

35 мкм (рис. 4). Кручение в 22,5 оборота при температуре 1200 °С с последующим охлаждением в воде увеличивает напряжение пластического сдвига до 135 МПа.

Можно предположить, что если бы деформация не была прервана разрушением образцов, описанные выше процессы структурообразования повторились бы вновь, но исходной структурой для них были бы зерна диаметром 40 – 50 мкм.

Выводы. Результаты исследования свидетельствуют о том, что в ходе непрерывного горячего скручивания на начальных его стадиях металл существенно упрочняется, после чего следует его интенсивное разупрочнение до установившегося состояния. Такое поведение металла будет повторяться вновь и вновь до его разрушения.

Исходная микроструктура в результате деформирования претерпевает существенные изменения – происходит измельчение зерна в 20 – 30 раз, от 350 мкм до 10 – 20 мкм.

Структура на начальных стадиях деформации характеризуется повышенной разнотернистостью, которая по мере увеличения степени деформации снижается.

При деформации в 5 оборотов наблюдается рекристаллизованная структура с минимальным средним

размером зерна 20 – 35 мкм. Дальнейшее увеличение степени деформации не приводит к существенному изменению размеров зерен.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Берштейн М.Л., Займовский В.А., Капуткина Л.М. Термомеханическая обработка стали. – М.: Металлургия, 1983. – 480 с.
2. Горелик С.С., Гуль Ю.П. и др. // МитОМ. 1971. № 7. С. 5 – 9.
3. Булат С.И., Тихонов А.С., Дубровин А.Н. Деформируемость структурно неоднородных сталей и сплавов. – М.: Металлургия, 1975. – 352 с.
4. Дроздов Б.Я., Погребная Н.Э. // Исследование структуры горячедеформированного аустенита. Сб. «Термическая обработка металлов». – М.: 1980. № 9. С. 84 – 87.
5. Tonas T.T., Sellars C.M., Tegart W.T. // Metallurgical Reviews. 1969. Vol. 14. No. 130. P. 1 – 24.
6. Пат. 2317539 РФ. Способ определения основных параметров структуры металла / Е.Я. Лезинская, Е.В. Гулькин, В.В. Перчаник. Бюл. изобретений. 2008. № 5.
7. Берштейн М.Л. Прочность стали. – М.: Металлургия, 1974. – 198 с.

© 2013 г. Е.Я. Лезинская, Л.Г. Ковалева, В.В. Перчаник, С.И. Пинчук, В.Ф. Балакин, Д.Г. Тишкевич
Поступила 5 марта 2013 г.

УДК 621.926.323

А.Г. Никитин, С.А. Лактионов, М.А. Кузнецов

Сибирский государственный индустриальный университет

ПОЛОЖЕНИЕ ПЛОСКОСТИ МАКСИМАЛЬНЫХ КАСАТЕЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ РАЗРУШЕНИИ ХРУПКОГО КУСКА В ОДНОВАЛКОВОЙ ДРОБИЛКЕ*

Аннотация. Предложена методика расчета положения плоскости максимальных касательных напряжений при двухосном напряженном состоянии в хрупком изотропном материале, определяющая геометрические характеристики образующихся при разрушении кусков в одновалковой дробилке. Теоретически определено и экспериментально подтверждено, что ее положение зависит от коэффициента трения куска о валок и угла захвата, а также от коэффициента трения между куском дробимого материала и щекой.

Ключевые слова: одновалковая дробилка, дробимый кусок, угол захвата, коэффициент трения, плоскость максимальных касательных напряжений.

POSITION OF THE PLANE OF MAXIMUM SHEAR STRESS AT FRACTURE OF BRITTLE PIECES INTO ROLL CRUSHERS

Abstract. The methods of calculating the position of the plane of maximum shear stress under biaxial stress state in a brittle isotropic material, which determines the geometric characteristics resulting from the destruction of the pieces in Roll Crushers. Determined theoretically and experimentally is confirmed that its position depends on the coefficient of friction of a piece of roll, and the angle of capture, as well as the coefficient of friction between the material and the piece crushability cheek.

Keywords: roll crushers, divisibility piece capture angle, the coefficient of friction, the plane of maximum shear stress.

Во многих отраслях промышленности – металлургической, горнорудной и др. перерабатывают и используют в больших количествах сыпучие материалы

различных классов крупности. В большинстве случаев нужная крупность достигается измельчением более крупных кусков на дробилках, в том числе и одновалковых, при этом важное значение для потребителя имеет форма готового продукта.

* Работа выполнена в соответствии с государственным контрактом Министерства образования и науки № 7.4662.2011.

В результате проведения анализа сил, действующих при дроблении материала в одновалковой дробилке, было установлено, что в процессе работы дробилки возникают не только силы сжатия, действующие на дробимый кусок, но и крутящий момент, в результате которого образуются касательные напряжения [1]. Также было теоретически обосновано и экспериментально подтверждено, что разрушение изотропного хрупкого дробимого материала происходит по плоскостям максимальных касательных напряжений независимо от формы дробимого куска, о чем свидетельствуют полученная математическая модель процесса разрушения хрупкого материала в одновалковой дробилке и результаты проведенных испытаний по разрушению образцов [2]. Характер разрушения кусков известен, но для определения получаемой формы готового продукта необходимо определить положение плоскости максимальных касательных напряжений.

При совместном действии нормальных сжимающих и касательных напряжений положение первой главной площадки относительно вспомогательной определяется следующим выражением [2]:

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{\sigma_1 + \sigma}{\tau}, \quad (1)$$

где $\sigma_1 = \left(\frac{1}{2} \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} - \frac{\sigma}{2} \right)$ – главное напряжение на первой главной площадке; $\sigma = \frac{R_r}{a^2}$ – нормальное напряжение, возникающее при дроблении единичного куска кубической формы; R_r – сжимающая сила, действующая на кусок со стороны вала (рис. 1); a – длина ребра куска кубической формы.

Касательное напряжение при кручении детали некруглого поперечного сечения определяется из соотношения [3]

$$\tau = \frac{M_{\text{кр}}}{\chi hb^2}, \quad (2)$$

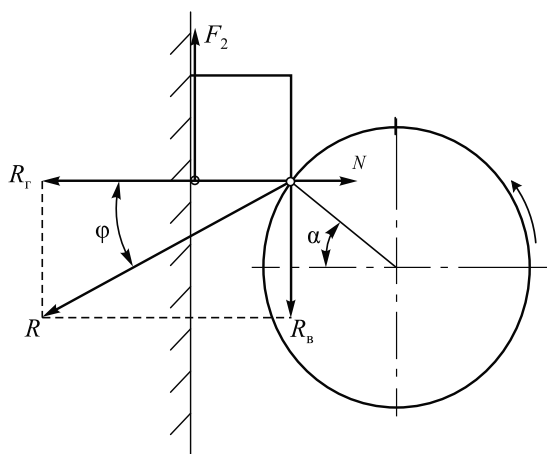


Рис. 1. Схема сил, действующих на кусок дробимого материала

где $M_{\text{кр}}$ – внутренний крутящий момент, возникающий под действием касательных напряжений; χ – коэффициент, зависящий от отношения длин сторон h и b прямоугольника.

При кручении кусков кубической формы стороны h и b равны между собой, т.е. $h = b = a$. В этом случае $\chi = 0,21$, тогда

$$\tau = \frac{M_{\text{кр}}}{0,21a^3}.$$

Внутренний крутящий момент рассчитывается как [1]

$$M_{\text{кр}} = Tc, \quad (3)$$

где $T = (R_b - F_2)$ – разность между вертикальной составляющей равнодействующей силы и силой трения между дробимым материалом и неподвижной щекой; $c = \left(\frac{F_2}{T} + \frac{1}{2} \right) a$ – плечо действия силы T .

Из проведенного анализа сил, действующих на кусок, известно, что вертикальная составляющая равнодействующей силы равна

$$R_b = R_r \operatorname{tg}\varphi,$$

где $\varphi = (\arctg f_1 - \alpha)$ – угол между сжимающей силой R_r и вертикальной составляющей; f_1 – коэффициент трения между дробимым материалом и валком; α – угол захвата.

Сила трения между дробимым материалом и неподвижной щекой определяется из выражения $F_2 = R_r f_2$, где f_2 – коэффициент трения между дробимым материалом и неподвижной щекой. Тогда значения T и c находим из соотношений

$$T = R_r (\operatorname{tg}\varphi - f_2); \quad (4)$$

$$c = \frac{a \operatorname{tg}\varphi + f_2}{2 \operatorname{tg}\varphi - f_2}. \quad (5)$$

После подстановки формул (4) и (5) в выражение (3) получим

$$M_{\text{кр}} = \frac{1}{2} R_r a (\operatorname{tg}\varphi - f_2)$$

и формула определения касательных напряжений (2) примет вид

$$\tau = \frac{R_r (\operatorname{tg}\varphi + f_2)}{0,42a^2} = \sigma \frac{\operatorname{tg}\varphi + f_2}{0,42}. \quad (6)$$

С учетом выражения (6) главное напряжение на первой площадке определяется следующим образом:

$$\sigma_1 = \frac{\sigma}{2} \left(\sqrt{1 + 22,67(f_2 + \operatorname{tg}\varphi)^2} - 1 \right)$$

и соотношение (1) примет вид

$$\begin{aligned} \operatorname{tg}\beta &= \frac{\frac{\sigma}{2} \left(\sqrt{1 + 22,67(f_2 + \operatorname{tg}\varphi)^2} + 1 \right)}{\frac{\sigma \operatorname{tg}\varphi + f_2}{0,42}} = \\ &= 0,21 \frac{\sqrt{1 + 22,67(f_2 + \operatorname{tg}\varphi)^2} + 1}{\operatorname{tg}\varphi + f_2}. \end{aligned} \quad (7)$$

Из анализа полученной формулы (7) следует, что угол β зависит от угла φ , который является функцией коэффициента трения f_1 куска о валок и угла захвата α , а также от коэффициента трения f_2 между куском дробимого материала и щекой. При этом, чем больше коэффициент f_1 и чем меньше коэффициент f_2 и угол α , тем больше угол β , определяющий положение плоскости максимальных касательных напряжений, по которой происходит разрушение хрупкого материала при одновременном действии нормальных и касательных напряжений.

Для проверки достоверности полученных результатов в Сибирском государственном индустриальном университете была спроектирована и изготовлена исследовательская установка, представляющая собой одновалковую дробилку [4]. Для проведения экспериментов были приготовлены образцы кубической формы со стороной 40 мм из цементно-песчаной смеси. В процессе проведения экспериментов варьировались все параметры, влияющие на положение плоскости максимальных касательных напряжений. На рис. 2 приведено положение плоскости максимальных касательных напряжений при $\alpha = 15^\circ$, $f_1 = 0,3$ и $f_2 = 0,1$ расчетное ($\beta - 45^\circ = 27^\circ$) и полученное экспериментально ($\beta - 45^\circ = 29^\circ$). Расхождение расчетных и экспериментальных данных составляет менее 7 %.

Выводы. Предложена методика расчета положения плоскости максимальных касательных напряжений

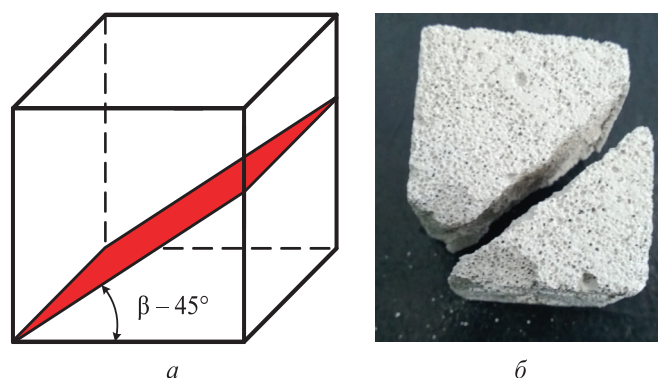


Рис. 2. Положение плоскости действия максимальных касательных напряжений:

a – расчетное; *b* – экспериментальное

при двухосном напряженном состоянии в хрупком изотропном материале, определяющая геометрические характеристики образующихся при разрушении кусков в одновалковой дробилке. Определено, что ее положение зависит от коэффициента трения куска о валок и угла захвата, а также от коэффициента трения между куском дробимого материала и щекой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Никитин А.Г., Сахаров Д.Ф. // Изв. вуз. Черная металлургия. 2010. № 10. С. 41, 42.
2. Никитин А.Г., Лактионов С.А., Сахаров Д.Ф. // Изв. вуз. Черная металлургия. 2012. № 8. С. 36 – 38.
3. Заславский Б.В. Краткий курс сопротивления материалов. Учебник для авиационных специальностей вузов. – М.: Машиностроение, 1986. – 328 с.
4. Никитин А.Г., Сахаров Д.Ф. // Изв. вуз. Черная металлургия. 2011. № 6. С. 53.

© 2013 г. А.Г. Никитин, С.А. Лактионов, М.А. Кузнецов
Поступила 1 марта 2013 г.