

УДК 621.941.01

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЗУБА ОСЕВОГО ИНСТРУМЕНТА НА ЕГО НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

д-р техн. наук, доц. М.И. МИХАЙЛОВ

(Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого)

Рассматривается влияние геометрических параметров зуба металлорежущего инструмента на его напряженное состояние. Приведено математическое моделирование напряженного состояния зуба инструмента численным моделированием. Установлено, что расположение пиковых значений напряжений в поверхностном слое передней поверхности зуба инструмента зависит от уровня нагрузок и геометрических размеров зуба инструмента.

Ключевые слова: *зуб осевого инструмента, геометрические параметры, уровень нагрузок, напряженное состояние.*

Введение. Как известно, зубья инструментов могут обрабатывать открытые, полузакрытые и закрытые поверхности [1]. Наибольшие нагрузки будут испытывать зубья инструмента, обрабатывающие торцовые канавки [2]. Исследованию напряженного состояния посвящено большое количество работ [2–18]. Изучение распределения напряжений в режущей части инструментов, в зоне непосредственного контакта стружки с передней поверхностью и заготовки с задней или за их пределами усложняется малыми размерами зоны контакта. Поэтому для определения напряжений в указанных областях исследователи применяли поляризационно-оптический метод [2–6], с помощью которого было найдено напряженное состояние в области контакта стружки с передней поверхностью. Изучением распределения напряжений в режущей части инструмента занимались многие ученые [2–18]. Еще в 30-х годах Э. Кокер и Л. Файлон положили начало исследованиям напряженного состояния режущего клина. Бетанели А.И. продолжил и развил метод Э. Кокера и Л. Файлона. В отличие от них, А.И. Бетанели рассматривал напряженное состояние клина за пределами зоны контакта стружки с передней поверхностью инструмента.

Исследования напряженного состояния моделей позволили определить качественный характер распределения напряжений в режущей части резцов. Однако большая трудоемкость изготовления моделей и обработки полученных результатов не позволяет более широко использовать этот метод.

В последние годы для определения напряжений в режущем клине исследователи все шире используют математические методы, требующие применения вычислительной техники [15–18].

Методика и результаты расчетов. Для расчетов рабочую часть осесимметричного инструмента разделяли на ячейки (рис. 1). В качестве материала корпуса инструмента выбрана сталь 40Х, режущая пластина выполнена из твердого сплава Т15К6. Нагрузка на зубья по длине режущей кромки прикладывалась как равномерно-распределенная. В качестве переменных параметров приняли толщину пластины (b , мм), вылет зуба из корпуса (h , мм), передний γ и задний α углы.

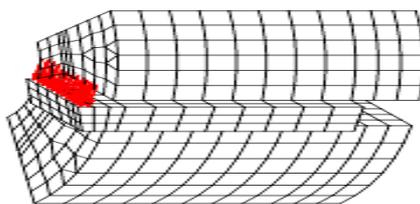


Рисунок 1 – Расчетная схема

В результате расчетов построены графики распределения внутренних эквивалентных напряжений по передней и задней поверхностям. При построении графиков, отражающих напряжения на передней поверхности, начало координат помещали в вершине режущей кромки, ось x направляли от центра вдоль режущей кромки, ось y – в направлении оси инструмента, а у графиков, отражающих распределение напряжений по задней поверхности, ось y направляли вдоль задней поверхности.

Как видно на рисунке 2, при увеличении толщины зуба b в 1,5 раза значения максимальных напряжений уменьшаются в 1,2 раза. При толщине зуба $b = 8$ мм в точках, расположенных вдоль режущей кромки на расстоянии 1,4 мм в направлении оси инструмента, график напряжений имеет выпуклую форму с вершиной в точке, находящейся на расстоянии 0,7 мм по оси x (рис. 2, a). При толщине $b = 12$ мм в аналогичных точках напряжения уменьшаются в 1,45 раза, и график имеет зону уплощения, а в точках, расположенных на расстоянии 2,8 мм в направлении оси инструмента, вид графика изменяется на криво-

линейный (рис. 2, б). В точках, расположенных на расстоянии 6,8 мм в направлении оси инструмента и вдоль режущей кромки, уровень напряжений падает в 1,17 раза, и вид графика не изменяется (см. рис. 2, а, б).

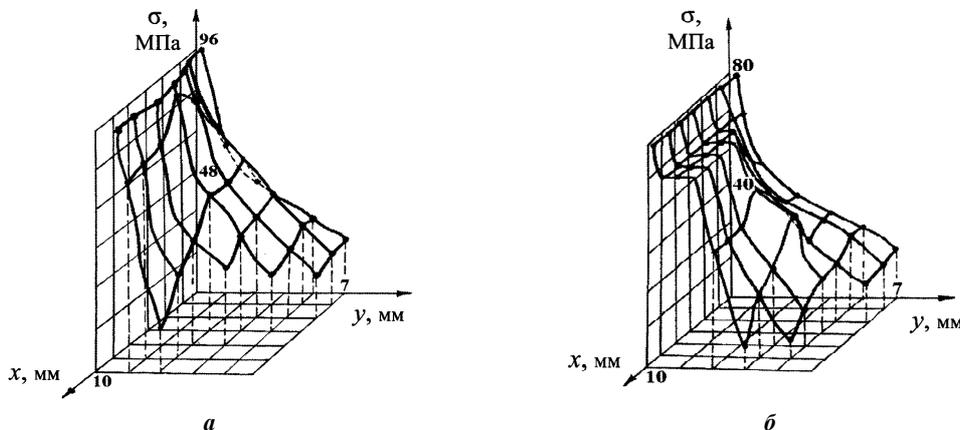


Рисунок 2 – Распределение эквивалентных напряжений по передней поверхности при толщине зуба $b = 8$ мм (а), $b = 12$ мм (б)

Увеличение толщины зуба в 1,5 раза приводит к уменьшению значений максимальных напряжений по задней поверхности в 1,2 раза, а в точках, расположенных на расстоянии 4,5 мм вдоль задней поверхности и вдоль режущей кромки, уровень напряжений падает в 1,17 раза, но вид графиков не изменяется (рис. 3, а, б).

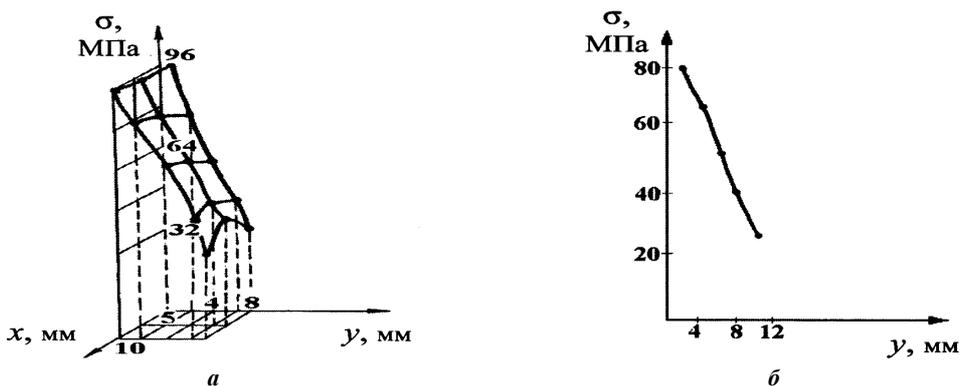


Рисунок 3 – Распределение эквивалентных напряжений по задней поверхности при толщине зуба $b = 12$ мм (а), $b = 8$ мм (б)

С увеличением вылета зуба из корпуса (h) в 1,2 раза при удельной нагрузке $P = 60,7$ МПа значения максимальных напряжений увеличиваются в 1,35 раза (см. рис. 2, б, рис. 4, а).

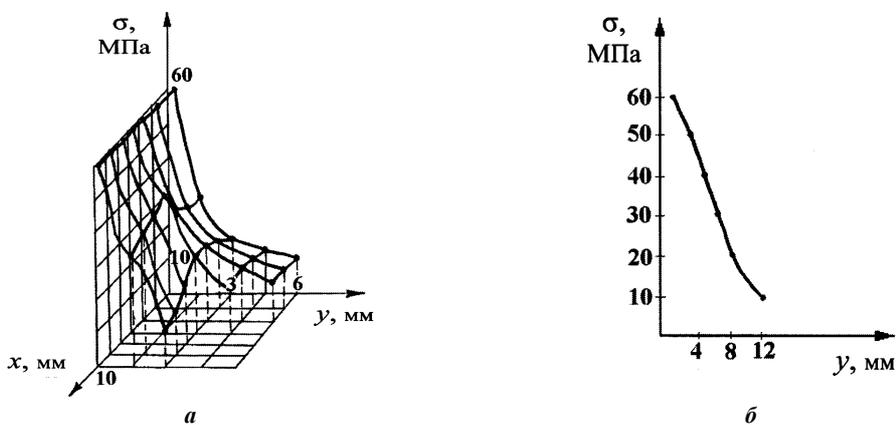


Рисунок 4 – Распределение эквивалентных напряжений по передней поверхности (а); по задней поверхности (б) при вылете зуба из корпуса $h = 6$ мм

При величине вылета зуба из корпуса $h = 6$ мм в точках, расположенных на расстоянии 3 мм от вершины в направлении оси инструмента и вдоль режущей кромки, кривая распределения эквивалентных напряжений изменяется плавно (см. рис. 4, а). При значении вылета зуба из корпуса $h = 7$ мм уровень напряжений в точках с аналогичными координатами увеличивается в 1,3 раза, кривая имеет выпуклую форму (см. рис. 2, б). В точках, расположенных вдоль режущей кромки на расстоянии 6 мм по оси y , форма графиков не изменяется, а уровень напряжений увеличивается в 1,9 раза (см. рис. 2, б и 4, а). Значения максимальных напряжений по задней поверхности увеличиваются в 1,35 раза. В точках, расположенных на расстоянии 6 мм от вершины вдоль задней поверхности и вдоль режущей кромки, значения напряжения возрастают в 1,3 раза, а форма кривых не изменяется (см. рис. 3, б и 4, б).

Как видно на рисунке 5, при увеличении переднего угла γ в 1,5 раза максимальные напряжения увеличиваются в 1,04 раза. В точках, расположенных на расстоянии 1,6 мм от вершины в направлении оси инструмента и вдоль режущей кромки, уровень напряжений увеличивается в 1,03 раза, а вид графиков не изменяется. Уровень же максимальных напряжений по задней поверхности увеличивается в 1,04 раза, но вид кривых не изменяется по всей длине режущей кромки (рис. 6).

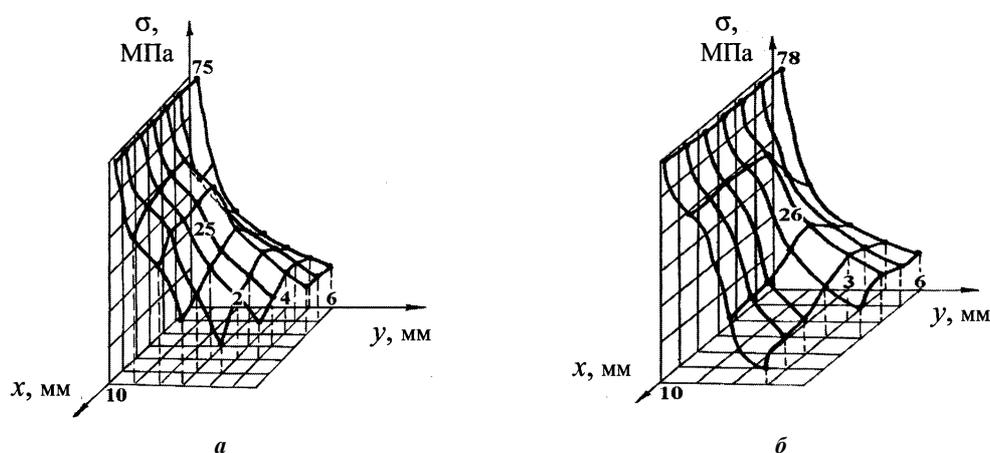


Рисунок 5 – Распределение эквивалентных напряжений по передней поверхности при значении переднего угла: $\gamma = 10^\circ$ (а); $\gamma = 15^\circ$ (б)

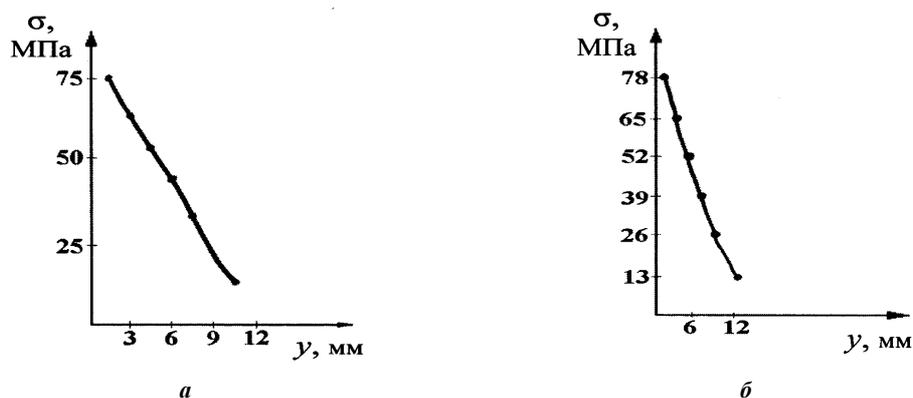


Рисунок 6 – Распределение эквивалентных напряжений по задней поверхности при значении переднего угла $\gamma = 10^\circ$ (а), $\gamma = 15^\circ$ (б)

Как видно на рисунках 4, а и 5, б, при увеличении заднего угла α в 1,4 раза уровень максимальных напряжений увеличивается в 1,3 раза. В точках, расположенных на расстоянии 2 мм от вершины в направлении оси инструмента и вдоль режущей кромки, уровень напряжений растет в 1,2 раза, а вид графиков не изменяется. При этом напряжения в каждой точке вдоль режущей кромки по задней поверхности увеличиваются в 1,4 раза (см. рис. 2, а ($\alpha = 15^\circ$) и рисунок 5, б ($\alpha = 11^\circ$)).

При увеличении нагрузки в 1,7 раза значения максимальных напряжений возрастают в 1,25 раза. Как видно на рисунке 7, б, в точках, расположенных вдоль режущей кромки на расстоянии 2 мм вдоль оси инструмента, кривая распределения эквивалентных напряжений имеет выпуклую форму. При величине

нагрузки 60,7 МПа в точках с аналогичными координатами график имеет плавную выпукло-вогнутую форму. В точках, расположенных на расстоянии 6 мм в направлении оси инструмента и вдоль режущей кромки, уровень напряжений увеличивается в 1,9 раза, при этом вид графиков не изменяется (рис. 7).

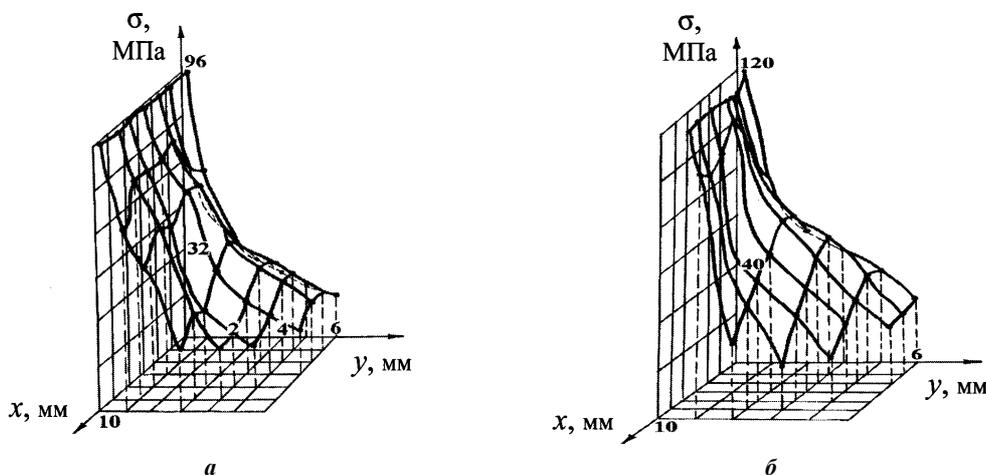


Рисунок 7 – Распределение эквивалентных напряжений по передней поверхности при удельной нагрузке $P = 60,7$ МПа (а), $P = 101,3$ МПа (б)

С увеличением нагрузки в 1,7 раза уровень максимальных напряжений по задней поверхности возрастает в 1,25 раза. В точках, находящихся на расстоянии 4 мм от вершины вдоль задней поверхности и вдоль режущей кромки, значения напряжений возрастают в 1,3 раза, а характер графиков не изменяется (рис. 8).

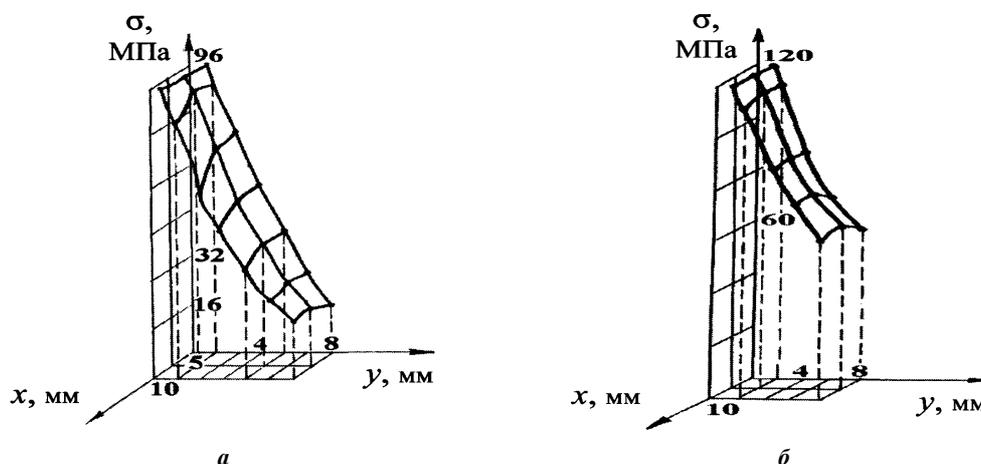


Рисунок 8 – Распределение эквивалентных напряжений по задней поверхности при нагрузке $P = 60,7$ МПа (а), $P = 101,3$ МПа (б)

Увеличение вылета зуба из корпуса (h) в 1,2 раза с нагрузкой $P = 101,3$ МПа влечет за собой увеличение в 1,2 раза уровня максимальных напряжений (рис. 9).

При величине вылета зуба из корпуса $h = 6$ мм в точках, расположенных на расстоянии 1,5 мм от вершины в направлении оси инструмента и вдоль режущей кромки, график распределения эквивалентных напряжений имеет выпукло-вогнутую форму (рис. 9, а). С увеличением вылета зуба до $h = 7$ мм кривая в аналогичных точках имеет более плавный вид, что связано с перераспределением напряжений, при этом численные значения напряжений увеличиваются в 1,18 раза (рис. 9, б). Для этих условий нагружения уровень максимальных напряжений по задней поверхности увеличивается в 1,2 раза и вид кривых не изменяется по всей длине режущей кромки (рис. 10).

Исходя из изложенного, видим, что расположение пиковых значений напряжений в поверхностном слое передней поверхности зуба инструмента зависит от уровня нагрузок и геометрических параметров зуба инструмента.

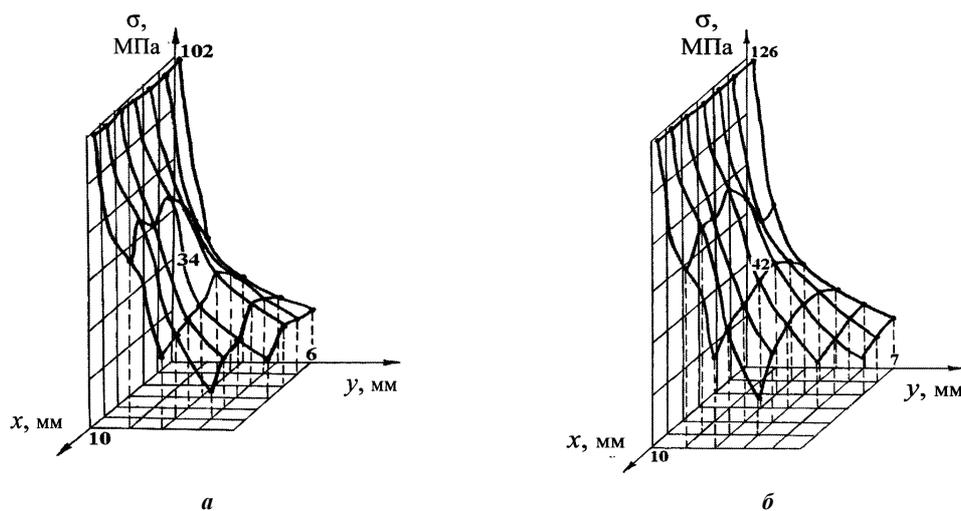


Рисунок 9 – Распределение эквивалентных напряжений по передней поверхности при вылете зуба $h = 6$ мм (а), $h = 7$ мм (б)

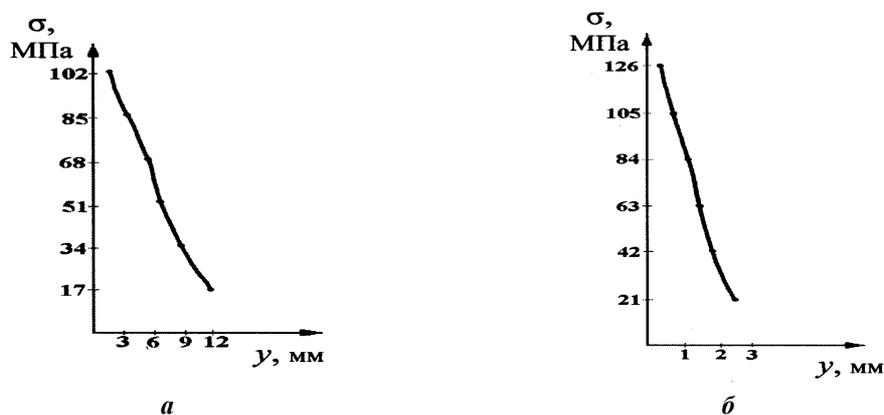


Рисунок 10 – Распределение эквивалентных напряжений по задней поверхности при вылете зуба $h = 6$ мм (а), $h = 7$ мм (б)

На основе проведенных исследований можно сделать следующие **выводы**:

- при увеличении толщины зуба инструмента в 1,5 раза значения максимальных напряжений уменьшаются в 1,2 раза;
- при толщине зуба $b = 8$ мм в точках, расположенных вдоль режущей кромки на расстоянии 1,4 мм в направлении оси инструмента, график напряжений имеет выпуклую форму с вершиной в точке, находящейся на расстоянии 0,7 мм;
- при толщине зуба $b = 12$ мм в аналогичных точках напряжения уменьшаются в 1,45 раза, а в точках, расположенных на расстоянии 6,8 мм в направлении оси инструмента и вдоль режущей кромки, уровень напряжений падает в 1,17 раза;
- увеличение толщины зуба в 1,5 раза приводит к уменьшению значений максимальных напряжений по задней поверхности в 1,2 раза, а в точках, расположенных на расстоянии 4,5 мм вдоль задней поверхности и вдоль режущей кромки, уровень напряжений падает в 1,17 раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Михайлов, М.И. Схематизация срезания припуска как способ создания прогрессивных видов обработки и инструмента / М.И. Михайлов // Современные материалы, оборудование и технологии упрочнения и восстановления деталей машин: тез. докл. науч. конф., Новополоцк, 1995 г.; ПГУ. – Новополоцк, 1995. – С. 29.
2. Михайлов, М.И. Повышение прочности сборного режущего инструмента / М.И. Михайлов. – Минск: Навука і тэхніка, 1993. – 174 с.

3. Андреев, Г.С. Напряженное состояние режущей части резца при периодическом резании / Г.С. Андреев // Прочность режущего инструмента: сб. ст. – М., 1969. – С. 12–14.
4. Бетанели, А.И. Приспособление для поляризационно-оптического исследования напряжений в режущей части инструмента в процессе резания / А.И. Бетанели // Тр. Груз. политехн. ин-та. – Тбилиси, 1965. – № 3. – С. 16–21.
5. Primus, J.F. Spezifische Beanspruchungen in den Kontakt sonen von Drehwerkenden und ihr Einfluss auf Spanbildung / J.F. Primus. – Berlin, 1970. – 168 s.
6. Кокер, Э. Оптический метод исследования напряжений / Э. Кокер, Л. Файлон. – Москва; Ленинград: ОНТИ, 1936. – 248 с.
7. Сборный твердосплавный инструмент / Г.Л. Хаэт [и др.]; под общ. ред. Г.Л. Хаета. – М.: Машиностроение, 1989. – 256 с.
8. Бетанели, А.И. Хрупкая прочность режущей части инструмента / А.И. Бетанели. – Тбилиси: ГПИ, 1969. – 248 с.
9. Рылин, А.В. Анализ напряженного состояния лезвия инструмента / А.В. Рылин, В.А. Сениюков, А.В. Серов // Изв. вузов. Сер. Машиностроение. – 1985. – № 7. – С. 117–120.
10. Утешев, М.Х. Некоторые результаты исследования напряженного состояния режущей части инструмента при помощи лазера / М.Х. Утешев, В.А. Сениюков // Прочность режущего инструмента. – 1969. – С. 51–53.
11. Primus, J.F. Ermittlung der Spannungsverteilung auf der Spanfläche von Drehwerkzeugen bei der Stahlzerspannung / J.F. Primus // Industrie Anzeiger. – 1971. – № 6. – S. 140–146.
12. Лолодзе, Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента / Т.Н. Лолодзе. – М.: Машиностроение, 1982. – 320 с.
13. Остафьев, В.А. Расчет динамической прочности режущего инструмента / В.А. Остафьев. – М.: Машиностроение, 1979. – 168 с.
14. Миранцов, Л.М. Исследование напряженно-деформированного состояния механически закрепленной режущей пластины резцов для тяжелых токарных станков МКЭ / Л.М. Миранцов, В.С. Гузенко, В.А. Овчаренко // Надежность режущего инструмента: материалы 3-го всесоюз. науч.-техн. семинара, Донецк, 1984 г. / Донец. политехн. ин-т. – Донецк, 1984. – С. 103–105.
15. Фельдштейн, Е.Э. Прогнозирование работоспособности сменных многогранных пластин режущих инструментов / Е.Э. Фельдштейн // СТИН. – 1998. – № 10. – С. 14–19.
16. Трусов, В.В. Повышение работоспособности режущего инструмента конструкционными методами / В.В. Трусов, В.А. Козлов // Инструмент. – 1998. – № 12. – С. 30.
17. Малыгин, В.И. Модель напряженно-деформированного состояния режущего элемента сборного инструмента / В.И. Малыгин, Н.В. Лобанов // Вестн. машиностроения. – 2000. – № 2. – С. 22–26.
18. Гречишников, В.А. Исследование деформированного состояния сборного режущего элемента методом конечных элементов / В.А. Гречишников, С.В. Лукина, А.И. Веселов // Конструкторско-технологическая информатика 2000: материалы IV Междунар. конгр., Москва, 2000 г. / МГТУ. – М., 2000. – Т. 1. – С. 158–160.

Поступила 29.01.2016

INFLUENCE OF GEOMETRICAL OF PARAMETERS OF AXIAL TOOL TOOTH AT ITS STRESS STATE

M. MIKHAILOV

The influence of the geometric parameters of the tooth cutting tools on its stress state. The mathematical modeling of the stress state of tooth numerical simulation tools. It has been established that the location of the peak values stresses in a superficial layer of the front surface of tooth tool depends on the loadings and geometry tooth of the tool.

Keywords: tooth of axial tool, contact sone, level load, tension, mathematical model.