

# ПРИМЕНЕНИЕ ИНДУКТИВНО-ЕМКОСТНЫХ УСТРОЙСТВ В ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

В.Ф. Гологан\*, Ж.И. Бобанова\*, С.В. Букарь\*\*, С.В. Ивашку\*\*, В.Н. Унгуряну\*\*

\*Институт прикладной физики АН Молдовы,  
ул. Академией, 5, г. Кишинев, MD-2028, Республика Молдова, [bobanova@phys.asm.md](mailto:bobanova@phys.asm.md)

\*\*А.О. «Резонанца»,  
ул. Войтович, 5, г. Атаки, MD-7106, Республика Молдова

С целью повышения динамических характеристик источников питания и возможности управления электротехнологическими процессами было предложено использовать индуктивно-емкостные устройства (ИЕУ) во вторичной цепи трансформатора источника постоянного и переменного токов, применяемых в сварочных и электрохимических процессах (гальванике, при оксидировании и травлении) [1–4].

Такие устройства позволяют эффективно применять сварочные источники питания на переменном токе, у которых во вторичной цепи последовательно индуктивности и дуге подключается емкость, выполненная как батарея из полярно соединенных электролитических конденсаторов. Это обеспечивает гармоничное упорядочение процессов в дуговых разрядах, существенно увеличивает скорость нарастания напряжения на дуговом промежутке в момент перехода кривой напряжения через нулевое значение, формируется более совершенная структура наплавленного металла.

В основу работы источника положен принцип энергетического взаимодействия в поличастотном режиме компенсации реактивных составляющих в сварочной нелинейной цепи, что приводит к улучшению его динамических характеристик. Активные токи во вторичной цепи, являясь производным интегрального резонанса, создают условия для гармонического упорядочения процессов в дуговых разрядах, что благоприятно сказывается на формировании и конечной структуре наплавленного металла. При этом обеспечивается качественно новое колебательное развитие самого разряда.

Исследования на угольной дуге и в реальных условиях подтверждают появление высших гармоник и их упорядочение. Осциллограммы тока и напряжения показали, что кривые напряжения и тока совпадают в нулевой точке без сдвига фаз, что подтверждает полную компенсацию реактивных составляющих (рис. 1).

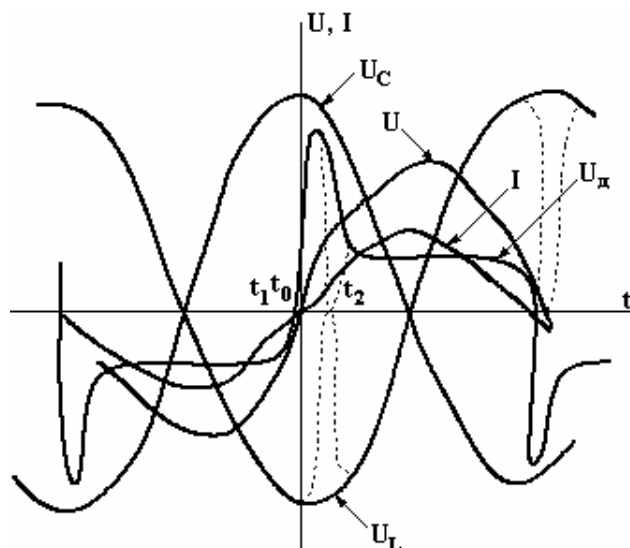


Рис. 1. Осциллограмма напряжения и тока в условиях резонанса во вторичной цепи:  $U_c$  – напряжение на емкость;  $U_L$  – напряжение на индуктивность;  $U_d$  – напряжение на дуге;  $I$  – ток в цепи;  $U$  – напряжение в цепи;  $t_1$  – момент прекращения дугового разряда;  $t_0$  – время, когда происходит полная зарядка конденсаторов;  $t_2$  – время, при котором происходит разрядка конденсаторов (указано пунктиром)

Согласно осциллограмме в момент  $t_1$  напряжение трансформатора становится недостаточным для поддержания дугового разряда, что приводит к падению тока, понижению температуры в пространстве между электродами и повышению его сопротивления. После прохождения тока через ноль горение дуги поддерживается конденсаторами, которые в этот момент ( $t_2$ ) полностью разряжаются и выделенная энергия передается в обмотку трансформатора, и затем, попадая в межэлектродный промежуток, обеспечивает возбуждение дуги.

В условиях резонанса напряжение во вторичной цепи становится в 2–3 раза больше, чем напряжение холостого хода ( $U_{xx}$ ), и поэтому  $U_{xx}$  можно уменьшить. В этом случае увеличивается коэффициент трансформации, в результате чего уменьшается ток в первичной обмотке при том же токе сварки, а также понижается реактивная нагрузка в питающей цепи.

На кривой напряжения  $U_d$  наблюдаются резкое возрастание фронта и незначительное изменение напряжения в период возрастания тока от нуля до амплитудного значения и последующего его уменьшения до нуля (рис. 1).

В начале каждого полупериода имеет место заметный пик напряжения зажигания за счет миграции магнитного и электрического полей на концах электрода. Появление пикового напряжения в момент повторного возбуждения обеспечивает устойчивое горение дуги, существенное уменьшение разбрызгивания металла, нагрев электрода и увеличение коэффициента расплавления в 1,2–1,8 раза.

Анализ кинограмм и спектрального распределения гармоник сварочного тока свидетельствует об изменении механизма образования капли, ее дроблении и переносе электрода в жидкую ванну в виде слива без взрывов и короткого замыкания дугового промежутка, в результате чего уменьшаются зона термического влияния в 1,5 раза, деформация и коробление деталей – в 3–4 раза и увеличивается послеремонтный эксплуатационный ресурс в 1,5–2 раза по сравнению с традиционными методами. Кроме того, из-за увеличения коэффициента мощности с 0,6 до 0,95–1,0 снижается потребление электроэнергии на 40% [5]. На основе опыта применения ИЕУ в сварочном производстве источники тока с этим устройством при параллельном соединении индуктивности и емкости были опробованы в гальванических процессах.

Эти устройства последовательно соединяются с выпрямителем и гальванической ванной. Изменяя параметры ИЕУ, можно оказывать существенное влияние на поляризацию катода, а следовательно, и на структуру, и свойства покрытия.

Исследования процесса осаждения меди, которые проводились по описанной методике [6] с использованием лабораторных однофазного и трехфазного источников питания мощностью 40 и 60 Вт, показали, что потенциал катода при осаждении меди отличается существенно в зависимости от источника питания (рис. 2, 3).

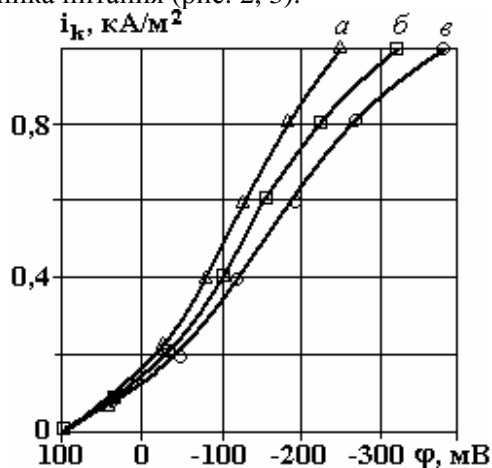


Рис. 2. Поляризационные кривые при осаждении меди из сульфатного электролита при использовании однофазного источника питания: а – с ИЕУ ( $L = 10$  Гн,  $C = 17600$  мкФ); б – без ИЕУ; в – с подключением индуктивности ( $L = 10$  Гн)

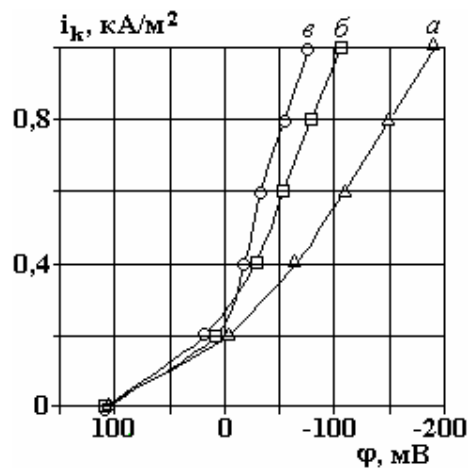


Рис. 3. Поляризационные кривые при осаждении меди из сульфатного электролита при использовании трехфазного источника питания: а – с подключением индуктивности ( $L = 10$  Гн); б – без ИЕУ; в – с ИЕУ ( $L = 2,5$  Гн,  $C = 24200$  мкФ)

В случае применения трехфазного источника питания потенциал катода смещался в более положительную область на 200 мВ. Наиболее положительные потенциалы электрода были достигнуты при меньшей величине индуктивности  $L = 2,5$  Гн и  $C = 24200$  мкФ, а более отрицательный потенциал катода зафиксирован при  $L = 10$  Гн. При подключении ИЕУ к выпрямителю ВСЖ-303 оптимальное

значение индуктивности не превышало 119 мГн при осаждении хрома, что способствовало уменьшению габаритных размеров (веса) и стоимости устройства [7, 8]. Одновременно с изменением потенциала катода происходит синхронное изменение спектра переменных составляющих в гальванической цепи (рис. 4). Значения параметров  $L$  и  $C$  зависят от типа источника питания: с увеличением пульсации тока, например при использовании однофазного источника питания, они возрастают при оптимальных условиях осаждения. Вместе с тем эти исходные пульсации источника питания оказывают заметное влияние на потенциал катода, структуру и свойства покрытий даже в случае применения ИЕУ.

Тип источника питания оказал влияние и на спектры переменных составляющих тока в гальванической цепи и структуру покрытий (рис. 4–6).

Во всех случаях при осаждении покрытий с подключением ИЕУ амплитуды переменных составляющих тока возрастали, что свидетельствует об эффекте резонанса (рис. 4, 5).

Пульсации переменных составляющих тока при трехфазном токе отличаются как по величине их амплитуды, так и по количеству их в спектре, что свидетельствует о влиянии пульсаций тока от источника питания (рис. 6). Изучение морфологии осадков меди показало, что у покрытий, полученных от трехфазного источника питания, агрегаты были меньших размеров, что отразилось на шероховатости поверхности (рис. 7, 8). Применение ИЕУ при определенных значениях параметров  $L$ ,  $C$  способствовало получению более гладких осадков (рис. 7, 8) и мелкокристаллической структуры покрытий [8].

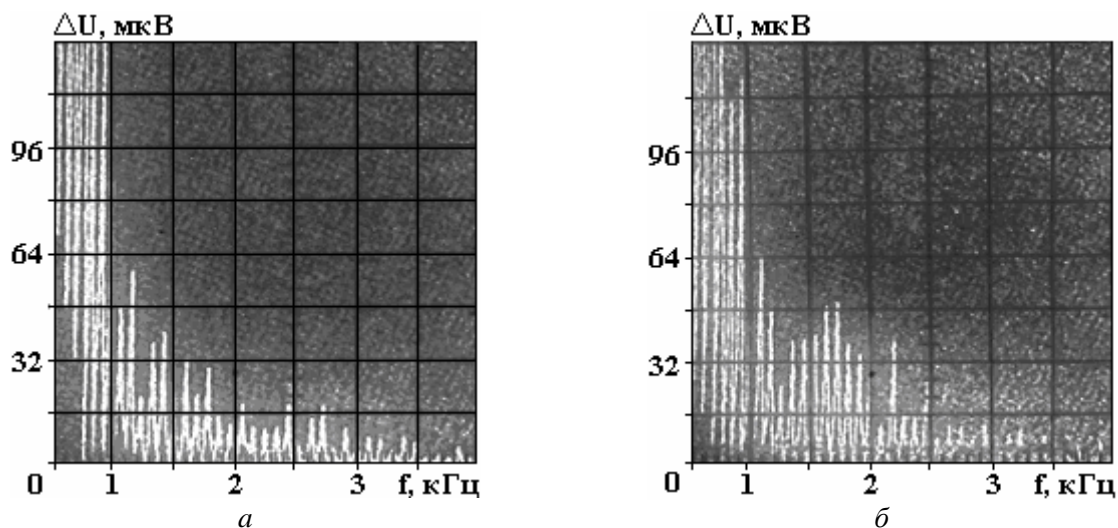


Рис. 4. Спектры переменных составляющих тока ( $I = 100$  мА): а – без ИЕУ и ванны; б – с ИЕУ ( $L = 10$  Гн,  $C = 17600$  мкФ) и без ванны

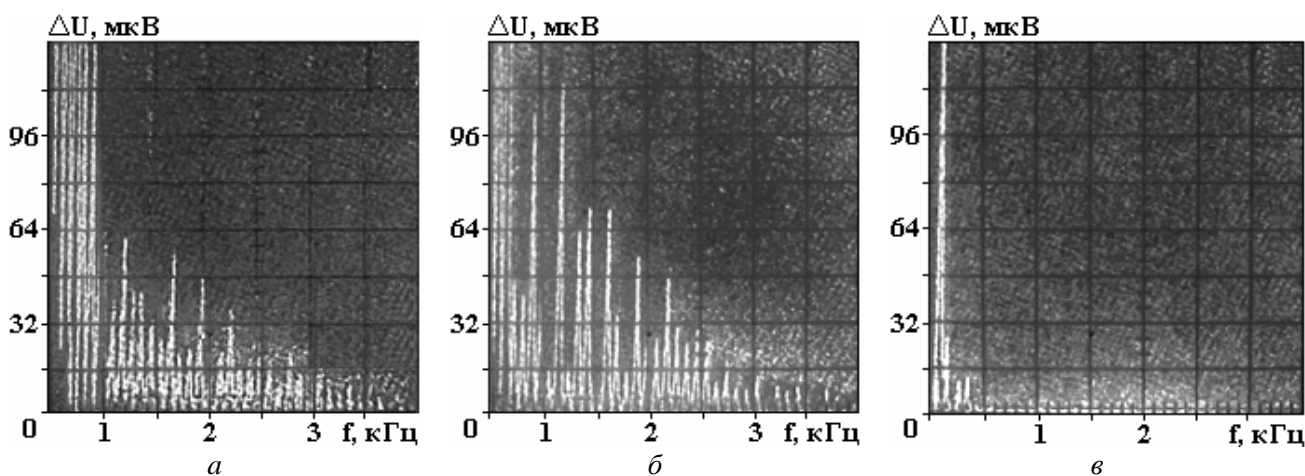


Рис. 5. Спектры переменных составляющих тока при осаждении меди из сульфатного электролита индуктивности ( $L = 10$  Гн). ( $I = 100$  мА,  $i_k = 0,2$  кА/м<sup>2</sup>): а – без ИЕУ; б – с ИЕУ ( $L = 10$  Гн,  $C = 17600$  мкФ); в – с подключением

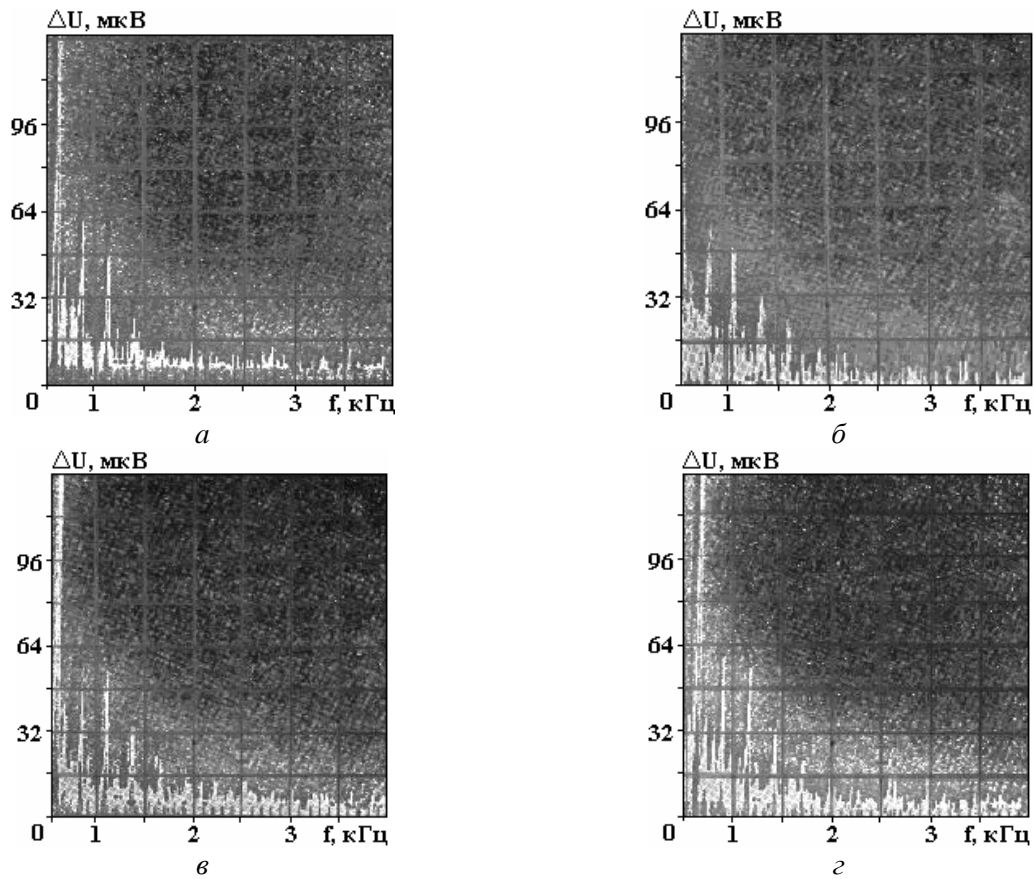


Рис. 6. Спектры переменных составляющих тока при осаждении меди из сульфатного электролита при использовании трехфазного источника питания ( $I = 100 \text{ мА}$ ,  $i_k = 0,2 \text{ кА/м}^2$ ): а – без подключения ванны; б – с подключением ванны; в – с ИЕУ ( $L = 10 \text{ Гн}$ ,  $C = 17600 \text{ мкФ}$ ); г – с ИЕУ ( $L = 2,5 \text{ Гн}$ ,  $C = 24200 \text{ мкФ}$ )

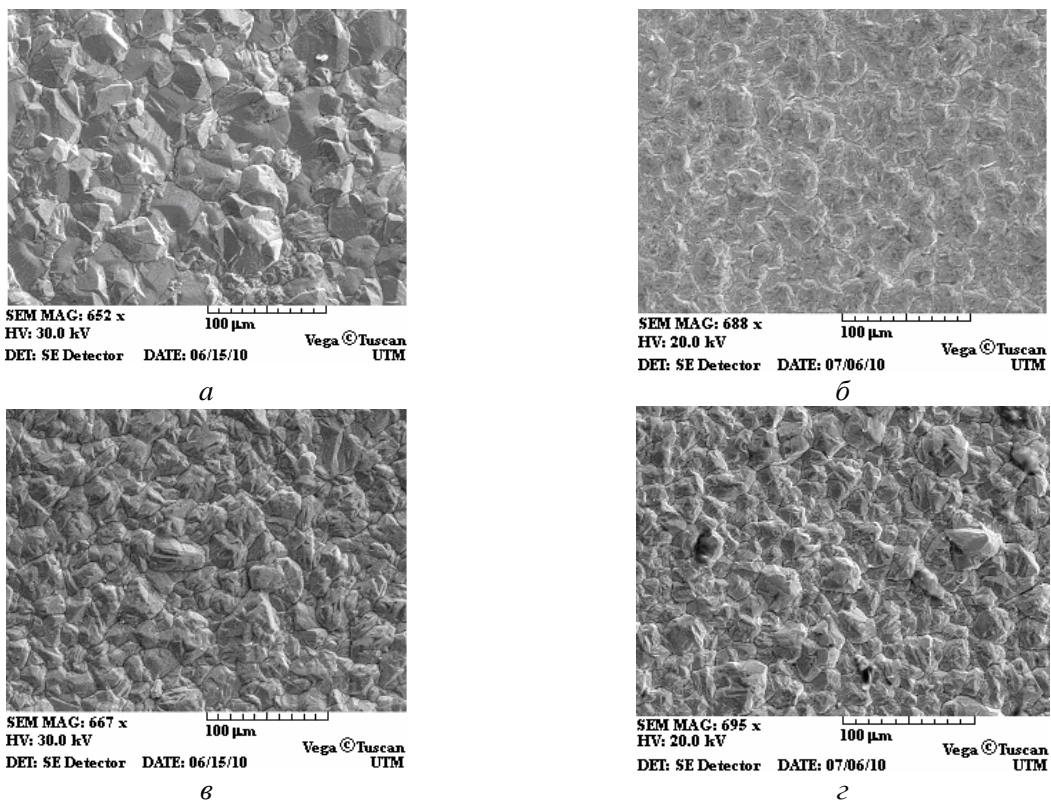


Рис. 7. Морфология осадков меди, полученных из сульфатного электролита, при использовании однофазного источника питания: а)  $i_k = 0,2 \text{ кА/м}^2$ ; б)  $i_k = 0,4 \text{ кА/м}^2$ ; в)  $i_k = 0,2 \text{ кА/м}^2$ ,  $L = 10 \text{ Гн}$ ,  $C = 17600 \text{ мкФ}$ ; г)  $i_k = 0,4 \text{ кА/м}^2$ ,  $L = 10 \text{ Гн}$ ,  $C = 17600 \text{ мкФ}$

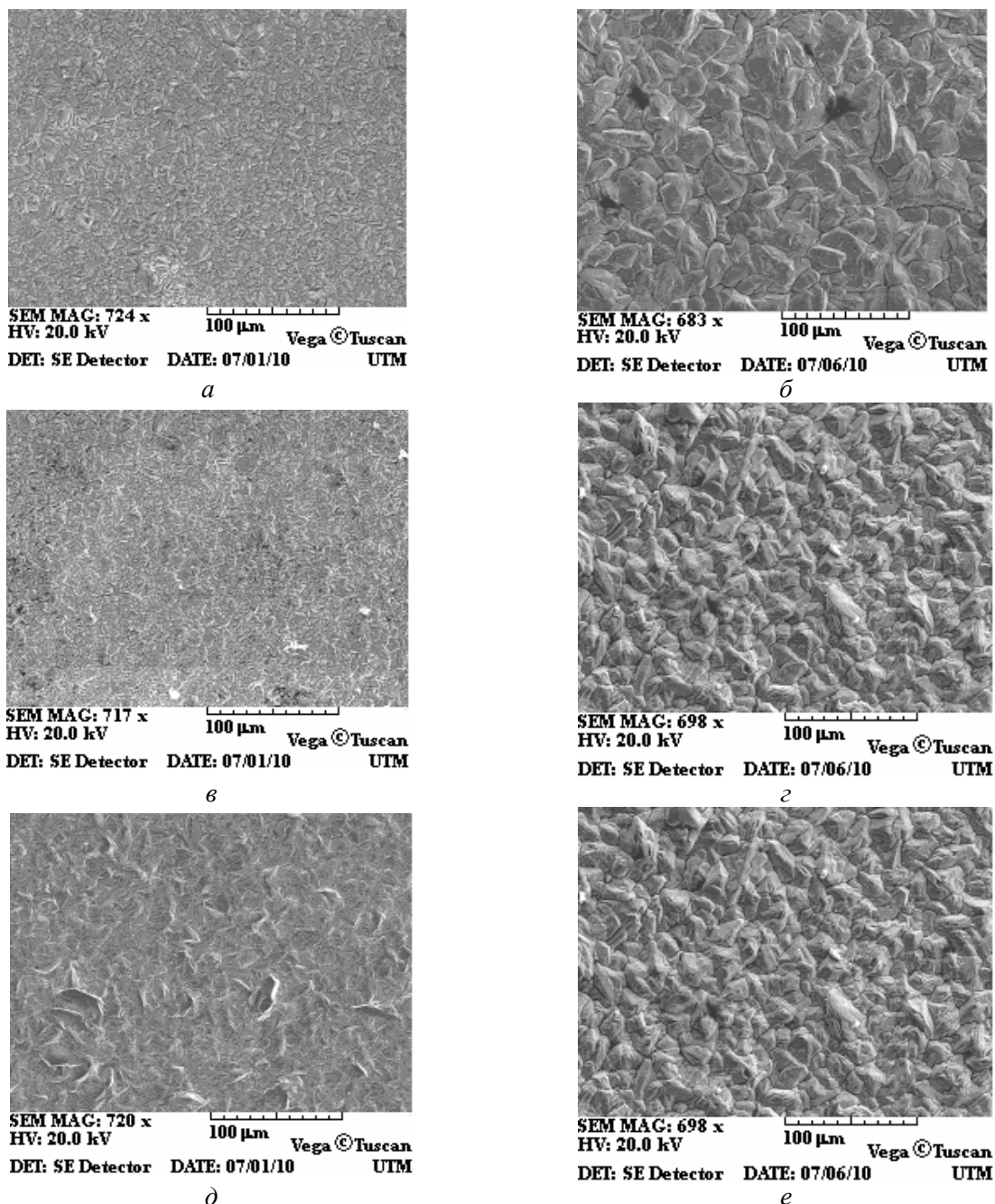


Рис. 8. Морфология осадков меди, полученных из сульфатного электролита, при использовании трехфазного источника питания: а)  $i_k = 0,2 \text{ кА/м}^2$ ; б)  $-i_k = 0,4 \text{ кА/м}^2$ ; в)  $-i_k = 0,2 \text{ кА/м}^2$ ,  $L = 10 \text{ Гн}$ ,  $C = 17600 \text{ мкФ}$ ; з)  $i_k = 0,4 \text{ кА/м}^2$ ,  $L = 10 \text{ Гн}$ ,  $C = 17600 \text{ мкФ}$ ; д)  $i_k = 0,2 \text{ кА/м}^2$ ,  $L = 2,5 \text{ Гн}$ ,  $C = 24200 \text{ мкФ}$ ; е)  $i_k = 0,4 \text{ кА/м}^2$ ,  $L = 2,5 \text{ Гн}$ ,  $C = 24200 \text{ мкФ}$

Таким образом, выбором параметров ИЕУ ( $L$ ,  $C$ ) можно оказывать влияние на процесс осаждения, а также на структуру и физико-механические свойства. Так, при осаждении хромовых покрытий из универсального электролита при рекомендованной плотности тока ( $5,5 \text{ кА/м}^2$ ) выход по току возрос с 13 до 18%, а с использованием ИЕУ при оптимальных условиях осаждения ( $8,5\text{--}10,0 \text{ кА/м}^2$ ) – до 24%, что способствовало увеличению скорости осаждения с 30 до 82–85 мкм/час, и в то же время износостойкость покрытий повысилась в 2 раза [8].

Положительный опыт применения ИЕУ в гальванике позволил разработать новые технологические процессы. Впервые реализован технологический процесс восстановления гильз двигателей КамАЗа гальваническими железо-никелевыми покрытиями с использованием индуктивно-емкостных устройств. Восстановленные гильзы по работоспособности не уступают новым. Благодаря ИЕУ получают равномерное предварительное травление поверхности и осаждение равномерно распределенного по толщине покрытия, а также высокие физико-механические свойства осадков. Применение ИЕУ оказалось успешным и при цинковании деталей на автоматической линии.



Рис. 9. Резонансные источники питания на переменном токе: а – для оксидирования алюминия; б – для сварки

Источники тока с ИЕУ позволили разработать промышленные модели таких источников и организовать их серийное производство. Специализированным предприятием АО «Резонанс» (г. Атаки, РМ) выпускаются сварочные трансформаторы на переменном токе (силой тока до 1000 А) и источники питания на переменном токе для оксидирования алюминия, которые обеспечивают получение равномерного по толщине поверхностного слоя (рис. 9).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. SU 1358222. *Источник питания переменного тока для дуговой сварки*. Свирчевский А.М., Унгурияну В.М. 1983.
2. SU 1419005. *Однофазное электросварочное устройство*. Свирчевский А.М., Анисимов К.Ф., Антосяк В.Г., Гологан В.Ф., Коростель А.П., Унгурияну В.М., Шевченко А.Н. 1988.
3. SU 4621559 *Устройство для электрохимических процессов*. Гологан В.Ф., Унгурияну В.М. 1990.
4. MD 3258, *Sursă monofazătă pentru procese electrochimice*. Gologan V.F., Bobanova J.I., Ivaşcu S.H., Popov V.A. 2008.
5. Гологан В.Ф., Унгурияну В.М. Восстановление деталей машин наплавкой от поличастотного источника питания. *Восстановление и упрочнение деталей машин износостойкими покрытиями*. Кишинев, Штиинца, 1995. С. 105–109.
6. Gologan V.F., Bobanova Zh.I., Ivascu S.Kh., Popov V.A., Mazur V.A. Particularities of the electroplating process in the case of a single-phase power supply with an embedded induction-capacitance device. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2007, **43**(2), 12–16.
7. Gologan V.F., Bobanova Zh.I., Ivascu S.Kh. Peculiarities of chromium deposition with application of an induction-capacitance device. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2008, **44**(4), 9–16.
8. Gologan V.F., Bobanova Zh.I., Ivascu S.Kh. Influence of an induction-capacitance device on the structure and wear resistance of electrolytic chromium coatings. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*. 2008, **44**(5), 353–358.

Поступила 05.01.11

#### Summary

In paper is shown the efficient application of inductance-capacitor devices in welding and electrochemical processes. Selecting of parameters of devices it is possible to create conditions for increasing of productivity and improvement of depositions. The devices and technological processes were implanted in production.