



ИНЖЕНЕРИЯ ЖӘНЕ ИНЖЕНЕРЛІК ІС
ИНЖЕНЕРИЯ И ИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО
ENGINEERING AND ENGINEERING

ИНЖЕНЕРИЯ ЖӘНЕ ИНЖЕНЕРЛІК ІС
ИНЖЕНЕРИЯ И ИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО
ENGINEERING AND ENGINEERING

DOI 10.51885/1561-4212_2025_2_61
МРНТИ 55.19.03

Н.Н. Рахымтай¹, Д.С. Мырзалиев², К.К. Сейтказенова³,
Н.А. Кадиров⁴, О.Б. Сейдуллаева⁵

Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова, г. Шымкент, Казахстан

¹E-mail: saya_rakhumtay@mail.ru

²E-mail: darkhan-m7@mail.ru

³E-mail: kseitkazi@mail.ru

⁴E-mail: kadirovnurdaulet1010@gmail.com

⁵E-mail: orynkul_s@mail.ru*

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКЕ

ТОКАРЛЫҚ ӨНДЕУ КЕЗІНДЕ СОҢҒЫ ЭЛЕМЕНТТЕР ӘДІСІМЕН КЕСУ АЙМАҒЫНДАҒЫ ТЕМПЕРАТУРАНЫ ЗЕРТТЕУ

INVESTIGATION OF THE TEMPERATURE IN THE CUTTING ZONE BY THE FINITE ELEMENT METHOD DURING TURNING

Аннотация. Известно, что при резании механическая энергия, затрачиваемая режущим инструментом, превращается в тепло. Теплообразование – одна из причин ускоренного износа инструмента.

Цель данного исследования – методом конечных элементов исследовать влияние температуры на состояние инструмента в процессе резания металлических материалов токарными подрезными резцами.

Для исследования были выбраны режущие инструменты из твердого сплава BK8 и быстрорежущей стали P18. Сплав BK8 сочетает высокую твердость с высокой прочностью при повышенной температуре. Высокая теплопроводность этого сплава является отличительным свойством инструмента, поскольку она снижает склонность к быстрому локальному термическому размягчению. Сталь P18 обладает высокой износостойкостью, достаточной прочностью и устойчива к нагреву.

Показана эффективность метода конечных элементов при прогнозировании температуры резания и напряженного состояния твердосплавного режущего инструмента.

Знание температурных полей, возникающих в процессе резания, очень важно для разработки новых технологий, направленных на увеличение срока службы инструмента и снижение производственных затрат. Сила резания рассматривается как главный вид нагрузки при резании. Распределение температуры в твердосплавном режущем инструменте выполнено с использованием аналитического программного обеспечения Solidworks Simulation. Модель создается в виде сетки в Solidworks Simulation, и задается сила резания. С помощью этих данных можно определить температуру и напряжение компонента производственного процесса, к которым можно отнести режущий инструмент. Таким образом, исследование температуры и напряжения выполняется с использованием Solidworks Simulation. Полученные результаты можно использовать при прогнозировании срока службы режущего инструмента и целостности обрабатываемой детали.

Ключевые слова: обработка резанием, тепловые явления резания, износ, напряженно-деформированное состояние, метод конечных элементов (МКЭ), Solidworks Simulation.

Аңдатпа. Кесу кезінде кескіш құралды өңдеу жылуға айналатыны белгілі. Жылудың пайда болуы – құралдың тез тозуының себептерінің бірі.

Бұл зерттеудің мақсаты – соңғы элементтер әдісімен металл материалдарды токарлық бұйымдармен кесу процесінде құралдың күйіне температураның әсерін зерттеу.

Зерттеу үшін VK8 қатты қорытпасынан және P18 жоғары жылдамдықты болаттан жасалған кескіш құралдар таңдалды. VK8 қорытпасы жоғары қаттылықты жоғары температурада жоғары беріктікпен біріктіреді. Бұл қорытпаның жоғары жылу өткізгіштігі құралдың айрықша қасиеті болып табылады, өйткені ол тез жергілікті термиялық жұмсартуға бейімділікті төмендетеді. P18 болатының тозуға төзімділігі жоғары, беріктігі жеткілікті және ыстыққа төзімді.

Карбидті кескіш құралдың кесу температурасы мен кернеу күйін болжау кезінде соңғы элементтер әдісінің тиімділігі көрсетілген.

Кесу процесінде пайда болатын температура өрістерін білу құралдың қызмет ету мерзімін ұзартуға және өндіріс шығындарын азайтуға бағытталған жаңа технологияларды әзірлеу үшін өте маңызды. Кесу күші кесу жүктемесінің негізгі түрі ретінде қарастырылады. Карбидті кесу құралындағы температураны бөлу SolidWorks Simulation аналитикалық бағдарламалық жасақтамасын қолдану арқылы жүзеге асырылады. Модель SolidWorks Simulation-да тор түрінде жасалады және кесу күші беріледі. Осы мәліметтер арқылы кесу құралын жатқызуға болатын өндіріс процесінің құрамдас бөлігінің температурасы мен кернеуін анықтауға болады. Осылайша, температура мен кернеуді зерттеу Solidworks Simulation көмегімен жүзеге асырылады. Алынған нәтижелерді кесу құралының қызмет ету мерзімін және өңделетін бөліктің тұтастығын болжау кезінде пайдалануға болады.

Түйін сөздер: кесумен өңдеу, кесудің жылу құбылыстары, тозу, кернеулі деформацияланған күй, соңғы элементтер әдісі, Solidworks Simulation.

Abstract. It is known that when cutting, the machining of the cutting tool turns into heat. Heat generation is one of the causes of accelerated tool wear.

The purpose of this study is to use the finite element method to investigate the effect of temperature on the condition of tools in the process of cutting metal materials with turning cutters.

Cutting tools made of hard alloy VK8 and high-speed steel P18 were selected for the study. VK8 alloy combines high hardness with high strength at elevated temperatures. The high thermal conductivity of this alloy is a distinctive feature of the tool, as it reduces the tendency to rapid local thermal softening. P18 steel has high wear resistance, sufficient strength and is resistant to heat.

The effectiveness of the finite element method in predicting the cutting temperature and the stress state of a carbide cutting tool is shown.

Knowledge of the temperature fields that arise during the cutting process is very important for the development of new technologies aimed at increasing tool life and reducing production costs. The cutting force is considered as the main type of cutting load. The temperature distribution in a carbide cutting tool is performed using the Solidworks Simulation analytical software. The model is created as a grid in Solidworks Simulation and the cutting force is set. Using this data, it is possible to determine the temperature and voltage of a component of the production process, which can include a cutting tool. Thus, the study of temperature and voltage is performed using Solidworks Simulation. The results obtained can be used to predict the service life of the cutting tool and the integrity of the workpiece.

Keywords: cutting, thermal phenomena of cutting, wear, stress-strain state, finite element method (FEM), SolidworksSimulation.

Введение. Процесс механической обработки сопровождается пластической деформацией, при которой из-за трения стружки о режущую поверхность и неспособности металла диссипировать энергию в зоне резания повышается температура. Повышение температуры отрицательно сказывается на режущем инструменте, стружке и механических свойствах обрабатываемой поверхности заготовки. Температура в зоне резания зависит от ряда и других факторов, таких как: геометрические параметры инструмента, условия резания (влажное или сухое), тип материала режущего инструмента, заготовки и параметров технологического процесса (Зубарев Ю.М., Битюков Р.Н., 2019). Однако основной эффект от повышения температуры резания заключается в увеличении напряжения, которое неизбежно возникает на режущем инструменте из-за высоких деформаций. Эти напряжения оказывают усталостное разрушающее действие на инструмент.

Определение максимальной температуры в процессе обработки и ее распределение по рабочей поверхности немаловажный фактор, влияющий на срок службы инструмента и качество обрабатываемой детали. Энергия, затрачиваемая на резание металла в процессе

токарной обработки, в основном преобразуется в тепло. Непрерывные или стационарные операции обработки, такие как ортогональное резание, изучаются путем моделирования теплопередачи между инструментом и стружкой в зоне контакта режущей поверхности инструмента.

Температура, возникающая на поверхности режущей пластины при соприкосновении её с обрабатываемой деталью, называется температурой режущего инструмента.

Было предпринято несколько попыток предсказать и измерить температуры, используя различные методы и программы (Алинтас Й., 2012; Кожевников Д.В., Гречишников В.А., Кирсанов С.В., Григорьев С.Н., Схиртладзе А.Г., 2014). Температура находится в стадии разработки во время резки, это вызывает большую неопределенность, поскольку нагрев в основном зависит от контакта между инструментом и стружкой, от величины силы резания и трения между инструментом и стружкой. Почти вся вырабатываемая тепловая энергия передается режущему инструменту и материалу обрабатываемой детали, в то время как тепло рассеивается через стружку. Во время механической обработки процесс деформации сильно концентрируется в очень небольшой зоне, и температура, возникающая в зоне деформации, влияет как на обрабатываемую деталь, так и на инструмент. Износ инструмента, срок службы инструмента, обрабатываемая деталь, высокие температуры резания оказывают сильное влияние на целостность поверхности и механизм образования стружки и способствуют термической деформации режущего инструмента, которая считается основным источником ошибок в процессе обработки.

Различают три зоны, которые являются источниками тепла при резании: зона первичной или основной пластической деформации, вторая зона на стыке стружки и инструмента, где происходит вторичная пластическая деформация из-за трения между нагретой стружкой и инструментом, и третья зона, где выделяется тепло, находится на боковых поверхностях, где происходит фрикционное истирание.

Увеличение температуры материала заготовки в зоне первичной деформации размягчает материал, тем самым уменьшая усилие резания и энергию, необходимую для дальнейшего сдвига. Степень нагрева инструмента и стружки влияет на контактный процесс, на условие трения, что приводит к изменению характера и локальности первичной и вторичной деформаций. В зоне вторичной деформации стружка, преодолевая трение скольжения в зоне сопряжения инструмента и стружки, деформируется, создавая дополнительное тепло. При резании возникают контакт и трение между боковой поверхностью инструмента и только что обработанной поверхностью заготовки. Работа преодоления этого трения усиливает нагрев зоны третичной деформации. Причин нагрева во всех трех зонах множество: это физические и химические свойства материала обрабатываемой заготовки и режущего инструмента, условия резания, геометрия режущего инструмента, износ рабочей поверхности резца. Тепло отводится из первичной, вторичной и третичной зон конвекцией, стружкой, инструментом и обрабатываемой деталью. Тем не менее все виды источников тепла нагревают режущий инструмент и косвенно влияют на распределение температуры на рабочей поверхности инструмента, на поверхности стружки на границе раздела инструмент-стружка.

Экспериментальная часть. Температура режущего инструмента, как правило, относится к наиболее важному технологическому параметру в процессах механической обработки из-за их существенного влияния на качество конечной продукции. Большое количество взаимосвязанных параметров обработки оказывает большое влияние на температуру режущего инструмента, поэтому довольно сложно разработать подходящую теоретическую модель для эффективного и точного описания процесса обработки. Задача – исследовать влияние имитационного моделирования на конечно-элементный анализ резца, основанный на характеристиках материала твердосплавной пластины ВК8 и

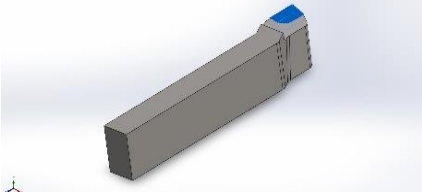
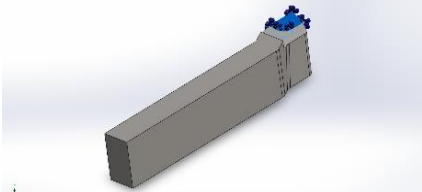
быстрорежущей стали P18.

Для исследования использовали токарный подрезной резец с напаянной твердосплавной пластиной BK8 и быстрорежущей сталью P18.

В качестве заготовки для испытания инструмента применялся цилиндрический пруток из низкоуглеродистой стали марки Ст3. Перед началом обработки все образцы имели одинаковые размеры: длина – 180 мм, диаметр – 40 мм. Установленные параметры резания включали подачу 0,5 мм/об, частоту вращения шпинделя 600 об/мин и глубину резания 1 мм. Проведённые расчёты показали, что при таких условиях величина осевой силы резания составляет 45,24 Н, радиальной – 13,57 Н, а тангенциальной – 9,05 Н.

Держатель резца выполнен из стали 40Х. Сечение резца $h \times b$ – 25 x 20 мм, пластина с толщиной 4 мм, длиной 16 мм (рис. 1, 2). Информация о режущих материалах представлена в табл. 1.

Таблица 1. Свойства материалов режущих инструментов

Наименование модели	Свойства
 Подрезной резец	Название: BK8 Теплопроводность: 85 Вт/(м·К) Удельная теплоемкость: 200 Дж/(кг·К) Плотность: 14 500 кг/м³
 Подрезной резец	Название: P18 Теплопроводность: 38 Вт/(м·К) Удельная теплоемкость: 460-500 Дж/(кг·К) Плотность: 7 300 кг/м³-8 100 кг/м³
Примечание – составлено авторами (Рахымтай Н.Н., Сейтказенова К.К. 2024)	

BK8 – распространенный твердый сплав вольфрамовой группы, содержащий в своем составе 91,7 % вольфрама, 7,4-8 % кобальта, 0,6-0,66 % углерода, не более 0,3 % железа. Твердый сплав обладает свойствами прочного и износостойкого материала, не теряющего свои свойства при нагреве до 1100 °С, обладает высокой теплопроводностью (Кожевников Д.В., Кирсанов С.В., 2012). Твердость сплава HRC88. Вязкость 35 кДж/м².

P18 – инструментальная быстрорежущая сталь, широко используемая для изготовления режущих инструментов. Сталь содержит следующие компоненты: 17,5–18,5 % вольфрама (W), 3,8–4,4 % хрома (Cr), 1–1,5 % ванадия (V), до 0,3 % молибдена (Mo), а также углерод в пределах 0,7–0,8 %, оставшуюся часть сплава составляет железо (Fe). Такой состав обеспечивает высокую стойкость к износу, прочность и устойчивость к нагреву, что делает сплав P18 отличным для высокоскоростного резания.

Чтобы узнать напряжение пластины, экспериментально осуществили термическое исследование резца в процессе резки. Для этого провели статическое исследование в SolidWorks Simulation. SolidWorks Simulation основан на методе конечных элементов, определяющем механическую прочность режущего инструмента, а также проверяющем теплопередачу и устойчивость к изгибу.

Сетка, видимая на модели, необходима для выполнения численных расчетов методом

конечных элементов (Finite Element Method, FEM) (рис. 3). В данном случае сетка применяется для моделирования теплопередачи и напряжений в резце. Это позволяет понять, как температура распределяется в разных зонах инструмента во время работы.

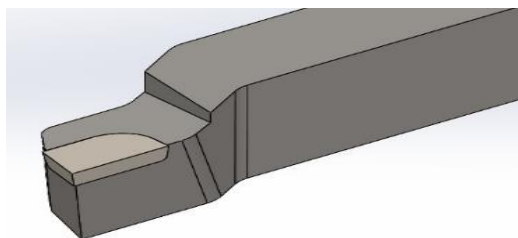


Рисунок 1. Токарный подрезной резец с пластиной из твердого сплава ВК8

Примечание – составлено авторами (Рахымтай Н.Н., Сейтказенова К.К. 2024)

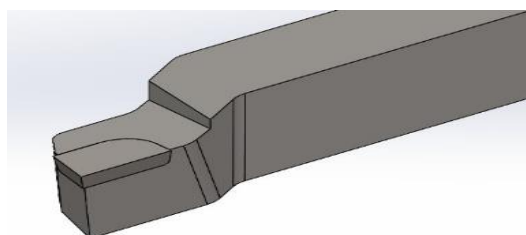


Рисунок 2. Токарный подрезной резец с пластиной из быстрорежущей стали P18

Примечание – составлено авторами (Рахымтай Н.Н., Сейтказенова К.К. 2024)

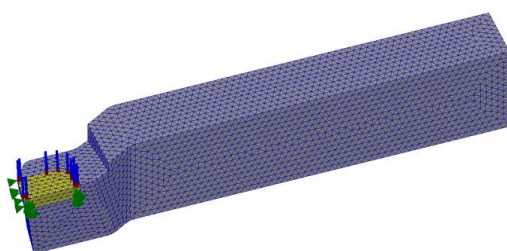


Рисунок 3. Сетчатая модель (составлена авторами)

Примечание – составлено авторами (Рахымтай Н.Н., Сейтказенова К.К. 2024)

Для охлаждения на высокоскоростных токарных и фрезерных операциях использовали полусинтетическую смазочно-охлаждающую жидкость (СОЖ) ПЭ-22. Полусинтетические СОЖ лучше проводят тепло, чем обычные эмульсионные масла, так как содержат меньше минерального масла.

Основные характеристики масла ПЭ-22 (Худобин Л.В., Булыжев Е.М., 2013):

Минеральное масло с добавками для улучшения охлаждающих и смазывающих свойств. Основные свойства:

- теплопроводность: 0.12–0.15 Вт/(м·К);
- теплоемкость: 1.8–2.1 кДж/(кг·К);
- кинематическая вязкость: в диапазоне 25–50 мм²/с при 50°C;
- температура вспышки: 180–200°C;
- температура застывания: не выше -10°C.

Поверхность головки охлаждается жидкостью, за исключением площади

соприкосновения режущей пластины.

- начальная температура: 20°C;
- коэффициент конвекции: 7 Кал/(с·см²·°C);
- скорость течения жидкости приняли равной 0,2 м/с.

Model name: С6орка
Study name: Thermal 1(-Default-)
Plot type: Thermal Thermal 1
Time step: 1

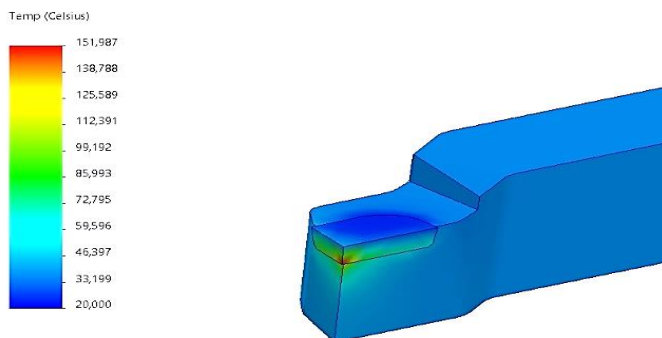


Рисунок 4. Температура пластины резца из твердого сплава ВК8 с охлаждением маслом ПЭ-22 (составлен авторами)

Примечание – составлено авторами (Рахымтай Н.Н., Сейтказенова К.К. 2024)

При проведении исследования получили приемлемую температуру для данной пластины ВК8: **151,987°C** (рис. 4). При резании с твердосплавной пластиной ВК8 и охлаждением маслом ПЭ-22 температура пластины может находиться в диапазоне **150-300 °C**.

Для быстрорежущей стали Р18 с маслом ПЭ-22 температура **около 200-250 °C** может считаться хорошим результатом при оптимальных режимах резания и эффективном охлаждении (рис. 5).

Model name: С6орка
Study name: Thermal 1(-Default-)
Plot type: Thermal Thermal 1
Time step: 1

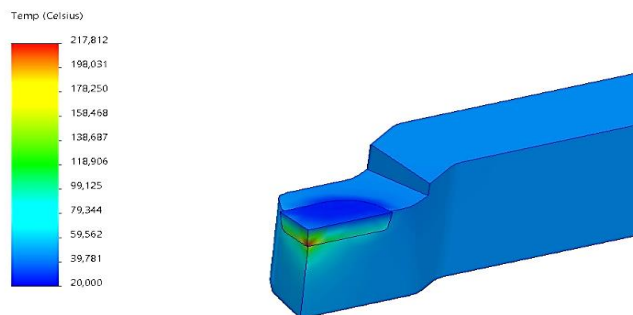


Рисунок 5. Температура пластины из быстрорежущей стали Р18 (составлен авторами)

Примечание – составлено авторами (Рахымтай Н.Н., Сейтказенова К.К. 2024)

Благодаря высокой теплопроводности и теплостойкости твердосплавная пластина быстрее проводит тепло, что обеспечивает более эффективное охлаждение. Температура на её поверхности остаётся ниже. **Пластина из ВК8 имеет меньшую температуру** благодаря лучшей теплопроводности и взаимодействию с охлаждающей жидкостью.

Из-за низкой теплопроводности пластина из Р18 медленнее передаёт тепло СОЖ, сильнее нагревается, и локальная температура в зоне резания выше даже при

использовании масла.

Без охлаждения температура резца из **ВК8** и **P18** при резании может значительно различаться из-за разных теплопроводных и термостойких свойств этих материалов:

1. Твердый сплав **ВК8**: может эффективно отводить тепло благодаря высокой теплопроводности, но при высоких нагрузках температура на его поверхности может достигать 600-800 °С, а в крайних случаях даже 1000°С. Это может привести к износу материала и снижению его производительности.

2. **Быстрорежущая сталь P18**: P18, имея более низкую теплопроводность, удерживает больше тепла, что делает поверхность материала более горячей при тех же условиях. Без охлаждения температура на его поверхности может достигать 700-900 °С, а в некоторых случаях даже 1000 °С, что приводит к быстрому износу материала и потере твердости.

Таким образом, **температура резцов из ВК8 и P18 без охлаждения может достигать 600–1000 °С**, при этом P18 обычно будет иметь немного более высокую температуру из-за меньшей теплопроводности.

Для определения возникающих напряжений в твердосплавной пластине ВК8 при температуре 151,987 °С под воздействием охлаждающего масла ПЭ-22 (рис. 6) потребуется учесть:

1. Коэффициент теплового расширения (КТР) ВК8;
2. Модуль упругости (Е) для ВК8;
3. Температурное изменение материала (разница между исходной температурой и температурой нагрева);
4. Условия закрепления пластины, и в связи с этим возникающие ограничения деформации.

Model name: С6орка2 (2)
Study name: Static 1C-Default-1
Plot type: Static modal stress Stress1

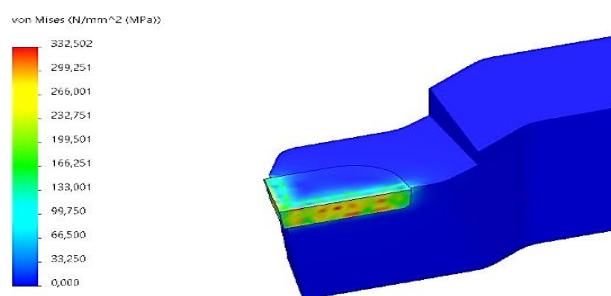


Рисунок 6. Термическое напряжение пластины твердого сплава ВК8 при температуре 151.987 °С составляет 332,502 МПа

Примечание – составлено авторами (Рахымтай Н.Н., Сейтказенова К.К. 2024)

Для расчета термических напряжений (σ) можно использовать формулу (Астахов, В.П., 2006):

$$\sigma = E \cdot \alpha \cdot \Delta T \quad (1)$$

где: - σ - термическое напряжение, [Па];

- E - модуль упругости ВК8, [Па];

- α - коэффициент теплового расширения ВК8, [1/°С];

- ΔT - изменение температуры, [°С].

Необходимые данные для ВК8:

- модуль упругости (E): около 600 ГПа (600×10^9 Па);
- коэффициент теплового расширения (α): 4.5×10^{-6} 1/°C;
- изменение температуры (ΔT): $151.987^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = 131,987^\circ\text{C}$.

$$\sigma = 600 \times 10^9 \text{ Па} \times 4.5 \times 10^{-6} 1/^\circ\text{C} \times 131.987^\circ\text{C} = \mathbf{356,36 \text{ МПа}}$$

При температуре $151,987^\circ\text{C}$ термическое напряжение на твердосплавной пластине ВК8 составляет около 356,36 МПа.

Для определения термического напряжения стали Р18 при температуре 217.812°C (рис. 7) воспользуемся той же формулой (1):

- модуль упругости (E) для стали Р18: 190×10^9 Па;
- коэффициент теплового расширения для стали Р18: 12×10^{-6} 1/°C;
- начальная температура: 20°C ;
- конечная температура: 217.812°C ;
- изменение температуры (ΔT):

$$\Delta T = 217,812 - 20 = 197,812;$$

$$\sigma_{\text{терм}} = 190 \times 10^9 \text{ Па} \times 12 \times 10^{-6} 1/^\circ\text{C} \times 197,812^\circ\text{C} = \mathbf{451,01 \text{ МПа}}.$$

Термическое напряжение стали Р18 составляет около 451,01 МПа при температуре $217,812^\circ\text{C}$.

Model name: С6орка2 (2)
Study name: Static 1 (-Default-)
Plot type: Static nodal stress Stress1

von Mises (N/mm² (MPa))

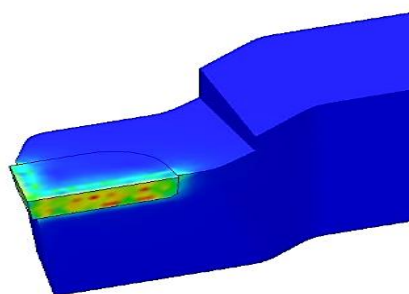
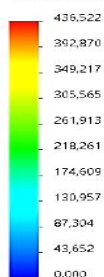


Рисунок 7. Термическое напряжение пластины из быстрорежущей стали Р18 при температуре 217.812°C составляет 436,522 МПа

Примечание – составлено авторами (Рахымтай Н.Н., Сейтказенова К.К. 2024)

Заключение.

1. Быстрорежущая сталь Р18, обладающая низкой теплопроводностью и коэффициентом теплового расширения, имеет высокое термическое напряжение: при температуре $217,812^\circ\text{C}$ тепловое напряжение стали Р18 составляет 451,01 МПа.

2. Термическое напряжение в твердосплавной пластине ВК8 при температуре $151,987^\circ\text{C}$ составляет 356,36 МПа, что меньше, чем для стали Р18. ВК8, как твердосплавный материал, имеет меньший коэффициент теплового расширения, что приводит к меньшему напряжению при той же температуре. Кроме того, твердосплавные материалы, как правило, обладают большей стойкостью к термическим воздействиям и лучшими механическими свойствами при высоких температурах.

3. Сталь Р18 при температуре $217,812^\circ\text{C}$ подвергается большому термическому напряжению, что может свидетельствовать о большем риске повреждения или износа при

перегреве или быстром охлаждении.

4. Несмотря на высокую твердость и прочность, твердый сплав ВК8 испытывает низкое тепловое напряжение при 151,987 °С, что свидетельствует о его термостойкости и способности работать при высоких температурах без риска повреждения.

5. Исследование температуры в зоне резания методом конечных элементов (МКЭ) во время токарной обработки является эффективным методом анализа тепловых процессов, происходящих во время резки. Этот метод позволяет получить подробную информацию о распределении температуры, что важно для понимания влияния различных параметров обработки на состояние инструмента и детали.

6. Температуры 151,987 °С для твердосплавной пластины ВК8 и 217,812 °С для быстрорежущей стали Р18 выглядят более надежными при охлаждении тем же маслом ПЭ-22 и могут быть объяснены следующими факторами:

- **различием в теплопроводности:** твердый сплав ВК8 имеет более высокую теплопроводность, что позволяет ему быстрее отводить тепло. Масло ПЭ-22 помогает эффективно охлаждать ВК8, снижая его температуру. Напротив, быстрорежущая сталь Р18 с более низкой теплопроводностью удерживает больше тепла на поверхности, что объясняет более высокую температуру.

- **теплостойкостью материалов:** ВК8 обладает лучшей теплостойкостью и может работать при высоких температурах без значительного изменения свойств. Быстрорежущая сталь Р18, хотя и предназначена для работы при высоких температурах, нагревается сильнее, поскольку отвод тепла происходит медленнее.

- **эффективностью охлаждения:** масло ПЭ-22 с высокой теплоемкостью и низкой вязкостью способствует более интенсивному охлаждению, особенно для материалов с хорошей теплопроводностью, таких как ВК8.

Таким образом, **различия температур и напряжений между ВК8 и Р18, которые составляют около 66°С и 95МПа**, являются корректным и ожидаемым результатом, учитывая физические свойства материалов и применение масла ПЭ-22. Эти данные могут соответствовать реальной картине температурного распределения, особенно при одинаковых режимах резания.

Данная работа продемонстрировала доступность результатов измерения температуры инструмента, полученных с помощью вышеупомянутых конечно-элементных моделей. Используя методы конечных элементов, можно эффективно прогнозировать и режим износа инструмента. Этот метод получил развитие как новый метод тестирования режущих материалов, сокращающий время резания, цикл разработки и снижающий затраты.

Список литературы

- Алямовский А.А. (2010) Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation: электрон.текстовые данные. – М.: ДМК Пресс, 464// Alyamovskiy A.A. (2010) Inzhenernyye raschety v SolidWorks Simulation: elektron. tekstovyye dannyye. – М.: ДМК Пресс, 464.
- Зубарев Ю. М., Битюков Р. Н. (2019) Основы резания материалов и режущий инструмент / Под ред. Косяковой У. А. - СПб.: Лань. - 228: ил. - Учебники для вузов. ISBN 978-5-8114-4012-2 // Zubarev YU. M., Bityukov R. N. Osnovy rezaniya materialov i rezhushchiy instrument (2019) / Pod red. Kosyakovoy U. A. - SPb.: Lan. - 228: il. - Uchebniki dlya vuzov. ISBN 978-5-8114-4012-2
- Авраамова Т.М., Бушуев В.В., Гиловой Л.Я. (2023) Металлорежущие станки: учебник. – М.: Инновационное машиностроение, – 608 // Avraamova T.M., Bushuyev V.V., Gilovoy L.YA. (2023) Metallorezhushchiye stanki: uchebnik. – М.: Innovatsionnoye mashinostroyeniye, – 608
- Аллингас, Й. (2012) «Автоматизация производства: механика резки металла». - Издательство Кембриджского университета. - 400//Alintas, Y.(2012) «Avtomatizatsiyaproizvodstva: mekhanikarezkimetalla». - Izdatel'stvoKembriidzhskogouniversiteta, - 400
- А.А. Клопотов, В.А. Литвинова, Н.М. Кондратьева, Р.А. Козырева (2016) Металлорежущие станки и инструменты. Физические основы процесса резания: учебное пособие – Томск. – 116. ISBN 978-5-93057-764-8// А.А. Klopotov, V.A. Litvinova, N.M. Kondrat'yeva, R.A. Kozyreva (2016) Metallorezhushchiye stanki i instrumenty. Fizicheskiye osnovy protsessa rezaniya: uchebnoye posobiye – Tomsk. – 116. ISBN 978-5-93057-

- 764-8
- Ковшов, А. Н. (2016) Технология машиностроения [Электронный ресурс] : учебник. – Москва: Лань".- 320. ISBN 978-5-8114-0833-7 // Kovshov, A. N. (2016) Tekhnologiya mashinostroyeniya [Elektronnyy resurs] : uchebnik .- Moskva : Lan".- 320. ISBN 978-5-8114-0833-7
- Сушил Д.Г. (2014) «Измерение температуры режущего инструмента в процессе токарной обработки с использованием термопары инструмента», IJRET, ISSN: 2319-1163, том 3, выпуск 4, стр. 831-835// Sushil D.G. (2014) «Izmereniye temperatury rezhushchego instrumenta v protsesse tokarnoy obrabotki s ispol'zovaniyem termopary instrumenta», IJRET, ISSN: 2319-1163, tom 3, vypusk 4, str. 831-835.
- Г.А. Мелентьев, А.Г. Схиртладзе, В.П. Борискин (2019) Резание материалов. Учебник. – М.: Юрайт. - 512 . ISBN: 978-5-94178-135-5 // G.A. Melent'ev, A.G. Shirladze, V.P. Boriskin (2019) Rezanie materialov. Uchebnik. – М.: Ūrajt. - 512 . ISBN: 978-5-94178-135-5
- Кожевников Д.В., Гречишников В.А., Кирсанов С.В., Григорьев С.Н., Схиртладзе А.Г. (2014). Режущий инструмент: учебник для вузов / Под общ. ред. С.В. Кирсанова. М.: Машиностроение, 520 // Kozhevnikov D.V., Grechishnikov V.A., Kirsanov S.V., Grigor'yev S.N., Skhirtladze A.G. (2014).Rezhushchiyinstrument: uchebnikdlyavuzov / Podobshch. red. S.V. Kirsanova. M.: Mashinostroyeniye, 520
- Кожевников Д.В., Кирсанов С.В. (2012).Резание материалов. – М.: Машиностроение, -304// Kozhevnikov D.V., Kirsanov S.V. (2012). Rezaniyematerialov. - M.: Mashinostroyeniye. -304
- Энтелис С. Г., Берлинер Э. М. (2022) Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием: справочник. – М.: Машиностроение. – 496 // Entelis S. G., Berliner E. M. (2022) Smazочно-okhlazhdayushchiye tekhnologicheskkiye sredstva dlya obrabotki metallov rezaniyem: spravochnik. – М.: Mashinostroyeniye,. – 496.
- Маркович А.С.(2016). «Тепловые процессы при резании металлов». - Екатеринбург: УГТУ, - 345 // MarkovichA.S. (2016).«Teplovyue protsessy pri rezanii metallov». - Yekaterinburg: UGATU, - 345
- Чемборисов, Н.А. (2017) Резание материалов. Режущий инструмент. Учебник. - М.: Юрайт. – 264. ISBN: 978-5-534-02278-0 // Chemborisov, N.A. (2017) Rezaniye materialov. Rezhushchiy instrument. Uchebnik. - M.: Yurayt. – 264. ISBN: 978-5-534-02278-0
- Худобин Л.В., Булыжев Е. М. (2013) Технологии и техника применения смазочно-охлаждающих жидкостей при механической обработке. — М.: Издательство МГТУ, — 276 // Khudobin L.V., Bulyzhev Ye. M. (2013) Tekhnologii i tekhnika primeneniya smazочно-okhlazhdayushchikh zhidkostey pri mekhanicheskoy obrabotke. — М.: Izdatel'stvo MGTU, — 276
- Тейлор, Р., и Хуан, Ю. (2021). «Численное моделирование тепловыделения при токарных операциях». Вычислительная материаловедение, 187, 110206.// Teylor, R., iKhuan, YU. (2021). «Chislennoye modelirovaniye teplovydeleniya pri tokarnykh operatsiyakh». Vychislitel'naya materialovedeniye, 187, 110206.
- Чен, Г., и Го, Ю. (2019). «Моделирование нагрева и износа инструмента при высокоскоростной обработке». Журнал «Наука и техника производства», 141(3), 1-12. // Chen, G., iGo, YU. (2019). «Modelirovaniye nagreva i iznosa instrumenta pri vysokoskorostnoy obrabotke». Zhurnal «Nauka i tekhnika proizvodstva», 141(3), 1-12, <https://doi.org/10.21122/2227-1031-2019-18-5>

Information about authors

Rakhymtay Nursaya Nurgalikyzy – Doctoral student in Mechanical Engineering, Faculty of Mechanics and Oil and Gas Engineering, NAO «M. Auezov South Kazakhstan University», Shymkent, 160016, Republic of Kazakhstan. E-mail: saya_rakhumtay@mail.ru

Myrzalyiev Darkhan Saparbaevich – candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Faculty of mechanics and oil and gas business, NAO «South Kazakhstan University named after M. Auezov», Shymkent, 160016, Republic of Kazakhstan. E-mail: darkhan-m7@mail.ru

Seitkazenova Kazira Kameshovna – Doctor of Technical Sciences, Faculty of Mechanics and Oil and Gas Engineering, NAO «M. Auezov South Kazakhstan University», Shymkent, Kazakhstan. E-mail: kseitkazi@mail.ru

Kadirov Nurdaulet Adyrbaevich – Doctoral student in Mechanical Engineering, Faculty of Mechanics and Oil and Gas Engineering, NAO «M. Auezov South Kazakhstan University», Shymkent, 160016, Republic of Kazakhstan. E-mail: kadirovnurdaulet1010@gmail.com

Seidullayeva Oryngul Bakhytkyzy – Doctoral student in Mechanical Engineering, Faculty of Mechanics and Oil and Gas Engineering, NAO «M.Auezov South Kazakhstan University», Faculty of Mechanics and oil and gas engineering, Shymkent, 160016, Republic of Kazakhstan. E-mail: orynkul_s@mail.ru