

ДИФфуЗИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ОБРАБОТКЕ ТОНКОЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА МЕТОДОМ ПЛАСТИЧЕСКОГО СВЕРЛЕНИЯ

Е.Ю. Татаркин, В.В. Хоменко

Работа проведена в рамках проекта “Российский материаловедческий центр-форма интеграции высшего образования и фундаментальной науки” между Институтом физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской Академии наук, город Томск, и Алтайским государственным техническим университетом им. И.И. Ползунова, город Барнаул.

Пластическое сверление это – формообразование втулки в листовом материале вращающимся инструментом, имеющим коническую или сферическую вершину, к которому приложено осевое усилие. При этом не происходит удаления металла, а производится его пластическое деформирование в осевом направлении.

Инструмент изготавливается из твердого сплава ВК8, имеет пулевидную форму и отличается высоким качеством поверхности. Такой инструмент называют “термосверло” либо “пуансон-сверло”. Материал образца – тонколистовой материал, конструкционная сталь Ст.3.

Последовательность процесса втулкообразования при пластическом сверлении состоит из нескольких этапов. При контакте вершины инструмента с заготовкой вследствие сильного локального нагрева металл заготовки переходит в пластичную фазу и начинает течь. При этом разогретый металл движется как в направлении подачи, так и навстречу ей (~80% и 20% соответственно), принимая форму инструмента. При дальнейшем движении инструмента вытянутый металл прошивается, а при последующей его подаче цилиндрическая часть инструмента формирует внутренний диаметр втулки, затем инструмент возвращают в исходное положение.

В целях установления возможностей использования процесса пластического сверления для соединения двух заготовок тонколистового материала в процессе формирования отверстия были проведены экспериментальные исследования. Методика эксперимента заключалась в следующем: две

заготовки однородного материала (Ст.3) толщиной 4 мм, собранные внахлест, подвергали пластическому сверлению. При этом предварительно в нижнем листе выполняли отверстие размером, составляющим одну треть диаметра инструмента. Ось предварительно просверленного отверстия совмещали с осью инструмента и производили подачу. Металл верхней заготовки под воздействием температуры и давления инструмента распределялся по всей внутренней площади предварительно просверленного отверстия нижней заготовки с одновременным изгибом её вдоль направления подачи, тем самым создавая плотный контакт между двумя заготовками. При детальном осмотре полученного соединения предположили, что его прочность вызвана протекающим диффузионным процессом между материалами заготовок.

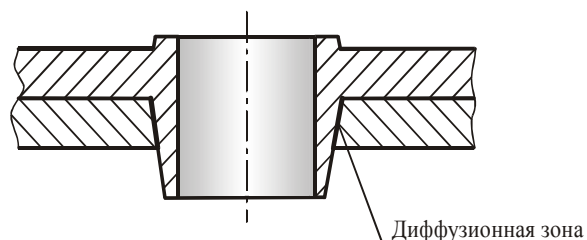


Рис. 1. Соединение двух листов металла методом пластического сверления.

Экспериментальные металлофизические исследования диффузионной зоны соединения двух пластин из тонколистового материала (рис.1), образующейся при пластическом сверлении, позволят получить более полное представление о процессах, протекающих как в обрабатываемом материале, так и в инструменте.

Исследования проводили на образцах, изготовленных методом пластического сверления. Образцы разрезали по оси сечения отверстия втулки, на плоскости сечения готовили микрошлиф, который исследовали на оптическом микроскопе

Epiquant и на рентгенооптическом микроанализаторе Дрон.

Изучение структуры образца выявило наличие диффузионной зоны между соединяемыми пластинами. Зона образования диффузии находится на расстоянии 100 -150 мкм от образующей отверстия втулки и характеризуется нестабильностью по длине. В начале соединения листов диффузия протекает дискретно на отдельных участках с последующим переходом в зону стабильного соединения. Структура металла в зоне диффузии также неравномерна: в начале зоны стабильного соединения на глубине 10 – 15 мкм наблюдается измельчение зёрен с последующим их ростом и переходом в однородный материал. Дискретность диффузионной зоны и неравномерность её структуры объясняется тем, что в процессе пластической деформации происходит локальная деформация соединяемых поверхностей, обусловленная недостаточной жёсткостью, прогибом нижнего листа под давлением инструмента. При достаточной жесткости нижнего листа формирование диффузионной зоны происходит более равномерно. Структура металла в таком образце вдоль линии соединения листов имеет однородный характер деформации.

При соединении двух листов металла методом пластического сверления стоит отметить протекающий частичный рекристаллизационный процесс в направлении отвода тепла между контактирующими поверхностями. Деформация и сопутствующий ей наклеп металла при одновременном воздействии высоких температур на границе раздела слоёв, образующихся при совместной пластической деформации, приводят к перестройке кристаллических решеток соединяемых тел и к образованию на их границах общих зерен, одновременно принадлежащих обоим листам и, следовательно, соединению контактирующих металлов.

В результате рассмотрения деформированной зоны в приповерхностных слоях втулки обнаружены структурные изменения металла. Наблюдается увеличение количества феррита в связи с обезуглероживанием металла в направлении формирования втулки. Измельчение структуры, наблюдаемое в верхней части втулки, – результат пластической деформации металла заготовки при

недостаточном разогреве металла и отсутствии процесса рекристаллизации. По мере удаления от начала сверления величина зерна увеличивается. Структуру металла начала втулки характеризуют вытянутые в осевом направлении ферритно-перлитные зерна. Выдавленный металл на выходе инструмента не претерпел существенных структурных изменений. Заметна лишь зона термического влияния с незначительным ростом зерна ($t=700-750\text{ }^{\circ}\text{C}$). Степень наклёпа в процессе обработки определяется отношением возрастания микротвёрдости поверхностного слоя металла к микротвёрдости основного металла. Максимальная степень наклёпа в приповерхностной зоне образованной втулки составляет около 30 - 35%. В процессе формообразования втулки внедрение инструмента в материал заготовки происходит поэтапно, с различными скоростями, поэтому и продолжительность контакта инструмента с заготовкой на разных участках образуемой втулки различна. Это также оказывает влияние на изменение структуры приповерхностной зоны по длине внутренней части втулки.

В процессе пластического сверления вокруг отверстия возникает «зона термического влияния», структура материала, в которой отличается от таковой «основного металла». Материал в этой области, как правило, разупрочнён. При нагружении в образце, содержащем пластически просверленное отверстие, на границе раздела между основным металлом и зоной термического влияния возникают мощные осциллирующие концентраторы напряжений. Их релаксация может способствовать развитию в образце полос локализованной пластической деформации, обуславливая развитие процессов локализации. В целях установления степени разупрочнения металла и определения уровня концентрации напряжений в зоне термического влияния проведены экспериментальные исследования на растяжение образцов.

Зона термического влияния образца должна «попадать» на боковую грань, чтобы можно было проследить развитие пластической деформации на границе раздела между зоной с модифицированным состоянием и основным металлом.

Характер развития пластической деформации на мезомасштабном уровне исследовали путем анализа построенных

ДИФфуЗИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ОБРАБОТКЕ ТОНКОЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА МЕТОДОМ ПЛАСТИЧЕСКОГО СВЕРЛЕНИЯ

полей векторов смещений участков поверхности исследуемого материала.

Анализ кривой течения (рис. 3) показывает, что наличие в образце зоны с модифицированным состоянием обуславливает снижение пластичности исследованных образцов до 20% (по сравнению с 25% у необработанных).

Развитие пластической деформации в исследованных образцах малоуглеродистой стали Ст. 3 на начальных степенях характеризуется распространением полосы Людерса-Чернова. Причем ее развитие начинается около каждого из захватов и развивается как фронтально распространяющийся процесс. При выходе фронта полосы Людерса на границу с зоной, состояние которой было изменено в процессе пластического сверления, развитие пластической деформации на мезомасштабном уровне приобретает неоднородный характер. Это проявляется прежде всего в том, что развитие деформации локализуется в полосах, ориентированных в направлении максимальных касательных напряжений. Следует отметить, что в явном виде на оптических изображениях такие мезополосы выявить не удастся. В то же время на картине распределения векторов смещений их формирование прослеживается достаточно наглядно.

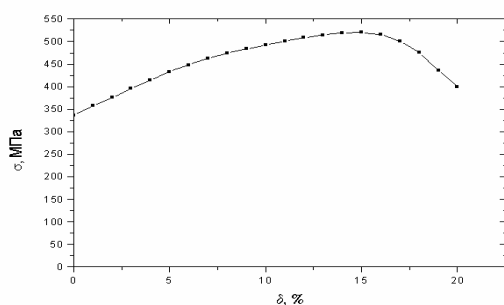


Рис. 2. Кривая течения образца, содержащего зону, состояние которой было модифицировано в ходе пластического сверления.

Поскольку зона, состояние которой было модифицировано в процессе пластического сверления, имеет определенную протяженность, формирование деформационного рельефа в ней отличалось от основного материала. Это проявлялось,

прежде всего, на оптических изображениях. При этом данная зона представляла собой вариант локализованной шейки, имеющей протяженность в несколько миллиметров. Развитие деформации в этой зоне характеризовалось формированием полос локализации, ориентированных преимущественно в направлении максимальных касательных напряжений. Однако развитие таких полос фиксировалось только на картинах распределения векторов смещений.

При достаточно высоких степенях деформации пластическое течение в образце развивается достаточно однородно. Развитие деформации на мезомасштабном уровне в области, состояние которой было модифицировано в ходе пластического сверления, уже не отличается от такового для основного материала. Деформационный рельеф выражен достаточно однородно как по длине образца, так и по его поперечному сечению. Картина распределения векторов смещений подобна таковой для необработанного образца. Это объясняется тем, что до определенного момента нагружения происходит структурная деформация упрочненного слоя, а так как упрочненный слой достаточно мал (всего 50 мкм), то по достижении определенной степени деформации этот слой разрушается и далее развитие деформации в целом по образцу становится однородным, что подтверждается анализом фотографий, сделанных на месте макроконцентратора.

Последующее развитие пластической деформации практически не отличается от таковой необработанного образца. Место образования шейки может не совпадать с зоной модифицированного состояния.

Развитие пластической деформации на мезомасштабном уровне в образцах, содержащих макроконцентратор напряжений, определяется его геометрией и размерами. При этом практически с самого начала нагружения пластическая деформация локализуется в области такого макроконцентратора. При достижении образцом определенной степени деформации развитие деформации в целом по образцу становится однородным, и в момент образования шейки наличие зоны с модифицированным состоянием не влияет на ход пластического течения.

В процессе сверления в зоне контакта инструмента с заготовкой температура составляет порядка 800-1000°C. Под

воздействием температуры идёт взаимное интенсивное диффундирование химических элементов, составляющих структуру контактирующей схемы «инструмент-деталь». Полученная рентгенограмма показывает, что в приповерхностной зоне присутствует цементит и фазы ОЦК железа с параметром $\sim 2.88 \text{ \AA}$. С поверхностных слоёв инструмента кобальт с фрагментами карбида вольфрама, попадая в приповерхностную зону втулки, распределяется по её длине неравномерно.

На это указывает как рентгенограмма, так и твёрдость поверхности втулки (рис. 5).

Процесс пластического течения металла при контакте инструмента и заготовки сопровождается трением. Под воздействием температур и высоких удельных давлений происходит отрыв частиц металла образца и

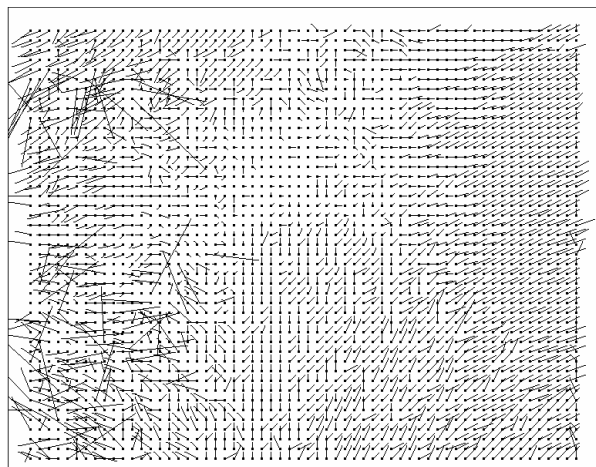
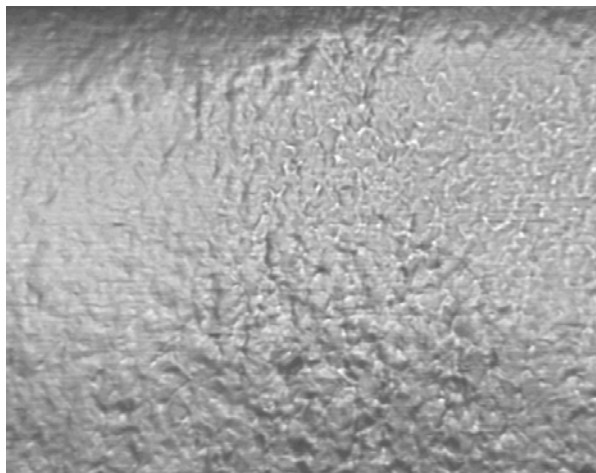


Рис. 3. Оптическое изображение и соответствующее поле векторов смещений в зоне, состояние которой было модифицировано в ходе пластического сверления $\varepsilon=4\%$; $\times 95$.

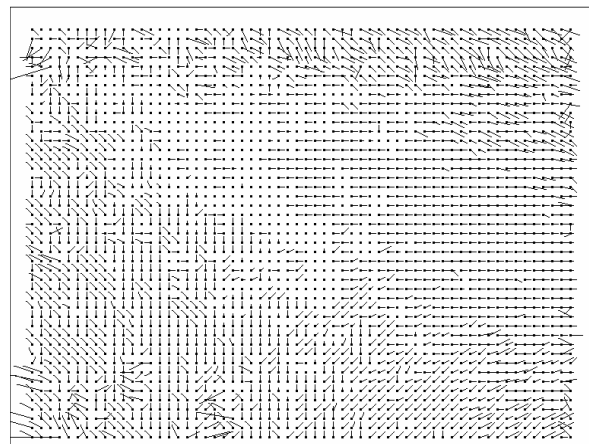
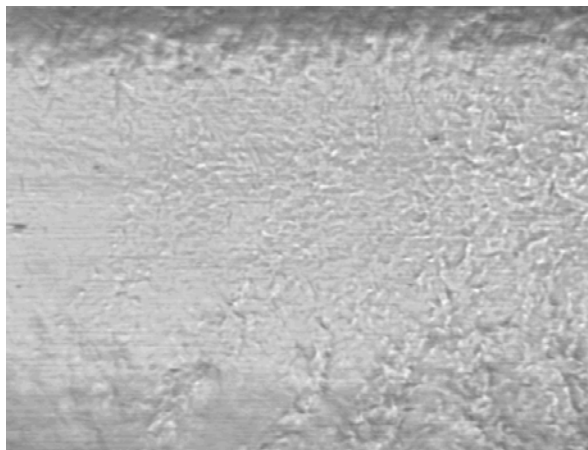


Рис. 4. Оптическое изображение и соответствующее поле векторов смещений в зоне, состояние которой было модифицировано в ходе пластического сверления $\varepsilon=5\%$; $\times 95$.

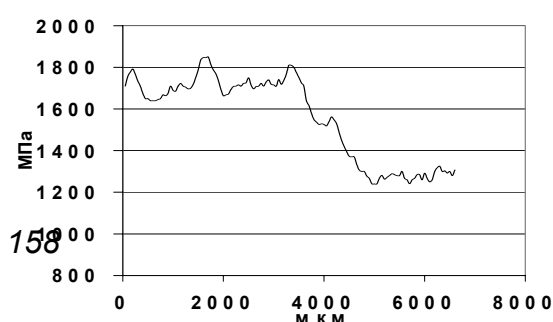


Рис. 5. График изменения твердости приповерхностной зоны по длине втулки.

их налипание на рабочую часть инструмента. При несоблюдении технологических режимов процесса пластического сверления возможен

ДИФфуЗИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ОБРАБОТКЕ ТОНКОЛИСТОВОГО МАТЕРИАЛА МЕТОДОМ ПЛАСТИЧЕСКОГО СВЕРЛЕНИЯ

неравномерный нагрев адсорбированных частичек металла и основного деформируемого материала образца, что ведёт к адгезионному взаимодействию

инструмента и заготовки. Это приводит к выходу из строя инструмента.