

УДК 621.771.

Найзабеков А. Б.  
Лежнев С. Н.  
Кнапиньски М. Я.  
Курапов Г. Г.  
Волокитина И. Е.

## ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ МЕДНЫХ СПЛАВОВ ПРИ РКУ-ПРЕССОВАНИИ

Введение. Одним из самых важных направлений современного материаловедения, наряду с созданием новых материалов, является улучшение служебных свойств существующих материалов.

В последние годы были проведены многочисленные исследования, направленные на увеличение прочностных характеристик металлов и сплавов путем получения наноразмерных кристаллитов с помощью интенсивной пластической деформации [1, 2]. Большинство работ по получению таких материалов проведено с использованием метода равноканального углового прессования. Этот метод не позволяет достичь экстремальных степеней деформации, но его несомненным преимуществом является возможность получения объемных заготовок. С помощью РКУП можно создать в материале однородную микроструктуру. Это важно при изготовлении объемных заготовок для ответственных деталей машин и элементов конструкций (именно неоднородность структуры способствует разрушению деталей в условиях усталости, ползучести и при активной деформации).

Большое количество работ направлено на изучение субмикроструктурной и нанокристаллической структуры в чистых металлах Al, Cu, Ti и Ni и армо-железе. Но в последнее время все больше работ направлено на исследование сплавов [2–3], которые показывают также хорошую перспективу использования методов ИПД для измельчения структуры.

Целью данной работы является изучение влияния исходного структурного состояния латуни ЛЖМц 66-4-7 на получение ультрамелкозернистой структуры при РКУ-прессовании в равноканальной ступенчатой матрице и установление закономерностей трансформации крупнокристаллической структуры латуни в ультрамелкозернистую под действием РКУП.

Методика исследования. Главным инструментом при проведении равноканального упрочнения является матрица. Канал матрицы представляет собой последовательный ряд проходов прямоугольного сечения, расположенных под углами друг к другу. На рис. 1 показана схема канала деформирования, разбитая на 5 участков.

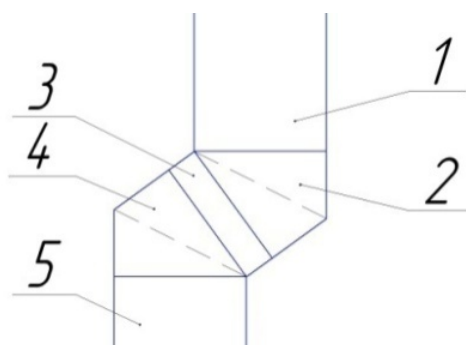


Рис. 1. Схема канала матрицы

На участках 1, 3 и 5 пластическая деформация не происходит, и усилие прессования расходуется только на преодоление сил трения о стенки канала матрицы. Металл находится в упругом состоянии и удельное давление на стенки матрицы не может быть больше сопротивления деформации предела текучести. На 2 и 4 участках появляется усилие, требуемое для осуществления сдвиговой деформации.

Для проведения эксперимента были изготовлены образцы из латуни ЛЖМц 66-4-7 квадратного сечения 15×15×70 мм, которые соответствуют поперечному сечению каналов изготовленной для эксперимента равноканальной ступенчатой матрицы. До РКУ-прессования образцы были подвергнуты предварительной термической обработке отжигу, закалке и нормализации по стандартному режиму. Образцы подвергали прессованию на гидравлическом прессе в матрице с углом стыка каналов 125° с кантовкой заготовки на 90° вокруг продольной оси. Перед опусканием заготовки во входной канал матрицы производили смазывание канала и пуансона графитовой смазкой (смесь машинного масла с графитом). Деформирование проводили при комнатной температуре.

Для изучения структурных изменений образцы разрезали вдоль и поперек направлению вытяжки. Металлографическое исследование проводили на оптическом микроскопе LEICA.

Результаты и их обсуждение. Рассмотрим изменения структуры латуни, формирующейся при различных режимах предварительной термической обработки и температурах прессования.

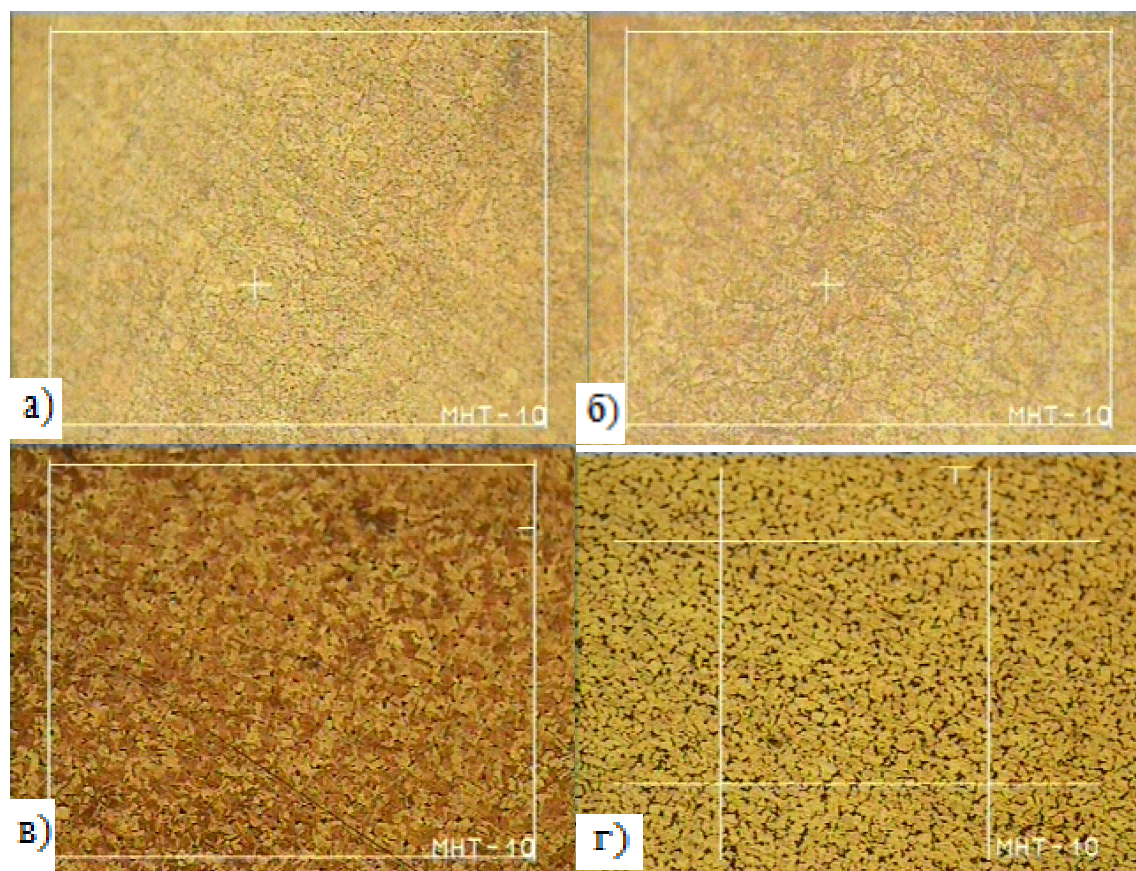


Рис. 2. Микроструктура латуни после предварительной термической обработки,  $\times 100$  : а – исходная структура; б – отжиг; в – нормализация; г – закалка

Микроструктура латуни более мелкозернистая по сравнению с медью, благодаря присутствию в сплаве железа, которое тормозит рост зерна при кристаллизации и рекристаллизации и этим способствует измельчению структуры.

Структура и свойства  $\alpha+\beta$  латуней зависит от скорости охлаждения. Так как наш травитель окрашивает  $\beta$ -фазу в темный цвет, то мы видим, что при охлаждении на воздухе возрастает количество  $\beta$ -фазы (см. рис. 2, в), что повышает твердость латуни. Медленное же охлаждение ведет к увеличению  $\alpha$ -фазы (см. рис. 2, б), повышая ее пластичность. Поэтому, если отжигаемая латунь предназначена для дальнейшей холодной обработки давлением, то лучше ее охлаждать после отжига медленно, чтобы обеспечить максимально полный переход  $\beta$ -фазы в  $\alpha$ -фазу (см. рис. 2, б).

В результате прессования латуни при комнатной температуре происходит ее разрушение. На рис. 3 представлен вид образца латуни ЛЖМц 66-4-7 после РКУП. Видно, что уже после однократного прессования образец разрушился на четыре фрагмента.

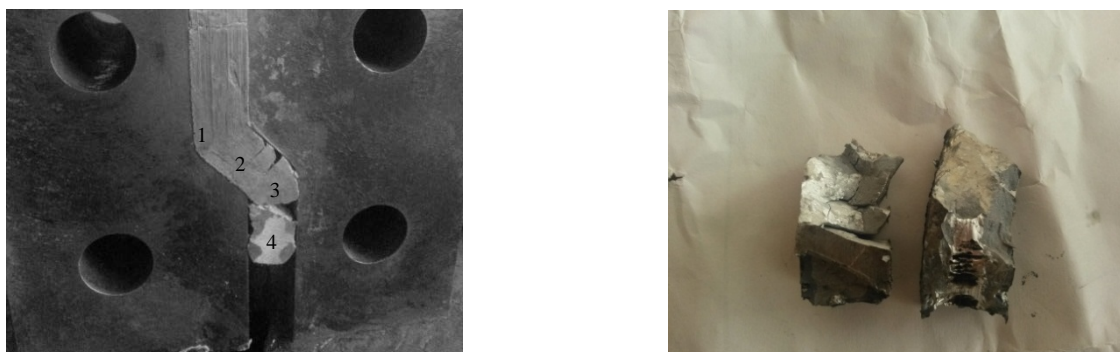


Рис. 3. Внешний вид образца латуни ЛЖМц 66-4-7 после однократного РКУП

Исследование микроструктуры 1-го фрагмента образца (обозначен цифрой 1 на рис. 3), показало, что структура первой части 1-го фрагмента, расположенной после прессования в первом канале, практически не изменилась, по сравнению с исходной структурой (рис. 4, а). Микроструктура второй части 1-го фрагмента в области угла поворота претерпела существенные изменения (рис. 4, б). Во 2-м и 3-м фрагментах образца, полностью прошедших угол пересечения каналов (обозначены цифрами 2 и 3 на рис. 4), сформировалась тонкая волокнистая структура (рис. 4, в). 4 фрагмент имеет уже более фрагментированную и правильную структуру (рис. 4, г).

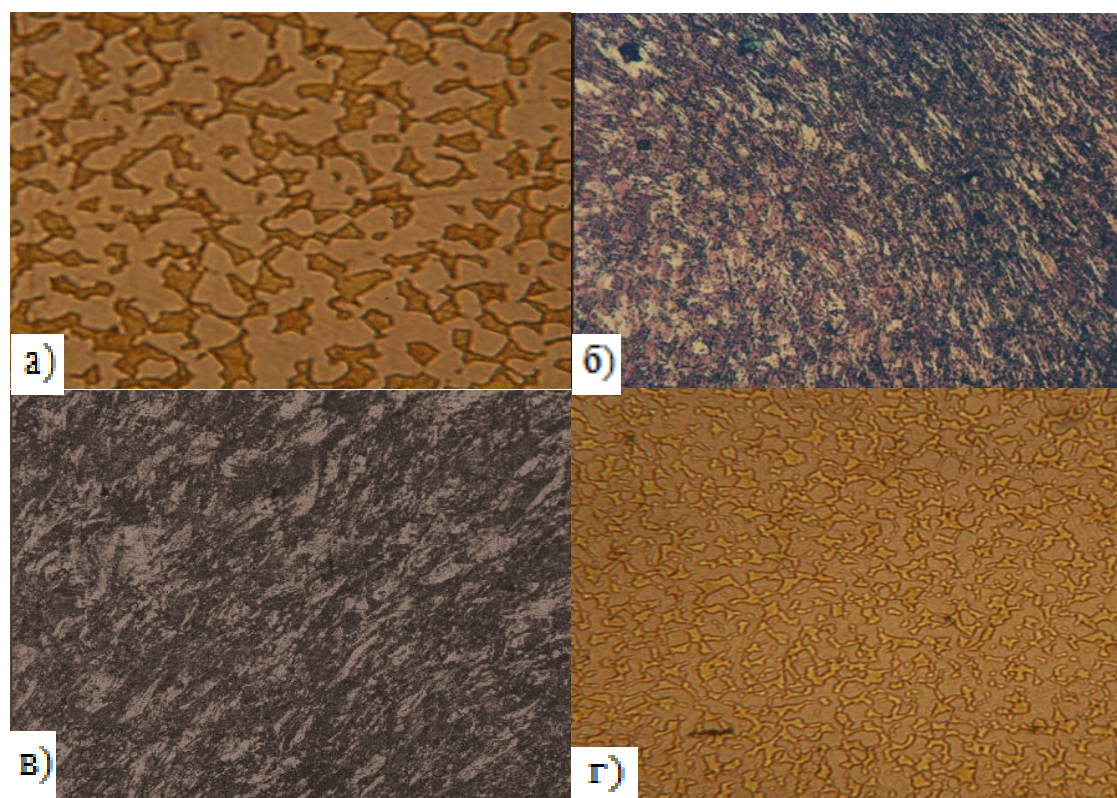


Рис. 4. Микроструктура образца латуни ЛЖМц 66-4-7 после однократного РКУП,  $\times 200$ : а – 1-ый фрагмент; б – 1-ый фрагмент в области угла; в – 2-ой фрагмент; г – 4-ый фрагмент

Разрушение латунного образца произошло вследствие того, что латунь ЛЖМц 66-4-7 состоит из  $\alpha+\beta$  структуры.  $\beta$ -фаза – твердый раствор на базе электронного соединения с объемно-центрированной кубической решеткой и упорядоченным расположением атомов.

$\beta$ -фаза отличается повышенной хрупкостью и твердостью, поэтому образование  $\beta$ -фазы снижает вязкость и увеличивает твердость и хрупкость [4].

Кроме того, малые степени деформации перед термической обработкой латуни могут дать зерно повышенной хрупкости, а исходным материалом для наших заготовок служила катанка.

Так как разрушение образцов происходит из-за твердой  $\beta$ -фазы, нагреем латунь при прессовании до  $500^{\circ}\text{C}$ . Исходя из диаграммы состояния,  $\beta$ -фаза при нагреве выше  $450^{\circ}\text{C}$  превращается в неупорядоченный твердый раствор  $\beta^1$ , отличающийся большей пластичностью, чем  $\beta$ -фаза [4].

РКУ-прессование проводим только исходной заготовки и после отжига, т.к. при других термических обработках по границам зерен выступила эвтектика, которая также охрупчивает сплав.

Фотографии микроструктуры, полученные при изучении сплава ЛЖМц 66-4-7, после прессования, при  $t = 500^{\circ}\text{C}$  представлены на рис. 5.

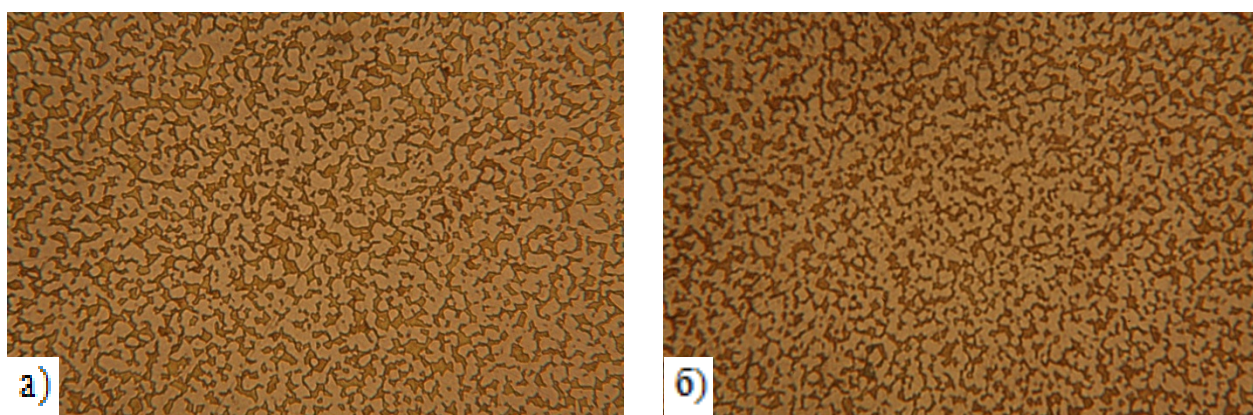


Рис. 5. Микроструктура сплава ЛЖМц 66-4-7 после 3 циклов прессования при температуре  $500^{\circ}\text{C}$ ,  $\times 1000$ :

а – исходная структура; б – отжиг

Анализ микроструктуры сплава ЛЖМц66-4-7 после РКУП показал, что после каждого цикла деформирования происходит интенсивное измельчение зерна. Но высокая температура прессования ведет к динамическому разупрочнению, из-за чего структура меньше прорабатывается и получается высокая степень разноразмерности. Увеличение циклов деформирования также приводит к увеличению количества  $\beta$ -фазы, отличающейся повышенной хрупкостью и твердостью, в результате чего после 3 проходов произошло разрушение образцов.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод о том, что для РКУП необходимо использовать однофазные  $\alpha$ -латуни.

## ВЫВОДЫ

В работе исследовано влияние исходного структурного состояния латуни ЛЖМц 66-4-7 на получение ультрамелкозернистой структуры при РКУ-прессовании в равноканальной ступенчатой матрице и установлены закономерности трансформации крупнокристаллической структуры латуни в ультрамелкозернистую под действием РКУП. Основные выводы в результате проведенного исследования:

1. Минимальный размер зерна, полученный в ходе прессования латуни ЛЖМц 66-4-7 в равноканальной ступенчатой матрице, лежит в пределах  $1,1\ \mu\text{m}$  и достигается после проведения 3 циклов деформирования и предварительной термической операции – отжига.

2. Выявлено, что размер зерен после РКУП мало зависит от предварительной термической обработки, однако при всех термических операциях, кроме низкотемпературного отжига, по границам зерен выступает эвтектика, которая охрупчивает сплав, в результате чего происходит разрушение образцов.

3. Показано, что прессование в равноканальной ступенчатой матрице двухфазных латуней возможно проводить только при высоких температурах, при комнатной температуре уже при первом проходе происходит разрушение образцов.

4. Определено, что увеличение циклов деформирования приводит к увеличению количества  $\beta$ -фазы, в результате чего после 3 проходов происходит разрушение образцов.

5. На основании экспериментальных исследований выявлено, что для РКУП необходимо использовать однофазные  $\alpha$ -латуни.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Валиев Р. З. *Использование методов интенсивной пластической деформации для получения объемных наноструктурных металлов и сплавов* / Р. З. Валиев, Г. И. Рааб, М. Ю. Мурашкин // *Кузнечно-штамповое производство*. – 2008. – № 11. – С. 5–12.

2. *Research of influence equal channel angular pressing combined with a heat treatment on the microstructure of the steel 45* / A. B. Nayzabekov, S. N. Lezhnev, G. G. Kurapov, M. J. Knapinski, I. E. Volokitina // *XV International scientific conference New technologies and achievements in metallurgy, material engineering and production engineering. Series: Monografie. Nr 40*. – Czestochowa, 2014. – P. 365–368.

3. *Influence of Initial Structural State of 35HM Steel on the Obtaining Ultrafinegrained Structure During ECA-pressing* / I. E. Volokitina, A. B. Nayzabekov, S. N. Lezhnev, G. G. Kurapov, M. J. Knapinski // *The 3rd IIV South – East European welding congress «Welding and Joining Technologies for a sustainable development and environment»*. – Romania, 2015.

4. Геллер Ю. А. *Материаловедение* / Ю. А. Геллер, А. Г. Рахштадт. – М. : *Металлургия*, 1989. – 456 с.

#### REFERENCES

1. Valiev R. Z. *Ispol'zovanie metodov intensivnoy plasticheskoy deformatsii dlya poluchenija ob'emnykh nanostrukturnykh metallov i splavov* / R. Z. Valiev, G. I. Raab, M. Ju. Murashkin // *Kuznechno-shtampovoe proizvodstvo*. – 2008. – № 11. – S. 5–12.

2. *Research of influence equal channel angular pressing combined with a heat treatment on the microstructure of the steel 45* / A. B. Nayzabekov, S. N. Lezhnev, G. G. Kurapov, M. J. Knapinski, I. E. Volokitina // *XV International scientific conference New technologies and achievements in metallurgy, material engineering and production engineering. Series: Monografie. Nr 40*. – Czestochowa, 2014. – P. 365–368.

3. *Influence of Initial Structural State of 35HM Steel on the Obtaining Ultrafinegrained Structure During ECA-pressing* / I. E. Volokitina, A. B. Nayzabekov, S. N. Lezhnev, G. G. Kurapov, M. J. Knapinski // *The 3rd IIV South – East European welding congress «Welding and Joining Technologies for a sustainable development and environment»*. – Romania, 2015.

4. Geller Ju. A. *Materialovedenie* / Ju. A. Geller, A. G. Rahshtadt. – M. : *Metallurgija*, 1989. – 456 s.

Найзабеков А. Б. – д-р техн. наук, ректор РИИ;

Лежнев С. Н. – канд. техн. наук, доц. каф. ОМД КГИУ;

Кнапиньски М. Я. – д-р техн. наук, каф. ОМДиИБ ЧТУ;

Курапов Г. Г. – канд. хим. наук, асс. проф. КНИТУ им. К. И. Сатпаева;

Волокитина И. Е. – докторант PhD, магистр КНИТУ им. К. И. Сатпаева.

РИИ – Рудненский индустриальный институт, г. Рудный, Казахстан;

КГИУ – Карагандинский государственный индустриальный университет, г. Темиртау, Казахстан;

ЧТУ – Ченстоховский технологический университет, г. Ченстохов, Польша;

КНИТУ им. К. И. Сатпаева – Казахский национальный исследовательский технический университет имени К. И. Сатпаева, г. Алма-Ата, Казахстан.

E-mail: naizbekov57@mail.ru, sergey\_legnev@mail.ru, knap@wip.pcz.pl,  
kurapov1940@mail.ru, irinka.vav@mail.ru