

КИЕВСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

На правах рукописи

КЕДРОВСКИЙ Борис Григорьевич

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОРЕЗНОЙ УСТАНОВКИ  
ДЛЯ РАСКРОЯ МАТЕРИАЛОВ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Специальность 05.02.13 - машины и агрегаты легкой  
промышленности

Автореферат  
диссертации на соискание  
ученой степени кандидата  
технических наук

Киев-1990

Работа выполнена в Киевском технологическом институте легкой промышленности

Научный руководитель: кандидат технических наук,  
доцент Петко И.В.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,  
профессор Скатерной В.А.  
кандидат технических наук  
Ковалев Ю.А.

Ведущее предприятие: Херсонское обувное производственно-торговое объединение

Защита состоится 24 октября 1990 г. в 10 часов на заседании специализированного совета К 068.30.02 в Киевском технологическом институте легкой промышленности по адресу: 252011, Киев-11, ул.Немировича-Данченко, 2.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Киевского технологического института легкой промышленности.

Автореферат разослан " 22 " 09 1990 г.

Ученый секретарь  
специализированного Совета

 Б.Ф.Пипа

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Анализ традиционных способов раскроя материалов показал, что наряду с несомненными их достоинствами в условиях современного производства, обусловленного многообразием и сложностью конфигураций вырезаемых деталей, частой сменой моделей, большим ассортиментом типоразмеров вырезаемых деталей и т.д., имеются и недостатки: использование большого количества оборудования, разнообразие рабочего инструмента, значительные потери материала в виде отходов, большие трудовые и материальные затраты на изготовление и переточку инструмента.

Обзор научно-технической литературы свидетельствует о перспективности использования для раскроя материалов легкой промышленности энергии высокоскоростной струи жидкости, разработке гидрорезного оборудования с заданными технологическими параметрами. Использование в технологических операциях по раскрою материалов высокоскоростной струи жидкости способствует решению ряда проблем, возникающих при механических и термофизических способах. Струя жидкости дает возможность обрабатывать изделия с любым радиусом закругления, исключается дорогостоящий механический инструмент, минимальная ширина реза при рациональной раскладке снижает потери материала в виде отходов; при гидрорезании не выделяется пыль. Автоматизация гидрорезного оборудования позволяет создавать целые автоматизированные комплексы, управляемые с помощью ЭВМ.

Исследования отечественных и зарубежных ученых подтверждают целесообразность использования высокоскоростной струи жидкости для раскроя материалов во многих отраслях производства, в том числе и в легкой промышленности. В то же время в нашей стране обработка материалов высокоскоростной струей жидкости еще не

нашла широкого применения в промышленности в связи с тем, что многие аспекты процесса гидрорезания изучены еще недостаточно как в области теории, так и практики, а также из-за отсутствия оборудования.

**Цель работы:** определение параметров гидрорезной установки, обеспечивающей высокоэффективный раскрой материалов легкой промышленности.

Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

1. Научно обосновать взаимосвязь физики разрушения материалов высокоскоростной струей жидкости с параметрами установки и производительностью процесса резания.

2. Определить факторы, в наибольшей степени влияющие на процесс разрушения материалов и производительность установки.

3. Экспериментально подтвердить достоверность аналитических предположений и выкладок.

**Методы исследований.** В работе использованы аналитические и экспериментальные методы исследований. Аналитические методы применены для разработки математической модели процесса разрушения материалов высокоскоростной струей жидкости на основе изучения напряжений и деформаций, возникающих в материале при воздействии струи.

Экспериментальные методы использованы для получения наглядной картины распределения напряжений в материале, подтверждения аналитических исследований, определения рациональных параметров гидрорезной установки. Исследования проведены на опытной установке, обеспечивающей необходимый диапазон изменения исследуемых параметров. Обработка результатов исследований выполнена с использованием методов планирования эксперимента и математической обработки полученных результатов. Обработка эксперименталь-

ных исследований проведена с помощью ЭВМ.

**Научная новизна.** Получена математическая модель процесса разрезания материалов высокоскоростной струей жидкости и определена зависимость скорости подачи от параметров струи, свойств и толщины разрезаемых материалов.

Получена с использованием метода фотоупругости наглядная картина разрушения материалов под воздействием высокоскоростной струи, подтвердившая правомочность принятой физической модели.

Аналитические и экспериментальные зависимости, полученные в результате проведенных исследований, позволяют определять рациональные конструктивные и технологические параметры гидрорезных установок.

**Практическая ценность.** Разработана гидрорезная установка, обеспечивающая высокоэффективное разрезание материалов легкой промышленности.

Результаты проведенных экспериментальных исследований использованы при разработке оборудования на Днепровском машиностроительном заводе и в учебном процессе в Киевском технологическом институте легкой промышленности.

Результаты работы могут быть использованы для разработки оборудования по разрезанию неметаллических материалов высокоскоростной струей жидкости в различных отраслях промышленности.

На основании экспериментальных исследований предложены и защищены авторскими свидетельствами способ гидрорезания, повышающий эффективность процесса, а также ряд элементов струеформирующей головки.

Ожидаемый экономический эффект от внедрения гидрорезной установки на обувном предприятии составляет 7903 рубля в год.

**Апробация работы.** Результаты диссертационной работы доклад-

вались и обсуждались:

на научных конференциях профессорско-преподавательского состава КТИЛП в 1985, 1986, 1987 годах;

первой научной конференции молодых ученых и специалистов КТИЛП в 1986 году;

научно-практической конференции аспирантов и молодых ученых ЦНИИ быт по экономическим, техническим и химическим аспектам бытового обслуживания населения, г.Москва 1986 год;

научно-техническом семинаре "Механизация и автоматизация ручных трудоемких процессов - основной путь интенсификации обувного производства", УкрНИИКИП, Киев, 1987 г.;

научных конференциях профессорско-преподавательского состава Херсонского пединститута в 1988, 1989 гг.;

областной конференции молодых ученых и специалистов, посвященной 80-летию академика Верещагина Л.Ф., г.Херсон, 1990 г.

Публикации. Основное содержание работы опубликовано в 6 печатных работах, получено 4 авторских свидетельства.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка использованной литературы и приложений. Содержание работы изложено на 152 страницах машинописного текста, рисунков 44, библиография включает 125 наименований. Приложения изложены на 26 страницах. Общий объем работы составляет 178 страниц.

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении отмечена актуальность выполненной диссертационной работы, определена цель проводимых аналитических и экспериментальных исследований, научная новизна, показана практическая значимость результатов работы.

В первой главе проведен анализ способов раскроя материалов легкой промышленности; отмечено преимущество использования в качестве режущего инструмента потоков энергии от различных энергоисточников, в том числе и энергии высокоскоростной струи жидкости; показаны перспективные направления разработки, создания и использования гидрорезного оборудования в нашей стране и за рубежом; проведен анализ существующих моделей процесса разрушения материалов высокоскоростной струей жидкости.

По методу воздействия на обрабатываемый материал выделены две группы оборудования, используемого для раскроя: с механическим воздействием и с воздействием различных видов энергии.

Показано, что с учетом специфических свойств большинства неметаллических материалов, применение механических способов раскроя часто затруднено. Раскрой материалов потоками различных видов энергии (луч лазера, плазменная струя) имеет ряд преимуществ по сравнению с механическими способами: уменьшается междетальное расстояние при раскрое, появляется возможность выкраивать детали с контуром любой сложности, технология резания и оборудование позволяют автоматизировать процесс раскроя. Но значительное повышение температуры в зоне резания способствует оплавлению кромок, слипанию настиллов, воспламенению материалов, задымленности рабочего места и т.д.

Более эффективным методом раскроя неметаллических материалов, по сравнению с описанными, является гидрорезание, основанное на использовании энергии высокоскоростной струи жидкости.

Перспективность гидроструйной обработки и раскроя материалов легкой промышленности вызывает необходимость более детального исследования процессов, происходящих при резке.

Процесс гидрорезания является сложным гидродинамическим про-

цессом и зависит от целого ряда факторов: энергетических параметров струи, физико-механических характеристик разрезаемого материала и скорости перемещения струи. Качественной характеристикой гидрорезания является производительность процесса, которую можно интерпретировать скоростью перемещения материала относительно струи. Повысить силу воздействия струи жидкости на поверхность материала и тем самым интенсифицировать процесс гидрорезания материалов можно путем увеличения плотности и давления жидкости перед выходом из сопла и диаметра сопла.

На базе мультипликаторов и насосов высокого давления созданы различные конструкции гидрорезного оборудования, однако их конструктивные и технологические параметры отличаются в широком диапазоне, что объясняется недостаточностью как теоретических, так и практических рекомендаций по проектированию гидрорезного оборудования.

Анализ литературных источников показал, что несмотря на ряд исследований, выполненных в области гидрорезания, до настоящего времени нет достаточно обоснованной теории разрушения полимерных материалов струей жидкости высокого давления, а экспериментальные работы в основном завершались частными эмпирическими зависимостями взаимосвязи технологических параметров, что значительно затрудняет широкое использование процесса гидрорезания в легкой промышленности.

Таким образом, в первой главе показаны направления разработки гидрорезного оборудования на основе изучения сложного гидродинамического процесса разрушения материалов и оптимизации его технологических параметров.

Во второй главе изложены результаты аналитических исследований процесса разрушения материалов под воздействием высоко-

скоростной струи жидкости; взаимосвязь основных параметров установки и свойств материалов с механизмом разрушения и производительностью процесса гидрорезания.

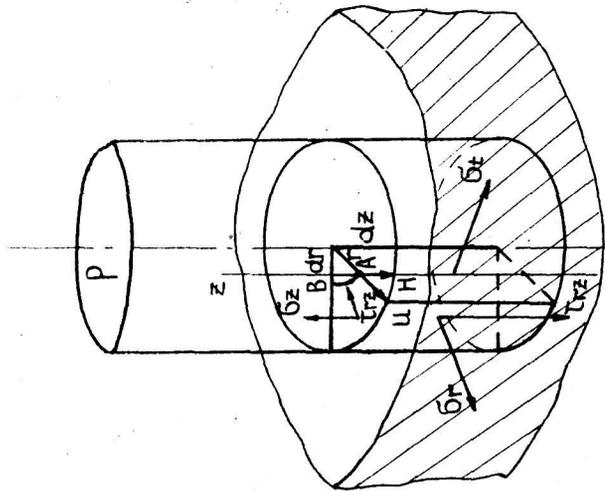
При анализе возможных механизмов разрушения материалов высокоскоростной струей жидкости установлено, что описать его одной моделью практически невозможно. Это связано с многогранностью и сложностью всего технологического процесса.

Аналитические исследования проведены с целью разработки тематической модели резания материалов струей жидкости и определения соотношения между параметрами непрерывной высокоскоростной струи жидкости, свойствами материала и скоростью подачи.

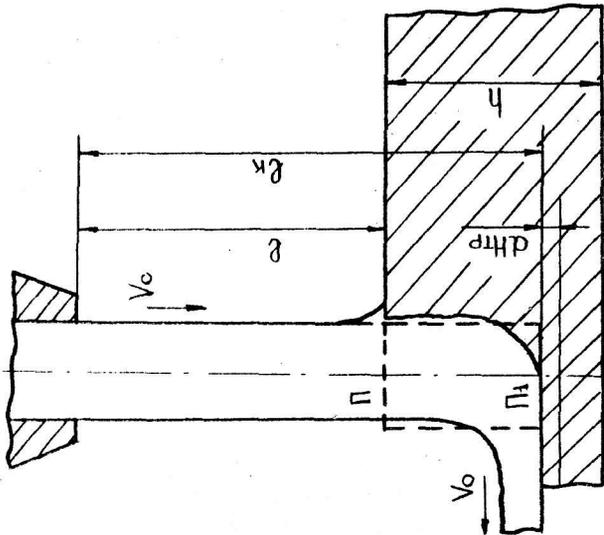
Для исследования напряженного состояния материала под воздействием высокоскоростной струи жидкости выделен объем из области разрушения с одной вертикально движущейся поверхностью  $\Pi$  (рис. 1а). Так как глубина проникания струи в материал за малый интервал времени значительно больше горизонтального перемещения образца, обусловленного скоростью подачи, то контактную поверхность можно условно считать неподвижной в горизонтальной плоскости.

Для упрощения физической модели процесс разрушения разделили на две стадии: первая характеризуется деформацией поверхности и уплотнением материала в центре воздействия струи без потерь массы материала, вторая - растяжением по краю нагруженной области с образованием, слиянием микротрещин и интенсивным уносом материала в виде стружки.

Для определения глубины внедрения струи в материал и упругой компоненты  $\Pi_{\text{уп}}$  из объема материала, на который воздействует струя, выделен элемент с точкой  $A$ , нагруженной напряжением  $\sigma$  (рис. 1,б). Вертикальная составляющая  $\Pi$  ее перемещения



б)



а)

Рис. 1. Схемы: а - взаимодействия высокоскоростной струи жидкости с преградой;

б - напряженного состояния материала под воздействием высокоскоростной струи

в центре воздействия определена по формуле:

$$H = H_0 = \frac{(1-\nu) \cdot p \cdot r_c}{G} \quad (1)$$

где  $\nu$  - коэффициент Пуассона;  $p$  - давление жидкости;  $G$  - модуль сдвига;  $r_c$  - радиус струи;

а величина упругого перемещения по формуле:

$$H_{уп} = \frac{(1-\nu) \cdot P_n}{\pi r_c \cdot G} \quad (2)$$

где  $P_n$  - нормальная сила воздействия струи на материал, равная

$$P_n = \frac{\pi r_c^2 \cdot \rho_{ж} \cdot C_{ж} \cdot V_c}{1 + \rho_{ж} \cdot C_{ж} / \rho_m \cdot C_m} \quad (3)$$

где  $\rho_{ж}$  и  $C_{ж}$  - соответственно плотность жидкости и скорость звука в ней;  $V_c$  - скорость струи жидкости непосредственно перед поверхностью преграды.

Следовательно:

$$H_{уп} = \frac{r_c \cdot \rho_{ж} \cdot C_{ж} \cdot V_c}{1 + \rho_{ж} \cdot C_{ж} / \rho_m \cdot C_m} \cdot \frac{1-\nu}{G} \quad (4)$$

Используя решение задачи для случая упругопластического внедрения жесткого индентора в деформируемое полупространство, получили формулу для определения времени упругого контактирования струи с материалом:

$$t_1 = 1.42 \frac{H_{уп}}{V_c} \quad (5)$$

На второй стадии происходит интенсивное образование и развитие радиальных микротрещин с последующим слиянием, отрывом микрочастиц и уносом их из зоны резания потоком жидкости. Раз-

рушение будет происходить на контактной площадке, где динамическое давление струи  $P$  превышает прочность материала  $T_m$ . Текущий радиус этой площадки назван эффективным и обозначен  $r$ . Диаметр струи  $d$  на основном участке контакта струи с материалом (рис.2) определили уравнением:

$$d = 0,335 \sqrt{2r_c \cdot \ell_k} \quad (6)$$

где  $\ell_k$  - расстояние от сопла до контактной площадки (рис.1,а).

Динамическое давление на оси струи в основной области определяется из уравнения:

$$P_c = P_1 \frac{\ell_n}{\ell_k} \quad (7)$$

где  $\ell_n$  - длина начального участка струи;  $P_1$  - динамическое давление струи на границе упругой и пластической зон разрушения.

Динамическое давление  $P_1$  составляет

$$P_1 = P_0 - \Delta P_1 \quad (8)$$

где  $P_0$  - динамическое давление струи на выходе из сопла;  $\Delta P_1$  - потери давления на деформацию на первой стадии разрушения:

$$\Delta P_1 = \frac{\rho_{ж} \cdot V_c^2}{2} - \frac{\rho_{ж} \cdot V_1^2}{2} = \frac{\rho_{ж} \cdot V_c^2}{2} (1 - 0,7^2) = \frac{1}{2} P_0 \quad (9)$$

где  $V_1$  - скорость проникания струи в материал на первой стадии.

Используя уравнение (9), получили:

$$P_1 = \frac{P_0}{2} \quad (10)$$

Выполнив ряд преобразований, получили выражение для определения эффективного радиуса струи:

$$r = \frac{0,335}{\sqrt{2}} \sqrt{r_c \cdot \ell_k} \left(1 - \sqrt{\frac{T_m \cdot \ell_k}{P_1 \cdot \ell_n}}\right)^{\frac{2}{3}} \quad (11)$$

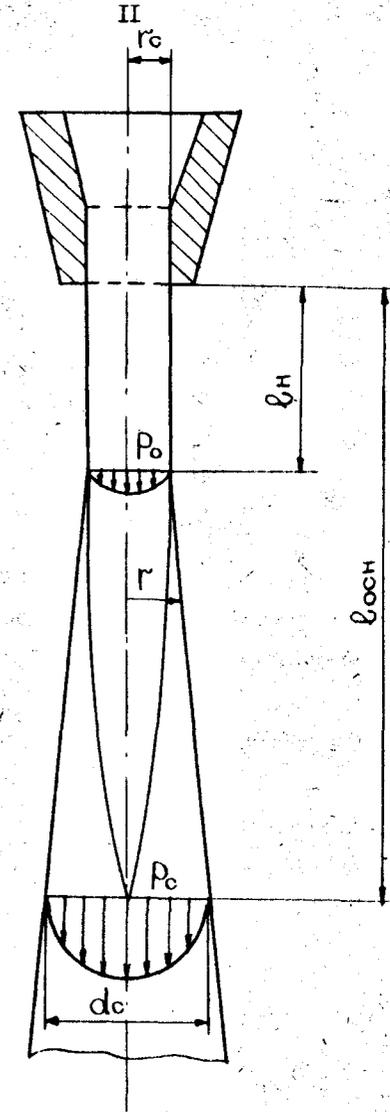


Рис.2. Схема расширения высокоскоростной струи жидкости в воздухе

Динамическое давление  $P_э$ , создаваемое струей радиуса  $r$ , соответствует эквивалентной гидродинамической силе  $P_H$ , разрушающей материал. Выразив эту силу через среднее динамическое давление, действующее на площадке, ограниченной эффективным радиусом струи, получили:

$$P_H = \pi r^2 \cdot P_э \quad (12)$$

в среднее динамическое давление, создаваемое эффективной частью струи, выразится уравнением:

$$P_э = 2 P_1 \left( \frac{\rho_n}{\rho_k} \right) \left[ 0,5 - 0,57 \left( 1 - \sqrt{\frac{T_M \cdot \rho_k}{P_1 \cdot \rho_n}} \right) + 0,2 \left( 1 - \sqrt{\frac{T_M \cdot \rho_k}{P_1 \cdot \rho_n}} \right)^2 \right] \quad (13)$$

Потери давления режущей струи на трение о боковые стенки выреза определили для полуминициального профиля реза, воспользовавшись уравнением гидравлики для потока жидкости в цилиндрической трубе:

$$\Delta p_2 = \lambda_1 \frac{h - H_{yn}}{2r} \cdot \frac{\rho \cdot V_1^2}{2} = \frac{\lambda_1}{4} \rho_0 \frac{h - H_{yn}}{r} \quad (14)$$

где  $\lambda_1$  - коэффициент гидравлического сопротивления;  $h$  - толщина разрезаемого материала.

Приравняв потери кинетической энергии струи к работе гидродинамических сил по преодолению сил сопротивления материала на участке  $dH_{TP}$  (рис. 1, а), получили:

$$\frac{dm (V_c^2 - V_{кр}^2)}{2} = \int_{\rho_k \cdot dH_{TP}}^{\rho_n} P_k \cdot dH_{TP} \quad (15)$$

где  $V_{кр}$  - критическая скорость струи;  $dH_{TP}$  - глубина залегания радиальных трещин;  $P$  - сила, определяемая контактным давлением.

После подстановки и преобразования выражения (15), нашли время  $dt$ , которое потребуется для разрушения материала толщиной  $dH_{TP}$ :

$$dt = \frac{T_M \cdot r^2 \cdot dH_{TP}}{(P_э - T_M) \cdot r_c^2 \cdot V_c} \quad (16)$$

Из уравнения (16) с учетом всех потерь и выполненных подстановок, определяется время проникания струи в материал на второй стадии разрушения. Выразив его через скорость, получили:

$$t_2 = 1,42 \cdot 10^{-2} \frac{T_M \cdot \alpha^{4/3} (h - H_{yn}) (l + h)^2}{V_c^3 \rho_{ж} r_c [\rho_n \beta - \lambda_1 (h - H_{yn})] \alpha^{3/2} \sqrt{\frac{l+h}{r_c} - \frac{(l+h) \cdot T_M}{\rho_0}}} \quad (17)$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  - безразмерные параметры.

Время сквозного прорезания материала толщиной  $h$  получили, суммируя значения времени на первой и второй стадии разрушения

$$t = 1,42 \cdot \frac{H_{yn}}{V_c} + 1,42 \cdot 10^{-2} \frac{T_M \cdot \alpha^{4/3} (h - H_{yn}) (l + h)^2}{V_c^3 \rho_{ж} r_c [\rho_n \beta - \lambda_1 (h - H_{yn})] \alpha^{3/2} \sqrt{\frac{l+h}{r_c} - \frac{(l+h) \cdot T_M}{\rho_0}}} \quad (18)$$

Скорость подачи материала аппроксимируется последовательностью ступеней (размеры которых соответствуют диаметру сопла) за период времени, требуемый для сквозного прорезания материала. Тогда за период времени  $t$  материал перемещается в горизонтальном направлении на расстояние  $2r_c$ ,

а скорость подачи:

$$S_n = \frac{2r_c}{t} = \frac{2\rho_0^{3/2} \cdot \rho_{ж}^{1/2} \cdot r_c^2 [\rho_n \beta - \lambda_1 (h - H_{yn})] \cdot \alpha^{3/2} \sqrt{\frac{l+h}{r_c}}}{\rho_0 \cdot H_{yn} \cdot r_c [\rho_n \beta - \lambda_1 (h - H_{yn})] \alpha^{3/2} \sqrt{\frac{l+h}{r_c}} - \frac{(l+h) \cdot T_M}{\rho_0}} \rightarrow \frac{(l+h) \cdot T_M}{\rho_0} + T_M \cdot \alpha^{4/3} (h - H_{yn}) (l + h)^2 \cdot 10^3 \quad (19)$$

Таким образом, изменяя величину давления рабочей жидкости или диаметр сопла, то есть изменяя величину подаваемой энергии на единицу поверхности материала, можно в каждом конкретном случае рассчитать время обработки материала, а следовательно и производительность гидроустановки.

В третьей главе приведено описание исследования напряженного состояния материалов при воздействии высокоскоростной струи жидкости методом фотоупругости; описана методика определения напряжений в любой точке нагруженной области; приведен анализ картины разрушения материалов, полученных при проведении исследований.

Используя эффект двойного лучепреломления в оптически чувствительных материалах при приложении нагрузки, в частности, давления высокоскоростной струи жидкости, получена картина полос, которая интерпретируется как поле напряжений (рис.3). Величины главных напряжений  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  линейно связаны с главными показателями преломления. Используя закон фотоупругости

$$\sigma_1 - \sigma_2 = m \cdot \sigma_0 \quad (20)$$

где  $\sigma_1 - \sigma_2$  - разность главных напряжений полосы картины;  $m$  - номер полосы картины;  $\sigma_0$  - цена полосы модели определены величины напряжений в точках полос картины и в центре воздействия струи по двум сечениям. Полученные максимальные величины напряжений в материале, расположенном в центре воздействия струи, превышают предел прочности материала на разрыв и вызывают его разрушение. При этом наблюдалось два механизма разрушения. Так, в материале на основе эпоксидной смолы происходило хрупкое разрушение со скалыванием микрочастиц в виде "ленестков", а в материале на основе уретанового каучука на первой ста-

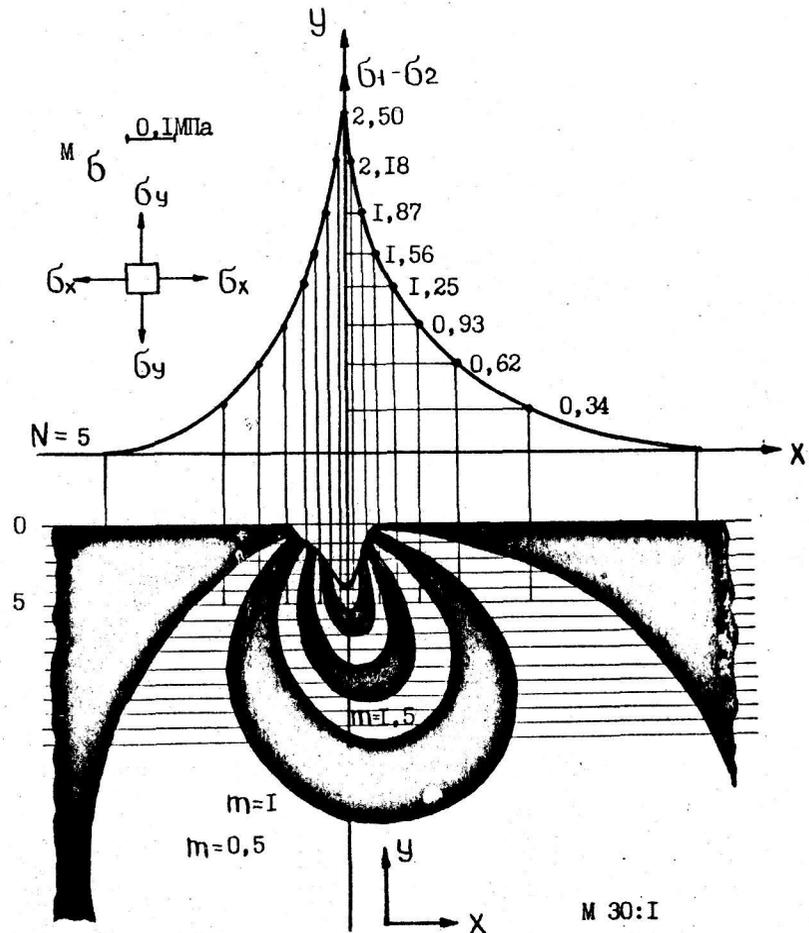


Рис.3. Распределение напряжений  $\sigma_1 - \sigma_2$  вдоль рассматриваемого сечения 5

При силовом воздействии наблюдалась упругая деформация с последующим образованием микротрещин. Напряжения перемещались с поверхности материала в вершины образовавшихся трещин и способствовали их разрастанию, слиянию и отрыву микрочастиц в виде стружки.

Полученные картины разрушения материалов подтвердили предположение о том, что зарождение трещин начинается на границе упругой и пластической зон, где возникают значительные растягивающие напряжения.

Анализ полученных картин распределения напряжений и картин разрушения материалов при воздействии высокоскоростной струи жидкости показал, что напряженное состояние материала подобно напряженному состоянию его при воздействии на полубесконечную поверхность сосредоточенной силы. Используя решение задачи о воздействии сосредоточенной силы на поверхность полубесконечного тела, определены величины напряжений  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  в нагруженной высокоскоростной струей жидкости области материала. При этом величины напряжений, полученные расчетным путем и экспериментально с помощью метода фотоупругости, отличаются не более чем на 15%, что подтверждает возможность использования методов прикладной теории упругости для расчета напряженного состояния материала при гидрорезании.

В четвертой главе изложены результаты экспериментальных исследований по определению рациональных параметров гидрорезной установки; описана зависимость производительности процесса гидрорезания от конструктивных параметров установки и свойств материалов: давления жидкости  $P$ ; диаметра струеформирующего сопла  $d_c$ ; расстояния  $l$  "сопло-материал"; угла  $\lambda$  наклона струи к поверхности материала; толщины  $h$  и прочностных  $\sigma_{пр}$

характеристик материала.

Исследования процесса гидрорезания проводились на разработанной экспериментальной установке, обеспечивающей варьирование исследуемых параметров. Производительность процесса гидрорезания характеризовалась скоростью подачи  $S_n$  материала относительно режущей струи жидкости.

Предварительные эксперименты позволили определить степень влияния исследуемых факторов на скорость подачи материала и установить интервалы варьирования. Так, в качестве варьируемых факторов выбраны те, которые зависят от конструктивных и технологических особенностей гидрорезной установки, то есть: давление жидкости; диаметр сопла; расстояние "сопло-материал"; угол наклона струи. Факторы, зависящие от геометрических размеров и физико-механических свойств материалов, в процессе раскрытия одного вида материала практически не менялись, поэтому в многофакторном эксперименте они не учитывались.

После проведения экспериментальных исследований и обработки данных на ЭВМ ЕС-1022, получены регрессионные модели, связывающие скорость подачи материала с конструктивными и технологическими параметрами установки, для трех видов исследуемых материалов:

для резины микропористой

$$S_n = 13523,25 + 35,82 P + 118849 d_c + 39,69 l + 86,23 \lambda + 74,4 P \cdot d_c - 0,122 P^2 - 510,80 d_c^2 - 1,919 l^2 - 0,475 \lambda^2 \quad (21)$$

для кожволонна

$$S_n = 13620,63 + 31,64 P + 103459 d_c + 67,29 l + 115,56 \lambda + 94,9 P \cdot d_c - 0,14285 P^2 - 443,60 d_c^2 - 2,104 l^2 - 0,629 \lambda^2 \quad (22)$$

для пленки ПВХ

$$S_n = 19132,33 + 47,734 P + 202410 d_c + 52,34 \ell + 101,44 \lambda + 75,2 P \cdot d_c - 0,18705 P^2 - 841,90 d_c^2 - 1,56 \ell^2 - 0,5272 \lambda^2 \quad (23)$$

Анализ уравнений регрессии показал, что во всех случаях наибольшее влияние на производительность процесса оказывает давление рабочей жидкости  $P$ , несколько меньше - диаметр сопла и расстояние  $\ell$  "сопло-материал", наименьшее из исследуемых факторов в пределах варьирования оказывает угол  $\lambda$  наклона струи относительно обрабатываемого материала.

В результате экспериментальных исследований установлено, что для микропористой резины толщиной 15 мм величина подачи до 2 м/мин достигается при давлении жидкости  $P = 160$  МПа; диаметре сопла  $d_c = 0,13$  мм; расстоянии "сопло-материал"  $\ell = 15$  мм и угле наклона струи  $\lambda = 90^\circ$ . Для кожволона толщиной 5 мм и пленки ПВХ толщиной 5 мм (10 слоев) величина подачи до 2 м/мин достигается при  $P = 130$  МПа;  $d_c = 0,13$  мм;  $\ell = 15$  мм и  $\lambda = 90^\circ$ .

Сопоставление экспериментальных значений величины подачи материала с результатами расчетов по аналитической зависимости (19) показало, что различие зависимости величины подачи от давления жидкости (рис.4) и диаметра сопла (рис.5) не превышает 10%, что допустимо в инженерных расчетах. Следовательно, справедливость математической модели, положенной в основу аналитических расчетов, подтверждается экспериментально, а формула (19) может использоваться для определения конструктивных параметров гидрорезного оборудования в соответствии с предъявляемыми требованиями к технологическим параметрам.

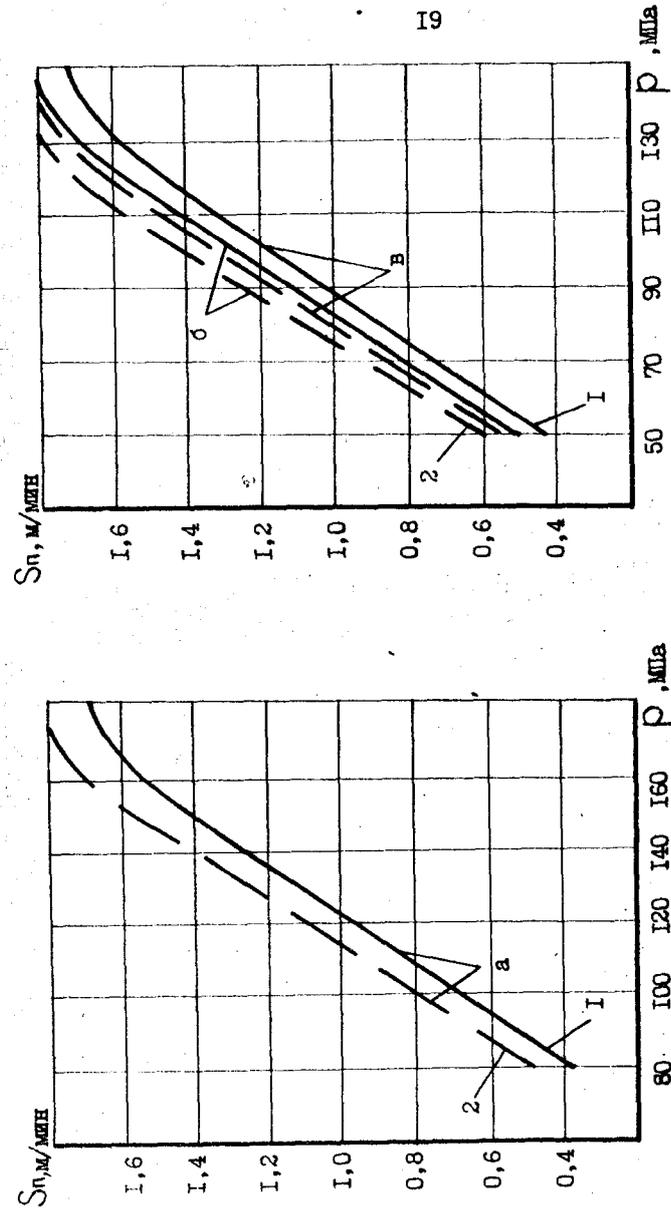


Рис.4. Зависимость изменения величины подачи  $S_n$  материалов от давления  $P$  жидкости перед соплом: микропористая резина - а, кожволон - б, пленка ПВХ - в; 1 — регрессионная, 2 — аналитическая

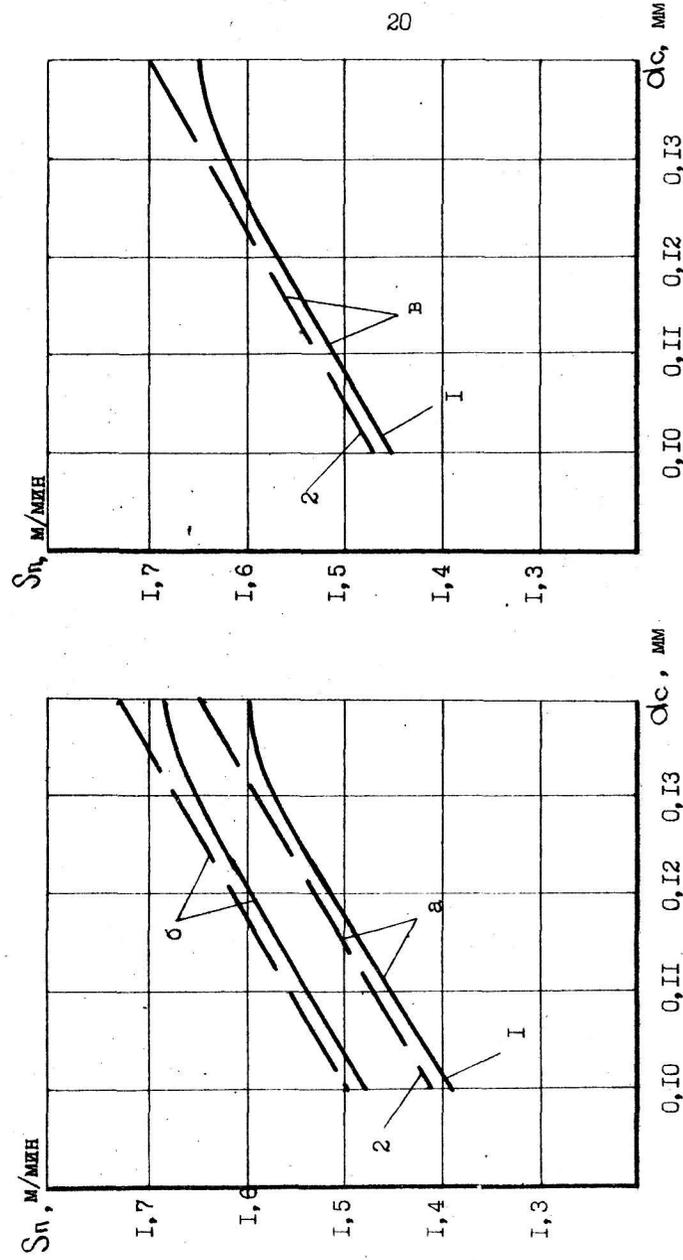


Рис. 5. Зависимость изменения величины подачи  $S_p$  материалов от диаметра сопла  $D_c$ : микропористая резина - а, кожелон - б, пленка ПВХ - в; I — регрессионная, 2 — — — — — аналитическая

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАБОТЕ

1. В результате проведенного обзора способов раскроя неметаллических материалов установлена целесообразность проведения научно-исследовательских работ по разработке в раскройном производстве легкой промышленности гидрорезного оборудования с использованием энергии высокоскоростной струи жидкости, истекающей под большим давлением из сопла малого диаметра.

2. Применение гидрорезного оборудования в раскройно-заготовительных цехах позволит более экономно использовать материалы, сократить затраты на инструментальную оснастку, улучшить условия работы обслуживающего персонала, повысить производительность процесса раскроя.

3. Специфичность раскройного производства легкой промышленности обусловлена большим количеством типоразмеров заготовок, сложностью форм вырезаемых деталей, широким диапазоном используемых материалов, поэтому применение гидрорезного оборудования, обработка деталей на котором производится по контуру, перспективно с точки зрения возможности обеспечения быстрой переналадки производства по программе, задаваемой ЭВМ.

4. Проведенные аналитические исследования позволили предложить модель разрушения материалов высокоскоростной гидроструей, согласно которой при воздействии струи на материал в месте контакта возникает деформация и в зоне наибольших растягивающих и касательных напряжений зарождаются микротрещины. В дальнейшем разрушение материала происходит по механизму трещинообразования.

5. На основе предложенной модели получена аналитическая зависимость, отражающая взаимосвязь основных конструктивных парамет-

ров установки с прочностными характеристиками разрезаемого материала и производительностью процесса гидрорезания.

6. Применение метода фотоупругости для исследования процесса гидрорезания материалов показало, что напряженное состояние материала в зоне резания подобно напряженному состоянию при воздействии сосредоточенной силы на полубесконечную поверхность.

7. Максимальные напряжения в зоне воздействия струи, рассчитанные с использованием теории упругости (задача Фламена) и полученные экспериментально методом фотоупругости, практически совпадают, что подтверждает возможность применения методов прикладной теории упругости для расчета напряженного состояния материала под воздействием высокоскоростной струи жидкости.

8. Многофакторный эксперимент позволил решить задачу установления взаимосвязи между параметрами установки и ее производительностью. Доказано, что в наибольшей степени на производительность установки влияет давление рабочей жидкости, диаметр струеформирующего сопла, а также расстояние от среза сопла к поверхности материала.

9. Практическое применение предложенных математических и экспериментальных зависимостей позволяет проектировать гидрорезное оборудование с заранее заданными параметрами, которое может найти применение в легкой промышленности для разрезания многих видов неметаллических материалов.

10. Ожидаемый экономический эффект от внедрения гидрорезной установки на обувном предприятии составит 7963 рубля в год.

Основные положения и результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Петко И.В., Кедровский Б.Г. Моделирование процесса резания неметаллических материалов гидроструей высокого давления // Изв.

вузов. Технология легкой промышленности. - № 4, 1987. - С.127-131.

2. Кедровский Б.Г., Петко И.В. Экспериментальное исследование производительности процесса раскроя некоторых полимерных материалов струей жидкости высокого давления // Изв. вузов. Технология легкой промышленности. - № 6, 1987. - С.124-126.

3. Кедровский Б.Г., Кляшцов Ю.В. Перспективы использования процесса гидрорезания // Легкая промышленность. - № 3, 1988. - С.20-21.

4. Петко И.В., Беляев С.В., Кедровский Б.Г., Кляшцов Ю.В. Разработка и исследование установки для раскроя материалов гидроструей высокого давления // ЦНИИБнт. - М., 1987 - 7 с. - Деп. в ЦЕНТИ МБОН РСФСР 25.08.1988, № 171 - 88.

5. Петко И.В., Беляев С.В., Кедровский Б.Г., Кляшцов Ю.В. Исследование оптимальных параметров сопел для формирования режущей струи жидкости // ЦНИИБнт. - М., 1988. - 8 с. - Деп. в ЦЕНТИ МБОН РСФСР 25.08.1988, № 161-88.

6. А.с. 1336325, МКИ<sup>4</sup> В05 В1/02. Сопло для получения режущей струи жидкости. И.В.Петко, С.В.Беляев, Б.Г.Кедровский, К.К.Кудрявцев - СССР /-№ 3890415/28-27; Заявл.23.04.85; Опубл.07.09.87. Бюл. № 33. - С.270 (ДСП).

7. А.с. 1409420 СССР, МКИ<sup>4</sup> В23 031/00. Насадка сопла /С.В.Беляев, Б.Г.Кедровский, Ю.В.Кляшцов, И.В.Петко, Л.Н.Янкин, К.К.Кудрявцев - СССР /-№ 4128679/31-27; Заявл.15.08.86; Опубл.15.07.88, Бюл. № 26. - С.54.

8. А.с. 1412892 СССР, МКИ<sup>4</sup> В23 031/00. Сопловой насадок /С.В.Беляев, Б.Г.Кедровский, Ю.В.Кляшцов, И.В.Петко, К.К.Кудрявцев, А.А.Рябовол - СССР /-№ 4129079/25-27; Заявл.02.10.86. Опубл.30.07.88, Бюл. № 28. - С.64.

9.А.с.1344660 СССР, МКИ<sup>4</sup> В23 031/00. Способ резания высокоскоростной струей жидкости /С.В.Беляев, Б.Г.Кедровский, Ю.В.Клапцов, И.В.Петко, В.А.Слободянюк - СССР /№206762/28-27; Заявл. 09.03.87; Опубл.30.10.88, Бюл.№ 40. - С.58.

10.Кедровский Б.Г. Исследование технологических параметров процесса гидрорезания: Тезисы докладов на областной научно-практической конференции, посвященной 80-летию со дня рождения академика Верещагина Л.Ф. "Повышение роли молодых ученых и специалистов в ускорении научно-технического прогресса", Херсон, 1990. - С.11.



Подп. к печ. 6.09.90 БФ — Формат 60x84 Бумага Олс Вл.  
Печ. офс. Усл. печ. л. 1,4 Уч.-изд. л. 1,0 Тираж 100  
Зак. 0-4124. Бесплатно.

Киевская книжная типография научной книги. Киев, Рецина, 4.