

МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ, МЕТАЛЛУРГИЯ

УДК 621.778.534-8

В. В. КЛУБОВИЧ, В. А. ТОМИЛО

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ НА ДЕФОРМИРУЕМОСТЬ СПЛАВОВ ЗОЛОТА

Физико-технический институт НАН Беларуси

(Поступила в редакцию 15.01.2014)

Золото и его сплавы широко используются в различных областях техники, в стоматологии, для производства ювелирных украшений и монет и др. Золото обладает уникальными свойствами: высокой стойкостью к воздействию агрессивных сред, высокой электро- и теплопроводностью, технологичностью, из него изготавливают сверхтонкую фольгу и микронную проволоку, оно хорошо паяется и сваривается под давлением [1].

Совокупность полезных свойств золота и его сплавов послужила причиной широкого использования их в важнейших современных отраслях промышленности: электронике, технике связи, космической и авиационной технике, химии и др. Сплавы на основе золота нашли широкое применение в производстве электрических контактов, различных припоев, для измерения температуры и др. В настоящее время для производства ювелирных изделий применяют сплавы Au–Ag–Cu, которые могут содержать добавки благородных металлов. Сплавы (ЗлСрМ 583-80) 583-й пробы обладают хорошими технологическими свойствами и доступны по цене, причем их механические и коррозионные свойства соответствуют требованиям эксплуатации изделий. Для сплава ЗлСрМ 583-80 (58,3% Au; 8% Ag; остальное Cu) **характерно значительное деформационное упрочнение**, величина которого возрастает с увеличением скорости деформации. При этом разупрочнение с ростом температуры до 500 °С незначительно уменьшается, а затем наблюдается резкое снижение сопротивления деформации. Поскольку сплав золота 583-й пробы при повышенных температурах малопластичный, то его деформируют только при комнатной температуре. В связи с этим в настоящее время при получении тонкой проволоки из сплава золота 583-й пробы стали применять ультразвуковые колебания. Исследования процесса волочения металлов и сплавов показали большие преимущества использования ультразвуковых колебаний в волочильном производстве с целью снижения усилия протягивания, увеличения единичных обжатий и технологической деформируемости, улучшения качества поверхности проволоки. Кроме того, ультразвуковые колебания влияют на силы контактного трения, изменяют кинематику скольжения на контактной поверхности, увеличивают эффективность действия смазки, причем все указанные эффекты в большей степени зависят от направления введения ультразвуковых колебаний в очаг деформации.

Рассмотрим некоторые схемы подведения ультразвуковых колебаний к деформируемому металлу при волочении проволоки. Обычно при волочении используют стоячие ультразвуковые волны, поскольку они позволяют получить оптимальные условия работы ультразвуковой аппаратуры, увеличить коэффициент полезного действия колебательной системы, сконцентрировать ультразвуковую энергию, упростить конструктивное оформление и изоляцию колебательной системы.

Чтобы в колебательной системе возникла стоячая ультразвуковая волна, необходимо отдельным ее элементам или всей системе в целом иметь резонансные размеры для заданного типа

колебаний, возбуждаемых с определенной частотой. С точки зрения универсальности колебательной системы и создания условий для ее стабильной работы наиболее целесообразным является возбуждение ультразвуковых колебаний в очаге деформации через обрабатывающий инструмент. При работе колебательной системы в режиме стоячей волны имеются два характерных сечения: пучность колебаний (узел напряжений) и пучность напряжений (узел колебаний), которые и определяют расположение очага деформации при волочении. В зависимости от расположения очага деформации и типа ультразвуковых колебаний в различной степени изменяются схема напряженного состояния и кинематика течения металла. Поэтому выбор той или иной колебательной системы и расположение очага деформации при волочении должны быть направлены на достижение максимального эффекта от воздействия ультразвука. Однако при нахождении волокна в пучности смещений происходит передача колебаний деформируемому металлу, колебательная система выйдет из области резонанса и процесс волочения будет протекать нестабильно. Чтобы колебательная система работала в оптимальном режиме, необходимо наличие специальных дополнительных устройств, которые создавали бы стоячие волны в протягиваемом металле. Такими устройствами могут быть различного вида отражатели ультразвуковых колебаний, расположенные на определенных расстояниях по обе стороны или с одной стороны от волокна. Наиболее простым способом гашения колебаний является установка дополнительной волокна, деформация в которой не превышает 1–3%.

Нами впервые рассчитаны положения отражательных устройств при условии, что амплитуда колебаний в них равна нулю [2], а также рассмотрены механизм образования стоячей волны в протягиваемом металле и кинематика процесса волочения с продольными колебаниями волокна, когда отражателем колебаний является дополнительная волокна (рис. 1). При таком способе волочения проволоки снижение усилия протягивания происходит при условии, что величина амплитуды колебательной скорости волокна V_k больше значения скорости волочения V_a . Начиная с момента времени, когда V_k увеличиваясь, становится равной V_a , происходит разгрузка волокна и от нее по проволоке в направлении дополнительной волокна распространяется волна сжатия. Процесс происходит в течение времени

$$t_x = \frac{T}{\pi} \arccos \frac{V_a}{V_k},$$

где T – период колебаний.

Затем, когда значение V_k станет меньше значения V_a , в проволоке индуцируется и, начиная от волокна, распространяется волна растяжения. Если волочение проводить с дополнительной волокной (отражателем), то, отражаясь от нее, первая волна (волна сжатия) меняет свой знак, т. е. становится волной растяжения и распространяется от отражателя к рабочей волокне. Отражатель можно установить на таком расстоянии a , чтобы к началу индуцирования волны растяжения к торцу рабочей волны подошла отраженная волна. В этом случае в протягиваемой проволоке установится стоячая волна, амплитуда смещений которой будет максимальной у торца рабочей волокна. Расчет расстояния a от основной волокна до дополнительной волокна, которая служит отражателем ультразвуковых волн, показал, что оно равно $\lambda/4$, где λ – длина волны ультразвука. Однако рассмотренный способ волочения проволоки с продольными ультразвуковыми колебаниями в режиме стоячей волны обладает существенными недостатками. При малых скоростях или остановке процесса протягивания в узлах колебаний под действием высокочастотных на-

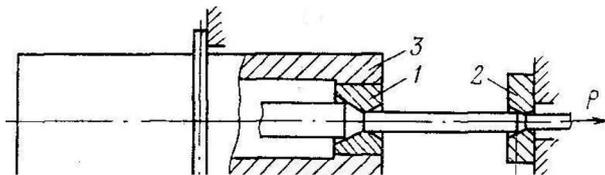


Рис. 1. Схема волочения с дополнительной волокной: 1 – основная волокна; 2 – дополнительная (отражатель) волокна; 3 – волновод

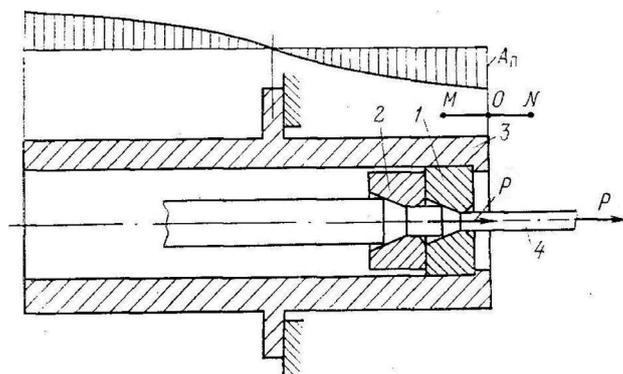


Рис. 2. Способ волочения через две волокна: 1 – закрепленная волокна; 2 – плавающая волокна; 3 – волновод; 4 – протягиваемая проволока

пряжений происходят нагрев металла и его усталостное разрушение. С увеличением амплитуды ультразвуковых колебаний указанный процесс интенсифицируется, так как величина знакопеременных напряжений пропорциональна амплитуде. Эти недостатки можно устранить, если волочение осуществлять через две последовательно расположенные волокна, первая из которых закреплена в пучности колебаний волновода, а вторая устанавливается свободно перед первой (рис. 2). В этом случае при волочении в обычных условиях без ультразвука волокно 2 прижимается к волокну 1 с увеличением значения P , меньшего величины общего усилия волочения, действующего на закрепленную волокно.

Волочение отожженной проволоки диаметром 3,0 мм из сплава золота 583-й пробы проводили со скоростью 100 мм/мин на испытательной машине «Инстрон». Источником энергии служил ультразвуковой генератор УЗГ-2-3 с магнитострикционным преобразователем ПМС-15А-18 или ультразвуковой генератор УЗДН-1 с прилагаемым преобразователем ПМС 1-1. Резонансные частоты магнитострикционных преобразователей составляли 18–22 кГц. Для уменьшения потерь сплава золота при заточке концов проволоки волочение проводили при малой интенсивности ультразвуковых колебаний (амплитуда колебаний не превышала 5 мкм) без применения специальных отражательных устройств, использование которых требует заточки большей длины проволоки и приводит к увеличению отходов.

Исследование процесса волочения сплава золота 583-й пробы с наложением ультразвуковых колебаний исходного диаметра 3,0 мм на диаметр 1,0 мм можно осуществить по следующему маршруту (в скобках указаны обжатия за переход): $\varnothing 3,0 \text{ мм} \rightarrow \varnothing 2,6 (24,9\%) \rightarrow \varnothing 2,3 (21,7\%) \rightarrow \varnothing 2,05 (20,6\%) \rightarrow \varnothing 1,8 (22\%) \rightarrow \varnothing 1,6 (20,9\%) \rightarrow \varnothing 1,45 (18,0\%) \rightarrow \varnothing 1,3 (19,8\%) \rightarrow \varnothing 1,2 (14,8\%) \rightarrow \varnothing 1,1 (16,0\%) \rightarrow \varnothing 1,0 \text{ мм} (17,3\%)$, т. е. за десять переходов и две операции по отжигу проволоки. Отжиг проволоки из сплава золота проводили в вакуумной печи при 800 °С. Увеличение интенсивности ультразвуковых колебаний позволяет повысить степень деформации за один переход, однако процесс протягивания проволоки протекает нестабильно при отсутствии отражательных устройств.

Дальнейшие исследования по волочению проволоки с исходного диаметра 3,0 мм на диаметр 1,0 мм и ниже проводили с плавающей волокой по схеме рис. 2. Такой способ волочения позволил уменьшить потери на заточку концов проволоки и значительно увеличить степень единичных до 45% и суммарных до 75% деформаций. Волочение проволоки сплава золота 583-й пробы (тех же размеров) через две волокна, одна из которых жестко закреплена в концентраторе (амплитуда колебаний 12–15 мкм), можно осуществить по следующему маршруту: $\varnothing 3,0 \text{ мм} \rightarrow \varnothing 2,35 \rightarrow \varnothing 1,9 \rightarrow \varnothing 1,6 \rightarrow \varnothing 1,3 \rightarrow \varnothing 1,15 \rightarrow \varnothing 1,0 \text{ мм}$, т. е. за шесть переходов и один отжиг при диаметре 1,6 мм.

Проведем анализ процесса волочения при продольных колебаниях закрепленной волоки с частотой ультразвука и плавающей волоки. При обычном волочении волокно 2 будет прижиматься к закрепленной волоке 1 с усилием $P_{\text{доп}}$, меньшим, чем общее усилие волочения $P_{\text{вол}}$. Пусть свободная волокна находится в крайнем левом положении (рис. 2, точка М) и начинает двигаться (вправо), а закрепленная волокна в этот момент времени меняет свое направление движения на обратное и сообщает свободной волоке скорость и ускорение. В точке О скорость

волоки 1 достигает амплитудного значения, а ускорение падает до нуля. Плавающая волока 2 приобретает максимальную кинетическую энергию. Затем скорость волоки 1 снижается и уменьшается скорость волоки 2, так как при своем движении она преодолевает сопротивление деформации. Поскольку величина деформации постоянная, то волока 2 будет двигаться равномерно с постоянным ускорением до тех пор, пока ускорения волок 1 и 2 сравняются, закрепленная волока сообщает волоке 2 кинетическую энергию. В этот момент времени на участке проволоки между волоками индуцируется волна растяжения, которая не распространяется вдоль протягиваемого металла, так как волока 1 для нее является отражателем. Волока 2 не будет двигаться относительно протягиваемого металла в направлении, противоположном направлению волочения, пока ее кинетическая энергия не будет израсходована на работу деформации. В этот момент возникает противонапряжение. Начало движения волоки 2 в направлении волочения будет способствовать снижению усилия $P_{\text{доп}}$ до нуля и индуцированию волны сжатия, которая также замыкается между волоками.

В момент контакта волок вследствие их встречного движения (волока 1 движется из точки N , а волока 2 – из точки M , рис. 2) произойдет динамическое взаимодействие, в результате волока 2 поменяет вектор скорости на обратный, так как волока 1 по отношению к ней является возмущающей силой. Вследствие динамического взаимодействия волок металл на участке между ними мгновенно растянется и в нем индуцируется волна растяжения, которая, как и волна сжатия, замыкается между волоками. Следует отметить, что в момент контакта волок снижение усилия $P_{\text{доп}}$ будет максимальным. Затем вследствие движения волок к точке M усилие $P_{\text{доп}}$ возрастает до определенной величины, а в проволоке индуцируется волна растяжения. В таком положении обе волоки достигают крайнего левого положения (точка M) и в дальнейшем процесс повторяется.

Таким образом, снижение усилия при волочении проволоки из сплава золота 583-й пробы по схеме рис. 2 обусловлено периодической разгрузкой закрепленной волоки 1, причем степень разгрузки зависит от массы незакрепленной волоки 2, степени деформации металла в ней, амплитуды ультразвуковых колебаний и т. д. Такой способ волочения является наиболее оптимальным по сравнению с другими методами, так как колебания не распространяются вдоль протягиваемого металла, поскольку они замыкаются на участке между двумя волоками.

Выводы

1. Применение ультразвуковых колебаний при волочении проволоки из сплава золота 583-й пробы позволяет снизить усилие протягивания на 40%, увеличить степень деформации за проход до 45% и суммарной степени деформации до 70–80% без применения термообработки проволоки.

2. Волочение проволоки из сплава золота исходного диаметра 3,0 мм на диаметр 1,0 мм возможно осуществить за десять переходов при двух операциях ее отжига, а при волочении такой же проволоки с наложением продольных ультразвуковых колебаний через две волоки возможно осуществить за шесть переходов и при одной операции отжига, а следовательно, увеличить технологическую деформируемость при волочении с наложением ультразвука.

Литература

1. Малышев В. М., Румянцев Д. В. Золото. М., 1979.
2. Северденко В. П., Клубович В. В., Степаненко А. В. Прокатка и волочение с ультразвуком. Мн., 1970.

V. V. KLUBOVICH, V. A. TAMILA

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ULTRASOUND ON DEFORMABILITY OF GOLD ALLOYS

Summary

Effect of axial ultrasound vibrations on the technological parameters of the 14-carat gold wire drawing process is described. It is shown that ultrasonic wire drawing through two wire-drawing die leads to decrease of the drawing load up to 40% and number of cycles from six to ten and to increase of the single and total deformation level up to 45% and 70% respectively.