

Подстановка (21) в (18) приводит к

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{4Z_1^2 Z_2^2}{\hbar^4 |\vec{k}_0 - \vec{k}|^4}, \quad (22)$$

или с использованием (15) окончательно получаем:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{4Z_1^2 Z_2^2}{16E^2} \sin^{-4}\left(\frac{\theta}{2}\right). \quad (23)$$

Полученное выражение называют формулой Резерфорда [1].

Работа посвящена методу функции Грина для задачи квантовой теории рассеяния. В ходе работы было получено выражение для рассеянной волны в борновском приближении. Данные соотношения использованы для вычисления дифференциального сечения на сферически-симметричном потенциале.

Л и т е р а т у р а

1. Давыдов, А. С. Квантовая механика : учеб. пособие / С. А. Давыдов. – СПб. : БХВ-Петербург, 2011. – 704 с.
2. Владимиров, В. С. Уравнения математической физики / В. С. Владимиров. – М. : Наука, 1967. – 436 с.
3. Лаврентьев, М. А. Методы теории функций комплексного переменного / М. А. Лаврентьев, Б. В. Шабат. – М. : Наука, 1973. – 749 с.

УДК 621.778.073

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ СНИЖЕНИЯ ОБРЫВА ПРОВОЛОКИ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ

С. И. Прач, В. П. Прытков

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого, Республика Беларусь»

Волочение проволоки – это процесс обработки металла давлением, при котором последний постепенно однократно или многократно протягивается через специальный волоочильный инструмент, предназначенный для поэтапного уменьшения поперечного сечения исходной заготовки. Наиболее важной проблемой при волочении проволоки является ее обрывность. В данной работе исследованы некоторые способы снижения обрыва проволоки.

Ключевые слова: волочение, проволока, коэффициент трения, пластичность, обрыв проволоки.

INVESTIGATION OF WAYS TO REDUCE WIRE BREAKAGE DURING DRAWING

S. I. Prach, V. P. Prytkov

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

Wire drawing is a process of metal processing by pressure, in which the latter is gradually stretched once or repeatedly through a special drawing tool designed to gradually reduce the cross-section of the initial workpiece. The most important problem when drawing wire is its breakage. In this paper, some ways of reducing wire breakage.

Keywords: drawing, wire, coefficient of friction, plasticity, wire breakage.

Для исследования способов снижения обрыва проволоки при волочении, рассмотрим основные причины его возникновения:

1. Наличие поверхностных дефектов, наследованных с катанки [1].
2. Наличие внутренних дефектов (микротрещин), которые играют роль концентраторов напряжений [2, 3].
3. Снижение пластичности металлов при деформировании [4].

Целью данной работы является исследование некоторых способов снижения обрыва проволоки при волочении:

1. *Улучшение качества заготовки.* Для уменьшения поверхностных дефектов, наследованных с катанки, необходимо проводить анализ внешнего вида и исследование микроструктуры дефектной зоны, совершенствовать системы транспортировки и увязки бунтов.

2. *Применение дополнительного латунирования стальной высокоуглеродистой проволочной заготовки перед волочением* [5]. При волочении с поверхностью волоки контактирует тонкий слой латунного покрытия на стальной проволоке. Поэтому на величину контактного трения влияют свойства используемой латуни, жидкой смазки и поверхности деформирующей зоны волоки, а также другие условия волочения. Особое внимание было обращено на латунное покрытие, которое при волочении получает значительную пластическую деформацию, находясь на поверхности стальной проволоки. Это покрытие кроме основного назначения – повышения адгезии латунированной стальной проволоки к резине и повышения антикоррозийных свойств, играет роль металлической твердой смазки при волочении этой проволоки. Свойства латуни значительно влияют на контактное трение при волочении стальной латунированной проволоки. Для снижения контактного трения латунное покрытие должно иметь повышенную пластичность. Латунное покрытие, толщина которого 1,5–3,5 мкм, должно быть не только пластичным, но и плотным. Оно должно иметь хорошее сцепление со стальной основой. Несоблюдение этих требований приводит к таким отрицательным явлениям, как повышенный съём латунного покрытия и снижение адгезионных свойств металлокорда, свитого из этой проволоки, к резине.

Применение дополнительного нанесения меди посредством охлаждения проволоки после диффузионного нанесения латунного покрытия в ванне с водным раствором сульфата меди $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ с концентрацией от 3 до 10 г/л приводит к повышению в допустимых пределах концентрации меди на поверхности латунного покрытия. Гарантирует отсутствие β -фазы латуни на поверхности латунированной заготовки, контактирующей с рабочей зоной волоки при волочении. Это повышает пластические свойства латуни и уменьшает коэффициент контактного трения при волочении, что создает резерв для роста скорости волочения без снижения качества проволоки.

3. *Применение напорных волок.* Напорные волоки используются как инструмент в волочильном производстве проволоки и прутков. Напорные волоки обеспечивают принудительную подачу смазки в зону деформации волоки и снижение трения и усилия деформации при протягивании проволоки через эту волоку. В результате эффективность волочения повышается за счет снижения энергопотребления и износа волоки.

Напорные волоки получили распространение в процессах сухого волочения, где используются сухие порошкообразные смазки [6]. Принцип работы напорной волоки состоит в нагнетании смазки в зоне деформации в результате избыточного давления смазки в напорной зоне перед волокой. Напорная зона представляет собой

узкий канал между проволокой и напорной вставкой. Избыточное давление создается за счет увлечения смазки проволокой в зону деформации. Геометрия узкого канала волоки и степень вязкости смазки определяют величину избыточного давления.

Для применения напорных волок при мокром волочении можно использовать инструмент для волочения проволоки, особенностью конструкции которого является достижение равномерного смазочного слоя с пониженной вязкостью [7]. Инструмент для волочения проволоки, представленный на рис. 1, включает корпус 1, деформирующую волоку 2, напорную волоку 3, содержит кольцо 4 и эластичный кольцевой уплотнитель 5, установленный между напорной волокой и корпусом. Для создания нежесткого закрепления напорной волоки, которое обеспечивает повышение вибростойкости устройства и сбалансированное состояние между волокой и проволокой 6, снижающее величину контактного трения между ними. Эластичный кольцевой уплотнитель снижает вибрацию проволоки, что также позволяет уменьшить количество ее обрывов во время волочения. Кроме того, для достижения поставленной задачи устанавливается определенная величина зазора между проволокой и внутренним каналом напорной волоки, гарантирующая непрерывное обеспечение эффективного экранирующего слоя волочильной смазки за счет ее стабильной подачи в очаг деформации. Это обеспечивает повышение давления между напорной и деформирующей волоками, что приводит к принудительной подаче эмульсии к деформирующей волоке и снижению усилия волочения, повышению стойкости деформирующих волок.

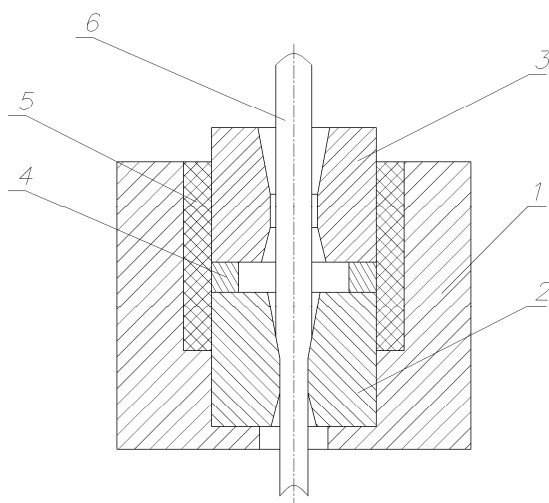


Рис. 1. Инструмент для волочения проволоки:
1 – корпус; 2 – деформирующая волока; 3 – напорная волока, 4 – кольцо; 5 – уплотнение; 6 – проволока

Устройство работает следующим образом: при волочении проволока проходит через канал напорной волоки. Эластичный кольцевой уплотнитель напорной волоки снижает трение между проволокой и волокой, зазор между которыми обеспечивает захват подаваемой водоземulsionной смазочно-охлаждающей жидкости (ВСОЖ) поверхностью проволоки и ее движение по направлению волочения. В результате в пространстве между напорной и деформирующей волокой создается избыточное давление ВСОЖ. Это давление способствует принудительной подаче ВСОЖ в зону деформации проволоки в деформирующей волоке. Принудительная подача ВСОЖ

обеспечивает рост толщины смазочного слоя в зоне деформации в деформирующей волоке. Повышение толщины смазочного слоя способствует снижению усилия волочения, износа рабочей волоки.

Применение напорных волок при мокром волочении проволоки приводит к устойчивой подаче водоземulsionной смазки к деформирующей волоке и созданию равномерного смазочного слоя с пониженной вязкостью на поверхности проволоки, что, в свою очередь, не снижает ее пластичности и не приводит к обрыву проволоки.

4. *Применение сдвоенных волок* [8]. При волочении в сдвоенной волоке имеет место более высокая равномерность деформации в направлении радиуса проволоки по поперечному сечению, расположенному на выходе из волоки. Рост равномерности деформации при прочих равных условиях всегда сопровождается ростом пластических свойств обрабатываемого металла.

Использование сдвоенной чистовой волоки в тонком волочении проволоки в сравнении с использованием одинарной чистовой волоки позволяет повысить пластические свойства проволоки при повышении скорости на 15–20 % и снизить обрывность при свивке проволоки в металлокорд.

По результатам исследования выяснили, что применение рассмотренных способов приводит к снижению коэффициента контактного трения при волочении проволоки. Снижение коэффициента контактного трения указывает на увеличение запаса пластичности проволоки и повышение пластических свойств проволоки, что положительно отразится на снижении обрывности проволоки при дальнейшей обработке. Также создается резерв для повышения скорости волочения без снижения качества проволоки.

Литература

1. Серегина, Е. С. Обрывность проволоки во время волочения по причинам наличия поверхностных дефектов, наследованных с катанки / Е. С. Серегина // *Литье и металлургия*. – 2017. – 4 вып. – С. 26–31.
2. Колмогоров, В. Л. Напряжения. Деформации. Разрушения / В. Л. Колмогоров. – М. : Металлургия, 1970. – 162 с.
3. Качанов, Л. М. Теория ползучести / Л. М. Качанов. – М. : Физматгиз, 1960. – 455 с.
4. Температурно-деформационный критерий оптимизации маршрутов волочения тонкой высокоуглеродистой проволоки / Ю. Л. Бобарикин [и др.] // *Литье и металлургия*. – 2012. – 3 вып. – С. 205–209.
5. Исследование использования дополнительного меднения латунного покрытия стальной проволоки / Ю. Л. Бобарикин [и др.] // *Черные металлы*. – 2012. – № 10. – С. 25–29.
6. Битков, В. В. Технология и машины для производства проволоки / В. В. Битков ; УрО РАН. – Екатеринбург, 2004. – 346 с.
7. Инструмент для волочения проволоки : пат. на полезную модель 7793 Респ. Беларусь, МПК В 21 С 3/00 / Верещагин М. Н., Бобарикин Ю. Л., Прач С. И., Авсейков С. В. ; заявитель Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого. – № и 20110337 ; заявл. 28.04.11.
8. Исследование влияния применения сдвоенной чистовой волоки на пластические свойства стальной высокоуглеродистой проволоки / В. А. Евдонич [и др.] // *Литье и металлургия*. – 2019. – № 3. – С. 112–117.