

а) б)

Рисунок 2 – Микроструктура стали 10Х9К3В2МФБР после закалки с Т=1050°С и отпуска при Т=750°С в течение 3 часов: а) карта разориентировок, б) ПЭМ

Исследование структуры методом ПЭМ и РЭМ показало, что по границам пакетов и блоков располагаются выделения вторичных фаз, преимущественно, $M_{23}C_6$, со средним размером около 90 нм (Cr~50%, Fe~25%, W~20%). Внутри реек наблюдаются равномерно распределенные частицы V(C,N) пластинчатой формы (V~55%) и Nb(C,N) (Nb~80%) округлой формы. Средние размеры этих частиц составляют 20 и 36 нм, соответственно.

Обнаружено, что в процессе отпуска в стали 10Х9К3В2МФБР в интервале температур 450 – 525°С происходит карбидное превращение $M_3C \rightarrow M_{23}C_6$; происходит выделение более мелких вторичных карбидов ниобия (d=40нм) в интервале температур 525 – 750°С; карбид ванадия (d=20нм) образуется при температуре 750°С.

На основе экспериментальных результатов изучения влияния температуры отпуска на структуру и механические свойства был определен оптимальный режим термической обработки экспериментальной жаропрочной стали 10Х9К3В2МФБР: закалка от 1050°С и отпуск при 750°С в течение 3 часов с последующим охлаждением на воздухе, который обеспечивает требуемый уровень твердости (220 НВ) в сочетании с хорошей ударной вязкостью (255 Дж/см^2).

Литература

1) Гольдштейн М. И., Грачев С. В., Векслер Ю. Г. Специальные стали. М.: Металлургия, 1985. 408 с.

2) Новиков И. И., Золоторевский В. С., Металловедение: Учебник. В 2–ух т. Т. II. – М.: Издательский дом МИСиС, 2009. –528с.

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы (г/к № П1188).

АНАЛИЗ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ ЛИСТОВОЙ ЗАГОТОВКИ ИЗ ПЛАТИНОРОДИЕВОГО СПЛАВА В ПРОИЗВОДСТВЕ СТЕКЛОПЛАВИЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Фомин А.А.

Руководитель – профессор, д.т.н. Логинов Ю.Н.

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», г. Екатеринбург, unl@mtf.ustu.ru

Использование платины в промышленности обусловлено её уникальными свойствами: сопротивлению высокотемпературной коррозии и окислению в контакте с оксидными материалами при высоких температурах. Одно из важных направлений в промышленности благородных металлов является применение сплавов платины в производстве аппаратуры для изготовления стекловолокна и базальтового волокна. Стеклоплавильный аппарат представляет собой емкость для размещения расплава стекла или базальта, выполненную из тугоплавкого листового материала – платинородиевого сплава. В нижней части аппарата расположено днище, а в нем выполнены отверстия со сложным профилем образующей (рис.1).

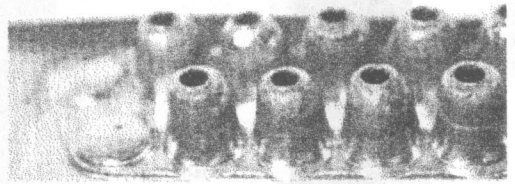


Рис. 1. Днище стеклоплавильного аппарата с фильерами

С помощью этих отверстий получают стекловолокно. Формообразующий для стекловолокна инструмент принято называть фильерой. В промышленности существуют два способа изготовления фильерного днища: методом листовой штамповки за несколько формообразующих операций либо закреплением отдельно выполненных фильер в заранее подготовленных отверстиях. Цельноштампованные фильерные днища обладают рядом преимуществ, в том числе создается возможность более плотной упаковки фильер на фильерном поле. Вместе с тем, плотная упаковка фильер создает ряд технологических проблем, одна из которых – поддержание симметричного исполнения каждой фильеры с обеспечением необходимой размерной точности. Необходимая форма отверстия обеспечивается при этом направленным пластическим течением металла.

В данной работе представлен анализ напряженно-деформированного состояния на первой стадии листовой штамповки: получения выступов на листовой заготовке. Формование выступов реализуется путем обжима

заготовки деформирующей плитой в штампе с отверстиями. Рассмотрим течение металла вблизи одного отверстия.

Анализ напряженного и деформированного состояния произведен с помощью программного комплекса *Abaqus*, предназначенного для решения задач в области конечно-элементных прочностных расчетов. Семейство продуктов *Abaqus* разрабатывается и поддерживается компанией *Abaqus Inc. (USA)*. Компания поддерживает распространение университетской версии программного продукта с ограничением до 1000 штук количества конечных элементов.

Смоделировано течение металла вблизи одного отверстия матрицы. Первым этапом моделирования являлось создание деталей. В данном случае их три: штамп с отверстием (матрица), заготовка и плита. Для создания каждой детали заданы следующие параметры: моделируемое пространство - осесимметричное, тип материала деталей - деформируемый, отображение деталей – плоское. Контур деталей задается координатным способом. Сборка инструмента и заготовки показана на рис. 2.



Рис. 2. Сборка инструмента и заготовки в комплексе *Abaqus*

Следующим этапом являлось задание свойств материалов, участвующих в моделировании: сталь инструментальная штамповая и платина. Для стали указана плотность, равная 7700 кг/м^3, и заданы упругие свойства с помощью модуля Юнга и коэффициента Пуассона, которые равны 200000 МПа и 0,3 соответственно. Плотность платины равна 21450 кг/м^3, модуль Юнга = 170000 МПа, коэффициент Пуассона = 0,37. Пластические свойства платины заданы степенной зависимостью Людвика, которая устанавливает связь между сопротивлением деформации и степенью деформации в виде $\sigma_S = a + b \cdot \varepsilon^C$, где σ_S - сопротивление деформации, ε - степень деформации, a – предел упругости, b – коэффициент упрочнения, c – показатель упрочнения. Для платины эти величины принимают следующие значения: a = 100 МПа, b = 148 МПа, c = 0,573. Свойства металлов изотропны.

На созданную модель наложены следующие граничные условия. Первое условие - жесткое закрепление штампа по нижней границе его контура, так как штамп неподвижен в процессе обжима заготовки. Следующее условие задано для верхней границы плиты, она перемещается вертикально вниз. Граничные условия для инструмента заданы не по всему контуру, что позволяет в ходе решения задачи определить напряженно-деформированное состояние не только заготовки, но и инструмента. На правой границе очага реализуется свободное течение металла, действующее внешнее давление равно нулю. На границе контакта заготовки с матрицей и плитой реализуется скольжение. Условия трения описываются законом Кулона. Коэффициент трения по Кулону принят равным 0,1. На рис. 3 граничные условия показаны значками закрепления и стрелками, которые приняты в сопромате.

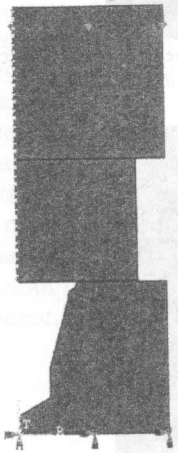


Рис. 3. Отображение граничных условий на модели

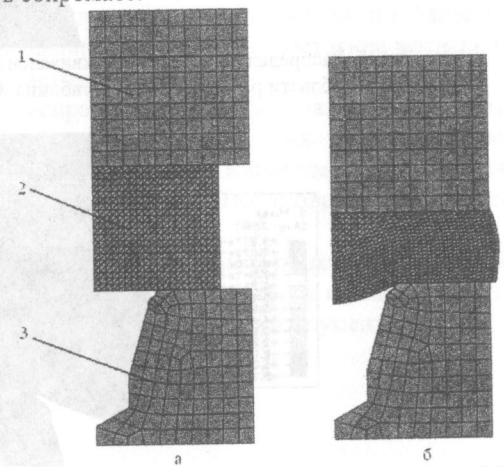


Рис. 4. Сетка конечных элементов в начальном (а) и конечном (б) состояниях: 1 – плита; 2 – заготовка; 3 – штамп

Следующим этапом в моделировании являлось создание сетки и ассоциации свойств конечных элементов с заданными свойствами. Для плиты и матрицы аппроксимирующий размер одного элемента принят 0,5 мм, тип элемента – четырехугольный. Для заготовки с целью повышения точности решения задачи принят размер элемента 0,2 мм, тип ячейки – треугольный. Таким образом, деформирующая плита разбита на 100 элементов, матрица на 96 элементов, заготовка из платины на 800 элементов. В сумме 996 элементов, что удовлетворяет ограничению университетской версии. На рис. 4 показано разбиение очага деформации на конечные элементы в процессе формирования выступов.

После завершения формирования исходных условий выполнены расчеты с получением схем распределения расчетных параметров по очагу деформации.

На рис. 5 представлено распределение значений эквивалентной степени деформации по очагу деформации. Полученные данные позволяют проанализировать деформированное состояние металла.

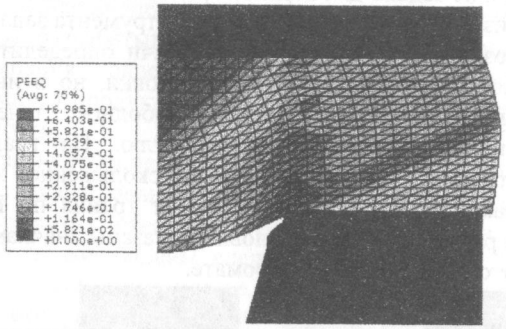


Рис. 5. Распределение значений эквивалентной степени деформации ε
(области равного уровня и таблица их значений - справа)

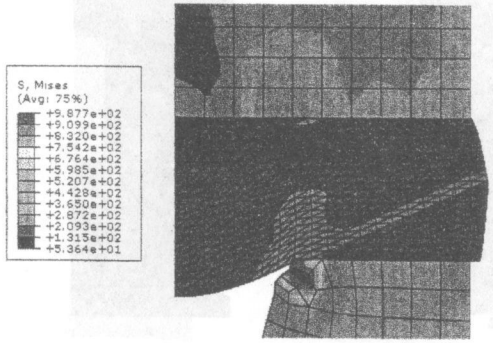


Рис. 6. Распределение значений напряжения по Мизесу
(области равного уровня и таблица их значений (МПа) – слева)

Отображенная картина распределения эквивалентной степени деформации позволяет, в частности, оценить уровень нагартовки металла по объему. Видно, что наибольшей деформации (ε=0,698) подвержен объем металла вблизи кромок матрицы. Это должно провоцировать износ, в первую очередь, именно этой поверхности инструмента, что и наблюдается на практике. Для нижней свободной поверхности характерен процесс бочкообразования. При этом заполнение конуса ручья штампа оказывается затрудненным: периферийные слои сильно отстают от центральных.

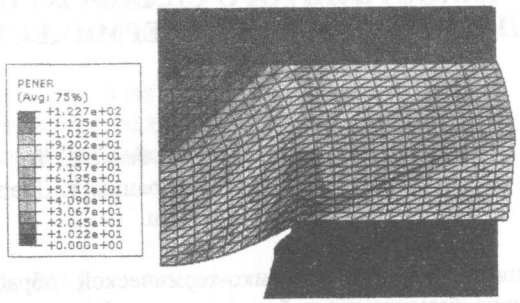


Рис. 7. Распределение значений энергии пластической деформации
(области равного уровня и таблица их значений (мДж) - справа)

На рис. 6 представлено распределение напряжения по Мизесу. Полученные данные позволяют оценить напряженное состояние металла в очаге деформации и материала инструмента

На рис. 7 представлено распределение энергии, затрачиваемой на пластическую деформацию. Оценив затраты на пластическую деформацию, можно оценить необходимый минимум энергии для осуществления данного процесса обработки. Это позволит подобрать нужное оборудование.

Выявленные эффекты позволяют лучше понять механизмы деформации платиносодержащего материала и позволяют оптимизировать сам процесс, а также параметры формообразующего инструмента.