

ОДЕССКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

САВЧЕНКО ЭДУАРД ВИКТОРОВИЧ

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ФРИКЦИОННОЙ РАЗРЕЗКИ

Специальность 05.02.08 - "Технология машиностроения"

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Одесса 1992

Работа выполнена в
институте

ЛНБ України ім. В. Стефаніка



00819698 (+)

Научный руководитель :

кандидат технических наук
доцент Сизый Ю. А.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук,
профессор Молодцов Н. С.,
кандидат технических наук,
доцент Вяликов А. С.

Защита диссертации состоится "30" ноября 1992 г.
в "14" на заседании специализированного совета К. 068.19.02. в
Одесском политехническом институте по адресу:

270044, Одесса пр. Шевченко 1

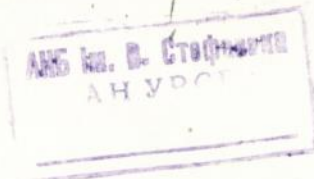
С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической
библиотеке института.

Автореферат разослан "28" октября 1992 г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
канд. техн. наук, профессор

Беляев М. С.

Беляев



ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. В настоящее время в машиностроении актуальной задачей является создание машин с минимальной металлоемкостью. Это, в частности, решается все более широким применением имеющихся и созданием новых тонкостенных профилей проката, которые обеспечивают высокую прочность конструкции при малой металлоемкости. Из таких профилей чаще всего изготавливаются несущие конструкции таких машин, как трактор /каркас кабины/, автомобиль/рама и корпус/, комбайн /каркас кабины и рама/ и др.

Применяемые для этих целей тонкостенные профили проката требуют резки, объем которой на машиностроительных предприятиях очень велик, что предъявляет высокие требования к производительности и экономичности процесса.

В настоящее время для резки используются в основном следующие методы механической резки: резка на ножовочных, ленточно-отрезных, токарно-отрезных, фрезерно-отрезных, абразивно-отрезных станках и рубка на прессах и штампах.

В то же время известен метод фрикционной резки, который, уступая по производительности только рубке на прессах, практически не применяется. Это связано с низким качеством фрикционной резки, которая сопровождается образованием высокого заусенца на краях прорези. Анализ литературных источников показывает, что наука и практика уделили очень мало внимания этому процессу, несмотря на ряд его положительных качеств, таких как высокая производительность и простота инструмента, который представляет собой гладкий стальной диск. Поэтому актуальной задачей является оптимизация параметров процесса, обеспечивающих высокое качество резки с одновременным сохранением вышеупомянутых его положительных качеств.

Цель работы. Повышение качества фрикционной разрезки путем оптимизации режимов резания, конструкции инструмента и оборудования на базе теоретических и экспериментальных исследований при сохранении высокого уровня производительности и экономичности процесса.

Основные задачи. В работе решались следующие задачи:

1. Поиск условий разрезки, повышающих качество процесса, т. е. уменьшающих высоту заусенца.

2. Исследование условий разрезки при больших скоростях подачи или больших усилиях подачи.

3. Исследование и описание теплового баланса процесса фрикционной разрезки и механизма управления им.

4. Исследование и описание температурного поля в детали и механизма управления термическими циклами в поверхностном слое разрезаемой детали.

5. Экспериментальные исследования энергосиловых параметров процесса фрикционной разрезки в зависимости от режимов резания и параметров диска.

6. Исследование и расчет устойчивости диска.

7. Оптимизация процесса фрикционной разрезки.

Методы исследования. Теоретические исследования проводили на базе научных основ теории резания металлов, законов механики и теплофизики, достоверность результатов аналитических моделей проверяли экспериментально в лабораторных и производственных условиях. Экспериментальные исследования проводили на основе современных методик с использованием приборов и оборудования отечественного производства, а также специальных оригинальных устройств. Вычисления и математическое моделирование выполнялись на ЭВМ ЕС 1061.

Научная новизна. Разработаны модели управления качеством фрикционной резки. Разработана методика оптимизации параметров процесса, инструмента и оборудования. Разработан новый способ фрикционной резки, сопровождающийся неизвестным ранее характером стружкообразования. Разработана методика теоретико-экспериментального исследования и установлено количественное распределение тепловых потоков в деталь, стружку и диск. Разработана методика теоретического исследования температурного поля в детали, которая включает в себя решение тепловой задачи на упрощенной модели с последующим использованием результатов ее для моделирования температурного поля методом конечных разностей на ЭВМ. Разработана методика теоретического расчета статической устойчивости фрикционного диска и получена расчетная зависимость критической нагрузки.

Практическая ценность.

1. Разработан способ резки тонкостенного стального проката, обеспечивающий резкое уменьшение высоты заусенца и одновременно повышающий производительность процесса в 2...3 раза.

2. Разработан алгоритм расчета и выбора оптимальных режимов резания, размеров инструмента и геометрических параметров схемы резки профилей проката. Данный алгоритм может быть реализован на ЭВМ или с помощью разработанной номограммы.

Промышленная реализация результатов работы позволяет широко использовать метод фрикционной резки, обеспечивающий удовлетворительное качество, повышающий производительность резки по сравнению с резкой дисковыми пилами и абразивными кругами в 5...10 раз и значительно снижающий затраты на изготовление и эксплуатацию инструмента.

Реализация работы. В филиале ПО ХТЗ внедрен в производство модернизированный для фрикционной резки абразивно-отрезной

станок 8В242 для резки прямоугольных труб жесткого каркаса кабины трактора Т-150К.

На основе разработанных технических заданий спроектировано и изготавливается СКТМО НПО "Черметмеханизация" г. Электросталь оборудование для резки круглых труб на заготовки номенклатуры деталей ХТЗ, а также для резки полной номенклатуры прямоугольных труб жесткого каркаса трактора Т08-150М под различными углами.

Расчетный экономический эффект для спроектированного оборудования составляет соответственно 43 и 2870 тыс. руб.

Апробация работы. Результаты работы докладывались на VII конференции "Технологическая теплофизика", г. Тольятти, 1988 г.

Результаты работы экспонировались на выставке-ярмарке Минстанкопрома на базе ВДНХ в апреле 1989 г., а также на выставке-ярмарке в ХПИ в октябре 1989 г. "ВУЗы Украины - машиностроение". Процесс фрикционной резки труб экспонировался на большой апрельской ярмарке в г. Милане /Италия/ в 1990 г.

Публикации. По материалам диссертационной работы опубликовано 6 печатных работ, в том числе имеется авторское свидетельство на изобретение.

Объем работы. Диссертация состоит из 8 разделов, списка литературы из 23 наименований и 4 приложений и содержит 118 страниц машинописного текста, 21 таблицу, 52 рисунка и 8 фотографий.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первом разделе приведен обзор литературных источников и поставлена задача исследования.

Известен ряд применяемых процессов механической резки проката, таких как резка на ножовочных, ленточно-отрезных, токарно-отрезных, фрезерно-отрезных, абразивно-отрезных станках, ножами на прессах, дисковыми роликами и фрикционная резка. Сравнение этих методов по показателям производительности, качества, сложности оборудования и инструмента показывает, что в частности процесс фрикционной резки, обладающий достаточно высокой производительностью и малой стоимостью инструмента, имеет низкое качество реза. Это не позволяет широко применять этот экономичный процесс в производстве. В литературе буквально несколько публикаций посвящено непосредственно процессу фрикционной резки. Это прежде всего монография Горбатова Н.И., изданная в 1950 году и более поздние статьи Серегина С.А. и Лыленкова В.И. Вопросы высокоскоростного трения изучались Балакиным В.А., Чичинадзе А.В., Коровчинским М.В. и др. Выполненный обзор современного состояния знаний о процессе фрикционной резки и практика его применения, позволяют отметить его высокую производительность на уровне скоростной резки дисковыми пилами /фрезами/ и абразивными кругами, низкую стоимость инструмента, высокую его износостойкость. Однако недостатком процесса является наличие на кромках прорези наплывов /заусенцев/, поэтому основной целью работы явился поиск условий, обеспечивающих уменьшение высоты заусенца при сохранении и возможном увеличении положительных свойств процесса. Отсутствие глубоких исследований и их ограниченное количество поставили задачи описания теплового баланса процесса, температурных полей в детали и инструменте, термических

циклов в поверхностном слое детали, энергосиловых параметров процесса, устойчивости и стойкости диска и оптимизации процесса.

Во втором разделе приведены общие условия и методика исследования. Исходя из основной цели работы - улучшения качества (уменьшение высоты заусенца) резки, необходимо провести поиск условий, влияющих на высоту заусенца.

Для поиска условий процесса, позволяющих уменьшить высоту заусенца, были проведены эксперименты на специально сконструированных установках. Эксперименты выполнялись с применением математической теории планирования.

Исследовались следующие показатели процесса: силы резания, мощность резания, высота заусенца в зависимости от факторов - усилия подачи, скорости подачи, скорости резания, толщины разрезаемого проката и толщины диска.

С целью изучения глубины структурных изменений, происходящих при резке заготовок из различных марок сталей, вследствие высокой температуры в поверхностном слое при резке фрикционным методом, разрезались образцы из сталей марок 40X, 45, ШХ15. При исследовании образцов применялся химический и металлографический анализ.

Для определения стойкостных параметров диска в процессе многократной резки образцов измерялись изменения диаметра диска и его толщины.

В третьем разделе приведено теоретическое исследование процесса фрикционной резки.

Показатели процесса в значительной степени определяются тепловыми явлениями, сопровождающими его. Раскрытие физической сущности процесса невозможно без решения задачи теплового баланса и описания температурных полей в детали и инструменте. Задача теплового баланса решалась разработанным теоретико-эксперименталь-

ным методом, суть которого состоит в следующем: тепловой поток и количество тепла, идущее в деталь Q_1 , определялось теоретически решением одномерной задачи теплопроводности; количество тепла, уносимое стружкой Q_3 , определялось экспериментально по измеренному объему стружки и ее температуре, а количество тепла, идущее в диск Q_2 , определялось как разность между всем количеством выделенного тепла и теплом, унесенным стружкой и ушедшим в деталь.

$$Q = \frac{P_z \cdot V_p}{V_n} \ell \cdot 0,9797 = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (1)$$

где P_z - тангенциальная составляющая силы резания; V_p - скорость резания; V_n - скорость подачи; ℓ - путь резания; 0,9797 - тепловой эквивалент работы.

Для аналитического анализа воспользуемся тепловой схемой процесса, показанной на рис. 1

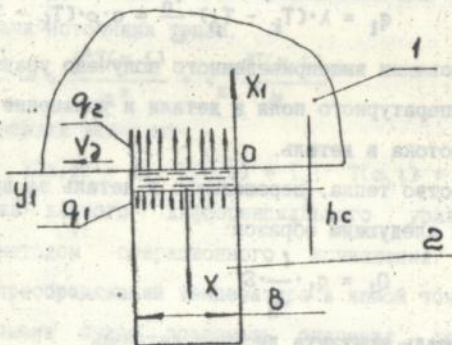


Рис. 1. Тепловая схема процесса фрикционной резки.

Математическая задача описывается одномерным уравнением теплопроводности в системе координат, движущейся вместе с источником тепла в направлении подачи.

$$-\rho \cdot c \cdot V_n \frac{\partial T}{\partial x} = \omega \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (2)$$

При граничных условиях:

$$T(x=0) = T_k; \quad T(x=\infty) = T_0$$

где ρ - плотность материала; c - удельная теплоемкость материала детали; ω - коэффициент теплопроводности детали; T_0 - температура окружающей среды.

Решение уравнения (2) имеет следующий вид:

$$T(x) = T_0 + (T_k - T_0) \cdot e^{-\frac{V_n}{\omega} \cdot x} \quad (3)$$

Согласно закона Фурье и (3) получено выражение для плотности теплового потока:

$$q_1 = \lambda \cdot (T_k - T_0) \cdot \frac{V_n}{\omega} \cdot e^{-\frac{V_n}{\omega} \cdot x} \quad (4)$$

Поскольку нас интересует плотность теплового потока через плоскость $x=0$, то:

$$q_1 = \lambda \cdot (T_k - T_0) \cdot \frac{V_n}{\omega} = c \cdot \rho \cdot (T_k - T_0) \cdot V_n \quad (5)$$

На основании вышеприведенного получено уравнение (3) для расчета температурного поля в детали и уравнение (5) для расчета теплового потока в деталь.

Количество тепла, перешедшего в деталь за время пути резания, определится следующим образом:

$$Q_1 = q_1 \cdot \frac{l}{V_n} \cdot S \quad (6)$$

где S - площадь контакта диска с деталью.

Согласно принятой тепловой схемы, удаляемая стружка в виде слоя толщиной h_c нагрета до температуры T_k , которая выбирается из данных, полученных Серегиним и Ляленковым. Тепло, необходимое на ее нагрев, можно вычислить по следующей формуле:

$$Q_3 = G \cdot C \cdot (T_k - T_0) \quad (7)$$

где G - масса стружки, выброшенной из прорези; C - удельная

теплоемкость.

Остальное тепло, выделяемое в зоне контакта, переходит в диск:

$$Q_2 = Q - Q_1 - Q_3 \quad (8)$$

Оценку доли тепла, переходящего в деталь α_1 , в диск α_2 и стружку α_3 , находим по следующим формулам:

$$\alpha_1 = \frac{Q_1}{Q}; \quad \alpha_2 = \frac{Q_2}{Q}; \quad \alpha_3 = \frac{Q_3}{Q} \quad (9)$$

Расчеты распределения тепла между деталью, диском и стружкой для различных условий показали, что это распределение тепла практически не зависит от условий разрезки в выбранном диапазоне и составляет следующие величины:

в деталь - 5,5%, в диск - 89,5%, в стружку - 5%.

Температурное поле в детали исследовалось теоретически на упрощенной модели и численным моделированием на ЭВМ на плоской модели, близкой к реальным условиям. Упрощенная модель получена решением нестационарной задачи теплопроводности для движущегося в направлении подачи источника тепла.

$$\frac{\partial T(x,t)}{\partial t} = a \cdot \frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2} + V_x \cdot \frac{\partial T(x,t)}{\partial x} \quad (10)$$

при следующих краевых условиях:

$$T(x,0) = 0; \quad T(0,t) = T_k; \quad T(\infty,t) = 0.$$

Для решения данного дифференциального уравнения можно пользоваться методом операционного исчисления. После ряда математических преобразований температура в любой точке на оси X в любой момент времени будет принимать значения, определяемые по формуле:

$$T(x,t) = \frac{T_k}{2} \cdot \left[\exp\left(-\frac{V_x}{a}\right) \cdot \operatorname{erfc}\left(\frac{x - V_x \cdot t}{2\sqrt{at}}\right) + \operatorname{erfc}\left(\frac{x + V_x \cdot t}{2\sqrt{at}}\right) \right] \quad (11)$$

При установившемся теплообмене, т.е. при $t \rightarrow \infty$

$$T(x,\infty) = T_k \cdot \exp\left(-\frac{V_x}{a}\right); \quad (12)$$

В то же время важно знать, как быстро наступает практически

установившийся теплообмен, а также границы температурного поля. Получена формула для расчета времени стабилизации температурного поля:

$$t_y = \left(\frac{-1,2\sqrt{a}}{V} \pm \sqrt{\frac{1,44a}{V^2} + \frac{x_{\Gamma}}{V_x}} \right)^2 \quad (13)$$

При этом из двух возможных значений t_y выбирается то, которое соответствует условию $x < |t_y V|$.

Границу температурного поля x_{Γ} находим, приняв минимальное повышение температуры на границе на один градус от первоначальной температуры, т. е.

$$1 = T_k \cdot e^{-\frac{x_{\Gamma} V}{a}};$$

откуда

$$x_{\Gamma} = \frac{a}{V} \ln T_k \quad (14)$$

Установлено, что время стабилизации температурного поля при реальных режимах резки составляет сотые доли секунды и величина прогретого слоя металла впереди диска составляет доли мм. Таким образом, можно считать, что весь процесс резки идет в условиях установившегося температурного поля в детали.

Одномерная тепловая задача не позволяет описать температурное поле на боковых кромках прорези, что очень важно для прогнозирования качества поверхностного слоя после резки. Поэтому решена двумерная нестационарная задача теплопроводности для движущегося в направлении подачи источника тепла:

$$\frac{\partial T(x, y, t)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[a(T) \frac{\partial T(x, y, t)}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[a(T) \frac{\partial T(x, y, t)}{\partial y} \right] + V_x \cdot \frac{\partial T(x, y, t)}{\partial x} \quad (15)$$

Задача решалась моделированием на ЭВМ методом конечных разностей. При этом учитывалась зависимость коэффициента

температуропроводности от температуры. Шаг сетки по осям X, Y и временной шаг t определялись из условий устойчивости решения, а размеры исследуемой области определялись на основе результатов расчета размеров поля на теоретической модели.

Уравнение для расчета имеет вид:

$$T_{i,j}^{k+1} = T_{i,j}^k + a \cdot (T_{i,j}^k) \cdot \frac{\Delta t}{h^2} \cdot (T_{i+1,j}^k + T_{i-1,j}^k + T_{i,j+1}^k + T_{i,j-1}^k - 4 \cdot T_{i,j}^k) + \frac{V_k \cdot \Delta t}{2 \cdot h} \cdot (T_{i-1,j}^k - T_{i+1,j}^k) \quad (16)$$

Разработан алгоритм моделирования температурного поля в детали. Моделирование выполнено для различных скоростей подачи и различных марок сталей. На рис. 2. показаны температурные поля для скоростей подачи 5 м/мин и 1 м/мин, из которых видно, что увеличение скорости подачи ведет к резкому сжатию температурного поля впереди и сбоку фрикционного диска. На основании этих полей построены термические циклы для поверхностного и подповерхностных слоев детали на разной глубине. Зная максимальную температуру в детали на различном удалении от поверхностного слоя, можно теоретически предсказать глубину слоя, претерпевавшего закалку при разрезке. Наложив кривые охлаждения на изотермические диаграммы распада аустенита, можно прогнозировать характер структурных превращений в поверхностном слое (см. рис. 3).

При этом установлено, что закалка ведет к образованию мартенситной структуры.

Полученные результаты сравнивались с экспериментальными исследованиями структурных превращений на поверхности детали и на глубине для различных сталей.

Измерялась микротвердость на поперечных шлифах с шагом через 50 мкм. Экспериментальные результаты согласуются достаточно хорошо

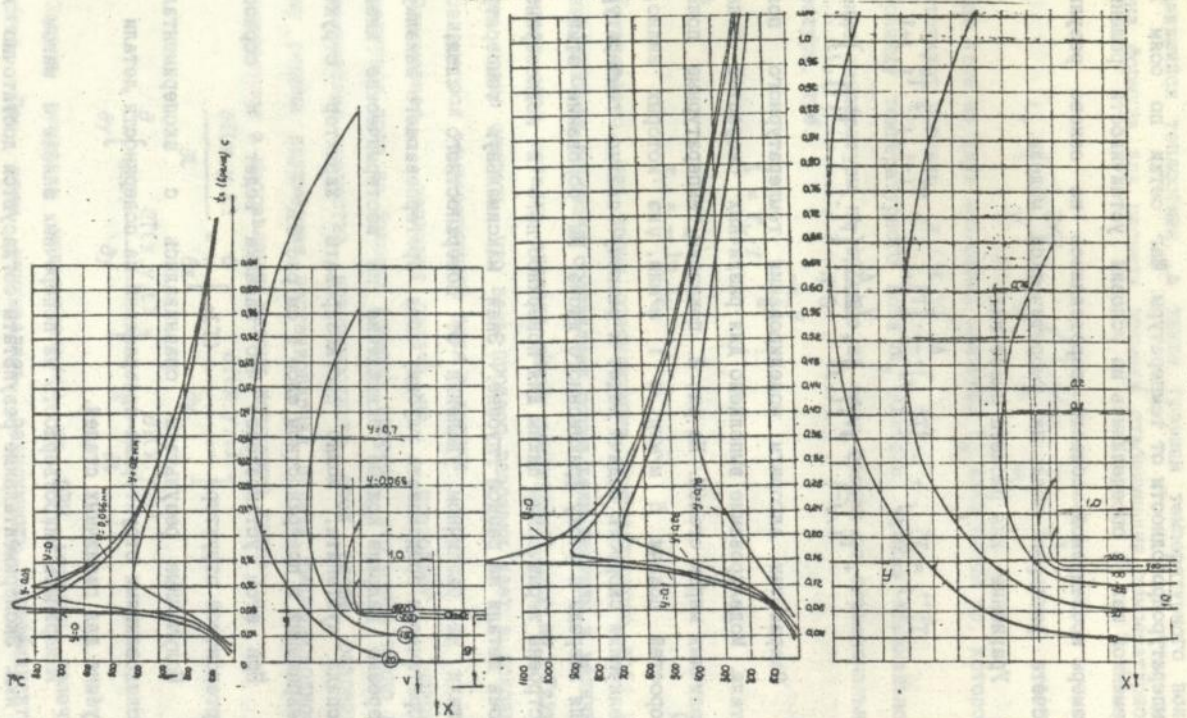


Рис.2. Температурные поля и термические циклы нагрева и охлаждения при скоростях подачи 5 м/мин и 1 м/мин

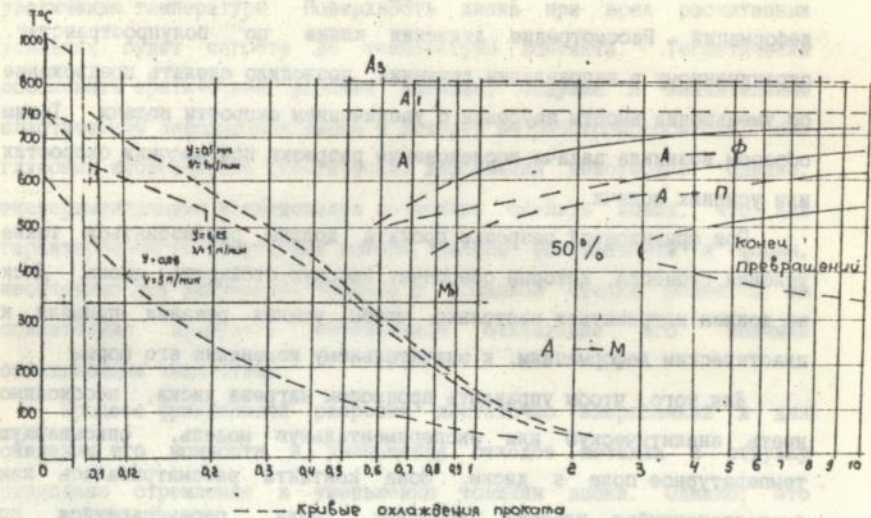


Рис. 3. Изотермическая диаграмма распада аустенита в стали 45.

с теоретическими и при рекомендуемых скоростях подачи закаленный слой составляет величину до 0,1 мм.

Кроме этого, исследования температурных полей в детали позволили высказать гипотезу об уменьшении размеров заусенцев на кромках прорези с увеличением скорости подачи, т.к. при этом температурное поле сжимается по бокам источника тепла и размеры области пластической деформации уменьшаются. Боковую шероховатую поверхность диска можно представить как случайную реализацию микровыступов в виде тупого клина. Скольжение тупого клина, как модель трения, изучалось рядом исследователей, которыми установлено, что размеры области пластических деформаций определяются глубиной внедрения клина. Из этого, очевидно, следует, что сжатие температурного поля, уменьшая глубину внедрения микронеровностей ведет к уменьшению области пластических

деформаций. Рассмотрение движения клина по полупространству, ограниченному в направлении движения, позволило сделать предложение об уменьшении высоты заусенца с увеличением скорости подачи. Таким образом, возникла задача исследования разрезки при высоких скоростях или усилиях подачи.

При фрикционной разрезке проката должны реализоваться такие условия процесса, которые обеспечат высокую стойкость диска. Диск не должен нагреваться настолько, чтобы усилия резания привели к пластическим деформациям, к значительному изменению его формы.

Для того, чтобы управлять процессом нагрева диска, необходимо иметь аналитическую или экспериментальную модель, описывающую температурное поле в диске. Зона контакта рассматривалась как быстродвижущийся плоский источник тепла, перемещающийся по периферии диска со скоростью резания. Решение такой задачи известно. Используя известное решение Резникова А. П. температурного поля в полупространстве для плоского движущегося источника тепла, получены значения максимальной T_{\max} и T_{\min} температуры поверхности диска за время первого его оборота.

$$T_{\max}(B, 0) = \frac{2 \cdot q_1 \cdot \sqrt{a \cdot t_k}}{\lambda \cdot \sqrt{\pi}} \quad (17)$$

$$T_{\min}(\pi, D, 0) = \frac{2 \cdot q_1 \cdot \sqrt{a}}{\lambda \cdot \sqrt{\pi}} \left[\sqrt{t_{\text{об}}} - \sqrt{t_{\text{охл}}} \right], \quad (18)$$

где t_k - время контакта; $t_{\text{об}}$ - время оборота диска; $t_{\text{охл}}$ - время охлаждения диска за 1 оборот.

Полученные решения позволили проанализировать влияние диаметра диска, скорости резания и толщины проката на максимальную и минимальную температуру за оборот диска. Установлено, что рост диаметра ведет к уменьшению нагрева диска, рост скорости влияет неоднозначно, а рост толщины проката ведет к значительному

увеличению температуры. Поверхность диска при всех рассчитанных условиях будет нагрета до температуры контакта. Теоретически обосновать критические условия резания, ведущие к значительным пластическим деформациям диска с потерей им работоспособности, без глубоких исследований пластических деформаций невозможно. Однако, экспериментальные исследования позволяют сделать вывод, что для гарантированного отсутствия потери диском устойчивости и формы, необходимо при разрезании проката с толщиной стенки более 5 мм обязательно применять интенсивное охлаждение его водными охлаждающими жидкостями.

Процесс фрикционной резки достаточно энергоемкий и для снижения его мощности и уменьшения отходов металла в стружку оправдано стремление к уменьшению толщины диска. Однако, это уменьшение ограничивается его устойчивостью. В работе решена задача устойчивости диска с использованием известного расчета критической нагрузки по Эйлеру из условий устойчивости стержней.

$$P_{кр} = 0,43 \cdot E \cdot h^3 \cdot \sqrt{\frac{D - \ell}{\ell^3}} \quad (19)$$

где $\ell = R - r$! Разность между радиусом круга и радиусом планшайбы .

Кроме того, выполнены исследования характера и интенсивности износа диска. Установлено, что в процессе резания периферия диска деформируется, приобретая грибовидную форму. К периферии диска прилипает и периодически отрывается металл детали. Интенсивность уменьшения диаметра диска очень низкая. Наблюдения за работой диска показали, что критерием износа диска может являться не фактический износ, величина которого очень мала, а появление усталостных трещин на периферии диска, после чего диск следует проточить по наружному диаметру до удаления утолщенной части и трещин.

В четвертом разделе приведены результаты экспериментов на

АН УРСР

лабораторной установке. По результатам экспериментов на лабораторной установке получены уравнения регрессии для изучаемых показателей процесса

$$S = 167 + 8,75P + 13,5V - 486B \quad (20)$$

$$h = -2,774 - 0,011P + 0,026V + 1,377B \quad (21)$$

$$N = 410,6 + 2,48P - 4,23V + 263,5B \quad (22)$$

где P - усилие подачи H ; V - скорость резания м/с, B - толщина разрезаемого проката, мм.

Приведенный аналитический и графический анализ результатов экспериментов позволил обнаружить условия, при которых высота заусенца резко уменьшается и при этом качественно меняется характер стружкообразования. Такие условия в проведенных ранее экспериментах не воспроизводились и, поэтому, необычный характер стружкообразования наблюдался впервые. При применяемых ранее режимах резания по бокам и впереди диска образуется высокий заусенец. Новый характер стружкообразования при некотором сочетании режимов резания ведет к образованию толстой стружки впереди диска, вытесняемой как в направлении вращения так и в противоположном направлении (см.рис.4). При этом вместе с этой стружкой срывается заусенец с боковых кромок прорези.

Основным условием, обеспечивающим такой характер стружкообразования, являются большие усилия подачи, а также уменьшение скорости резания. Полученные результаты явились основой изобретения на способ разрезки холодных стальных заготовок.

Анализ результатов показал, что с увеличением толщины проката, что необходимо для более широкого промышленного внедрения, следует двигаться в направлении увеличения усилия подачи.

В пятом разделе приведены результаты экспериментов на промышленной установке. Реализован план второго порядка, расчет коэффициентов регрессии выполнен на ЭВМ. Получены уравнения для

высоты заусенца h

$$h = 8,97 - 0,121S + 0,246B - 9,12H + 2,28b^2 \quad (23)$$

тангенциальной составляющей силы резания P_z

$$P_z = -89 - 56,3S + 2,75B + 97,4b + 3,05S \cdot b + 8,7S^2 \quad (24)$$

касательной составляющей силы резания P_y

$$P_y = 662 + 86,7S + 31,9B + 268,2b \quad (25)$$

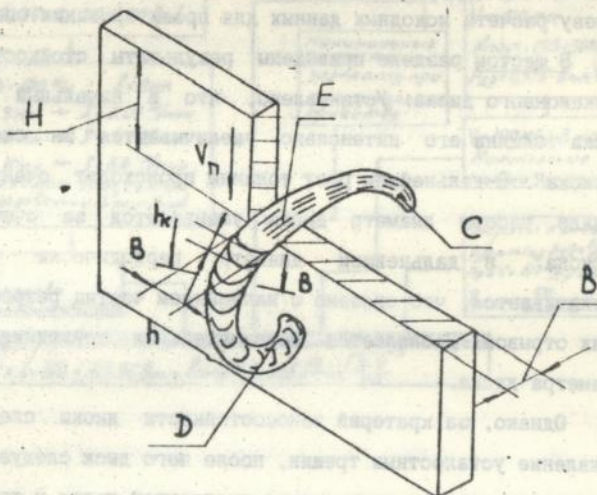


Рис. 4. Схема стружкообразования при фрикционной резрезке.

Подставляя в формулы (23,24,25) значения скорости подачи S , толщины проката B и толщины диска b , получаем значения h , P_z и P_y . Анализируя зависимости величины заусенца h от S , B и b можно отметить, что величина заусенца уменьшается с ростом скорости подачи S и увеличивается с ростом толщины разрезаемого проката B и

толщины диска b . Отсутствие заусенца наблюдается при разрезании проката наименьшей толщины более тонким диском с наибольшей скоростью подачи.

Анализ зависимостей тангенциальной и касательной составляющих силы резания от величины подачи S , толщины проката B и толщины диска b показал, что они растут с увеличением S, B и b .

Результаты, полученные на промышленной установке, легли в основу расчета исходных данных для проектирования спец. станков.

В шестом разделе приведены результаты стойкостных испытаний фрикционного диска. Установлено, что в начальный период работы диска толщина его интенсивно увеличивается за счет образования "грибка". В дальнейшем рост толщины происходит очень медленно. В начале работы диаметр диска уменьшается за счет образования "грибка", в дальнейшем диаметр периодически уменьшается и увеличивается, что связано с налипанием частиц разрезаемого металла и их отрывом. Наблюдается незначительная тенденция к уменьшению диаметра диска.

Однако, за критерий износостойкости диска следует принимать появление усталостных трещин, после чего диск следует проточить по наружному диаметру до удаления утолщенной части и трещин.

В седьмом разделе разработана модель управления процессом (см. рис. 5), позволяющая достигнуть поставленную в работе цель и алгоритм реализации этой модели.

Максимальное качество резки отождествляется с минимальным по высоте заусенцем, который достигается при усилии подачи согласно экспериментально полученного уравнения

$$P = (-3,26 + 0,026V + 0,917B \cdot b) \cdot \frac{1}{0,011}$$

Этому усилию соответствует скорость подачи

$$S = 167 + 8,75P + 13,5V - 324B \cdot b,$$

которая для различных размеров проката и толщины диска обеспечивает

Цель:

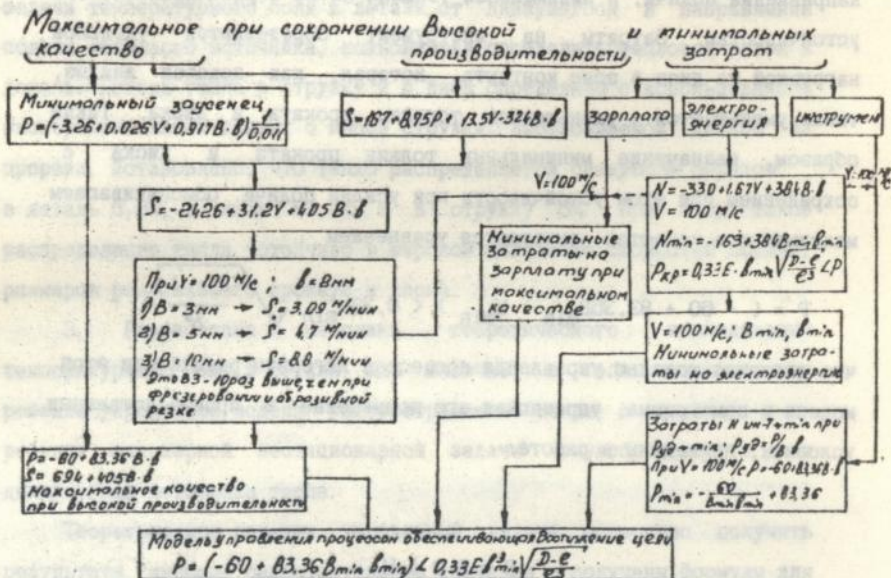


Рис. 5 Модель управления процессом

значения подачи в несколько раз выше, чем при резке дисковыми пилами и абразивными кругами. Таким образом, при высоком качестве не только сохраняется, но и увеличивается производительность процесса. Затраты на процесс, в основном, слагаются из затрат на зарплату, электроэнергию и инструмент. При этом в связи с высокой производительностью затраты на зарплату будут уменьшаться. Затраты на электроэнергию зависят от потребляемой мощности, которая минимальна при минимальных значениях толщины проката и диска.

Минимальная толщина проката достигается правильным выбором направления подачи, а минимальная толщина диска ограничивается его устойчивостью. Затраты на инструмент определяются удельной нагрузкой на диск в зоне контакта, которая, как показал анализ, также уменьшается с уменьшением толщины проката и диска. Таким образом, назначение минимальных толщин проката и диска с сохранением при этом устойчивости при усилии подачи, обеспечивающем максимальное качество, выражается уравнением

$$P = (-60 + 83,36b_{\min} \cdot b_{\min}) < 0,33b_{\min}^3 \sqrt{\frac{D - t}{t^3}}$$

что является моделью управления процессом. Алгоритм реализации этой модели и номограмма, упрощающая его применение в производственных условиях, приведены в работе.

ВЫВОДЫ

1. На основании выполненных экспериментов установлены зависимости высоты заусенца и мощности резания от усилия подачи, скорости подачи, толщины разрезаемого проката и диска. Анализ этих зависимостей показал, что с увеличением усилия подачи высота заусенца уменьшается. При достижении усилий подачи, описываемых выражением

$$P = 5 \cdot 10^{-3} \cdot V \cdot \sigma_T \cdot F$$

характер стружкообразования резко меняется. Впереди диска усилием подачи вытесняется толстая, прочная стружка, вместе с которой отрывается боковой заусенец. Установлено, что с увеличением скорости резания увеличивается высота заусенцев и уменьшается мощность резания. Увеличение толщины проката и диска ведет к росту мощности резания.

2. Разработана методика теоретико-экспериментального расчета теплового баланса процесса. При этом решена одномерная стационарная задача температурного поля в детали от движущегося в направлении подачи теплового источника, позволившая определить тепловой поток в деталь. Потоки тепла в стружку и в диск определены с использованием экспериментальных данных о массе стружки, выбрасываемой диском из прорези. Установлено, что тепло распределяется следующим образом: в деталь 5,5%, в диск 89,5% и в стружку 5%. При этом такое распределение тепла устойчиво в широком диапазоне скоростей подачи, размеров разрезаемого проката и диска.

3. Разработана методика теоретического исследования температурного поля в детали. Она включает в себя теоретическое решение упрощенной модели распространения тепла в детали, т.е. решение одномерной нестационарной задачи теплопроводности от движущегося источника тепла.

Теоретическое решение упрощенной задачи позволило получить результаты, имеющие самостоятельное значение - получены формулы для расчета времени стабилизации температурного поля, размеров его и установлено влияние скорости подачи. Рост скорости подачи сжимает температурное поле впереди диска.

Моделированием методом конечных разностей установлено, что температурное поле детали с ростом скорости подачи сжимается и в направлении перпендикулярном скорости подачи. В результате рекомендуется уменьшить тепловое воздействие на прокат увеличением скорости подачи. При моделировании также установлено отсутствие влияния на температурное поле толщины диска.

На основании полученных температурных полей построены термические циклы нагрева и охлаждения поверхностных слоев разрезанного проката. Это позволило теоретически исследовать влияние скорости подачи на структурные превращения в поверхностном

слое.

4. Выполнены эксперименты по определению микротвердости на поверхности и по глубине проката, которые подтвердили результаты теоретического исследования. Установлено, что глубина закаленного слоя в прокате из стали марок 45 ; 40 ; ШХ15 в диапазоне подачи 3...5 м/мин составляет 0,03...0,22 мм.

5. Выполнен теоретический анализ влияния параметров процесса на нагрев и охлаждение фрикционного диска. Определено, что основное влияние на нагрев диска оказывает время контакта точки поверхности его с прокатом. Поэтому, для предотвращения нагрева его до высоких температур, рекомендуется принудительное охлаждение диска жидкостью на водной основе. Кроме этого, рекомендуется применять процесс для тонкостенного проката. Увеличение диаметра диска способствует уменьшению его нагрева.

6. Выполнены теоретические исследования статической устойчивости фрикционного диска. Получена расчетная формула критической нагрузки, превышение которой ведет к потере устойчивости. Установлено, что устойчивость диска прямо пропорциональна кубу его толщины и уменьшается с ростом величины выступления диска из фланцев.

7. Установлено, что нагрев диска приводит к его короблению при изготовлении из высокоуглеродистых сталей вследствие образования внутренних напряжений при структурных превращениях. Поэтому рекомендуется изготовление дисков из низкоуглеродистых сталей, например Сталь 08; Сталь 10.

8. Экспериментально исследован характер износа фрикционного диска и интенсивность его. Установлено, что диск обладает высокой износостойкостью, в десятки раз превышающей стойкость дисковых пил и абразивных кругов.

9. Разработана модель управления процессом с достижением цели

работы и алгоритм ее реализации.

10. Выполненные исследования и разработанные рекомендации позволили начать выпуск оборудования для фрикционной резки труб прямоугольного и круглого сечения.

Внедрен абразивно-отрезной станок, модернизированный для фрикционной резки на ХТЗ, для резки прямоугольных труб жесткого каркаса кабины трактора Т-150К.

Основные результаты диссертации опубликованы
в следующих работах:

1. Сизый Ю. А., Савченко Э. В., Шатерников А. В., Волкова Н. Н. Тепловой баланс процесса фрикционной резки. Сб. "Резание и инструмент", вып. 34, 1985.
2. Сизый Ю. А., Савченко Э. В., Шатерников А. В., Исследование и оптимизация процесса фрикционной резки проката. Сб. "Резание и инструмент", вып. 35, 1986.
3. Сизый Ю. А., Савченко Э. В., Волкова Н. Л., Белкин Е. Л., Тугай И. М. Температурное поле в детали при фрикционной резке. Сб. "Резание и инструмент", вып. 36, 1987.
4. Сизый Ю. А., Савченко Э. В., Шатерников А. В., Босый В. Н. А. С. N 1296323, Бюл. N 810.
5. Сизый Ю. А., Савченко Э. В., Волкова Н. Н., Анিকেева Н. Ю., Теплофизические основы управления процессом фрикционной резки. Тезисы докладов VII Всесоюзной конференции. "Технологическая теплофизика", раздел IV. Теплофизика процессов лезвийной обработки. Тольятти, 1988, с. 214.
6. Сизый Ю. А., Савченко Э. В., Котелевский Л. Н., Синельников Е. И. Экспериментальные модели процесса скоростной резки проката дисковыми пилами. Вестник ХПИ N 208/84.

7. Сизый Ю.А., Савченко Э.В., Деформация диска пилы при высокоскоростной разрезке. Вестник ХПИ N 226/85.

Савченко

Подп. к печ. 30.09.24. Формат 80×84¹/₁₆. Бумага тип. Печать офсетная. Усл. печ. л. 10
Уч.-изд. л. 1,0. Тираж 100 экз. Зак. № 3413 Бесплатно.

Харьковское межвузовское арендное полиграфическое предприятие.
310093, Харьков, ул. Свердлова, 115.

467286

AB 25.703
AB 25.703

3