

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИИ ЗОЛОТА

Первухин А.Е.

Профессор, доктор технических наук Логинов Ю.Н.

Уральский федеральный университет имени первого Президента
России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург

alex_pervukhin@hotmail.com

j.n.loginov@urfu.ru

В работе представлен обзор способов повышения температуры рекристаллизации чистого золота после обработки давлением. Определены направления для изучения проблемы. Рассмотрены условия для оптимизации очага деформации и устранения проблемы самоотжига.

Ограниченное количество научных работ выполнено по исследованию вариантов технологии производства изделий из золота и его сплавов [1, 2]. Одной из проблем в этой области является достижение высоких прочностных свойств металла в финишной обработке (обычно это метод волочения). Золото высокой чистоты подвержено разупрочнению при комнатной температуре, что не допускается нормативными документами.

В соответствии с формулой Бочвара температура начала рекристаллизации $T_{нр}$ (градусы Кельвина) определяется выражением

$$T_{нр} = a T_{пл}, \quad (1)$$

где $T_{пл}$ – температура плавления, a – коэффициент пропорциональности. Последняя величина зависит от степени чистоты металла. С уменьшением количества примесей коэффициент a снижается, что приводит к уменьшению температуры рекристаллизации, часто, вплоть до комнатной температуры.

Опыты по микролегированию кальцием золота чистотой 99,99% проводились еще в семидесятых годах прошлого века Екатеринбургским заводом ОЦМ, в последующем, при переходе на производство золота чистотой 99,999% проблема самоотжига готовой продукции только обострилась. Часть металла подвергалась отжигу уже при волочении, а часть – после вылеживания у потребителя.

Идея микролегирования стала прорабатываться за рубежом относительно недавно. Об этом говорит, например, публикация 2006г. Nanyang Technological University (Сингапур) [3]. Авторы проводили опыты с проволокой из золота чистотой 99,999% диаметром 25 мкм при суммарном относительном обжати 99,99%. Увеличивая содержание кальция от 20 до 60 ppm, они добились повышения временного сопротивления от 460 до 490 МПа, т.е. на 6%. Здесь же отмечено, что малое влияние на эффект изменения механических свойств оказывает размер зерна и направление его расположения (т.е., по существу, текстура). Повышение прочности металла в

какой-то мере свидетельствовало о повышении температуры рекристаллизации. Аналогичное исследование было проведено и описано в статье [4], но в качестве микролегирующей добавки выступал палладий.

Исследователи из Korea Advanced Institute of Science and Technology выполнили работу по изучению влияния степени деформации на температуру рекристаллизации золотой проволоки диаметром 25 мкм [5]. Они нашли, что модуль упругости начинает интенсивно снижаться при температуре 520 °С, что можно соотнести с началом рекристаллизации. Эта температура значительно выше комнатной и такой результат может быть объяснен невысокой чистотой золота на уровне 99,6%.

В целом, можно наметить направления, в соответствии с которыми велись или могут вестись исследования по данной проблеме.

1. Использование эффекта микролегирования.
2. Управление частотой термообработок по маршруту волочения.
3. Снижение уровня деформации при тех же значения коэффициентов вытяжек при волочении.

Последний пункт нуждается в пояснении.

В отечественной технической литературе для оценки деформированного состояния при волочении обычно применяется тот же, что и при растяжении показатель степени деформации \square_F , который обычно связывают с коэффициентом вытяжки:

$$\varepsilon_0 = \ln \lambda_i = 2 \ln \frac{d_{i-1}}{d_i}, \quad (2)$$

где d_{i-1} и d_i – диаметры проволоки до и после волюки в текущем проходе, осуществляемом с коэффициентом вытяжки \square_i .

Вместе с тем, такую деформацию получает лишь осевая область заготовки при радиальной координате $r=0$, поскольку она деформируется по схеме одноосного растяжения за счет уменьшения диаметра и траектория ее перемещения – прямая линия. В периферийной части проволоки деформации оказываются больше за счет дополнительных сдвигов, которые получает металл из-за изменения траектории перемещения через волюку.

В работе [6] отмечено, что угол волюки существенно влияет на уровень нагартовки протягиваемого материала. В статье [7] со ссылкой на работу [8] предложено для оценки дополнительной деформации сдвига при волочении использовать формулу расчета средней по поперечному сечению степени деформации

$$\varepsilon_{cp} = \phi \varepsilon_0, \quad (3)$$

где ϕ - фактор дополнительной работы деформации, значения которого оказываются зависимыми от вида материала. В общем случае $\phi > 1$, что приводит к выводу: $\varepsilon_{cp} > \varepsilon_0$. Для снижения фактора дополнительной работы деформации надо снижать дополнительные сдвиги, что достигается

оптимизацией угла наклона образующей волоки и длины калибрующего пояска. Эта задача не является на сегодняшний день окончательно решенной. Эффект накопления «лишней» деформации оказывается большим, он суммируется по переходам волочения, так как справедлива формула для определения накопленной степени деформации:

$$\varepsilon_{\Sigma ncp} = \sum_1^n \varepsilon_{icp} \quad , \quad (4)$$

где ε_{icp} - частная средняя степень деформации в проходе с учетом дополнительных сдвигов.

Из приведенных формул становится ясным, что «лишняя» накопленная деформация может быть уменьшена оптимизацией очага деформации, тем самым можно повысить температуру начала рекристаллизации и устранить явление самоотжига чистого золота.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Сидельников С.Б., Довженко Н.Н., Биронт В.С., Лопатина Е.С., Лебедева О.С., Столяров А.В., Усков И.В., Шубаков А.П., Бабушкин О.В. Исследование технологии получения проволоки из сплавов на основе золота. Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2010. № 3. С. 26-27.

2. Логинов Ю.Н., Каменецкий Б.И., Студенок Г.И. Дорнование полой заготовки из сплава золота. Кузнечно-штамповочное производство, 2006, №6. С.36-41.

3. Chew Y.H., Wong C.C., Breach C.D., Wulff F., Mhaisalkar S. Effects of calcium on the mechanical properties of ultra-fine grained gold wires. Journal of Alloys and Compounds, 2006. V. 415, Iss. 1–2. P. 193-197.

4. Saraswati T.S., Sritharan T., Pang C.I., Chew Y.H., Breach C.D., Wulff F., Mhaisalkar S.G., Wong C.C. The effects of Ca and Pd dopants on gold bonding wire and gold rod. Thin Solid Films. 2004. V. 462–463. P. 351– 356.

5. Kim K.S., Song J.Y., Chung E.K., Park J.K., Hong S.H. Relationship between mechanical properties and microstructure of ultra-fine gold bonding wires. Mechanics of Materials. 2006. V.38. P. 119–127.

6. Логинов Ю.Н., Василевский П.Д., Радионов Л.В. Исследование влияния угла конусности волоки на механические свойства протянутого полуфабриката. Цветные металлы. 2004. № 6. С. 104-106.

7. Chin R. K., Steif P. S. A computational study of strain inhomogeneity in wire drawing. Int. J. Mach. Tools Manufact. 1995. V. 35. No. 8. P. 1187-1198.

Atkins A. G., Caddell R. M. The incorporation of work hardening and redundant work in rod-drawing analyses. Int. J. Mech. Sci. 1968. V.10. P. 15-28.