

УДК 621.914.02

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ В ПИЛЕ ТРЕНИЯ ПРИ ЭЛЕКТРОФРИКЦИОННОЙ РАЗРЕЗКЕ МЕТАЛЛОВ**Н. И. Покинтелица, Е. А. Левченко**

Севастопольский национальный технический университет

ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 99053, Украина. E-mail: tm@sevntu.com.ua

Приведен способ электрофрикционной резки заготовок различного сечения дисковыми пилами трения, который представляет собой комбинированный способ обработки, основанный на сочетании механических и электрофизических явлений, направленных на интенсивное удаление металла с обрабатываемой заготовки. Рассмотрено взаимодействие напряжений, создаваемых силами резания, с полями напряжений от сил инерции и неравномерного нагрева с учетом концентрации напряжений на внешнем контуре дисковой пилы трения для электрофрикционной резки. Полученные зависимости позволяют, задаваясь геометрическими параметрами дисковой пилы трения и граничными условиями, построить эпюры напряжений, возникающих в теле пилы трения. На основании результатов расчета суммарного напряженного состояния на внешнем контуре диска, т.е. с учетом концентрации инерционных напряжений и напряжений, создаваемых силами резания и распределенной по радиусу температурой, делается вывод о работоспособности инструмента.

Ключевые слова: электрофрикционная резка, напряжения, дисковая пила трения, схема нагружения, деформация.

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУГ, ЩО ВИНИКАЮТЬ У ПИЛІ ТЕРТЯ ПРИ ЕЛЕКТРОФРИКЦІЙНІЙ РОЗРІЗЦІ МЕТАЛІВ**М. І. Покинтелица, О. О. Левченко**

Севастопольський національний технічний університет

вул. Університетська, 33, м. Севастополь, 99053, Україна. E-mail: tm@sevntu.com.ua

Приведений спосіб електрофрикційної розрізки заготовок різного перетину дисковими пилами тертя, який є комбінованим способом обробки, що ґрунтується на поєднанні механічних і електрофізичних явищ, спрямованих на інтенсивне видалення металу з оброблюваної заготовки. Розглянуто взаємодію напруг, створюваних силами різання, з полями напруг від сил інерції і нерівномірного нагрівання з урахуванням концентрації напруг на зовнішньому контурі дискової пили тертя для електрофрикційної розрізки. Отримані залежності дозволяють, задаючись геометричними параметрами дискової пили тертя і граничними умовами, побудувати епюри напруг, що виникають в тілі пили тертя, і на підставі результатів розрахунку сумарного напруженого стану на зовнішньому контурі диска, тобто з урахуванням концентрації інерційних напруг і напруг, створюваних силами різання і розподіленої по радіусу температурою, зробити висновок про працездатність інструменту.

Ключові слова: електрофрикційна розрізка, напруги, дискова пила тертя, схема навантаження, деформація.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Развитие новых, более технологичных способов, схем и инструментов для обработки металлов резанием ставит перед исследователями задачу всесторонней их проверки. Одним из таких аспектов является проверка инструмента на предмет сохранения им целостности или расчет на прочность.

Разрезка проката и труб – до сих пор наиболее трудоемкий и наименее механизированный процесс металлообрабатывающего производства.

В последнее время широкое распространение получили способы резки, основанные на использовании тепловой энергии, так называемые огневые способы. К ним относятся газокислородная, плазменно-дуговая, газозлектрическая и другие. Сущность огневых способов резки состоит в том, что металл, расплавленный пламенем горелки или вольтовой дуги, выдувается из места резки направленной струей газа или воздуха. Однако этим способам присущи такие недостатки, как низкая производительность (15–30 резов в час) и значительный расход металла (ширина реза достигает 10 мм), низкое качество реза, неровный рез, наплавления и пр.

В последние годы в арсенале технологов появился способ электрофрикционной резки (ЭФР) ме-

талла дисковыми пилами трения [1]. Она представляет собой комбинированный способ обработки, основанный на сочетании механических и электрофизических явлений, направленных на интенсивное удаление металла с обрабатываемой заготовки. Это сочетание не равнозначно простому суммированию термофрикционной и электроэрозионной резки, поскольку указанные процессы оказывают взаимное влияние друг на друга. Однако анализ каждой из составляющих способствует выработке углубленного представления о сущности явлений, определяющих специфику ЭФР.

На участках резки заготовок существенное влияние на качество оказывает работа дисковых пил трения. Качество резки в настоящее время нельзя считать соответствующим уровню мировых стандартов из-за значительной косины реза, подгибки концов, большой величины заусенца, что зачастую является следствием некачественной работы пил. С другой стороны, установка пил в основном технологическом потоке предопределяет высокие требования к их производительности и надежности [2].

Необходимость замены дисковых пил трения определяется либо их износом, превышающим допустимые значения, что приводит к ухудшению качест-

ва розрезки и возрастанию усилий резания, либо разрушением дисков вследствие образования трещин. Зарождение и развитие трещин нередко приводит к необходимости замены дисков, что связано с остановкой установки и потерей производительности. При несвоевременной замене дисков возможны их разрывы, создающие опасность для персонала. Кроме того, возникновение трещин обычно исключает возможность повторного использования дисков после переточки, т.е. значительно сокращает количество ремонтных циклов. Таким образом, образование трещин является опасным и нежелательным видом разрушения дисковых пил трения.

Явление трещинообразования есть следствие действия многочисленных факторов, находящихся во взаимосвязи. Изучение напряжений, возникающих в пиле трения и вызванных как внешними нагрузками (силами) от процесса резания, так и внутренними, связанными с вращением и воздействием центробежных сил и высокой температуры, позволяет дать ответ на поставленный вопрос.

В работе рассмотрено взаимодействие напряжений, создаваемых силами резания, с полями напряжений от сил инерции и неравномерного нагрева с учетом концентрации напряжений на внешнем контуре.

Анализ предыдущих исследований. Известны результаты теоретических и экспериментальных исследований процесса фрикционной разрезки заготовок различного сечения.

Проведенные исследования позволили создать математические модели энергосиловых и тепловых процессов происходящих с инструментом [1], был изучен процесс стружкообразования, а так же рассмотрены вопросы, связанные со стойкостью пилы трения.

В литературе были освещены вопросы теории расчета пил трения. Исследован в лабораторных условиях расход энергии при разрезании различных марок сталей при температурах 600...1000 °С [3, 4]; предложены методики определения мощности двигателя привода дисковой пилы; рассмотрены вопросы о выборе скорости подачи, конструкций дисков пил. Было установлено, что при резании металла за счет трения в зоне реза металл очень быстро достигает температуры плавления, и жидкая фаза удаляется диском пилы из зоны трения [1]. Доказано, что теплота, выделившаяся в прорези, распределяется между диском и материалом прямо пропорционально коэффициентам их теплопроводности. Температура в зоне резания зависит от окружной скорости диска [4, 5]. Приводятся описания конструкций пил горячей резки. Рекомендовано в качестве материала для изготовления дисков применять углеродистую сталь с содержанием марганца до 1%, временным сопротивлением 800...900 МПа и относительным удлинением 12–14 % [2]. Результаты исследований влияния режимов резания заготовок на составляющие силы резания и непосредственно на стойкость дисков, представлены в работах [4, 5]. Было определено, что с увеличением скорости подачи усилия резания увеличиваются, однако зависимость между этими величинами нелинейная. Усилие резания мо-

жет быть принято пропорциональным квадратному корню из толщины срезаемого слоя.

Установлено, что удельное сопротивление резанию (удельная работа разрезания) является функцией многих факторов, в частности, ее уровень определяется механическими и теплофизическими свойствами, температурой разрезаемого проката и режимами резания [5].

Значительный теоретический и практический интерес представляют работы по разработке основ управления структурой и параметрами технологических систем фрикционной разрезки [6, 7].

Несмотря на большой объем проведенных исследований, многие сведения по определению особенностей процесса фрикционной разрезки отсутствуют или носят противоречивый характер.

В основном авторы используют экспериментальные методы исследований. Методики определения напряжений на внешнем контуре инструмента для ЭФР с целью сохранения его целостности в литературных источниках не выявлено.

Цель работы – исследование напряженного состояния дисковых пил трения для ЭФР при статическом приложении усилий резания с учетом полей инерционных и тепловых напряжений, что позволит повысить производительность и безопасность процесса разрезки заготовок.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Процесс резания при ЭФР отличен от применяемых ранее и исследуется впервые. В качестве режущего инструмента используется дисковая пила трения с гладкой цилиндрической поверхностью, что обеспечивает положительное сочетание преимуществ круглого вращающегося инструмента и нагрева контактных поверхностей трением и электротокком. Дисковая пила трения для ЭФР имеет большую износостойкость, что особенно важно при механической обработке в условиях автоматизированного производства. Данный способ позволяет снизить уровень шума; увеличить срок службы узлов установки за счет уменьшения частоты вращения диска в 2–3 раза; повысить КПД процесса обработки.

Сущность процесса резания металлов дисковыми пилами трения состоит в том, что быстровращающийся, тонкий стальной диск расплавляет или размягчает благодаря теплоте, выделяющейся при трении, материал заготовки и выбрасывает его из прорези с большой скоростью в виде снопа раскаленных искр. При этом наиболее мелкие частицы металла, соединяясь с кислородом воздуха, сгорают на лету, превращаясь в окалину, а более крупные, спекаясь, застывают в форме всплесков, капелек и шариков, образуя весьма плотную и прочную массу сталагмитообразной формы.

Особенность способа ЭФР заключается в том, что к месту контакта пилы трения 3 с обрабатываемыми заготовками 1 и 2 подводится электрический ток большой силы (до 1000 А) и низкого напряжения (1...2 В), вследствие чего зона стружкообразования подвергается дополнительному нагреву и под действием усилия прижима быстровращающейся пилы трения с наростами на её цилиндрической час-

ти, деформується і руйнується (рис. 1). При цьому досягається висока продуктивність розрезки труднооброблюваних матеріалів і економія дорогостоящих інструментальних матеріалів.

На рис. 1 приведена принципіальна схема електрофрикційної розрезки. От мережі напругою 380 В ток проходить через вимикач, регулятор напруги, понижуючий трансформатор і далі через заготовки 1, 2 к місцям контакту з пилою трення 3.

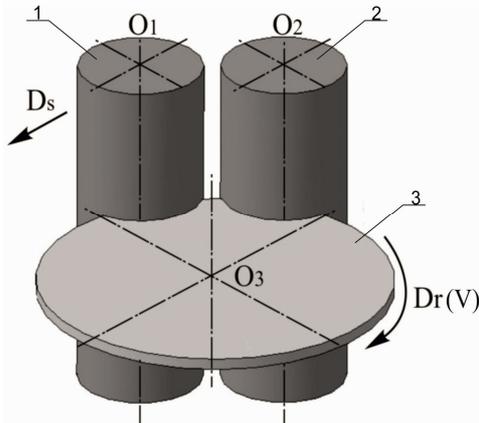


Рисунок 1 – Схема електрофрикційної розрезки металу

На рис. 2 приведена схема роботи дискової пили трення.

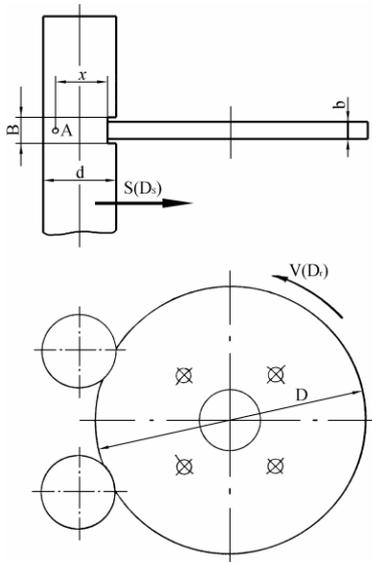


Рисунок 2 – Схема роботи пили трення

Принципіальна кінематична схема ЕФР складається з двох суміжних рухів: виробляючий зняття припуску на обробку і забезпечуючий нагрів зони різання – головне вращальне руху $D\tau$ пили трення і руху подачі Ds – руху заготовки відносно пили трення. Пила трення діаметром D і товщиною b обертається зі швидкістю V в напрямку головного руху $D\tau$. Заготовки діаметром d подаються на пилу трення зі швидкістю подачі S (руху подачі Ds). При переміщенні заготовки відбувається процес пластич-

ного деформування розогретого електротоків і силами трення срізаємого шару з утворенням стружки.

Процес стружкоутворення аналогічний процесу шліфування затупившимися абразивними зернами. Ширина розрезу B завжди трохи більше величини b .

Обробка ведеться на вертикально-фрезерних станках або спеціальних установках, забезпечуючих необхідну частоту обертання n дискової пили трення.

Поверхнева нароботка пили трення може бути виражена площею обробленої поверхності, ($\text{мм}^2/\text{с}$)

$$F = S_M \cdot B,$$

де S_M – подача заготовки, $\text{мм}/\text{с}$; B – ширина паза розрезки, мм .

Об'ємна нароботка пили трення в одиницю часу, ($\text{мм}^3/\text{с}$)

$$V = S_M \cdot B \cdot L_K,$$

де L_K – довжина дуги контакту пили трення з заготовкою, мм .

Довжина дуги контакту може бути визначена з вираження

$$L_K = 2 \sqrt{\frac{D \cdot d \cdot t}{D + d}},$$

де D – діаметр пили трення, мм ; d – діаметр заготовки, мм ; t – глибина різання, мм .

Наприклад, для $D=500 \text{ мм}$; $d=100 \text{ мм}$; і $t=10 \text{ мм}$ величина $L_K=57,735 \text{ мм}$.

Пила трення (рис. 3) представляє собою диск, зовнішня кругова поверхність якого A_γ являється передньою поверхню, а дві бічні (торцеві) поверхні диска – задня поверхня A_α . Робочі поверхні перетинаються утворюють дві кругові режущі кромки K і K' .

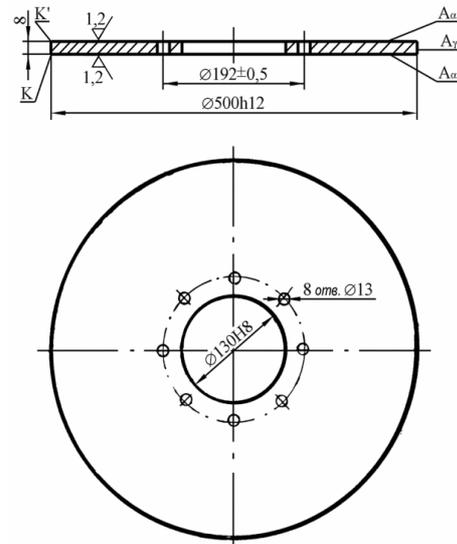


Рисунок 3 – Пила трення

Чем больше диаметр пилы трения, тем больше должна быть и его толщина, т.к. в противном случае диск может потерять устойчивость в процессе работы.

Для ЭФР, как правило, применяют сплошные пилы трения диаметром 500...600 мм, толщиной 6...8 мм. Диаметр новой пилы трения увеличивают на 5-10 % для обеспечения переточек.

Диаметр быстроходных пил трения определяется из условия получения на используемом металлорежущем оборудовании скорости резания не менее 50 м/с.

Как показали исследования, расширение прорези вследствие вибрации пилы и утолщения ее периферийной части целиком обеспечивают уменьшение бокового трения, делая операцию специальной подготовки торцовых плоскостей пилы неоправданной [6]. Делать выточки на торцах пилы не следует, так как это увеличит опасность кольцевого разрыва.

Перед установкой пилы трения на станок ее необходимо подвергать статической балансировке. Вырезать пилу способом термической резки запрещается. Если пила сильно изношена, то ее необходимо перед работой проточить, что можно сделать, не снимая пилы трения со станка.

С целью повышения производительности процесса резки двух заготовок и гарантированного их одновременного касания пилы трения было предложено, разработано и изготовлено устройство для установки заготовок относительно инструмента (рис. 4), состоящее из основания 1, корпуса с подвижной призмой 2, подвижной призмы 5 и винта 4 перемещения подвижной призмы вдоль направляющих 6. Для подвода электрического тока в зону резки корпус с призмами выполнен самоустанавливающимся относительно пилы трения 8 с помощью шарнира 3, ось которого параллельна оси разрезаемых заготовок 7.

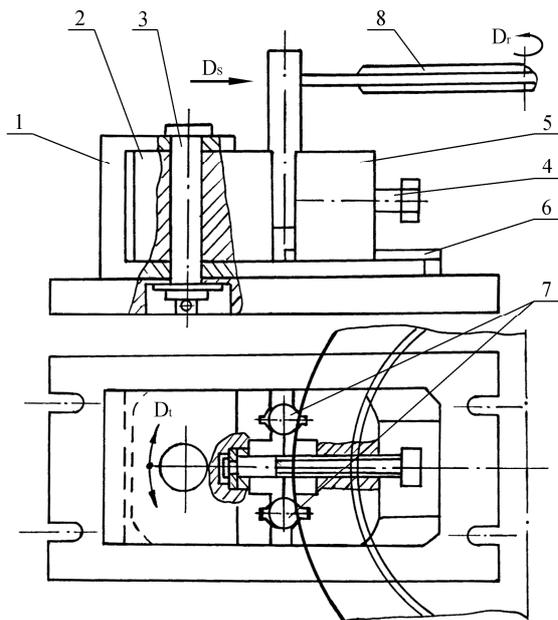


Рисунок 4 – Устройство для установки и закрепления заготовок

Для закрепления заготовок и обеспечения необходимого зазора между ними предложено приспособление, позволяющее производить быструю замену заготовок [1].

Для осуществления процесса ЭФР разработана конструкция дисковой пилы трения и зажимных фланцев для крепления на валу или на шпинделе вертикально-фрезерного станка по типу торцовых фрез (рис. 5).

С целью обеспечения замыкания электрической цепи по контуру: заготовка 1 – пила трения – заготовка 2, и для выполнения требований правил безопасной работы на металлорежущих станках пила трения изолирована от зажимных фланцев и элементов крепления специальными диэлектрическими прокладками 1 и втулками 2 (рис. 5).

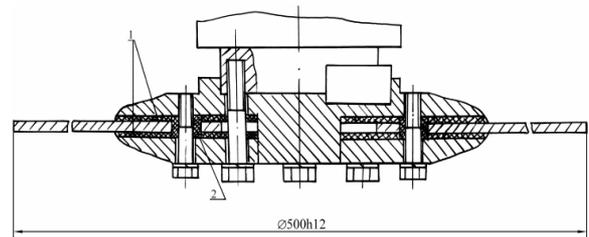


Рисунок 5 – Крепление пилы трения для ЭФР

Поле напряжений, возникающих в теле пилы трения, является результатом наложения полей напряжений от сил резания, инерционных и температурных напряжений, а также напряжений, обусловленных изгибом диска по плоскости.

При исследовании напряженного состояния диска главное внимание уделено определению напряжений на внешнем контуре, то есть в области, где наиболее часто наблюдается зарождение трещин.

Как известно, пила трения представляет собой тонкий, стальной диск, быстро вращающийся вокруг собственной оси. В процессе резания на диск действуют внешние нагрузки (силы резания) и внутренние, объемные нагрузки, обусловленные центробежными силами. В общем случае, такая схема нагружения может быть применена к любому тонкому, быстро вращающемуся диску и рассмотрение возникающих в нем напряжений будет аналогично рассмотрению напряжений в пиле трения.

К вопросу изучения напряжений, возникающих во вращающихся дисках, обращались в своих работах И.В. Демьянушкин и И.А. Биргер [9]. Из их исследований известно, что равномерно нагретые по толщине, симметричные относительно плоской срединной поверхности диски достаточно рассчитывать только на растяжение. Напряженное состояние в диске считается двумерным и осесимметричным (напряжениями в площадках, параллельных срединной поверхности, пренебрегают). Напряжения равномерно распределены по толщине. Принятые гипотезы о напряженном состоянии упрощают расчет, но вместе с тем вносят некоторые погрешности в его результаты. Эти погрешности тем меньше, чем меньше толщина диска по сравнению с его диамет-

ром, и чем плавнее она меняется в зависимости от радиуса.

Принятые допущения полностью соответствуют схеме нагружения пилы трения при ЭФР металлов, и не будут вносить существенных погрешностей в результаты расчета напряжений в ней.

На рис. 6 показана схема нагружения пилы трения, которая принимается за расчетную.

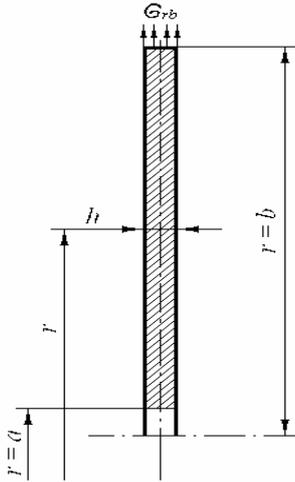


Рисунок 6 – Схема нагружения пилы трения

Как известно из исследований [9], основное дифференциальное уравнение растяжения диска в перемещениях имеет вид:

$$\frac{d^2u}{dr^2} + \frac{d}{dr} \left(\ln \frac{rhE}{1-\mu^2} \right) \frac{du}{dr} + \left[\frac{\mu}{r} \frac{d}{dr} \left(\ln \frac{rhE}{1-\mu^2} \right) + \frac{d}{dr} \left(\frac{\mu}{r} \right) - \frac{1}{r^2} \right] u = f(r)$$

$$f(r) = (1+\mu)\alpha T \frac{d}{dr} \left(\ln \frac{rhE}{1-\mu^2} \right) + \frac{d}{dr} [(1+\mu)\alpha T] -$$

где

$$-\frac{(1+\mu)\alpha T}{r} - q_r \frac{1-\mu^2}{E}$$

Применительно к дисковой пиле трения, используемой для ЭФР металла, которая имеет постоянную толщину и постоянные параметры упругости ($E = const, \mu = const, h = const$) уравнение примет вид линейного неоднородного дифференциального уравнение 2-го порядка с переменными коэффициентами:

$$\frac{d^2u}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{du}{dr} - \frac{1}{r^2} u = (1+\mu) \frac{d(\alpha T)}{dr} - q_r \frac{1-\mu^2}{E} \quad (1)$$

Решение однородного уравнения имеет вид:

$$u_o(r) = K_1 r + K_2 \frac{1}{r}, \quad (2)$$

где K_1, K_2 – произвольные константы.

Тогда общее решение неоднородного уравнения имеет вид:

$$u(r) = K_1 u_1(r) + K_2 u_2(r) + u^*(r), \quad (3)$$

где $u^*(r)$ – частное решение, которое может быть найдено методом вариации произвольных постоянных.

По этому методу частное решение ищется в виде (2). При этом $K_1 = K_1(r), K_2 = K_2(r)$ – искомые функции:

$$\left. \begin{aligned} K_1'(r) u_1(r) + K_2'(r) u_2(r) &= 0; \\ K_1'(r) u_1'(r) + K_2'(r) u_2'(r) &= f(r) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Ввиду линейной независимости решений $u_1(r) = r$ и $u_2(r) = 1/r$ она может быть разрешена относительно $K_1'(r), K_2'(r)$.

Интегрируя, найдем $K_1(r), K_2(r)$ и, подставляя в частное решение, получим решение уравнения (1), которое после нахождения функций

$$F_1(r) = F_{1\omega}(r) + F_{1T}(r), \quad F_2(r) = F_{2\omega}(r) + F_{2T}(r)$$

примет вид:

$$u(r) = \left[K_1 - \frac{1-\mu}{2E} \int_a^r q_r dr \right] r + \left[K_2 + \frac{1-\mu^2}{2E} \int_a^r q_r r^2 dr + (1+\mu) \int_a^r \alpha T r dr \right] \frac{1}{r}$$

Подставляя функцию $u(r)$ и ее производную в уравнение окружных σ_θ и радиальных σ_r напряжений, и, произведя некоторые вычисления для упрощения, получим:

$$\begin{aligned} \sigma_{rb} = \sigma_r(b) &= K_1^* - \frac{K_2^*}{b^2} - \frac{E}{b^2} \int_a^b \alpha T r dr - \\ &- \frac{1}{2} \left(\frac{1-\mu}{b^2} \int_a^b q_r r^2 dr + (1+\mu) \int_a^b q_r dr \right), \\ \sigma_{ra} = \sigma_r(a) &= K_1^* - \frac{K_2^*}{a^2} = 0, \end{aligned}$$

откуда получаем:

$$K_1^* = \frac{K_2^*}{a^2},$$

$$K_2^* = \frac{a^2 b^2}{b^2 - a^2} \left[\frac{E}{b^2} \int_a^b \alpha T r dr + \frac{1}{2} \left(\frac{1-\mu}{b^2} \int_a^b q_r r^2 dr + (1+\mu) \int_a^b q_r dr \right) + \sigma_{rb} \right]$$

С учетом действия объемной нагрузки константы интегрирования примут вид [10]:

$$\begin{aligned} K_2^* &= \sigma_{rb} \frac{a^2 b^2}{b^2 - a^2} + \frac{E a^2 b^2}{b^2 - a^2} \theta(b) + \\ &+ \frac{1-\mu}{8} a^2 \rho \omega^2 (b^2 + a^2) + a^2 b^2 \rho \omega^2 \frac{1+\mu}{4}, \\ K_1^* &= \sigma_{rb} \frac{b^2}{b^2 - a^2} + \frac{E b^2}{b^2 - a^2} \theta(b) + \\ &+ \frac{1-\mu}{8} \rho \omega^2 (b^2 + a^2) + \frac{1+\mu}{4} \rho \omega^2 b^2 \end{aligned}$$

Учитывая найденные константы интегрирования окончательно получаем:

$$\begin{aligned} \sigma_r(r) &= \sigma_{rb} \frac{b^2}{b^2 - a^2} \left(1 - \frac{a^2}{r^2} \right) + \\ &+ E \left(\theta(b) \frac{b^2}{b^2 - a^2} \left(1 - \frac{a^2}{r^2} \right) - \theta(r) \right) + \\ &+ \frac{3 + \mu}{8} \rho \omega^2 \left(b^2 + a^2 - r^2 - \frac{a^2 b^2}{r^2} \right) \\ \sigma_\theta(r) &= \sigma_{rb} \frac{b^2}{b^2 - a^2} \left(1 + \frac{a^2}{r^2} \right) + \\ &+ E \left(\theta(b) \frac{b^2}{b^2 - a^2} \left(1 + \frac{a^2}{r^2} \right) + \theta(r) - \alpha T \right) + \\ &+ \frac{3 + \mu}{8} \rho \omega^2 \left(b^2 + a^2 + \frac{a^2 b^2}{r^2} - \frac{1 + 3\mu}{3 + \mu} r^2 \right). \end{aligned}$$

На рис. 7 в относительных координатах показаны эпюры напряжений в диске постоянной толщины с центральным отверстием радиуса $r = a$. Штриховыми линиями показаны напряжения σ_{rT} и $\sigma_{\theta T}$ от распределенной по радиусу температуры, штрихпунктирными линиями – напряжения $\sigma_{r\omega}$ и $\sigma_{\theta\omega}$ от центробежных сил, а сплошными линиями – $\sigma_{r\Sigma}$ и $\sigma_{\theta\Sigma}$ при одновременном действии температуры и центробежных сил от вращения диска. Радиальные напряжения при $r = a$ и $r = b$ соответствуют граничным условиям (здесь принято $\sigma_{rb} \neq 0$, $\sigma_{ra} = 0$).

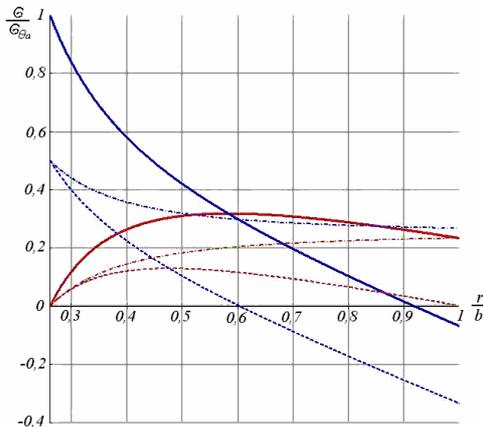


Рисунок 7 – Эпюры напряжений в пиле трения

ВИВОДИ. Полученные зависимости позволяют, задаваясь геометрическими параметрами дисковой пилы трения и граничными условиями, построить эпюры напряжений, возникающих в теле пилы и на

THE METHOD DEFINING THE STRESSES RESULTING IN A FRICTION SAW AT ELECTRICAL-FRICTIONAL METAL CUTTING

N. Pokintelitsa, E. Levchenko

Sevastopol National Technical University

vul, Universytetska 33, Sevastopol, 99053, Ukraine. E-mail: tm@sevntu.com.ua

основании полученных данных сделать вывод о ее работоспособности.

Выбор режимов работы дисковых пил трения следует производить на основе результатов расчета суммарного напряженного состояния на внешнем контуре диска, т.е. с учетом концентрации инерционных напряжений и напряжений, создаваемых силами резания и распределенной по радиусу температурой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зарубицький Є.У. Розробка й дослідження процесу ефективності термофрикційної обробки матеріалів. –Київ, 1993. –76 с.
2. Борисов Б.Я. Высокоскоростное резание металлов пилами / Б.Я. Борисов. – К.: Высшая школа, 1970. – 91 с.
3. Балакин В.А. Трение и износ при высоких скоростях скольжения. – М.: Машиностроение, 1980. – 136 с.
4. Вольф В.Ф. Пилы для резания горячего металла.– Свердловск: Изд-во УПИ, 1970. –118 с.
5. Серегин С.А., Люленков В.И. Температура контактной поверхности при трении металлов // Тепловая динамика трения. – М.: Наука, 1970. – С. 122–126.
6. Сизый Ю.А. Теория и практика фрикционной резки. – Харьков: ХПИ, 1995. – 333 с. – Деп. в ГНТБ Украины 15.04.95, № 2501–УК95.
7. Гаркунов Д.Н., Корник П.И. Виды трения и износа. Эксплуатационные повреждения деталей машин. – М.: Издательство МСХА, 2003. – 344 с.
8. Гольдшмидт М.Г. Деформации и напряжения при резании металлов. –Томск: СТТ, 2001. – 180 с.
9. Демьянушкин И.В., Биргер И.А. Расчет на прочность вращающихся дисков. – М.: Машиностроение, 1978. – 247 с.
10. Горячева И.Г. Механика фрикционного взаимодействия. – М.: Наука, 2001. – 478 с.

The authors have described a new method for electrical-frictional cutting of workpieces of various sections using circular friction saws. The method implies complex processing technique based on the combination of mechanical and electrical phenomena aimed at the metal removal from the surface of a workpiece while it is being processed. It was considered the interaction of stresses caused by the cutting forces with the stress fields formed by the inertial forces and uneven heating, taking into account the stress concentration at the outer contour of the friction saw blade. The obtained dependences allow, wondering geometry of the circular friction saw and boundary conditions, establishing stress diagrams occurring in the friction saw and, after summarizing the stresses on the outer contour of the disk, e.g. with factoring in the concentration of inertial stresses and strains created by the cutting forces and temperature distributed radially, making conclusions as for the tool performance and efficiency.

Key words: electrical frictional cutting, stresses, friction circular saw, load distribution, deformation.

REFERENCES

1. Zarubitskii, E.U. (1993), *Rozrobka i doslidzheniya processu efektyvnosti termofriksiinoi obrobky materialiv* [Development and research of thermal performance friction materials processing], VIPOL, Kyiv, Ukraine.
2. Borisov, B.A. (1970), *Vysokoskorostnoe rezanie metallov pilami* [High-speed metal cutting saws], Visshaia shkola, Kyiv, Ukraine.
3. Balakin, V.A. (1980), *Trenie i iznos pri vysokikh skorostyakh skolzheniya* [Friction and wear at high sliding speeds] Mashinostroenie, Moscow, Russia. – 136 p. [In Russian]
4. Volf, V.F. (1970), *Pily dlia rezaniya goriachikh metallov* [Hot metal cutting saws], UPI Sverdlovsk, Russia.
5. Seregin, S.A., Lulenkov, V.I. (1970), “Temperature friction contact surfaces of metals”, *Thermal dynamics of friction*, pp. 122–126, Nauka, Moscow, Russia.
6. Sizi, U.A. (1995), *Teoriya i praktika friksionnoi razrezki* [Theory and practice of cutting friction], HPI, Kharkov, Ukraine.
7. Garkunov, D.N., Kornik, P.I. (2003), *Vidy treniya i iznosa. Ekspluatatsionnye povrezhdeniyz detalei mashin* [Types of friction and wear. Operational damage of machine parts] MSHA, Moscow, Russia.
8. Goldshmidt, M.G. (2001), *Deformatsii i napriazheniya pri rezanii metallov* [Strains and stresses in metal cutting], STT, Tomsk, Russia.
9. Demianushkin, I.V., Birger, I.A. (1978), *Raschet na prochnost vraschayuschikhsa diskov* [Calculation of the strength of rotating disks] Mashinostroenie, Moscow, Russia.
10. Goriacheva, I.G. (2001), *Mechanika friksionnogo vzaimodeistviya* [Mechanics of frictional interaction], Nauka, Moscow, Russia.

Стаття надійшла 16.09.2013.