

лами IV-VI групп и графитом: Автореф. дис. докт. техн. наук. - Киев, 1975. - с. 3. Самсонов Г.В., Серебрякова Т.И., Неронов В.А. Бориды. - М.: Атомиздат, 1975. 4. Борисенок Г.В., Иваницкий Н.И., Громов Ю.Н. Износостойкость твердосплавного режущего инструмента с карбидным покрытием. - В сб.: Металлургия. Минск: Вышэйшая школа, 1979, вып. 13, с. 160-162.

УДК 621.785

Е.Ф.Сильникова, ст. науч. сотр.
(ЛПИ им. М.И.Калинина)

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФЕСТОНИСТОСТИ АЛЮМИНИЕВЫХ ЛИСТОВ

В последние годы большое применение при штамповке получил листовой прокат из алюминия технической чистоты. Однако при этом, как правило, наблюдаются фестоны в отштампованных изделиях. В отожженных алюминиевых листах расположение фестонов может быть различным. В зависимости от параметров технологического процесса производства листа и режима отжига они могут при испытании образоваться под углом 45° или под углами 0 и 90° к направлению прокатки в листе. Минимальный абсолютный размер фестонов соответствует случаю, когда при испытании наблюдается восемь фестонов под углами 0 , 45° и 90° .

Исследования, выполненные в работах [1-3], имеют чисто качественный характер, сведения различных авторов основаны на отдельных экспериментах, проведенных в трудносопоставимых условиях, и частично противоречивы. Поэтому построение математических моделей фестонистости алюминиевых листов в зависимости от технологии их производства невозможно без проведения специального исследования.

Исходным материалом для исследования служил алюминий марки А5. Отношение железа к кремнию было принято постоянным и соответствовало двум. Технологические параметры отливки опытных слитков полунепрерывным способом в кристаллизатор скольжения не варьировались. Процесс гомогенизации (480 или 520°C) совмещен с нагревом слитков под прокатку.

Холодная прокатка с толщины 7 мм проводилась за два передела с суммарным обжатием 96% на толщину $0,3$ мм с раз-

личным сочетанием обжатий при первой и второй холодных прокатках. Температуры промежуточного и окончательного отжига приняты аналогичными типичным условиям производства алюминиевого листового проката и соответствовали 360 и 500°C.

Уравнение регрессии отыскивали в виде полинома первой степени относительно всех параметров, за исключением степени деформации, которая принималась как квадратичный эффект.

Для изучения фестонистости глубокой вытяжкой изготавливали стаканы диаметром 30 мм из заготовок диаметром 52 мм.

Построение математических моделей фестонистости холоднокатаного алюминиевого листа толщиной 0,3 мм, не подвергнутого после второй холодной прокатки отжигу, позволило выбрать зависимости для случаев промежуточного отжига при 360 и 500°C, представленные уравнениями (1) и (2) соответственно:

$$E = -122,14 - 0,4368\epsilon + 0,2688t + 7,7055\tau + 0,0015\epsilon^2 - 0,0152t\tau + 0,0040\epsilon t; \quad (1)$$

$$E = -102,704 - 0,3217\epsilon + 0,2248t + 6,6833 + 0,0014\epsilon^2 - 0,0132t\tau + 0,0033\epsilon t, \quad (2)$$

где ϵ - степень деформации при первой холодной прокатке; t - температура нагрева слитков под прокатку, °C; τ - время нагрева слитков, ч.

Адекватность полученных зависимостей достаточно высокая. Коэффициент множественной корреляции уравнений составляет 82 и 81% соответственно.

Из анализа уравнений (1) и (2) видно, что в то время как увеличение температуры и длительности нагрева приводит к росту фестонистости, их совместное действие имеет обратный эффект. Степень деформации более сложно воздействует на фестонистость (E). Линейный эффект обжатия приводит к снижению фестонистости, квадратичный и значимое взаимодействие с фактором времени выдержки при нагреве под прокатку приводят к увеличению E.

Для удобства использования полиномы (1) и (2) были построены номограммы, по которым можно, зная параметры прокатки, предсказать, какую фестонистость будет иметь лист толщиной 0,3 мм при двух холодных прокатках, если после второй холодной прокатки его не подвергать окончательному отжигу. Полученные номограммы позволяют решать также обратную задачу, то есть по известной фестонистости, заданной потребителем, подбирать режимы холодной прокатки и нагрева под горячую прокатку.

Перед построением математической модели, позволяющей учесть наибольшее число факторов, выполнена реплика общего плана, аналогичная применяемому для построения формул (1) и (2). Поиск уравнения регрессии проводили для случая промежуточного и окончательного отжига при температурах 360°C. После математической обработки получен полином

$$E = -13,4211 + 0,9727\epsilon - 1,8274\tau + 0,0009\epsilon^2 - 0,0020\epsilon\tau + 0,0040t\tau - 0,0071\epsilon\tau. \quad (3)$$

Зависимость отвечает доле объясненной вариации 76,7%.

Построение математической модели с учетом всех исследованных факторов проводилось после обработки опытных данных, полученных в ходе проведения описываемого эксперимента. После многофакторного регрессионного анализа получен полином, представленный ниже:

$$E = 21,66 - 3,82\tau + 0,1\theta + 0,0005\epsilon^2 - 0,005\epsilon t - 0,0003\epsilon\theta + 0,0002\epsilon\alpha + 0,008t\tau - 0,0002t\theta - 0,00002t\alpha - 0,0024\epsilon\tau, \quad (4)$$

где θ , α – температура промежуточного и окончательного отжига соответственно, °C.

Зависимость отвечает доле объясненной вариации 68%.

Все коэффициенты уравнения регрессии существенно значимы.

Анализ уравнения (4) показывает, насколько сложно параметр фестонистости зависит от технологических режимов. Например, увеличение времени гомогенизации приводит как к снижению фестонистости (отрицательные знаки при τ и $\epsilon\tau$), так и к увеличению (положительный знак при $t\tau$). Аналогичные сложные связи имеются и у других факторов. Величина обжатия не входит в линейной форме в уравнение регрессии, однако квадратичный эффект и четыре взаимодействия с высокой значимостью говорят о большом влиянии этого параметра на фестонистость.

Значимость взаимодействия связана с особенностями физического механизма формирования анизотропии свойств, обуславливающей фестонистость, и объясняется тем, что в реальном процессе каждый из варьируемых параметров изменяет свое воздействие на фестонистость под влиянием других факторов. Таким образом, диапазон варьирования выбран правильно и исследование не включило лишних этапов.

Литература

1. Засыпкин В.А., Ручьева К.В., Грушко О.Е. Свойства некоторых алюминиевых деформируемых сплавов в зависимости от метода плавки. Конструкционные и жаропрочные матери-

алы для новой техники. - М., 1978, с. 266-270. 2. Буданова Л.В., Колпашникова А.И. Об оценке способности к равномерной деформируемости. - Технология легких сплавов, № 9, 1975, с. 19-21. 3. S.Owies, M.Kobayashi, K.Sai-ki, W.Kawai. Memories of faculty of E.H.U., 1974, 25, N 2, 209.