

М296988

Министерство высшего и среднего специального образования СССР
Московское ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н.Э.Баумана

На правах рукописи

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

Трифонов Георгий Николаевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕЗКИ
КРУГЛОГО ПРОКАТА НА НОЖНИЦАХ И В ШТАМПАХ

Специальность 05.03.05 – Технология и машины
обработки давлением

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва, 1976

Работа выполнена на кафедре "Машины и технология обработки металлов давлением" Воронежского политехнического института и в научно-исследовательских лабораториях Экспериментального научно-исследовательского института кузнечно-прессового машиностроения.

Научные руководители

- кандидат технических наук,
доцент П.Е.Кислый,
кандидат технических наук,
доцент А.А.Бугрова

Официальные оппоненты

- доктор технических наук,
профессор Е.И.Семенов,
кандидат технических наук,
доцент С.С.Соловцов

Ведущее предприятие

- Воронежское специальное
конструкторское бюро кузнечно-
прессовых машин и автоматических
линий

Защита диссертации состоится "_____" "_____" 1976г.

на за-
гора
Трун
Н.Э.

внос

Уче
Сов
доц

Под
пис
Рот

12/13 "Металловедение и
Ленина и ордена
училища имени
Бауманская, 5.

печатью, прошим

теке училища.

1976 г.

О.А.Беликов

M296988

Актуальность проблемы. В машиностроении в большинстве технологических процессов используются штучные заготовки из сортового проката, поэтому прогресс производства невозможен без совершенствования операций резки проката на заготовки. Качество и точность заготовок под штамповку оказывают существенное влияние на выбор технологического процесса изготовления поковок. В частности, точный вес заготовок и их правильная форма предопределяют возможность применения таких прогрессивных процессов штамповки как штамповка в закрытых штампах и в штампах с разъемными матрицами, штамповка с противодавлением, выдавливанием и т.п.

Одним из способов, обеспечивающих качество и геометрическую точность заготовок, является резка сортового проката с дифференцированным зажимом по обе стороны от плоскости реза и с наклоном прутка, называемая в литературе точной резкой на ножницах и в штампах или неполной закрытой резкой с активным поперечным зажимом.

Несмотря на то, что в промышленности уже используются ножницы и штампы для резки с дифференцированным зажимом, этот способ изучен еще недостаточно. Неполностью выявлены пути повышения качества отрезаемых заготовок и предельные возможности данного способа. В ряде случаев ножи выкрашиваются или ломаются. Нет достаточно обоснованных рекомендаций по расчету и выбору параметров процесса и геометрии ножей и прижимов, не определены величины искажения формы отрезаемых заготовок.

Цель исследования. Целью настоящей работы является определение оптимальных технологических параметров процесса резки с дифференцированным зажимом; исследование величины и характера распределения контактных напряжений на рабочей поверхности инструмента и влияния на них отдельных параметров процесса и масштабного фактора; разработка рекомендаций по проектированию и эксплуатации инструмента, штамповой оснастки и оборудования.

Методы исследования. Определение оптимальных технологических параметров процесса и геометрии режущего инструмента с точки зрения качественной резки, т.е. получения заготовок с



минимально возможными для данного способа резки величинами искажения формы, а также исследование силовых параметров, деформации и разрушения проводились непосредственно резкой круглого проката с дифференцированным зажимом. Измерения производились методами электрического тензометрирования, делительных сеток, микро- и макроструктурного анализа.

Экспериментальное определение контактных напряжений на рабочей поверхности режущего инструмента осуществлялось поляризационно-оптическим методом.

Аналитические зависимости распределения нормальных контактных напряжений на рабочей поверхности инструмента были получены на основе экспериментальных данных с помощью численных методов анализа.

Построение полей контактных напряжений, действующих в ножах, производилось с использованием ЭВМ "Минск-32".

Научная новизна. Впервые получены аналитические зависимости распределения нормальных контактных напряжений на рабочей поверхности инструмента или контактной поверхности разрезаемого проката, которые являются граничными условиями для прочностного расчета ножей и определения напряженно-деформированного состояния прутка в очаге пластической деформации в процессе резки. Выявлено и определено количественно влияние масштабного фактора на величину и характер распределения нормальных контактных напряжений на рабочей поверхности ножей. Показано влияние затупления режущих кромок и диаметрального зазора на величину контактных напряжений, усилия резки и технологическую работу.

Практическая ценность заключается в возможности оценки влияния различных параметров процесса на геометрическую точность отрезаемых заготовок, на величину и характер распределения контактных напряжений, действующих на рабочей поверхности инструмента при резке сдвигом. Определены предельные размеры сечения разрезаемого проката в зависимости от прочности материала проката и контактной прочности инструмента.

Реализация результатов работы. На базе выполненных исследований разработан и разослан завсдам отрасли для использования руководящий технический материал по проектированию технологического процесса и инструмента для резки сортового проката с

дифференцированным вжимом.

Результаты исследований использованы при проектировании ножиц и штампов для резки сортового проката, которые в настоящее время внедрены в производство.

Приоритет конструкции штампов подтвержден авторскими свидетельствами.

Апробация результатов работы. Основные положения работы и отдельные ее результаты доложены и обсуждены:

1. на Всесоюзной научной конференции "Разделительные процессы обработки материалов давлением", Кишинев, ноябрь, 1975 г;

2. на областной научно-технической конференции "Новые исследования техпроцессов и оборудования ОМД", Воронеж (ЭНИСМАШ), апрель 1974 г.;

3. на научно-технических конференциях Воронежского политехнического института в 1972, 1973, 1974, 1975 гг.

Публикация. По теме диссертации опубликовано 8 работ, из них 2 авторских свидетельства.

Объем работы. Диссертационная работа содержит пять глав, общие выводы по работе и приложения. Общий объем 253 страницы, в том числе 126 страниц машинописного текста, 20 таблиц, 103 рисунка, список литературы из 124 наименований и 54 страницы приложений. Диссертация написана на русском языке.

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Наиболее производительным и экономичным способом разделения сортового проката является резка его на ножицах и в штампах методом сдвига одной части относительно другой перпендикулярно оси. Однако из-за больших искажений формы заготовок этот способ не всегда удовлетворяет требованиям процессов последующей обработки.

За последние годы в СССР и за рубежом выполнено большое количество исследовательских работ, направленных на совершенствование технологии резки сдвигом. Результаты некоторых из них уже нашли применение в производстве или находятся в стадии освоения. Благодаря исследованиям, выполненным в СТАНКИНЕ, ЭНИСМАШе, НИИ тракторсельхозмаше, МИТУ им. Баумана, а также ря-

дом зарубежных ученых, получена информация, использование которой позволило усовершенствовать технологический процесс и конструкции ножниц и штампов для резки проката сдвигом.

Как показал анализ литературных данных одной из наиболее прогрессивных схем резки сдвигом является резка сортового проката с дифференцированным зажимом по обе стороны от плоскости реза и с наклоном прутка или, по классификации СТАНКИНА, неполная закрытая резка с активным поперечным зажимом. Сущность этой схемы заключается в том, что прижимы располагаются прямо против подвижного и неподвижного ножей, обеспечивая неизменность направления осей прутка и отрезаемой заготовки в процессе сдвига за счет приложения к ним усилий, соизмеримых по величине с усилием реза и изменяющихся пропорционально усилию реза и что пруток ориентируется под некоторым углом, чтобы трещина скола была направлена перпендикулярно его оси.

Такая схема резки заложена в серийно выпускаемые Азовским заводом КПО типовые ножницы сортовые кривошипные для точной резки заготовок от 100 до 1000 тс, а также в различные по конструкции штампы для резки мелкосортного проката.

Однако имевшиеся в литературе рекомендации по расчету технологических параметров процесса резки по этой схеме и проектированию инструмента, сведения о достижимой точности формы заготовок на различных материалах были бессистемны и порой противоречивы. Кроме того, все эти сведения базировались на опыте резки мелкосортного проката и оказались несостоятельными для проката больших диаметров. Поэтому ножницы для точной резки использовались неэффективно, а применение штампов, хорошо зарекомендовавших себя на одних предприятиях, оказывалось невозможным на других, в других условиях, на других материалах.

В связи с этим были определены следующие основные задачи исследования:

1. Определение оптимальных технологических параметров процесса резки с дифференцированным зажимом и геометрии режущего инструмента.

2. Выявление закономерности изменения формы и поверхности среза отрезаемой заготовки в зависимости от механических свойств разрезаемого материала, геометрии инструмента и некоторых параметров процесса.

3. Исследование деформации и разрушения при резке.
4. Определение контактных напряжений на рабочей поверхности режущего инструмента в зависимости от механических характеристик разрезаемого материала и параметров процесса.
5. Исследование влияния масштабного фактора на величину и характер распределения контактных напряжений на рабочей поверхности ножей.
6. Определение исходных данных для разработки технологии резки с дифференцированным зажимом, совершенствования конструкции инструмента, штамповой оснастки и оборудования.

ОБЩАЯ МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Определение оптимальных технологических параметров процесса и геометрии режущего инструмента с точки зрения качественной резки, т.е. получения заготовок с минимально возможными для данного способа резки величинами искажения формы, а также исследование силовых параметров, деформации и разрушения при резке сдвигом производилось непосредственно резкой на ножницах для точной резки усилием 100 тс модели Н5030 и в специально сконструированном штампе для резки сортового проката диаметром до 50 мм модели Ш772 с использованием прессы чеканочного коленорычажного усилием 800 тс.

Для экспериментальных исследований использовался круглый прокат диаметром 36, 38 и 40 мм из материалов, являющихся характерными представителями различных групп металлов и сплавов (стали 10, 35, 45, У8А, 40Х, 30ХГСА, 9ХС, ХВГ, Х12М, 65Г, Р6М5, 3Х2В8Ф, 3Х13, Х18Н9Т, медь М1, латунь ЛС59-1, алюминий АД1, дуралюмины Д16, В95Т1).

Предварительно определялся химический состав и механические свойства материала разрезаемого проката.

Комплексные экспериментальные исследования выполнялись методами электрического тензометрирования, делительных сеток, микро- и макроструктурного анализа.

Для определения контактных напряжений на рабочей поверхности режущего инструмента осуществлялось моделирование исследуемого процесса резки с использованием поляризационно-оптического метода.

В задачи исследования входило определение величины и картины распределения нормальных контактных напряжений на рабочих поверхностях инструмента в зависимости от следующих факторов:

1. от величины диаметрального зазора ρ между ножом и заготовкой ($\rho = 0$, $\rho = 2$ мм, $\rho = 4$ мм) при постоянном радиусе скругления режущей кромки $Z_k = 0$;

2. от радиуса скругления режущих кромок ножей Z_k ($Z_k = 0$, $Z_k = 0,5$ мм, $Z_k = 1,0$ мм, $Z_k = 1,5$ мм) при постоянном диаметральном зазоре $\rho = 0$;

3. от диаметра d разрезаемого проката ($d = 20$ мм, $d = 40$ мм, $d = 60$ мм) при постоянных диаметральном зазоре $\rho = 0$ и радиусе скругления режущих кромок $Z_k = 0$.

Изучение распределения напряжений методом пространственной фотоупругости проводилось на моделях, изготовленных из эпоксидной смолы ЭДБ-М, с применением "замораживания".

Просвечивание и фотографирование интерференционных полос производилось на поляризационно-оптической установке фотоэластичиметре типа МЗ-56 завода "Меопта" (Братислава, ЧССР). Источником монохроматического света служили две натриевые лампы, каждая из которых излучает поток в 7000 люмен. Такой источник света обладает большой разрешающей способностью и позволяет получать довольно четкую картину в местах концентрации полос.

Оптический эксперимент позволил определить три разности нормальных напряжений и три касательных напряжения. В выбранной цилиндрической системе координат r, θ, z (ось z направлена по радиусу, θ - угловая координата, ось r - направлена по оси ножа) такими величинами явились: $(\sigma_z - \sigma_\theta)$, $(\sigma_\theta - \sigma_r)$, $(\sigma_r - \sigma_z)$ и τ_{rz} , $\tau_{\theta z}$, $\tau_{r\theta}$.

Для раздельного нахождения компонент напряжений численно интегрировались дифференциальные уравнения равновесия. Для случая пространственного напряженного состояния в цилиндрической системе (r, θ, z) эти уравнения имеют вид:

$$\begin{cases} \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\sigma_z - \sigma_\theta}{z} + \frac{1}{z} \cdot \frac{\partial \tau_{z\theta}}{\partial \theta} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial r} = 0 \\ \frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{\partial \tau_{rz}}{\partial z} + \frac{\tau_{rz}}{z} + \frac{1}{z} \cdot \frac{\partial \tau_{r\theta}}{\partial \theta} = 0 \\ \frac{1}{z} \cdot \frac{\partial \sigma_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial \tau_{z\theta}}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{r\theta}}{\partial r} + \frac{2\tau_{r\theta}}{z} = 0 \end{cases}$$

При интегрировании использовались результаты экспериментов.

Пересчет напряжений с оптической модели на натуру производился на основании зависимостей теории подобия.

ОПИСАНИЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

При исследовании процесса резки круглого проката с дифференцированным зажимом были экспериментально определены и проверены следующие параметры: усилие резки P_r , распорное усилие T , осевой зазор между ножами — Z , диаметральный зазор — ρ , затупление режущих кромок ножей — Z_k , угол наклона прутка при резке — α .

На основе экспериментальных исследований были получены уточненные выражения для расчета усилия резки, распорных усилий, оптимальных величин осевого и диаметрального зазоров.

Величина осевого зазора значительно влияет на качество отрезаемых заготовок. С увеличением осевого зазора увеличивается величина утяжки на заготовке. Угол скоса торцов и глубина волны в силу симметрии технологической схемы резки приобретают минимальное значение при определенных осевых зазорах, характерных для каждого из разрезаемых материалов. При резке с недостаточным или увеличенным осевым зазором на заготовках могут возникать различные дефекты, связанные с направлением распространения скалывающих трещин.

Для ряда металлов, например, сталей Р6М5, У8А, ХВГ и др. с уменьшением угла скоса торцов до 0° начинает расти глубина волны. Поэтому, иногда следует увеличить осевой зазор, при этом угол скоса торцов несколько увеличится, но значительно уменьшится глубина волны.

Анализ экспериментальных данных позволил сделать вывод, что для большинства исследуемых металлов оптимальный угол наклона при резке является величиной, присущей конкретно данному металлу и зависящей от характера разрушения (скалывания) последнего при приложении сдвигающей нагрузки. Оптимальный угол наклона прутка при резке колебался для различных металлов от 0 до 8° .

Диаметральный зазор служит для компенсации неточности

установки ножей и прижимов относительно друг друга, обеспечивает свободное прохождение прутка в ножах и прижимах до упора и исключает заклинивание прутка и отрезанной заготовки в ножах. С точки зрения обеспечения высокого качества заготовок диаметральный зазор должен быть минимальным, в то же время для свободной подачи прутка через ножи и исключения заклинивания необходимо увеличение зазора.

При затуплении режущих кромок ножей усилие резки практически не возрастает, однако значительно увеличиваются распорные усилия и технологическая работа, необходимая для отрезки заготовки. Ход ножа, необходимый для среза, возрастает с увеличением затупления режущих кромок ножей, причем с уменьшением прочности материала ход возрастает в большей степени. Качество поверхностей скола (торцов заготовок) с увеличением радиуса затупления режущих кромок ножей не изменяется, но увеличивается заусенец.

Исследование контактных напряжений на рабочей поверхности режущего инструмента показало, что они распределены крайне неравномерно. На рис. 1 построены кривые распределения нормальных контактных напряжений σ_x на внутренней поверхности ножа при диаметре разрезаемого прутка $d = 40$ мм, пределе прочности $\sigma_T = 55$ кгс/мм², диаметральный зазор $\rho = 0$, радиусе затупления режущих кромок ножей $r_x = 0$. Кривые 1'... 10' (рис. 1а) характеризуют изменение контактных напряжений соответственно в плоскостях 1' - 1'... 10' - 10' (рис. 1б), а кривые 1... 6 (рис. 1б) - в плоскостях 1 - 1... 6 - 6 (рис. 1а). Среднее контактное напряжение для ножа $\sigma_{x\text{ ср}}$ равно 298 кгс/мм², что в 4,8 раза меньше наибольшего.

Увеличение диаметрального зазора при резке приводит к резкому возрастанию максимальных нормальных контактных напряжений, действующих на режущей кромке ножа. Так при резке с диаметральным зазором $\rho = 2$ мм максимальные нормальные контактные напряжения возросли на 20%, а при $\rho = 4$ мм - на 35%.

С увеличением радиуса затупления режущей кромки ножа величина максимальных нормальных контактных напряжений не изменяется, а зона их действия смещается вглубь ножа, что увеличивает его прочность и стойкость. Однако с увеличением радиуса затупления режущей кромки ножа растет величина заусенца на получаемых заготовках и увеличивается технологическая работа резки. Поэтому необходимо

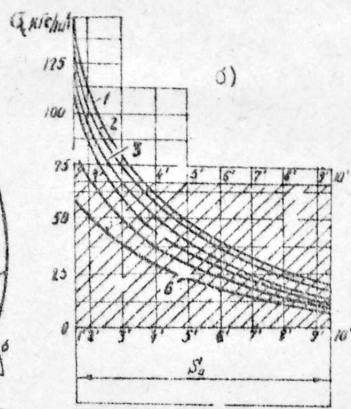
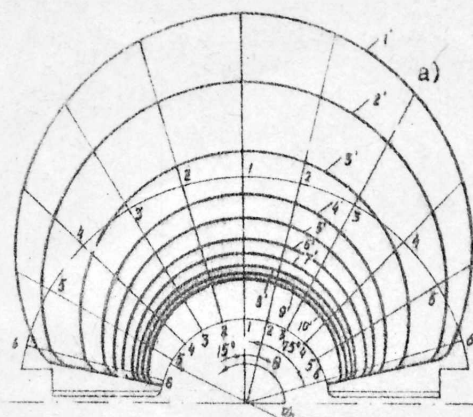


Рис. 1

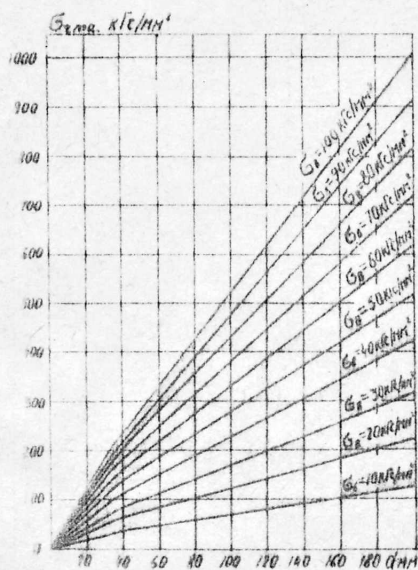


Рис. 2

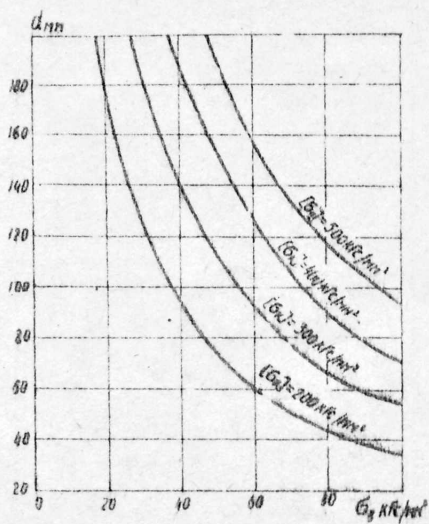


Рис. 3

применять оптимальный радиус затупления режущей кромки ножа. Вполне удовлетворительной, по данным экспериментов, для резки круглого проката является величина $\gamma_k = 0,005 d$.

Исследование показало, что с увеличением диаметра разреза — ем го проката (при обеспечении геометрического и силового подобия процессов) максимальные напряжения на режущей кромке ножа увеличиваются. Это объясняет меньшую стойкость инструмента ножиц и штампов больших типоразмеров, чем малых. Влияние масштабного фактора необходимо учитывать при проектировании инструмента, увеличивая в большей степени, чем растет усилие среза, размеры ножей для крупных профилей проката.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КОНТАКТНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В НОЖАХ

На основе данных экспериментальных исследований распределения нормальных контактных напряжений на рабочей поверхности ножа ($d = 40$ мм, $\rho = 0$, $\gamma_k = 0$, $\sigma_s = 55$ кгс/мм²) с использованием метода наименьших квадратов были получены аналитические зависимости распределения нормальных контактных напряжений на рабочей поверхности ножа.

В вертикальном меридиональном сечении величина нормальных контактных напряжений может быть представлена в виде:

$$\sigma_z = \sigma_{z \max} \cdot B^{MS} \quad (1)$$

В кольцевых сечениях:

$$\sigma_z = \sigma_{z \max} \sec \left[(1-k) \sin \theta + \sqrt{k^2 - (1-k)^2 \cos^2 \theta} \right] \quad (2)$$

где $\sigma_{z \max}$ — максимальные нормальные контактные напряжения, действующие на рабочей поверхности ножа;

$\sigma_{z \max} \sec$ — максимальные нормальные контактные напряжения, действующие в данном сечении ножа;

M — масштабный коэффициент ($M = \frac{1}{10M}$);

B, k — параметры данных зависимостей (определялись методом наименьших квадратов с использованием ЭВМ "Минск-32")

При определении величины максимальных нормальных контактных напряжений, действующих на рабочей поверхности ножа воспользовались тем, что сумма вертикальных проекций нормальных контактных напряжений, действующих на нож, равна проекции силы P , действующей на нож в процессе резки в том же направлении:

$$\sum_{i=1}^n \sigma_{zi} \cdot \sin \theta_i \cdot \Delta F_i = P \cos \angle \quad (3)$$

Уравнение проекций нормальных контактных напряжений

на вертикальную ось ножа можно записать в виде:

$$\sigma_z^{\theta} = \sigma_{z \max} \sec \left[(1-K) \sin \theta + \sqrt{K^2 - (1-K)^2 \cos^2 \theta} \right] \cdot \sin \theta$$

Вертикальные составляющие нормальных контактных напряжений действуют на площадь, которая представляет собой проекцию поверхности контакта ножа с прутком на плоскость, перпендикулярную направлению действия вертикальных составляющих нормальных контактных напряжений.

Приняв за начало отсчета плоскость симметрии ножа, можно выразить точку приложения вертикальной составляющей нормальных контактных напряжений в виде:

$$\chi = \frac{d}{2} \cos \theta$$

На основании этого можно записать закон изменения вертикальных составляющих нормальных контактных напряжений в кольцевом сечении ножа в виде параметрической зависимости:

$$\begin{cases} \sigma_z^{\theta} = \sigma_{z \max} \sec \sin^2 \theta \\ \chi = \frac{d}{2} \cos \theta \end{cases}$$

Или, переходя к записи зависимости в явном виде, получим:

$$\sigma_z^{\theta} = \sigma_{z \max} \sec \left(1 - \frac{4\chi^2}{d^2} \right)$$

С учетом зависимости (1) можно записать:

$$\sigma_z^{\theta} = \tilde{\sigma}_{z \max} \cdot \theta^{nc} \left(1 - \frac{4\chi^2}{d^2} \right)$$

Используя свойство (3) можно записать:

$$\sigma \cos \alpha = 2 \int_0^{\frac{d}{2}} \int_0^{\alpha_0^{\theta}} dx ds d\sigma_z^{\theta},$$

или

$$\sigma \cos \alpha = \frac{2}{3} \cdot \frac{d \cdot \sigma_{z \max}}{M / \ln B} (1 - \theta^{nc})$$

Когда величину максимальных нормальных контактных напряжений, действующих на рабочей поверхности ножа можно представить в виде:

$$\sigma_{z \max} = \frac{3 P \cos \alpha / \ln B}{2 d (1 - \theta^{nc})} \cdot M \quad (4)$$

Совокупность уравнений (1), (2) и (4) позволяет определить эпюру распределения нормальных контактных напряжений из рабочей поверхности инструмента или контактной поверхности разрезаемого проката.

На основе зависимости (4) была построена номограмма (рис. 2) для определения величины максимальных нормальных контактных напряжений, действующих в ножах, в зависимости от диаметра и предела прочности разрезаемого материала.

Данная номограмма, в свою очередь, явилась основой для построения графиков допустимых диаметров проката (рис. 3) по контактной прочности ножей при резке сдвигом с дифференцированным зажимом.

Расхождение экспериментальных и теоретических значений нормальных контактных напряжений, действующих на рабочих поверхностях ножей не превышает 4,3 %, что говорит об удовлетворительной точности полученных зависимостей.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалы данной диссертационной работы были положены в основу при разработке руководящих технических материалов по проектированию технологического процесса и инструмента для резки сортового проката с дифференцированным зажимом, которые используются на ряде заводов страны.

При участии автора были разработаны ножицы сортовые кривошипные для точной резки усилием 100 тс модели Н1830А, которые внедрены на Калининском заводе штампов имени 1 мая. Было разработано техническое предложение на проектирование гаммы штампов для точной резки сортового проката диаметром до 63 мм к прессам усилием 25...250 тс. В соответствии с техническим предложением были спроектированы, изготовлены и внедрены в производство штампы для точной резки к прессам усилием 100 тс и усилием 160 тс. Конструкция штампов защищена авторскими свидетельствами.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. С целью определения путей повышения качества отрезаемых заготовок и предельных возможностей исследуемого способа резки выявлены закономерности изменения геометрии и поверхности среза отрезаемой заготовки в зависимости от свойств разрезаемого материала и технологических параметров процесса (осевого и диаметрального зазоров, угла наклона прутка, величины затупления режущей кромки ножей).

2. Получены уточненные выражения для расчета усилия резки, распорных усилий, оптимальных величин осевого и диаметрального зазоров.

3. Установлено, что при затуплении режущих кромок ножей у усилие резки практически не возрастает, однако значительно увеличиваются распорные усилия и технологическая работа.

4. Предложена и экспериментально проверена рабочая модель деформации и разрушения при резке сдвигом, объясняющая волнообразный процесс распространения скалывающей трещины в результате осевой деформации металла при резке.

5. Установлено, что нормальные контактные напряжения, действующие на контактной поверхности прутка и режущего инструмента, зависят от размеров сечения разрезаемого проката, механических свойств металла, геометрии ножей, угла наклона прутка при резке и соотношения усилия резки и усилия зажима прутка.

Нормальные контактные напряжения распределены крайне неравномерно вдоль образующей ножа. Наибольших значений они достигают на режущей кромке ножа и превосходят средние контактные напряжения в 5...6 раз.

При увеличении диаметрального зазора или диаметра разрезаемого проката максимальные нормальные контактные напряжения на режущей кромке ножа резко возрастают. С увеличением радиуса затупления режущей кромки ножа величина максимальных контактных напряжений не изменяется, а зона их действия смещается вглубь ножа.

6. Максимальная величина поперечного сечения разрезаемого проката ограничивается контактной прочностью режущего инструмента и может быть определена с помощью полученной теоретической зависимости или с использованием специальной номограммы.

7. По результатам исследований разработан руководящий технический материал по проектированию технологического процесса и инструмента для резки сортового проката сдвигом, который ис-

пользуется в промышленности.

8. Результаты исследования использованы при проектировании ножиц и штампов для резки сортового проката, которые в настоящее время внедрены в производство.

9. Годовой экономический эффект от внедрения исследованного технологического процесса на ножницах и в штампах для резки сортового проката составляет от 5 до 150 тыс. руб. на единицу оборудования.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Трифонов Г.Н., Макшанов Л.Я., Кислый П.Е., Бушнева С.А., Роголев А.М. Инструмент к ножницам и штампам для точной резки. Воронеж, ЭНИКМАШ, 1975.

2. Бушлева С.А., Королев А.М., Кислый П.Е., Макшанов Л.Я., Трифонов Г.Н. Определение контактных напряжений в ножах ножниц и штампов для точной резки сортового проката сдвигом. "Кузнечно-штамповочное производство", 1976, № 4.

3. Кислый П.Е., Трифонов Г.Н. Гамма штампов для точной резки сортового проката на заготовки. Материалы Всесоюзной научной конференции "Разделительные процессы обработки материалов давлением". Кишинев, 1975.

4. Макшанов Л.Я., Филимонов Ю.Ф., Барабанов Н.М., Трифонов Г.Н. Опыт освоения штампа для точной резки к прессу усилием 100 тс. "Кузнечно-штамповочное производство", 1975, № 4.

5. Трифонов Г.Н., Кислый П.Е. Исследование контактных напряжений в ножах ножниц и штампов для точной резки сортового проката. Тезисы докладов XI научно-технической конференции Тульского политехнического института. Тула, ТПИ, 1975.

6. Трифонов Г.Н. Обзор штампов для точной резки сортового проката на заготовки. Материалы научно-технической конференции Воронежского политехнического института. Воронеж, ВПИ, 1973.

7. Кислый П.Е., Трифонов Г.Н. Штампы для резки сортового проката на заготовки с дифференцированным зажимом проката и отделяемой от него части. Авторское свидетельство СССР № 354948, Официальный бюллетень "Изобретения. Промышленные образцы. Товарные знаки", 1972, № 31.

8. Кислый П.Е., Трифонов Г.Н. Упор к штампу для резки сортового проката с дифференцированным зажимом. Авторское свидетельство СССР № 368022. Официальный бюллетень "Изобретения. Промышленные образцы. Товарные знаки", 1973, № 9.