

УДК 621.91

DOI 10.22213/2413-1172-2018-1-3-6

**В. Н. Тюкпиеков**, кандидат технических наук, Сарапульский политехнический институт (филиал) ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

**О. В. Никитина**, кандидат технических наук, Воткинский филиал ИжГТУ имени М. Т. Калашникова

## **НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ СИНТЕГРАНА ЛЕЗВИЙНЫМ РЕЖУЩИМ ИНСТРУМЕНТОМ**

**Р**азвитие науки и техники, требующее постоянного совершенствования параметров машин, ведет к поиску новых конструктивных решений и проведений исследований по применимости новых материалов. Появляясь вследствие естественного стремления к совершенствованию существующих конструкций, новые материалы, в свою очередь, открывают возможности для реализации новых конструктивных решений и технологических процессов. В настоящее время перспективы прогресса в машиностроении в основном связываются с разработкой и широким применением композиционных материалов.

Именно к такому классу материалов относится дисперсно-упрочненный композит на основе твердокаменных пород – синтегран [1]. По существу этот материал представляет собой композиционный материал, состоящий из полимерного связующего на основе эпоксидной смолы и высокопрочных минеральных наполнителей. К наполнителям относятся различные фракции гранитной породы с размерами зерен от 0,63 до 20 мм. Наполнители выполняют роль своеобразного скелета и определяют прочностные свойства материала. Данный материал в основном предназначен для замены чугунового литья и используется для изготовления базовых деталей станков, машин и измерительных приборов.

В настоящее время недостаточно изучено поведение синтегран в процессе изготовления из него деталей и узлов, например, при обработке резанием. Процесс резания дисперсно-упрочненного композиционного материала существенным образом отличается от процесса резания металлов. Это отличие объясняется

главным образом специфическими свойствами обрабатываемого материала.

Характер стружкообразования и типы получаемой стружки во многом определяются свойствами обрабатываемого материала. Механизм процесса стружкообразования определяется закономерностями деформации и разрушения. Необходимым условием стружкообразования при резании синтегран является доведение обрабатываемого материала по линии среза до разрушения, которое практически происходит после преодоления предела упругости без пластического деформирования [2].

Схематично стружкообразование показано на рис. 1. Процесс стружкообразования носит циклический характер с образованием элементной стружки, которая, отделившись от основного материала, перемещается по плоскости скалывания.

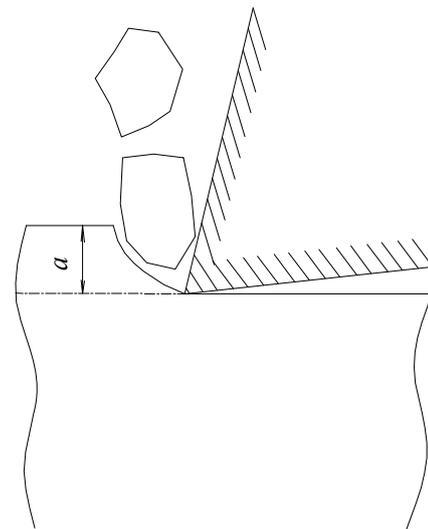


Рис. 1. Схема отделения стружки

Поскольку материал в зоне резания подвергается хрупкому разрушению, естественным является определение напряжений, возникающих в прирезцовой зоне. Для определения напряженного состояния воспользуемся решением плоской задачи теории упругости [3, 4]. Прежде всего представим зерно синтегранна как тело прямоугольной формы. Выберем систему координат  $YOZ$  так, чтобы ось  $Z$  была направлена вдоль одной из сторон (рис. 2).

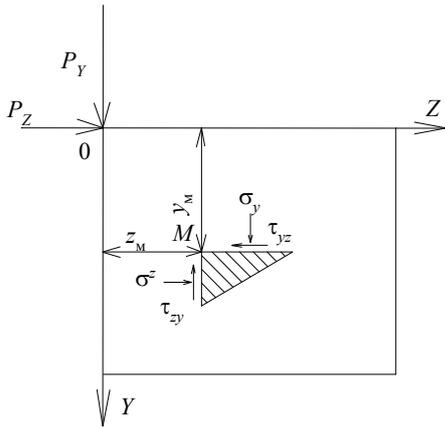


Рис. 2. Расчетная схема для определения напряжений в теле зерна

Пусть в точке 0 приложены нормальные и тангенциальные сосредоточенные силы  $P_Y$  и  $P_Z$  соответственно. Чтобы определить напряжения в любой точке тела зерна, применим задачу Фламана. Для точки  $M$  произвольной элементарной площадки полупространства нормальные  $\sigma_Y$  и  $\sigma_Z$ , а также касательные  $\tau_{YZ}$  и  $\tau_{ZY}$  напряжения рассчитывают по формулам:

$$\begin{aligned}\sigma_Y &= -\frac{2P_Y}{\pi} \frac{y_M^3}{W} - \frac{2P_Z}{\pi} \frac{z_M y_M^2}{W}; \\ \sigma_Z &= -\frac{2P_Y}{\pi} \frac{z_M^2 y_M}{W} - \frac{2P_Z}{\pi} \frac{z_M^3}{W}; \\ \tau_{YZ} &= -\frac{2P_Y}{\pi} \frac{z_M y_M^2}{W} - \frac{2P_Z}{\pi} \frac{z_M^2 y_M}{W},\end{aligned}\quad (1)$$

где  $W = [y_M^2 + z_M^2]^2$ ;  $z_M$  и  $y_M$  – координаты точки  $M$ .

Подставив в уравнение (1) координаты произвольной точки, лежащей в плоскости  $YOZ$ , получим формулы для расчета напряжений в этой точке:

$$\sigma_{Yij} = -\frac{2P_Y}{\pi} \frac{y_j^3}{W} - \frac{2P_Z}{\pi} \frac{z_i y_j^2}{W};$$

$$\sigma_{Zij} = -\frac{2P_Y}{\pi} \frac{z_i^2 y_j}{W} - \frac{2P_Z}{\pi} \frac{z_i^3}{W}; \quad (2)$$

$$\tau_{YZij} = -\frac{2P_Y}{\pi} \frac{z_i y_j^2}{W} - \frac{2P_Z}{\pi} \frac{z_i^2 y_j}{W},$$

где  $W = (y_j^2 + z_i^2)^2$ .

Определив напряжения по формулам (2), можно описывать поведение зерен синтегранна под воздействием режущего инструмента. Если напряжения на границе зерна превысят адгезионную прочность его со связующим, то произойдет вырыв зерна из матрицы. Условие, при котором осуществляется срез зерна без его выкрашивания из тела матрицы, можно записать следующим образом:

$$\frac{\tau_i}{\tau_{кр}} > \frac{\tau_{ипр}}{\tau_{адг}},$$

где  $\tau_{кр}$  – критическое напряжение, необходимое для распространения трещины скалывания;  $\tau_{адг}$  – адгезионная прочность, характеризующая связь между телом зерна и связующей матрицей;  $\tau_i$  – касательные напряжения в теле зерна;  $\tau_{ипр}$  – касательные напряжения на границе зерно – матрица.

Для расчета распределения напряжений в области срезаемого слоя рассмотрим полупространство  $ZOY$ , на которое действуют сосредоточенные силы резания  $P_Y$  и  $P_Z$  (рис. 3).

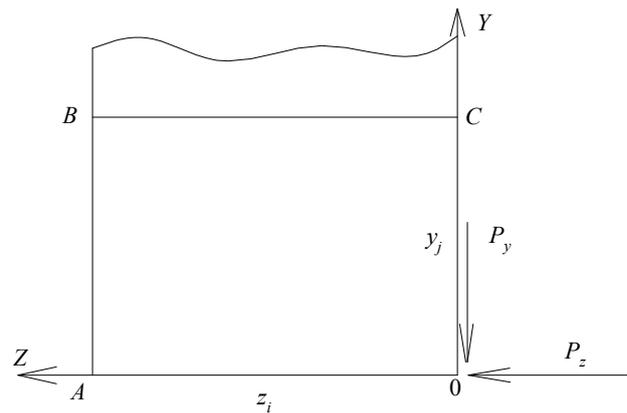


Рис. 3. Расчетная схема для определения напряжений в срезаемом слое

Рассечем полупространство по оси  $Z$ , при этом расстояние по оси  $Y$  выбираем из равенства координаты  $Y$  толщине среза. Тогда в любой точке прямолинейного участка  $BC$  возникают напряжения, рассчитываемые по формулам [5]:

$$\begin{aligned}\sigma_{y_i} &= -\frac{2P_Y y^3}{\pi W} - \frac{2P_Z z_i y^2}{\pi W}; \\ \sigma_{z_i} &= -\frac{2P_Y z_i^2 y}{\pi W} - \frac{2P_Z z_i^3}{\pi W}; \\ \tau_{yzi} &= -\frac{2P_Y z_i y^2}{\pi W} - \frac{2P_Z z_i^2 y}{\pi W},\end{aligned}$$

где  $W = (y^2 + z_i^2)^2$ .

Для их компенсации необходимо приложить в  $i$ -й точке нагрузку в виде нормального и тангенциального давления:

$$q_i(z) = -\sigma_{y_i};$$

$$t_i(z) = -\tau_{yzi}.$$

Затем, чтобы определить распределение напряжений в плоскости  $OABC$  от действия  $q_i(z) = -\sigma_{y_i}$  и  $t_i(z) = -\tau_{yzi}$ , заменим данную распределенную нагрузку на участке  $BC$  системой сосредоточенных сил, действующих на малых площадках.

Для этого в середине каждой площадки наметим точки приложения сосредоточенной силы, определим координаты таких точек и величину сосредоточенных сил. Нормальные и тангенциальные сосредоточенные силы в серединах площадок рассчитывают по формулам:

$$N_i = S\sigma_{y_i};$$

$$T_i = S\tau_{yzi},$$

где  $S$  – площадь элементарной площадки.

Тогда поля нормальных и касательных напряжений в срезанном слое определяют по формулам:

$$\begin{aligned}\sigma_{y_{ij}} &= -\frac{2N_i}{\pi} \frac{(z_i - h_i)^2 y_j}{((z_i - h_i)^2 + y_j^2)^2} - \\ & - \frac{2T_i}{\pi} \frac{(z_i - h_i)^3}{((z_i - h_i)^2 + y_j^2)^2}; \\ \sigma_{z_{ij}} &= -\frac{2N_i}{\pi} \frac{y_j^3}{((z_i - h_i)^2 + y_j^2)^2} - \\ & - \frac{2T_i}{\pi} \frac{(z_i - h_i) y_j^2}{((z_i - h_i)^2 + y_j^2)^2};\end{aligned}\quad (3)$$

$$\begin{aligned}\tau_{y_{zij}} &= -\frac{2N_i}{\pi} \frac{(z_i - h_i) y_j^2}{((z_i - h_i)^2 + y_j^2)^2} - \\ & - \frac{2T_i}{\pi} \frac{(z_i - h_i)^2 y_j}{((z_i - h_i)^2 + y_j^2)^2},\end{aligned}$$

где  $h_i$  – расстояние точек приложения сил  $N_i$  и  $T_i$  по оси  $Z$  до начала координат.

Окончательное распределение напряжений в плоскости срезанного слоя получим с помощью суперпозиции напряжений, вызываемых каждой из сил –  $N_i$ ,  $T_i$  и  $P_Y$ ,  $P_Z$ .

На рис. 4 представлены результаты расчетов по распределению нормальных и касательных напряжений в зоне резания.

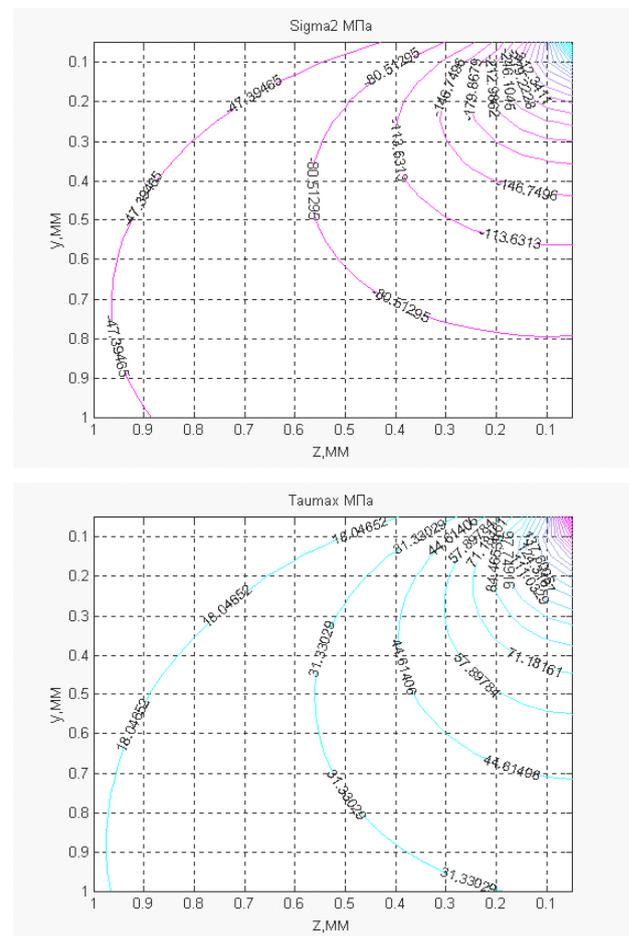


Рис. 4. Распределение нормальных и касательных напряжений

Определив напряжения по формулам (3), можно описывать поведение зерен синтегранта под воздействием режущего инструмента, т. е. прогнозировать их срез или вырыв из тела матрицы, а также определять траекторию распро-

странения магистральной трещины при образовании стружки скалывания.

Механизм стружкообразования при резании синтегранна можно представить следующим образом. Под действием режущего клина лезвийного инструмента в приповерхностном слое материала возникает поле напряжений. Увеличение напряжений приводит к зарождению трещины и ее развитию в направлении наибольших напряжений. По распределению напряжений (см. рис. 4) видно, что максимальные напряжения формируются ниже линии среза, таким образом, трещина будет распространяться вглубь обрабатываемого материала. Тем самым область зерна, расположенная выше трещины, становится консольным элементом, на который действуют сжимающая сила и изгибающий момент. Такая нагрузка приводит к формированию поверхности скола и образованию элемента стружки.

#### Библиографические ссылки

1. Рогов В. А., Позняк Г. Г. Современные машиностроительные материалы и заготовки. М. : Академия, 2008. 401 с.

2. Тюкпиеков В. Н. Повышение эффективности обработки синтегранна на основе физического и математического моделирования : дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01. М., 2002. 127 с.

3. Контактные задачи теории упругости для неоднородных сред / С. М. Айзикович, В. М. Александров [и др.]. М. : Физматлит, 2006. 240 с.

Получено 23.11.2017

4. Тимошенко С. П., Гудьер Д. Теория упругости. М. : Наука, 1979. 550 с.

5. Тюкпиеков В. Н. Распределение напряжений в срезаемом слое при резании композиционного материала лезвийным режущим инструментом // Перспективное развитие науки, техники и технологий : сб. науч. статей IV Междунар. науч.-практ. конф. Курск, 2014. С. 366–368.

#### References

1. Rogov V. A., Poznyak G. G. (2008). *Sovremennye mashinostroitel'nye materialy i zagotovki* [Modern machine-building materials and preparations]. Moscow: *Akademiya* (in Russ.).

2. Tyukpiekov V. N. (2002). *Povyshenie effektivnosti obrabotki sintegrana na osnove fizicheskogo i matematicheskogo modelirovaniya* [Improvement of processing efficiency of synthetic granite on the basis of physical and mathematical modeling], PhD thesis. Moscow (in Russ.).

3. Aizikovich S. M., Aleksandrov V. M. (2006). *Kontaktnye zadachi teorii uprugosti dlya neodnorodnykh sred* [Contact problems of the theory of elasticity for inhomogeneous media]. Moscow: *Fizmatlit* (in Russ.).

4. Timoshenko S. P., Gud'er D. (1979). *Teoriya uprugosti* [Theory of Elasticity]. Moscow: *Nauka* (in Russ.).

5. Tyukpiekov V. N. (2014). *Raspredelenie napryazhenii v srezhaemom sloe pri rezanii kompozitsionnogo materiala lezviinym rezhushchim instrumentom* [Distribution of stresses in a cut layer when cutting a composite material with a blade cutting tool]. Proceedings of the *Perspektivnoe razvitie nauki, tekhniki i tekhnologii*, Kursk, pp. 366-368 (in Russ.).