

а также для печати на FDM-принтерах. Подобная возможность обусловлена приобретенными характеристиками модифицированных полимеров: повышенная прочность, критическая точка нагрева и пожаробезопасность.

Л и т е р а т у р а

1. Режим доступа: <https://www.helvetica.perm.ru/articles/view/12>.
2. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/pozharnaya-bezopasnost-stroitelnyh-polimernyh-konstruktsiy>.
3. Режим доступа: http://www.polikonta.com/index.php?mod=look_items_more&id_item=175&id_cat_prec=36&cat_part=1.
4. Оценка пожаробезопасности полимерных материалов авиационного назначения: анализ состояния, методы испытаний, перспективы развития, методологические особенности : учеб. пособие / С. Л. Барботько [и др.]. – 2019.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ОБРЫВА ПРОВОЛОКИ ПРИ ВОЛОЧЕНИИ

В. А. Петрусевич

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

Научные руководители: С. И. Прач, Ю. Л. Бобарикин

Волочение проволоки – это процесс обработки металла давлением, при котором последний постепенно однократно или многократно протягивается через специальный волочильный инструмент, предназначенный для поэтапного уменьшения поперечного сечения исходной заготовки.

Наиболее важной проблемой при волочении проволоки является ее обрывность. В данной работе исследованы некоторые основные причины обрыва проволоки; проанализирована причина обрыва на примере действующего маршрута волочения.

К основным причинам обрыва проволоки можно отнести:

1. Наличие поверхностных дефектов, наследованных с катанки [1].

В результате исследования было выявлено, что обрывность на участках грубосреднего волочения, латунирования, бронзирования сталепроволочных цехов происходит по причине наличия в катанке механических повреждений (задиры, истирания) разной глубины и протяженности, образующихся при увязке и транспортировке бунтов из прокатного в сталепроволочные цеха. В зоне увязки в основном образуются неглубокие незначительные истирания 5–15 мм, но случаются и глубокие, особенно на малоуглеродистых марках стали. Дефекты транспортировки имеются на 10–20 % бунтов, в основном это неглубокие повреждения протяженностью 30–70 см одновременно на нескольких витках. Наличие этих дефектов при дальнейшем грубосреднем волочении проволоки приводит к обрыву проволоки не по каждому дефекту, а лишь по некоторым.

На грубосреднем волочении, бронзировании и латунировании 2–3 % обрывов составляют обрывы по причине вкатанных инородных и стальных частиц, наследованных с катанки, образовавшихся в процессе проката. Поверхностные дефекты катанки прокатного происхождения (вкатанные твердосплавные и стальные частицы) образуются из-за внедрения в поверхность прокатываемой заготовки инородных частиц в случаях разрушения прокатных валков, элементов проводковой и кантующей арматуры. По внешнему виду на волоченной проволоке указанные дефекты похожи на дефекты по причине механических повреждений с катанки, также представ-

ляют собой локальные участки разволоченных трещин поперечного характера. Однако в большинстве случаев дефекты из-за вкатанных инородных твердосплавных и стальных частиц более глубокие, часто локальные участки с трещинами поперечного характера соединены продольной трещиной.

2. Наличие внутренних дефектов (микротрещин), которые играют роль концентраторов напряжений [2], [3].

В процессе волочения изменяются не только геометрическая форма и размеры заготовки, но и существенно – физико-механические свойства и структура обрабатываемого металла.

Низкая прочность обусловлена наличием в теле микротрещин, которые играют роль концентраторов напряжений. Зарождение микротрещин при сравнительно низких значениях напряжений объясняется наличием дефектов кристаллической решетки, среди которых обычно выделяют точечные (вакансии и межузельные атомы), линейные (дислокации), поверхностные (субмикротрещины), объемные (микропоры).

Процесс пластической деформации сопровождается пластическим «разрыхлением» материала. На самых начальных стадиях это происходит за счет размножения дислокаций, в дальнейшем – за счет образования и развития микропор и микротрещин. Причем процесс разрушения анизотропен. Микротрещины преимущественно локализируются в полосах скольжения, и ориентация их зависит от направления максимального растягивающего напряжения, хотя в процессе интенсивной пластической деформации вторичные микротрещины могут располагаться в направлении полосы скольжения.

Одновременно с возникновением и развитием микротрещин могут происходить процессы «залечивания» дефектов. Повышение температуры, рост гидростатического сжатия и знакопеременный характер развития деформации стимулируют заваривание дефектов.

Интенсивность пластического разрушения определяется соотношением скорости образования и залечивания микротрещин и зависит от физической природы материала, а также от термомеханических условий процесса пластической деформации.

Образование макротрещин происходит путем объединения микронарушений сплошности металла при достижении величиной пластического разрыхления критического значения.

Таким образом, различают две стадии протекания разрушения: постепенное развитие трещин и значительное ускорение разрушения, причем преобладает первая стадия. По мере развития деформации растут зародыши трещин, начинают все сильнее действовать эффекты концентрации напряжений. До некоторых пор трещина остается устойчивой и для ее дальнейшего развития необходимы дополнительные пластические деформации. Вторая стадия начинается с некоторого момента, когда трещина достигнет критического размера и потеряет устойчивость. После достижения критического размера достаточно небольшой пластической деформации, чтобы трещина резко увеличила свои размеры. Несколько трещин объединяются, образуя поверхность разрушения.

Параллельно с процессом возникновения и увеличения микродефектов (трещин в пластически деформируемом теле) идут процессы «залечивания» зачатков нарушения сплошности и торможения их развития. Соприкосновение поверхностей трещины в условиях сжатия и их относительное перемещение из-за пластической деформации могут вызвать схватывание (сварку).

3. Снижение пластичности металлов при деформировании.

Основными факторами, определяющими пластичность металлов при деформировании, являются химический состав, макро- и микроструктура, температура и скорость деформации, а также вид напряженного состояния.

Максимальная мгновенная температура поверхности проволоки определяет запас пластичности проволоки, и как следствие, величину обрывности металлокорда, свиваемого из этой проволоки после волочения. Значение указанной температуры устанавливается в зависимости от требуемой обрывности [4].

Проанализируем процесс получения проволоки на примере действующего маршрута волочения проволоки диаметром 0,35 мм из стали 95, микролегированной хромом на волочильном стане тонкого волочения НТ12.6 из заготовки диаметром 2,15 мм, при базовой температуре поверхности проволоки $t_{н} = 540^{\circ}\text{C}$, которая обеспечивает относительно стабильное удовлетворительное качество проволоки, и скорости волочения $v = 5 \text{ м/с}$.

Диаметры волок на каждом переходе: 2150–2110–1910–1730–1560–1410–1278–1154–1050–956–870–795–725–663–607–558–514–471–432–396–370–350, мкм.

Основной причиной обрыва проволоки при тонком волочении является снижение пластичности вследствие высокой температуры на ее поверхности по причине деформационного старения.

В результате расчета маршрута волочения определили температуру поверхности проволоки на каждом переходе. График изменения температур представлен на рис. 1.



Рис. 1. Температура поверхности проволоки на 22 переходах при скорости волочения $v = 5 \text{ м/с}$

Анализ графика на рис. 1 показывает, что на последних переходах волочения температура поверхности проволоки выше базовой, что может привести к повышению прочности, но снижению пластичности. Вероятность обрыва на последних переходах велика, также высокая вероятность обрыва проволоки при дальнейшей свивке из нее металлокорда 4+3x0,35НТ. Рекомендовано снижение скорости волочения или установка сдвоенных волок с целью снижения температуры поверхности.

График изменения температур поверхности проволоки при маршруте волочения с семью сдвоенными волоками и скорости $v = 5 \text{ м/с}$ представлен на рис. 2.

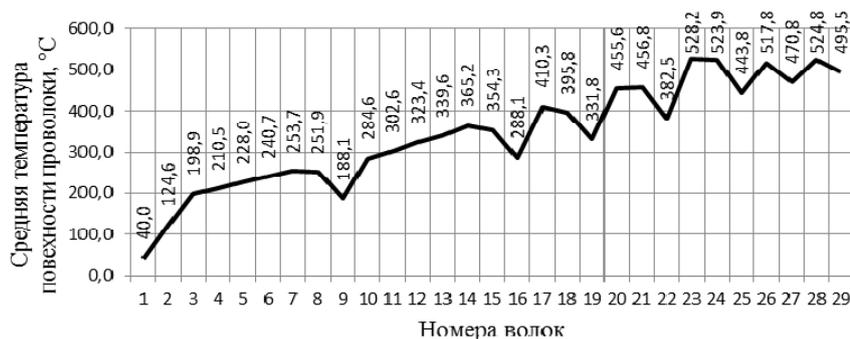


Рис. 2. Температура поверхности проволоки на 29 переходах при скорости волочения $v = 5$ м/с

Анализ графика на рис. 2 показывает, что на последних переходах волочения температура поверхности проволоки ниже базовой. Следовательно, пластичность проволоки повышается без потери прочности, что снижает вероятность обрыва.

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. – Вып. 4. – 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. – Вып. 3. – С. 205–209.

ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МИКРОДУГОВОГО ОКСИДИРОВАНИЯ АЛЮМИНИЯ

Е. В. Клектя

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

Научный руководитель И. И. Злотников

Технология микродугового оксидирования (МДО) основана на анодном окислении некоторых металлов (алюминия, титана, магния и их сплавов) в растворе электролита при условии протекания на поверхности анода микроплазменных разрядов. В частности, при МДО алюминия и его сплавов в силикатно-щелочных растворах под действием высокого напряжения на поверхности алюминия возникают мигрирующие точечные микроразряды, под действием которых поверхностный слой оксидируется с образованием керамического покрытия, прочно сцепленного с металлической основой. Согласно современным представлениям [1]–[3] разряд при МДО является газовым и возникает в результате электрического пробоя парогазовых «пробок», образующихся в микропорах растущего пористого оксидного слоя. В результате на поверхности анода формируется оксидно-керамическое покрытие, состоящее преимущественно из кристаллических оксидов алюминия: $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ во внутренних слоях покрытия и муллита ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) во внешних.