

УДК 621.9.025

Е.А. Левченко, аспирант*Севастопольский национальный технический университет**ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Украина, 99053**tm@sevntu.com.ua***ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАБОТЫ БОКОВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ОТРЕЗНОГО КРУГА ПРИ АБРАЗИВНОЙ РАЗРЕЗКЕ ТРУБ**

Анализируется процесс изменения состояния режущей способности боковой поверхности отрезного круга в зависимости от времени обработки, как фактор обеспечения качества разрезанной поверхности заготовки.

Ключевые слова: *неравномерность износа инструмента, глубина микрорезания единичными зернами, защемление отрезного круга, структурные изменения, осевая подача круга.*

Разрезка заготовок абразивными кругами находит применение в промышленности из-за своей достаточно высокой производительности и экономичности. Однако, при всей своей, казалось бы, простоте кинематической схемы имеется еще много резервов, использование которых может существенно отразиться на технико-экономических показателях данного процесса. Повышение производительности процесса резки труб отрезными кругами с обеспечением необходимых требований к качеству обработанной поверхности является приоритетным направлением развития абразивной обработки материалов. Однако, в настоящее время качество поверхностей реза трубных заготовок, производительность резки и стойкость абразивного инструмента не удовлетворяет требованиям промышленности.

В процессе резки заготовки наблюдается защемление инструмента и трение его боковых сторон о торцевую поверхность трубы, что может привести к поломке отрезного круга и повышению температуры в зоне контактирования инструмента и заготовки. Данные процессы влекут за собой появление структурных изменений в сечении реза (заусенцы, неровности, деформирование материала и т.п.), приводящие к необходимости дальнейшей обработки. Решение вопросов по предотвращению данных недостатков является проблемой и требует детального изучения.

Сущность процесса резки металлов отрезными кругами состоит в том, что быстровращающийся, тонкий абразивный круг в виде диска разрезает и одновременно размягчает благодаря теплоте, выделяющейся при трении периферии инструмента и его боковых сторон, материал заготовки и выбрасывает его из прореза с большой скоростью в виде снопа раскаленных искр (рисунок 1). При этом наиболее мелкие частицы металла, соединяясь с кислородом воздуха, сгорают на лету, превращаясь в окалину, а более крупные, спекаясь, застывают в форме всплесков, капелек и шариков, образуя весьма плотную и прочную массу на торцах обрабатываемых заготовок.



Рисунок 1 – Процесс резания заготовки абразивным отрезным кругом

Разрезку труб абразивными кругами можно рассматривать как разновидность врезного шлифования, когда съем материала происходит периферийной частью отрезного круга по мере его внедрения в разрезаемую заготовку. Абразивный круг режет металл частицами мелкозернистого материала высокой твердости (абразива), напоминающими по размерам и форме обычные песчинки. Их сначала смешивают, а затем спрессовывают с упругой синтетической связующей массой, основные виды которой бакелитовая (пластмассовая) или вулканическая (каучуковая). Острые вершины абразива выступают над поверхностью связки и, задевая за металл, срезают тончайшие стружки. Чем мельче абразивное зерно круга, тем ниже экономичная скорость подачи, меньше производительность. При разрезании труб применяют обычно высокопроизводительные крупнозернистые (зернистостью 40–50) круги, менее склонные к образованию прижогов на поверхности реза. В кругах оптимальной твердости выкрашивание абразивных зерен из тела круга обеспечивается в момент затупления режущей части. При этом создаются или обнажаются новые острые режущие кромки.

При абразивной разрезке выделяется значительное количество тепла, которое поступает в разрезаемую трубу (30–65%), абразивный круг (3–18%). Температура рабочей поверхности инструмента находится в пределах 100–150°C. С повышением этой температуры растет удельный износ круга, а также снижается интенсивность резания вследствие уменьшения удельного давления абразивного зерна на обрабатываемую поверхность (из-за размягчения связки). Нагрев трубы в зоне резания приводит к структурным изменениям ее торцового поверхностного слоя. Остальная часть тепла уносится отходами, температура которых находится в пределах 700–1000°C.

Высокая температура в зоне обработки является причиной появления дефектов, так называемых прижогов (рисунок 2). Поэтому для повышения стойкости абразивного круга, предотвращения прижогов и структурных изменений металла, а также уменьшения шероховатости поверхности реза и величины заусенцев необходимо снизить температуру при разрезке.

Термический процесс в поверхностном слое торцов отрезного круга является результатом действия двух тепловых потоков: от периферии и торца круга. Поэтому для снижения температуры необходимо уменьшать действие этих потоков, что может быть достигнуто выбором оптимальных режимов резания или устранением причин их образования.

Существенно уменьшить интенсивность теплового потока со стороны периферии круга невозможно, так как процесс разрезания труб осуществляется именно этой частью круга. Кроме того, нецелесообразность уменьшения величины контактной температуры от периферии круга очевидна, так как высокая температура в зоне резания может достигнуть температуры плавления разрезаемого материала. Как известно [5], высокие температуры, повышая пластичность обрабатываемого материала, благоприятствуют процессу снятия стружек при микрорезании и тем самым облегчают работу резания. С учетом сказанного, для снижения контактной температуры при разрезке более рационально уменьшать интенсивность тепловых потоков от боковых сторон отрезного круга, что может быть достигнуто снижением величины бокового трения.

Как уже отмечалось ранее, при разрезке заготовок абразивным инструментом большое влияние на качество и производительность процесса оказывают явления, протекающие при контакте боковых поверхностей круга с металлом.

Особенность работы отрезного круга заключается в том, что периферийная рабочая поверхность формируется в процессе работы, а эффективность работы торцов зависит от конструкции боковой поверхности, сформированной при его изготовлении.

Контакт боковых сторон круга с металлом происходит из-за расширения материала заготовки под

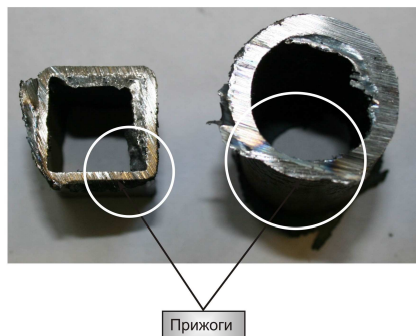


Рисунок 2 – Внешний вид заготовок с дефектами в виде прижогов

действием теплоты, возникающей при разрезке, колебаний высоты круга и неравномерности износа его боковых поверхностей. Исследования показывают [1, 2], что до половины энергии, затрачиваемой на разрезку, идет на работу боковых поверхностей отрезного круга. С увеличением числа режущих зерен на боковых поверхностях круга, увеличивается число срезов, а это приводит к уменьшению глубины микрорезания и повышению степени диспергирования обрабатываемого материала. Значительное уменьшение глубины резания единичными зернами отрицательно влияет на процесс разрезки. Процесс стружкообразования аналогичен процессу шлифования затупившимися абразивными зёрнами. Зёрна не режут, а только пластически деформируют металл. Поверхностные слои заготовки разогреваются, вершины абразивных зёрен интенсивно изнашиваются. При затуплении абразивных зёрен связка круга также начинает контактировать с металлом, что приводит к дальнейшему повышению температуры, выгоранию связки, интенсивному износу круга и снижению качества поверхности реза разрезаемой заготовки. Если при абразивном разрезании отсутствует резание боковыми сторонами, то может произойти защемление (заклинивание) круга в заготовке, приводящее в некоторых случаях к его поломке. Данное явление не наблюдается при эксплуатации кругов с шероховатыми боковыми поверхностями.

Работу торцевой поверхности отрезного круга можно представить как процесс шлифования детали торцом с поперечной и продольной подачами. Своеобразное непрерывное перемещение боковых поверхностей заготовки и круга навстречу друг другу, как отмечалось ранее, происходит за счет разогревания заготовки, наличия неравномерности высоты круга, коробления, вогнутости и выпуклости кругов в пределах допусков, лимитированных стандартом [3], торцевого биения и образующейся в процессе работы конусности круга. Величина осевой подачи S_x , в среднем равна отношению величины припуска, удаляемого торцом круга Δh , к времени разрезки τ_p :

$$S_x = \frac{\Delta h}{\tau_p}$$

Время разрезки вычисляется по диаметру заготовки d и радиальной подаче S_y :

$$\tau_p = \frac{d}{S_y}.$$

Окончательно получим:

$$S_x = \frac{\Delta h \cdot S_y}{d}.$$

Принципиальная схема абразивной разрезки (рисунок 3) состоит из двух сочетаемых движений: главное вращательное со скоростью резания движение D_r и поступательное перемещение со скоростью подачи S_y абразивного инструмента при неподвижной заготовке.

При подаче режущего инструмента на заготовку происходит процесс врезания отрезного круга в материал трубы с одновременным пластическим деформированием разрезаемого слоя.

При врезании круга в заготовку прорезается паз $h_{\min}$, приблизительно равный по ширине максимальной высоте периферийной части круга.

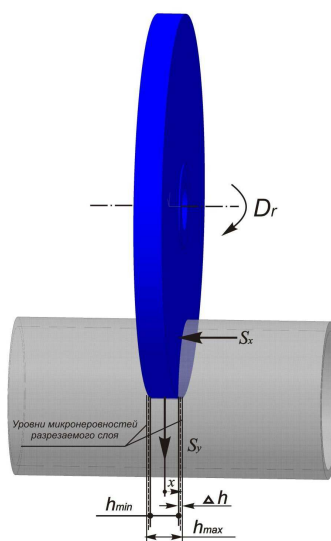


Рисунок 3 – Принципиальная схема абразивной разрезки

Ширина реза h всегда немного больше величины толщины круга b . После разрезки и остывания двухсторонне закрепленной заготовки расстояние между двумя вновь образовавшимися поверхностями равно $h_{\max} = h_{\min} + 2\Delta h$. За время разрезки трубной заготовки ширина паза, приведенная к исходной температуре, увеличивается от $h_{\min}$ до $h_{\max}$ (рисунок 4).

Расстояние от сплошной до пунктирной линии по вертикали определяет наличие на торцевой поверхности заготовки слоя шероховатости с наибольшей высотой неровностей профиля $R_{\max}$.

Рассмотрим изменение состояния образующейся торцевой поверхности на расстоянии x от плоскости, проведенной в середине паза перпендикулярно оси вращения круга.

Материал на рассматриваемом уровне начинает удаляться тогда, когда размер паза станет равным $h = x - t_\phi$, где t_ϕ – максимальная глубина микрорезания единичными зернами, численно равная

расстоянию от прорезаемой наиболее глубокой впадины до наибольшей вершины образующейся шероховатости поверхности.

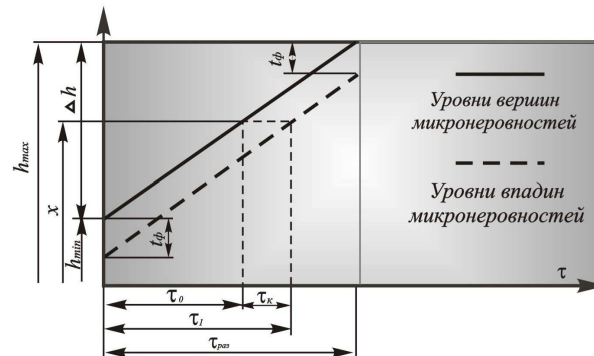


Рисунок 4 – Схема изменения ширины реза от времени

Во время резки условная наружная поверхность круга [2 – 4], проведенная по вершинам максимально выступающих зерен, будет продвигаться в материал заготовки, и на рассматриваемом уровне будет оставаться все меньше удаленного металла.

Процесс резания заканчивается при совпадении уровня с линией, проходящей через максимальную вершину микропрофиля. Время контакта τ_k рассматриваемого уровня с абразивными зернами определяется как $\tau_k = \tau_1 - \tau_0$, где τ_0 – момент времени совмещения условной наружной поверхности инструмента с уровнем; τ_1 – время, при котором металл на уровне удален полностью. Время τ_k , при котором происходит процесс удаления металла на рассматриваемом уровне, определяется как:

$$\tau_k = \frac{t_\phi}{S_x}.$$

Процессы удаления металла в зоне контакта трубы с отрезным кругом при резке очень сложны и мало изучены. Это обусловлено тем, что вершины единичных абразивных зерен располагаются на боковых поверхностях отрезного круга неравномерно и не на одном расстоянии от плоскости вращения круга. Кроме того, они не имеют регулярной геометрии. Действительная глубина микрорезания единичными абразивными зернами зависит от геометрии и распределения вершин зерен на боковых поверхностях круга, величины подачи, скорости и силы резания. Возникает необходимость использования теории вероятности и случайных процессов при изучении взаимодействия боковых сторон отрезного абразивного круга с металлом.

Анализируя выше сказанное можно сделать вывод, что незначительное выступание зерен над уровнем связи, их быстрое затупление, налипание стружки приводит к снижению способности зерна врезаться в металл, повышению тангенциального усилия, выгоранию связи и интенсивному износу инструмента. Это вызывает уменьшение фактической глубины срезаемого слоя, повышение сил, контактной температуры и потребляемой мощности. Учитывая, что боковое трение является доминирующим фактором, определяющим эффективность абразивной резки, наиболее перспективным, является путь активного управления величиной бокового трения за счет применения конструкций отрезных кругов с повышенной режущей способностью боковых сторон.

Библіографічний список

1. Новосёлов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке / Ю.К. Новосёлов. — Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1979. — 232 с.
2. Новосёлов Ю.К. Динамика формообразования. Анализ и моделирование пространственно-временного взаимодействия инструмента и обрабатываемой поверхности чистовых и отделочных операций: дис...д-ра техн. наук: 05.03.01 / Ю.К. Новосёлов. — Барнаул, 1979. — 402 с.
3. Новосёлов Ю.К. Анализ взаимодействия инструмента и обрабатываемой поверхности при чистовом и тонком шлифовании / Ю.К. Новосёлов, Е.Ю. Татаркин // Технологическое обеспечение автоматизированных производств: междунар. науч.-техн. сб. — Барнаул, 2000. — Вып. 22. — С. 126–135.
4. Братан С.М. Разработка циклов управления операцией круглого наружного шлифования с учетом износа абразивного инструмента / С.М. Братан, Д.А. Каинов, И.В. Крылов, Ю.К. Новосёлов // Резание и инструмент в технологических системах: междунар. науч.-техн. сб. — Харьков, 2001. — Вып. 60. — С. 19–26.

Поступила в редакцию 01.03.2010 г.