

---

## Анализ методики снижения внутренних напряжений в сменных режущих пластинах

*Б.В. Барбышев, Р.Ю. Некрасов, И.Н. Кокорин, В.В. Долгушин*

*Тюменский индустриальный университет*

**Аннотация:** В статье произведен анализ напряжений, возникающих в процессе механообработки в режущей пластине круглого сечения. Приведена методика и результаты распространения напряжений, зависящих от угла охвата пластины. Выявлен оптимальный угол охвата, при котором практически отсутствуют прогибы, возникающие в режущей пластине за счет использования схемы крепления в корпусе резцедержателя. Также была построена трехмерная модель режущей пластины, державки и прихвата для моделирования процесса токарной обработки. В программном продукте Ansys Workbench произведен расчет в рамках поставленной задачи. Получены результаты корреляции распространения напряжений в пластинах круглого сечения при токарной обработке и фрезеровании.

**Ключевые слова:** Режущий инструмент, напряжения изгиба, моделирование процесса резания, режущий клин, токарная обработка, фрезерная обработка, деформация, сменная многогранная пластина.

Машиностроительное производство является драйвером экономики любой страны, в том числе, и Российской Федерации. В машиностроении большая часть процессов отводится на изготовление изделий путем снятия (обработки) слоя материала режущим (лезвийным) инструментом, совершенствование которой ведет к увеличению качества изготавливаемых деталей машин и механизмов, а также повышению эффективности производства.

Повышение точности и качества поверхностного слоя изделия с минимальными временными и экономическими затратами является задачей номер один любого машиностроительного производства, для этого применяется высокоточная обработка резанием. Высокоточная обработка сопровождается рядом факторов, влияющих на процесс изготовления. Завышение режимов резания ведет к увеличению контактных нагрузок, действующих на режущую пластину инструмента, что, в свою очередь,

влияет на работоспособность данного режущего инструмента и ведет к снижению эффективности его использования. Условием поддержания работоспособности режущих пластин является снижение напряжений вблизи режущего клина инструмента, а также в местах контакта пластины (крепление) к резцедержателю, влияющих на прочность и надежность [1].

Установлено, что в производственных условиях отказ работы режущего инструмента ввиду разрушения режущих пластин, имеющих разное сечение, составляет 80-85%. Такой отказ в работоспособности приводит к актуальности изучения причин, возникновения разного рода напряжений. Выделяют несколько видов напряжений, влияющих на режущий клин инструмента в процессе обработки: температурные напряжения, контактные напряжения, напряжения второго рода и другие.

Вследствие возникновения температурных напряжений, в процессе механической обработки [2], при превышении предела прочности образуются трещины и разрушают режущий элемент пластины.

Исследованиями разрушения режущих пластин занимались многие ученые, были также разработаны и применены разные методики расчета от аналитического метода по сосредоточенной нагрузке, метода преобразований Меллина, метода последовательных приближений, до разработки специальных методов расчета, учитывающих силовые и температурные напряжения непосредственно режущей кромки инструмента при больших температурных и силовых нагрузках [3,4].

Помимо этого, исследования внутренних напряжений в пластинах круглого сечения при фрезеровании показывают, что неблагоприятное влияние на износостойкость круглой режущей пластины оказывают напряжения изгиба, возникающие в процессе механической обработки, следствием которых является частичный износ и выкрашивание режущей кромки пластины. Это происходит посредством закрепления СМП с большим

---

углом охвата  $\alpha$ , значение которого может достигать  $67,5^\circ$ . Учеными доказано, что угол охвата, рекомендуемый и применяемый на стадиях проектирования и эксплуатации режущего инструмента, является неэффективным и ведет к снижению работоспособности инструмента.

Следует снизить напряжение изгиба путем уменьшения площади охвата, тем самым снижая волну прогиба под нагрузкой, которую испытывает режущий клин. На рис. 1 показаны характеристики эпюры изгиба с точками перегиба, в зависимости от угла охвата  $\alpha$  [5,6].

Также в исследованиях были получены результаты зависимости прогибов от угла охвата пластины с помощью аналитических расчетов и аппроксимированы в виде графика. На графике рис.2 видно, что нагрузка, возникающая в процессе резания, приводит к возникновению прогибов. Идеальным углом для охвата пластины является значение, приближенное к  $2\alpha = 100^\circ$ , где прогибы практически отсутствуют (минимальны).

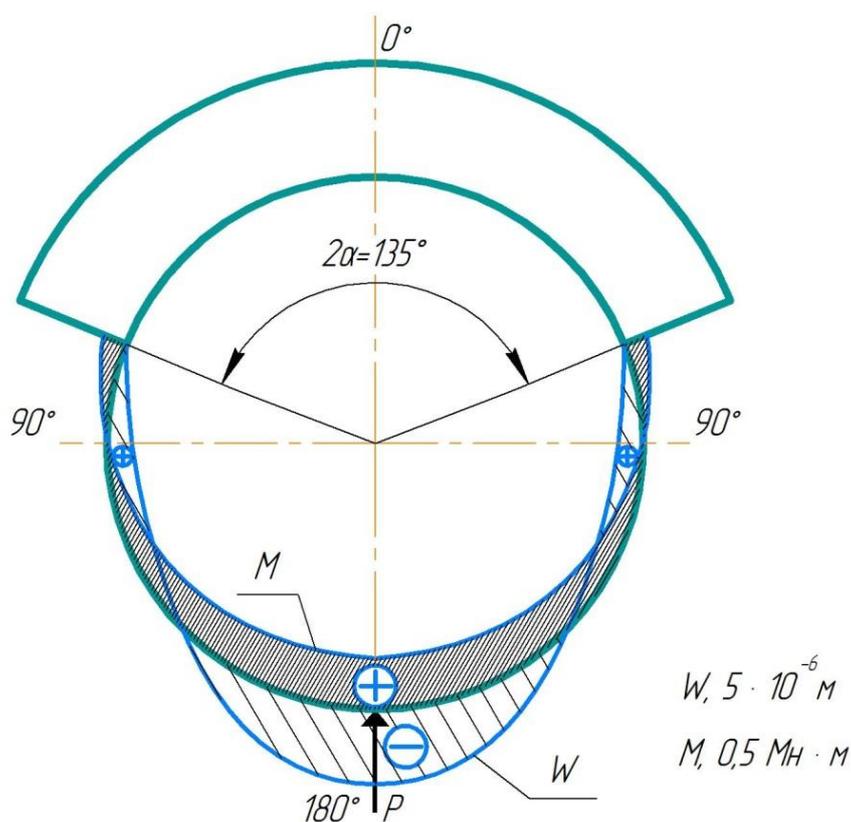


Рис. 1. – Эпюры прогибов  $W$  и моментов  $M$  в пластине в зависимости от угла охвата  $2\alpha$  в опоре

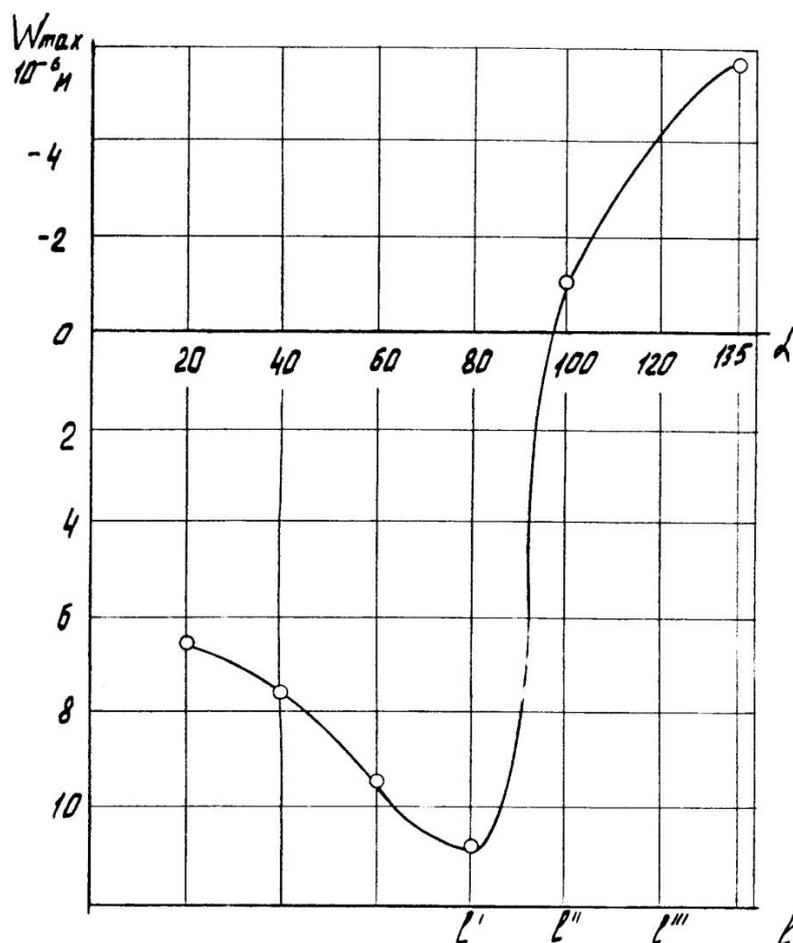


Рис. 2. – Зависимость прогибов  $W$  от угла охвата  $\alpha$

Расчетам напряжений посвящен ряд научных работ [7 – 9].

В статье рассмотрена возможность подтверждения корреляции распространения напряжений в круглой пластине при точении. Для этого были построены: трехмерная модель режущей пластины круглого сечения (диаметр 19 мм.), державка, прихват [10]. Расчет производился в программном обеспечении Ansys Workbench. При моделировании были выставлены стандартные граничные условия статического анализа (ограничение, нагружение).

В качестве нагрузки был смоделирован процесс точения с учетом возникающей температурной составляющей. Значение температур были подобраны и проанализированы с учетом исследований резания с температурой максимальной работоспособности.

Местом приложения нагрузок является область, охватывающая режущую кромку инструмента, моделирующую чистовую обработку с глубиной резания 0,15 мм.

На рис. 3 показана картина эпюры напряжений изгиба, в круглой пластине, закрепленной в токарном резцедержателе. Область возникновения напряжений характеризует увеличивающийся прогиб, жесткость всей конструкции резко возрастает и создается условие для увеличения напряжений в сечении пластины.

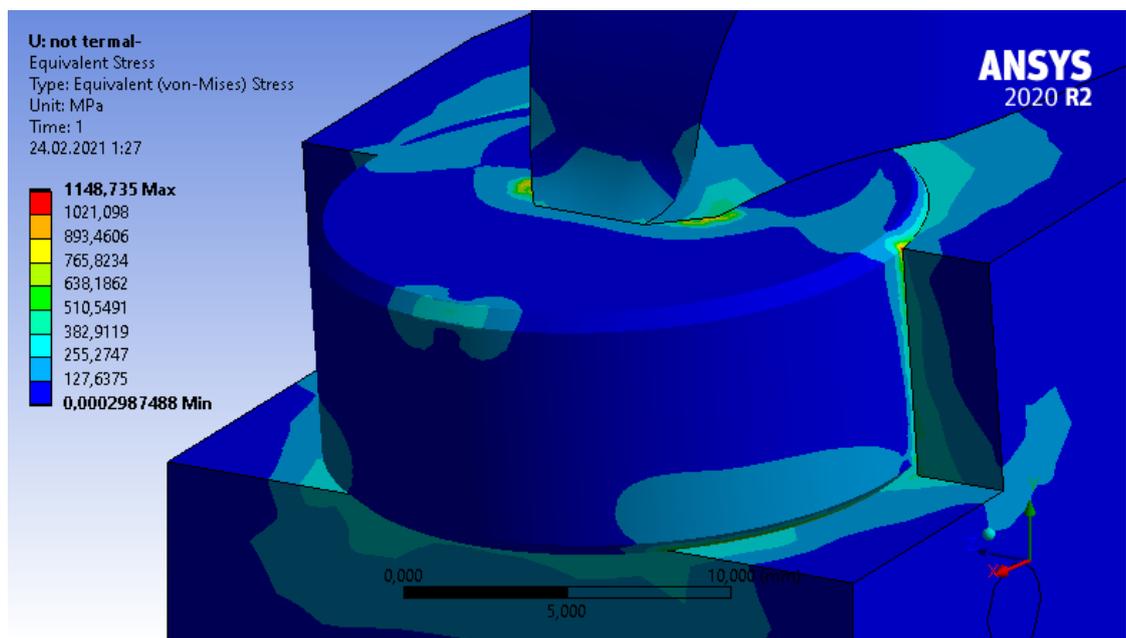


Рис. 3. – Эпюра напряжений изгиба

Результаты моделирования процесса токарной обработки свидетельствуют, что изгибающий момент в месте приложения нагрузки

также растет при увеличении угла охвата пластины, как и в случае, описанном исследованиями при фрезеровании. Таким образом, подтверждается корреляция распространения напряжений в процессе обработки круглой пластиной при фрезеровании и точении.

### Литература

1. Барбышев Б. В., Путилова У. С., Некрасов Р. Ю., Некрасов Ю. И., Харитонов Д. А., Утешев М. Х. / Механика деформирования и разрушения при резании. Т. 1. Нестационарный процесс резания / ред. Утешев М.Х.; ТюмГНГУ. - Тюмень: ТюмГНГУ, 2012. - 212 с.
2. Абзалов А. Р., Волкова И. И. Технологические методы обеспечения усталостной прочности упругих элементов // Инженерный вестник Дона, 2014, № 2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2351/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2351/).
3. Nekrasov R. Y., Putilova U. S. Laser nanometry of cutting tool deformation. – 2016. – 144 p.
4. Lasukov A. A. Selection of machining conditions in terms of the temperature dependence of chip formation // Russian Engineering Research. – 2015. – Т. 35. – №. 9. – С. 679-681.
5. Василега Д. С., Киреев В. В., Зырянов В. А. Моделирование методом конечных элементов для определения напряженно-деформированного состояния в сменных многогранных пластинах червячной фрезы // Обработка металлов: технология, оборудование, инструменты. – 2019. – Т. 21. – №. 1. – С. 50-60.
6. Vasilega D. S., Shtin A. S. Method for the determination of hard alloys' maximum performance temperature in the context of the metal-cutting tools' usage

---

quality estimation technique // Key Engineering Materials. – Trans Tech Publications Ltd, 2017. – Т. 737. – pp. 59-63.

7. Artamonov E. V., Tveryakov A. M., Shtin A. S. Determination of maximum working capacity of retrofittable cutters on the basis of physical-mechanical features of tool hard alloys // MATEC Web of Conferences. – EDP Sciences, 2018. – Т. 224. – С. 1-6.

8. Артамонов Е. В., Тверяков А. М., Штин А. С. Определение температуры максимальной работоспособности сменных режущих твердосплавных пластин на основе исследования изменения электромагнитных свойств // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2021. – Т. 23. – №. 1. – С. 33-44.

9. Баландин А. Д., Санова Л. А., Тягунова З. В. Расчет профиля инструмента и моделирование процесса формообразования при зубодолблении шлицевых втулок // Инженерный вестник Дона, 2015. № 2-2. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n2p2y2015/2951/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n2p2y2015/2951/).

10. Иванов Ю. В., Скорская Ю. Н. Рациональная конструкция дисковой ступенчатой фрезы для обработки пазов // Инженерный вестник Дона, 2016, № 4. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4y2016/3967/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2016/3967/).

### References

1. Barbyshev B. V., Putilova U. S., Nekrasov R. Yu., Nekrasov Yu. I., Kharitonov D. A., Uteshev M. Kh. . Mekhanika deformirovaniya i razrusheniya pri rezanii. Т. 1. Nestatsionarnyy protsess rezaniya [Mechanics of deformation and destruction during cutting. Vol. 1. Non-stationary cutting process] red. Uteshev M.Kh. ; TyumGNGU. Tyumen': TyumGNGU, 2012. 212 p.

2. Abzalov A. R., Volkova I. I. Inzhenernyy vestnik Dona. 2014, № 2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2351/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2351/).



3. Nekrasov R. Y., Putilova U. S. Laser nanometry of cutting tool deformation. 2016. 144 p.
4. Lasukov A. A. Russian Engineering Research. 2015. Т. 35. №. 9. pp. 679-681.
5. Vasilega D. S., Kireev V. V., Zyryanov V. A. Obrabotka metallov: tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty. 2019. Т. 21. №. 1. pp. 50-60.
6. Vasilega D. S., Shtin A. S. Key Engineering Materials. Trans Tech Publications Ltd, 2017. Т. 737. P. 59-63.
7. Artamonov E. V., Tveryakov A. M., Shtin A. S. MATEC Web of Conferences. EDP Sciences, 2018. Т. 224. pp. 1-6.
8. Artamonov E. V., Tveryakov A. M., Shtin A. S. Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty). 2021. Т. 23. №. 1. pp. 33-44.
9. Balandin A. D., Sanova L. A., Tyagunova Z. V. Inzhenernyy vestnik Dona, 2015. № 2-2. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n2p2y2015/2951/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n2p2y2015/2951/).
10. Ivanov Yu. V., Skorskaya Yu. N. Inzhenernyy vestnik Dona, 2016, № 4. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n4y2016/3967/](http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2016/3967/).