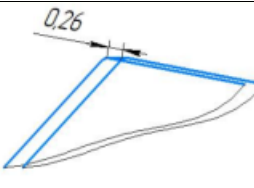
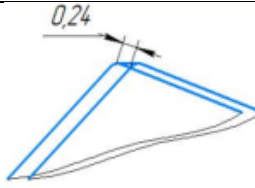
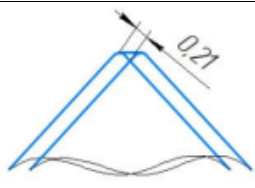
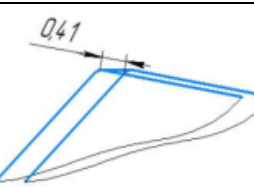
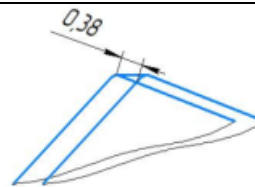
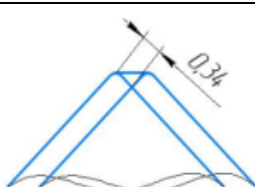
№ участка от режущей кромки	Длина участка, на котором действует средние контактные напряжения, L_{ni} , мм	$\sigma_{ср i}$, МПа	$\tau_{ср i}$, МПа
1	0-0,18	1045	366
2	0,18-0,36	1015	366
3	0,36-0,56	880	366
4	0,56-0,81	490	366
5	0,81-0,92	220	366
6	0,92-1,12	210	323
7	1,12-1,3	185	255
8	1,3-1,48	134,7	180
9	1,48-1,66	74,45	115
10	1,66-1,84	24,8	50

Для нагружения вспомогательной режущей кромки принимаем, что при черновой обработке с подачей $s = 0,52$ мм/об (толщина среза $a = s \times \sin \phi = 0,52 \times \sin 45^\circ = 0,368$ мм) и глубине резания $t = 1,99$ мм они составляют 10% от общей силы резания и длина контакта по вспомогательной режущей кромке $L_{всп.} = 0,34$ мм (табл. 2).

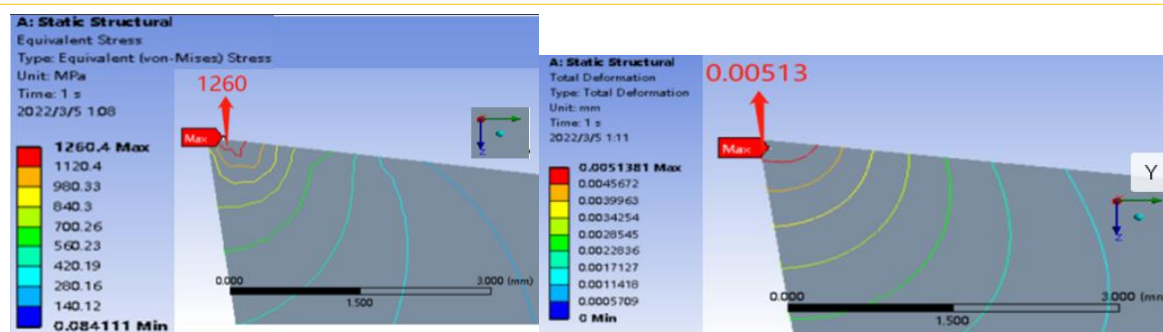
При радиусе при вершине r до 0,1 мм можно вывести формулу (считать без радиуса, т.е. $r = 0$ мм) для расчёта длины контакта по вспомогательной режущей кромке $L_{всп}$ по геометрическим параметрам и величине подачи s .

Таблица 2– Длина контакта СПМ с заготовкой по вспомогательной режущей кромке в зависимости от вспомогательного угла в плане φ_1 и толщины среза a

Схемы для определения длины контакта СПМ по вспомогательной режущей кромке при радиусе при вершине $r = 0,1$ мм, при толщине среза $a = 0,05, 0,24, 0,368$ мм, при вспомогательном угле $\varphi_1 = 10^\circ, 20^\circ, 45^\circ$.

φ_1°	$\varphi_1 = 10^\circ$	$\varphi_1 = 20^\circ$	$\varphi_1 = 45^\circ$
$a, \text{мм}$			
$a = 0,05$			
$a = 0,24$			
$a = 0,368$			

Расчёты НДС показали, что при $\varphi = 45^\circ$ и равной силе резания наибольшие эквивалентные напряжения $\sigma_{\text{ЭКВ max}}$ и деформации ε_{max} незначительно больше при несвободном косоугольном резании (рис. 7, а) по сравнению с прямоугольным свободным резанием (рис. 6, а). Это показывает, что даже при большой подаче $s = 0,52$ мм/об влияние нагрузки со стороны вспомогательной режущей кромки незначительно, и при анализе НДС СПМ в главной секущей плоскости можно использовать простой режущий клин. Это существенно упрощает подготовку 3-Д модели режущего клина к расчёту НДС.



а) $\sigma_{\text{ЭКВ max}} = 1260 \text{ МПа}$ б) $\varepsilon_{\text{max}} = 0,00513 \text{ мм}$

Рис. 6. Распределение эквивалентных напряжений $\sigma_{\text{ЭКВ}}$ (а) и деформаций ε (б) в режущем клине при прямоугольном свободном резании диска. Сталь 40Х – Т15К6, $\gamma = +7^\circ$, $\alpha = 8^\circ$, $a = 0,368$ мм, $c = 1,84$ мм, $b = 2,82$ мм, $F = 1425$ Н, $N = 2214$ Н, 10 участков

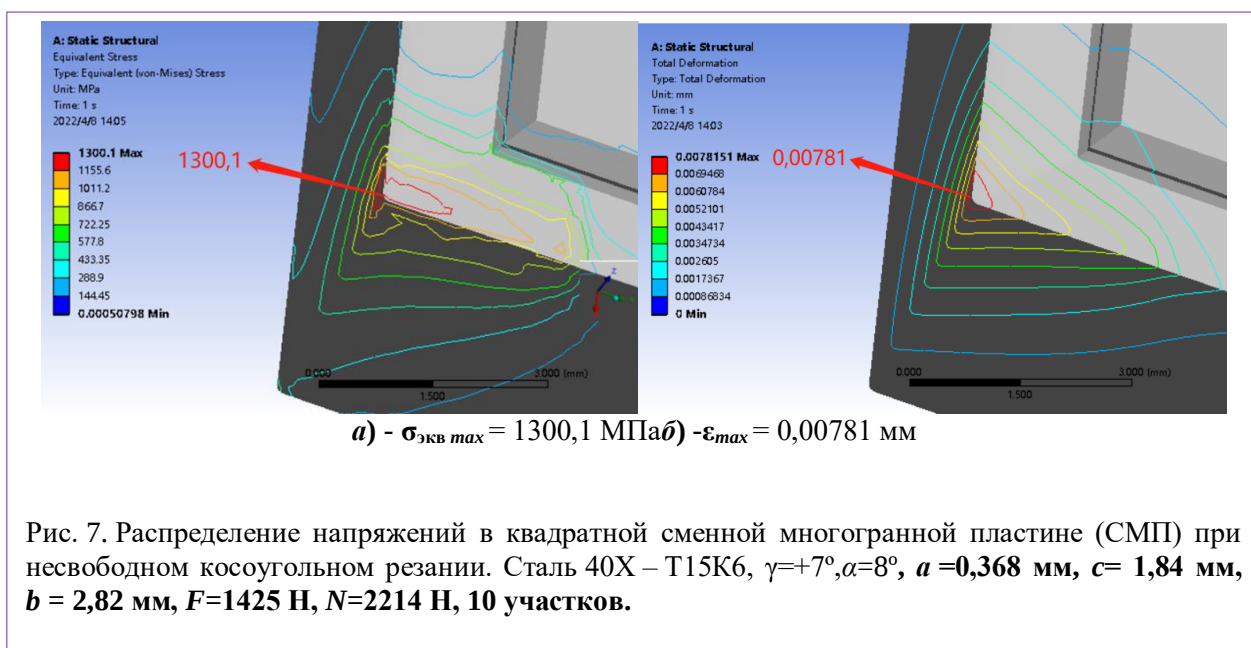


Рис. 7. Распределение напряжений в квадратной сменной многогранной пластине (СМП) при несвободном косоугольном резании. Сталь 40Х – Т15К6, $\gamma=+7^\circ, \alpha=8^\circ$, $a=0,368 \text{ мм}$, $c=1,84 \text{ мм}$, $b=2,82 \text{ мм}$, $F=1425 \text{ Н}$, $N=2214 \text{ Н}$, 10 участков.

При прямоугольном свободном резании с заготовкой контактирует только главная режущая кромка, поэтому напряжения и деформации в режущем клине немного меньше.

Литература

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.

Анализ содержания статьи

В статье «Влияние модели режущего инструмента на распределение напряжений в режущей части» (Influence of the cutting tool model on the stress distribution in the cutting part) авторов Хэ Лин, Дин Цзэжу, Чжан Цинжун, магистрантов НИ ТПУ, опубликованной в сборнике материалов конференции «Современные проблемы машиностроения» (СПМ-2023), представлены результаты расчёта напряжённо-деформированного состояния (НДС) в квадратных сменных многогранных пластинах (СМП) при несвободном косоугольном точении стали 40Х и в простом режущем клине токарного резца при прямоугольном свободном точении периферии диска из стали 40Х.

Создание 3-D модели простого режущего клина для реализации свободного прямоугольного резания (в данной работе это обточка периферии диска с радиальной подачей резца, у которого главная режущая кромка перпендикулярна направлению радиальной подачи s (мм/об), т.е. главный угол в плане $\varphi = 90^\circ$) существенно упрощается по сравнению с созданием 3-D модели квадратной СМП для реализации косоугольного несвободного резания при продольной обточке вала. При такой замене важно определить, насколько НДС упрощенного резца отличается от НДС реальной СМП при точении вала, т.е. насколько будет велика ошибка при одинаковых режимах резания и величинах

переднего и заднего углов, к тому же при одинаковых физических составляющих N и F , эпюрах контактных напряжений σ и τ на передней поверхности режущего инструмента.

Составляющие силы резания в статье были получены экспериментально с помощью динамометра Kistler, расчёт НДС методом конечных элементов (МКЭ) выполнялся с помощью программы ANSYS при толщине среза $a = 0,368$ мм, переднем угле $\gamma = +7^\circ$, заднем угле $\alpha = 8^\circ$. Эпюры контактных напряжений были построены на основе содержания статьи № 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).

Анализ НДС показал, что наибольшие эквивалентное напряжение и общая деформация при несвободном косоугольном резании немного больше, чем при прямоугольном свободном резании из-за действия дополнительных составляющих силы резания со стороны вспомогательной режущей кромке. Так, наибольшая величина эквивалентного напряжения у упрощенного режущего клина составляет $\sigma_{\text{экв упр max}} = 1260$ МПа, а у реальной СМП $\sigma_{\text{экв квадратной СМП max}} = 1300$ МПа, что позволяет использовать такое упрощение для оценки прочности режущего клина.

Однако картины НДС у таких резцов существенно различаются.