

2. При ДСВ втулок с фланцами из металлов с разными физико-механическими свойствами в условиях сжатия с термоциклированием появляются радиальные, окружные и касательные напряжения, существенно повышающие уровень осевых и эквивалентных напряжений и их локализацию в зоне стыка.

3. Объёмное напряжённое состояние и локализация напряжений, а следовательно и пластических деформаций обусловлены различием КЛТР и в меньшей мере жёсткостей соединяемых материалов.

Список литературы

1. Казаков Н.Ф. Диффузионная сварка материалов. – Москва: Машиностроение, 1976. – 312 с.
2. Матвиенко М.В. Моделирование полей главных напряжений при диффузионной сварке разнородных материалов // Зб. наук. праць НУК. – Миколаїв: НУК, №4, 2007. – С.45–50.
3. Квасницький В.В., Ермолаєв Г.В., Матвиєнко М.В. Закономерности формирования напряженно-деформированного состояния при диффузионной сварке разнородных металлов применительно к узлам “цилиндр – цилиндр” и “втулка – втулка” // Зб. наук. праць НУК. – Миколаїв: НУК, №5, 2007. – С.57–65.
4. Патент на корисну модель № 23414 Спосіб дифузійного зварювання матеріалів// В.В. Квасницький, М.В. Матвиєнко, Г.В. Ермолаєв та ін. Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова. UA. В23К 20/14. Заявл. 25.12.2006. Опубл. 25.05.2007. Бюл. №7.
5. Квасницький В.В. О кинетике образования соединения при диффузионной сварке в вакууме нержавеющей стали с армо – железом //Зб. наук. праць НУК. – Миколаїв: НУК, №4, 2007. – С.51–57.
6. Унксов Е.П. Инженерные методы расчёта усилий при обработке металлов давлением. – М.: Машгиз, 1955. – 280 с.

УДК 625.5

**А.О.Семинский канд.техн.наук, Н.В.Семинская ас.
НТУ Украины “Киевский политехнический институт” г.Киев, Украина**

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ СТРУЕФОРМИРУЮЩЕЙ НАСАДКИ

В работе представлен анализ исследований факторов, влияющих на формирование компактной струй высокого давления, а так же программное обеспечение, позволяющие моделировать рациональный профиль насадки.

In paper the analysis of the research of the parameters which exert influence on high pressure compact jet forming and the software for modeling of rational profile of nozzle are presented.

Введение

В настоящее время одним из основных приоритетов развития промышленных технологий обработки материалов является ресурсо- и энергосбережение. Проблема экономии носителей особенно остро стоит в горной промышленности. С этой целью ведутся работы по изучению и внедрению гидроструйных технологий с использованием струй высокого давления (до 250 МПа) для разрушения горных пород. Кроме того, что использование гидроструйных рабочих органов добывающего оборудования менее затратно, по сравнению с использованием механических рабочих

органов, применение струй высокого давления позволяет разрушать породы прочностью свыше 5 по шкале Протодьконова. Использование для этих целей механических рабочих органов невозможно, поэтому на шахтах, традиционно, применяется буро-взрывной способ, являющийся небезопасным и экономически нецелесообразным [4].

При использовании струй высокого давления основной задачей, является формирование компактной струи с начальным участком большой протяженности. Для ее решения необходимо определить факторы и степень влияния параметров конструкции струеформирующего устройства (насадки) на энергетические характеристики струи.

Анализ существующих исследований

На основании литературных данных [4, 2, 11] определено, что компактность и длина начального участка струи зависят как от параметров конструкции профиля насадки, так и от материала и качества ее изготовления.

В качестве материала для изготовления насадок целесообразно использовать легированные стали, вольфрамокобальтовые, молибденовые, износостойкие твердые сплавы, синтетические алмазы, сапфиры, корунд и др. Время работы насадок, изготовленных из сталей и молибденовых сплавов, не превышает 20...120 минут, из твердых сплавов – 2...20 часов. Наибольшее время работы (250...500 часов) имеют насадки, изготовленные из сапфира или алмаза.

Высота выступов шероховатости в канале насадка не должна превышать $R_a = 0,32$ мкм, так как неровности внутренней поверхности насадка способствуют разрушению пограничного слоя, толщина которого в потоках жидкости высокого давления незначительна [1, 2].

Рациональная конструкция профиля насадки позволяет обеспечивать плавное нарастание скорости потока, выравнивать эпюру скоростей потока жидкости и формировать устойчивый пограничный слой. Это способствует получению на выходе из насадки компактной струи с высокими энергетическими характеристиками.

Выполненные ранее исследования [3, 4, 6, 7] позволили установить, что наиболее рациональной формой профиля проточной части насадки является конусно-цилиндрическая. Применение насадок такой формы позволяет увеличить кинетическую энергию потока за счет плавного сужения канала конической формы, а так же обеспечить ламинаризацию пограничного слоя на входе в цилиндрический участок в результате увеличения абсолютного значения градиента давления. Пульсации поперечной составляющей скорости и других турбулентных возмущений, которые возникают в процессе разгона потока в конфузоре, частично осредняются и рассеиваются при прохождении потоком цилиндрического участка рациональной длины.

При конструировании профиля насадки необходимо учитывать величину подводимого давления, а так же придерживаться соотношения ее геометрических

параметров (угла конусности α , длин конической и цилиндрической частей, диаметров входа и выхода).

В работах [8, 9, 4, 10, 11] приведены результаты исследований, согласно которым, при подводимом давлении до 50 МПа рационально использовать одноступенчатые насадки с углом конусности $\alpha = 10 \dots 14$ и длиной цилиндрической части $l_{ц} = 4d_0$. Такое соотношение параметров снижает вероятность образования вихрей в потоке. При увеличении подводимого давления до 100 МПа и выше длина цилиндрической части насадки должна находиться в пределах $l_{ц} = (2 \dots 7) d_0$, а угол α необходимо уменьшать до 3° . Таким образом, рациональный профиль насадок для формирования струй высокого давления имеет меньший угол входа и более длинный цилиндрический участок, чем в случае насадок, применяемых при формировании струй с давлением до 50 МПа.

Постановка и решение задачи

Исходя из проведенного анализа, следует, что одним из основных факторов оказывающих существенное влияние на энергетические характеристики струи, является форма профиля проточной части насадки и соотношение ее геометрических параметров.

Соответственно, целью настоящей публикации является проведение исследований, направленных на разработку рационального профиля струеформирующей насадки применение, которой будет способствовать обеспечению эффективного преобразования подводимой от силового устройства потенциальной энергии в кинетическую энергию струи. Это позволит снизить энергоемкость процесса разрушения твердого материала, повысить компактность и разрушающую способность струи.

Так как в настоящее время в промышленности широко используются струи с рабочим давлением свыше 100 МПа, при конструировании профиля проточной части насадки возникает необходимость в проведении дополнительных исследований.

Выбор рациональных параметров подобной насадки, основан на моделировании профиля ее проточной части и получении зависимости изменения диаметра и скорости по длине канала с учетом сжимаемости жидкости, влияние которой существенно при величинах подводимого давления более 50 МПа.

Решение поставленной задачи рассмотрено в гидравлическом приближении, принимая движение жидкости одномерным.

В основу модели положен интеграл Эйлера дифференциального уравнения движения идеальной жидкости:

$$P + \Phi + \frac{u_{cp}^2}{2} = C_m, \quad (1)$$

где $P = \int \frac{dp}{\rho(p)}$ – функция давления, выражающая потенциал объемного действия сил давления в потоке, Φ – гравитационная составляющая, $u_{cp}^2/2$ – удельная кинетическая энергия потока, C_m – константа.

При решении уравнения пренебрегаем гравитационной составляющей Φ , ввиду ее малости при высоких значениях давления, тогда:

$$\int \frac{dp}{\rho(p)} + \frac{u_{cp}^2}{2} = C_m, \quad (2)$$

Для учета сжимаемости воспользуемся уравнением состояния Коула:

$$\frac{p + B_3}{p_{am} + B_3} = \left(\frac{\rho}{\rho_{am}} \right)^n, \quad (3)$$

где B_3 – энтропийная постоянная, n – показатель политропы.

При использовании в качестве рабочей жидкости воды и подводимом давлении менее 10 ГПа, в диапазоне температур от 0 до 60°C, параметры уравнения (3) приблизительно постоянны, и их значения принимаются $B_3=300$ МПа; $n=7$.

Выразив из (3) плотность и подставив полученное выражение в (2), получим:

$$\frac{u_{cp}^2}{2} + \frac{1}{\rho_{am}} (p_{am} + B_3)^{1/n} \int (p + B_3)^{-1/n} dp = C_m. \quad (4)$$

Проинтегрировав в (4) функцию давления, запишем:

$$\frac{u_{cp}^2}{2} + \frac{(p_{am} + B_3)^{1/n}}{\rho_{am}} (p + B_3)^{n-1/n} \frac{n}{n-1} = C_m. \quad (5)$$

Константу C_m в правой части уравнения (5) определим через условные «параметры торможения». Пользуясь некоторой аналогией с газодинамической трактовкой этих параметров. Допущение о гипотетическом торможении струи постоянного поперечного сечения (которое используется в классической гидравлике) дает возможность использовать теорему Эйлера об изменении количества движения жидкости для определения условного давления торможения.

Пусть $u_{cp} = 0$, тогда $p = p_0$, и

$$C_m = \frac{(p_{am} + B_3)^{1/n}}{\rho_{am}} (p_0 + B_3)^{n-1/n} \frac{n}{n-1}. \quad (6)$$

Подставляя полученное выражение в (5) окончательно получим:

$$\frac{u_{cp}^2}{2} + \frac{(p_{am} + B_3)^{1/n}}{\rho_{am}} \frac{n}{n-1} \left[(p + B_3)^{n-1/n} - (p_0 + B_3)^{n-1/n} \right] = 0 \quad (7)$$

Для определения геометрических параметров профиля насадки и его формы используем уравнения неразрывности [4, 6].

С целью автоматизации проведения расчетов параметров насадка и потока по представленным зависимостям, а также построения графических зависимостей

разработана программа на языке *Delphi*, которая позволяет осуществлять профилирование проточной части канала насадки и определять изменение средней скорости по сечению канала с учетом величины подводимого давления и сжимаемости рабочей жидкости для коническо-цилиндрических насадок с произвольным количеством ступеней. Диалоговые окна программы приведены на рис. 1 и рис. 2.

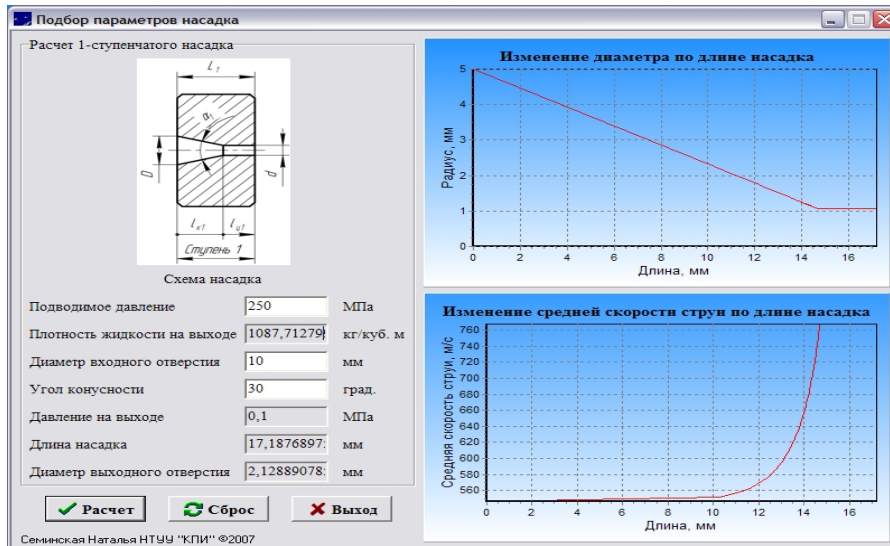


Рис. 1. Диалоговое окно программы в случае расчета одноступенчатой коническо-цилиндрической насадки.

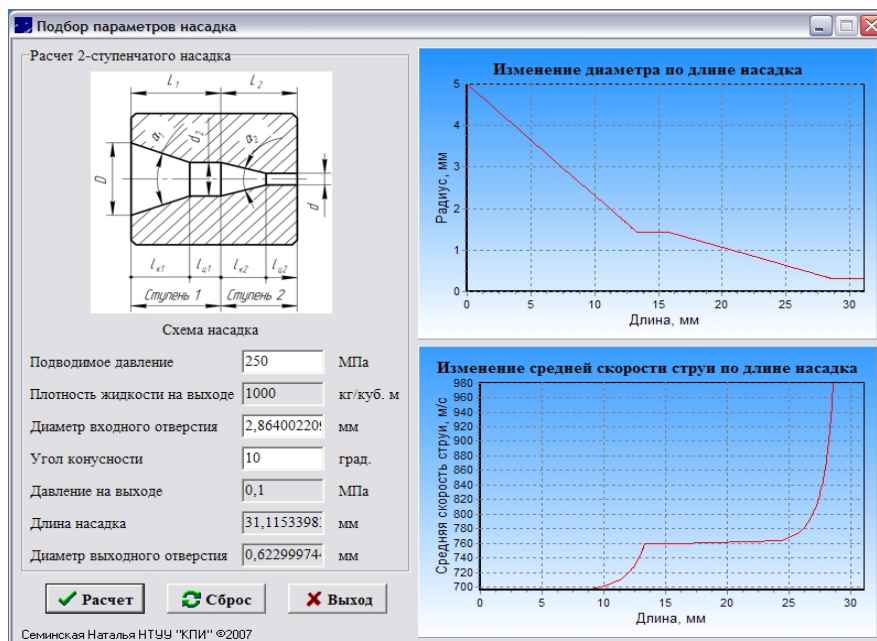


Рис. 2. Диалоговое окно программы в случае расчета двухступенчатой коническо-цилиндрической насадки.

На основании, проведенных расчетов с использованием разработанной программы определено, что наиболее рациональным при давлениях свыше 100 МПа, является использование двухступенчатых насадок с геометрическими параметрами, соотношение которых приведено в табл. 1.

Рекомендуемые параметры насадки

№ ступени	Наименование параметра	Определение параметра
	Форма профиля	коническо - цилиндрическая, двухступенчатая
1	Угол конусности	$\alpha_1 = 30...40^\circ$
	Длина цилиндрической части	$l_{ц1} = (1,5...2)d_0$
	Диаметр на входе	$D = (6...10)d_0$
	Диаметр на выходе	$d_2 = 2,5d_0$
2	Угол конусности	$\alpha_2 = 10...12^\circ$
	Длина цилиндрической части	$l_{ц2} = 4d_0$
	Рекомендуемый диаметр на выходе из насадки	$d_0 = 0,6 \text{ мм}$

Моделирование разгонных характеристик потока в одно- и двухступенчатом канале насадки позволяет сделать вывод, что двухступенчатый профиль, за счет увеличения времени преобразования энергии, обеспечивает более плавный разгон потока, а, следовательно, создает условия для повышения гидродинамической устойчивости формируемых струй высокого давления и увеличения длины начального участка. Разделение разгонного участка насадки на две ступени выполняется для стабилизации потока, в соответствии с принципом ступенчатой релаксации накопленных турбулентных возмущений потока жидкости, на цилиндрических участках рассматриваемой насадки.

Предлагаемая конструкция двухступенчатой насадки приведена на рис. 3.

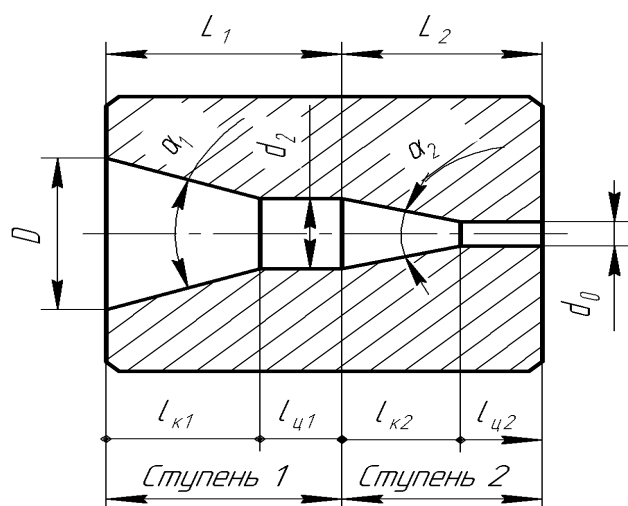


Рис. 3. Конструкция двухступенчатого насадка: $l_{к1}$ и $l_{к2}$ – длины конических частей соответственно первой и второй ступеней насадка; $l_{ц1}$ и $l_{ц2}$ – длины цилиндрических частей насадка; d_2 и d_0 – диаметры насадка соответственно на выходе первой и второй ступеней, α_1 и α_2 – углы конусности.

Рассмотрим гидродинамические процессы, происходящие на этапах формирования струи высокого давления в насадке, используя графические зависимости $l_n = f(d)$ и $l_n = f(V_{cp})$ (рис. 1 и рис. 2). На входе в основной разгонный участок (ступень 1) создается запас устойчивости пограничного слоя и снижается уровень потенциальной энергии. В конфузоре первой ступени, с углом конусности α_1 , происходит первоначальный разгон и выравнивание эпюры продольных скоростей потока жидкости. Динамические характеристики процесса разгона в конфузоре первой ступени определяются величиной угла α_1 и значением отношения d_2/d_0 . При прохождении потоком

цилиндрического участка первой ступени диаметром d_2 и длиной l_{y1} , пульсации поперечной скорости и другие турбулентные возмущения частично осредняются и рассеиваются. В свою очередь, радиальная составляющая скорости стремится к нулю.

Во второй ступени насадка, происходит интенсивный разгон жидкости. Параметрами этого участка являются угол конусности α_2 , длина l_{y2} . На этом этапе достигается окончательное преобразование потенциальной энергии жидкостного потока в кинетическую энергию струи.

Согласно полученным зависимостям (рис. 1, 2), на пути разгона перед первой ступенью насадки, происходит увеличение скорости и снижение давления потока. В первой ступени, происходит плавное выравнивание полей радиальных и осевых скоростей потока, а основное увеличение кинетической энергии – во второй ступени насадки, что особенно важно при использовании давлений рабочей жидкости более 100 МПа.

При моделировании профиля насадки необходимо учитывать соотношение диаметра поводящего канала d_k и выходного диаметра насадки d_0 , то есть коэффициента поджатия потока $K_n = d_k/d_0$. Разработанная методика и программа позволяют определить рациональное значение этого коэффициента, величина которого характеризует компактность и устойчивость струи.

Отличия результатов расчета профиля насадка по разработанной методике от результатов, приведенных в [4] составляют: при определении длины насадка – 16 %, а при определении диаметра его выходного сечения – 3 %. Полученные данные позволяют считать методики сопоставимыми. Расхождения значений обусловлены тем, что, согласно [4], при определении среднего значения скорости в произвольном сечении насадки значение плотности принимается постоянным (т.е. не учитывается сжимаемость жидкости в потоке). Кроме того, расчет этой скорости производится на основании значения скорости истечения струи, при определении которой используется значение коэффициента скорости. В свою очередь, коэффициент скорости рекомендуется выбирать из широкого диапазона значений, что существенно снижает точность всего расчета, приводя к относительной погрешности достигающей 10 %. Также на точность расчета по методике [4] влияет и то, что определение геометрических параметров профиля осуществляется на основании только соотношения средней скорости в канале и скорости истечения струи.

Выводы

1. На основании проведенных расчетов с использованием разработанной программы определено, что наиболее рациональным при давлениях свыше 100 МПа, является использование двухступенчатого коническо-цилиндрического профиля насадки. Такой профиль позволяет, за счет увеличения времени преобразования энергии, обеспечить более плавный разгон потока, а, следовательно, создать условия для повышения гидродинамической устойчивости формируемых струй высокого давления и увеличения длины начального участка.

2. Разработанная методика и программа позволяют определять рациональные соотношения геометрических параметров насадки и прогнозировать энергетические параметры формируемой струи высокого давления.

Список литературы

1. Платонов В.С., Ковальський В.Д. Исследование влияния чистоты обработки внутренней поверхности насадки на динамические качества тонких струй воды высокого давления // Гидравлическая добыча угля. – Вып. 48, № 3. – 1967. – С. 42–44.
2. Саленко О.Ф., Гаврик А.П. Забезпечення параметрів якості при гідроструменевій обробці // Вісті академії інженерних наук України. – Дніпропетровськ, 1998. – С. 66–79.
3. Войцеховский Б.В., Дудин Ю.А. Кавитационный эффект в экспоненциальном насадке // Динамика сплошных сред. – 1971. – Вып. 9. – С. 7–11.
4. Мерзляков В.Г., Бафталовский В.Е. Физико-технические основы гидроструйных технологий в горном производстве. – М.: ННЦ ГП ИГД им. А.А. Скочинского, 2004. – 640 с.
5. Шавловский С.С., Бафталовский В.Е. Влияние угла конусности и длины цилиндрического участка насадки на компактность струи // Технология добычи угля подземным способом: Сб. науч. тр. – М., 1971. – №12. – С. 29–30.
6. Hoyt J.W., Taylor J.J. Effect of nozzle boundary layer on water jets discharging in air. / Proc. Of Jets and Cavities International Symp., ASME, Miami Beach, Florida, Nov. 17-22. – 1985. – P. 93–100.
7. McCarthy M.J., Molloy N.A. Review of stability of liquid jets and the influence of nozzle design. // Chem. Eng. Journal. – 1974. – Vol. 7., № 1. – P. 133-158.
8. Ефективне гідрорізання: (Монографія). / О.Ф. Саленко, В.Б. Струтинский, М.В. Загірняк – Кременчук: КДПУ, 2005. – 488 с.: ил., табл. – Бібліогр.: с.482-487.
9. Кирилин В.И., Жидовцев Н.А., Крестьянская Н.Ю Гидродинамическое свойство насадок со сложным внутренним профилем // Нефтяное хозяйство. – 1994. – № 1 – С. 33–36.
10. Семинская Н.В., Яхно Б.О. Влияние геометрических и прочностных параметров струеформирующих устройств на компактность струи // Вісник Східноукраїнського національного університету імені В. Даля. – 2007. – №3 (109). - Ч.2.- С.143-148.
11. Тихомиров Р.А., Гуенко В.С. Гидрорезание неметаллических материалов. – К.: Техника, 1984. – 149 с.

УДК 621:658.512.4

Н.В.Стельмах

НТУ України “Київський політехнічний інститут”, м.Київ, Україна

ПРОГРАМНИЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ПРИСКОРЕНОЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ СКЛАДАЛЬНОГО ДРІБНОСЕРІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА ПРИЛАДІВ

Рассматривается программный модуль Project_Mod_tpsv, позволяющий автоматизировать выполнение ряда задач технологической подготовки сборочного производства тем самым, ускорив срок выпуска первой партии изделий, что особенно актуально в условиях мелкосерийного производства.

It is considered the program module Project_Mod_tpsv, allowing to automate some performance assembly manufacture technological preparation tasks by that, having accelerated term of product first lot of release that is especially actual in conditions of small-scale manufacture.

Вступ

На етапі технологічної підготовки виробництва формується ключова для всієї подальшої діяльності підприємства інформація: матеріалоемність, послідовність виготовлення, необхідність в інструменті та пристосуваннях, трудомісткість виготовлення виробів. Тому ефективна робота всього підприємства безпосередньо залежить від якості роботи фахівців технологічної служби, тобто від повноти необхідної інформації