



УДК 621.739.1;620.198

## ВЛИЯНИЕ КВАЗИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ Al–Cu–Fe(B), ПОЛУЧЕННЫХ СПОСОБОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО ОСАЖДЕНИЯ, НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ШТАМПОВ И ПРЕСС-ФОРМ

В. А. Теличко<sup>1</sup>, К. Брукмюллер<sup>2</sup>, А. Ханчич<sup>3</sup>, А. И. Устинов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт электросварки им. Е.О. Патона НАН Украины.  
03680, г. Киев, ул. Боженко, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

<sup>2</sup>Ernst Witner GmbH. Missindorfstrasse 21/2.  
Stock, A-1140, Vienna, Austria. E-mail: christian.bruckmueller@witner.at

<sup>3</sup>TECOS Slovenian Tool and Die Development Centre.  
Kidriceva ulicac 25, SI-3000, Celje, Slovenia. E-mail: ales.hancic@tecos.si

Рабочие поверхности ряда инструментов, например пресс-форм и штампов, при контакте с обрабатываемыми материалами (пластмасса, армированная углеродными волокнами, сталь, разогретая до 1150 °С) изнашиваются. Кроме того, на их рабочую поверхность налипают обрабатываемый материал, что приводит к изменению размеров, изготавливаемых с их помощью изделий, а также к ухудшению качества обрабатываемых поверхностей. Защитные покрытия для таких инструментов должны отличаться не только повышенной твердостью, но и низкими значениями коэффициента трения и поверхностной энергии. Таким сочетанием свойств характеризуются сплавы с квазикристаллической структурой. Рассмотрена возможность получения способом электронно-лучевого осаждения квазикристаллических покрытий на основе сплава Al–Cu–Fe с добавками бора (Al–Cu–Fe(B)) на рабочие поверхности пресс-форм и штампов, исследована их стойкость против износа в условиях эксплуатации. Показано, что применение квазикристаллических покрытий увеличивает стойкость против износа таких инструментов и продлевает срок их эксплуатации. Библиогр. 12, табл. 1, ил. 12.

**Ключевые слова:** защитное покрытие; квазикристаллические покрытия; износостойкость; рабочая поверхность инструментов, эрозионное разрушение

Сплавы Al–Cu–Fe с квазикристаллической структурой отличаются уникальным сочетанием таких свойств, как высокие значения твердости (7...10 ГПа) и модуля упругости (120...200 ГПа), относительно низкий уровень коэффициента трения (по алмазу 0,07...0,10; по стали 0,19...0,22) и поверхностной энергии (28...30 мДж/м<sup>2</sup>), высокая коррозионная стойкость и др. [1] Это, а также относительно невысокая стоимость металлов, содержащихся в сплавах, позволяют рассматривать их в качестве перспективных для использования как основу для нового класса функциональных покрытий (износостойких, термобарьерных, антифрикционных, антипригарных покрытий и т. п.) [2]. Кроме того, из-за отсутствия у квазикристаллов склонности к прихватуванию (холодной сварке) при контакте в узлах трения со сталью [3] их ис-

пользование для антифрикционных покрытий в этих участках [4] также может быть перспективным.

На трибологические свойства квазикристаллических покрытий (ККП) могут оказывать влияние их микроструктура и технологические параметры получения [5]. Результаты фреттинг-тестов свидетельствуют о том, что однофазное покрытие с икосаэдрической структурой имеет лучшую устойчивость против прихватувания, тогда как покрытия, структура которых состоит из смеси икосаэдрической и кубической фаз, характеризуются более высокой износостойкостью [6].

Таким образом, исследования показали, что ККП могут улучшить характеристики деталей и инструментов, работающих в условиях механического контакта с другими материалами (в парах трения,



при обработке материалов и т. п.). Вместе с тем эффективность применения таких покрытий до настоящего времени остается не установленной. Для выяснения влияния ККП на свойства инструмента, работающего в условиях контакта с обрабатываемыми материалами, необходимо было получить такие покрытия на рабочих поверхностях и испытать их при условиях, в которых они работают без покрытия или с покрытиями на основе других соединений.

Для получения ККП применяли различные способы осаждения: магнетронное распыление [7], плазменное напыление [8], вакуумное осаждение из паровой фазы [9, 10]. В результате исследований установлено, что при использовании этих способов неизбежно возникают трудности в получении квазикристаллической структуры покрытия, связанные с узкой областью ее гомогенности, необходимостью проведения дополнительной термической обработки покрытия для формирования в нем заданной структуры, обеспечением адгезии покрытия с подложкой, предотвращением загрязнения покрытия примесями и т. п. Кроме того, важным условием практического применения ККП является разработка способа, обеспечивающего высокую скорость их осаждения на рабочие поверхности инструментов сложной формы.

Как показано в работе [11] на примере системы Al–Cu–Fe, способом электронно-лучевого осаждения можно получать покрытия с квазикристаллической структурой и высокой адгезионной прочностью непосредственно в процессе конденсации паровой фазы. При этом скорость осаждения может составлять 100...200 нм/с, что позволяет получать покрытия заданной толщины за относительно короткий промежуток времени.

Влияние ККП на эксплуатационные свойства обрабатываемых инструментов изучали на штампах и пресс-формах. Выбор данного вида инструментов для исследования эффективности применения ККП обусловлен тем, что в процессе получения изделий заданного размера и качества поверхности из разогретого металла с помощью штампа или расплава

пластмассы, армированной углеродными волокнами, с применением пресс-форм их рабочие поверхности подвергаются комплексному воздействию обрабатываемых материалов. В результате этого они изнашивались, а на их поверхности образовывались дефекты, происходило налипание обрабатываемого материала. Очевидно, что осаждение твердых покрытий на рабочей поверхности таких инструментов должно способствовать уменьшению износа. Кроме того, в покрытиях, характеризующихся низкой поверхностной энергией, снизится вероятность налипания обрабатываемого материала на поверхность инструмента, а, следовательно, уменьшится степень отклонения параметров изделия от проектных значений. Если покрытие отличается низким коэффициентом трения, то это будет приводить к уменьшению контактного деформирования поверхностных слоев инструмента, в результате чего вероятность появления усталостных трещин уменьшится.

Представлены результаты исследования эксплуатационных свойств пресс-форм и штампов, на рабочих поверхностях которых способом электронно-лучевого осаждения получены ККП. Они сопоставлены с эксплуатационными свойствами такого же инструмента без покрытия, инструмента с ККП, осажденного магнетронным способом, инструмента с другими защитными покрытиями (AlTiN / TiN и CrN).

#### Способ получения покрытий и их исследование.

Общий вид штампов и пресс-форм представлен на рис. 1. Их рабочие поверхности имеют сложную форму — отдельные участки поверхности расположены перпендикулярно друг к другу (в штампе), имеются выступы и углубления (в пресс-форме).

Для получения способом электронно-лучевого вакуумного осаждения равномерной толщины покрытий на данных поверхностях требовалось обеспечить их перемещение в паровом потоке таким образом, чтобы на все участки поверхности попадал паровой поток из испарителя, расположенного в нижней части вакуумной камеры. Этого можно достичь, если инструмент закрепить в держателе с осью вра-

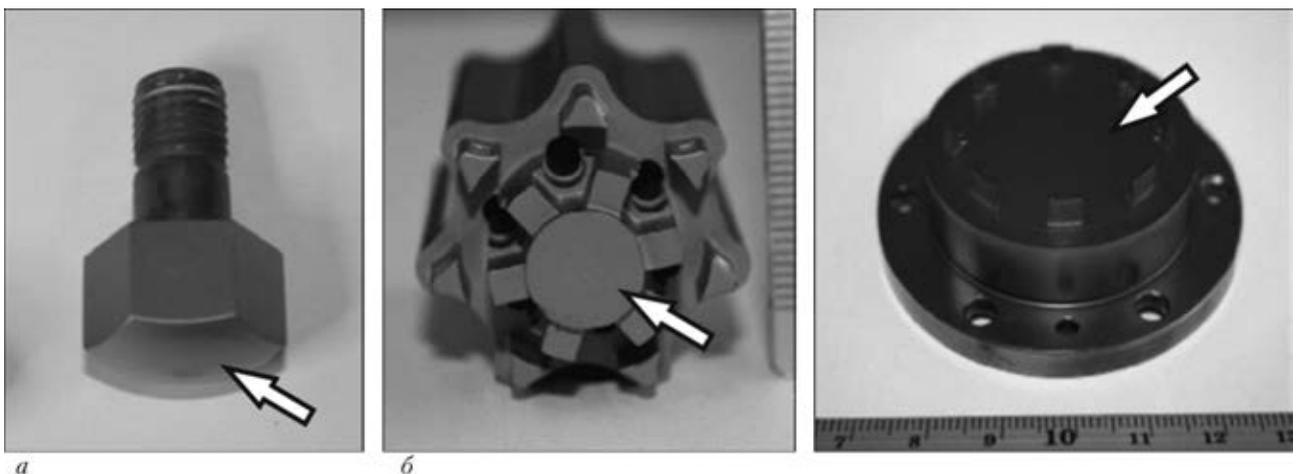


Рис. 1. Общий вид штампа (а) и пресс-форм (б); стрелками показаны рабочие поверхности инструментов

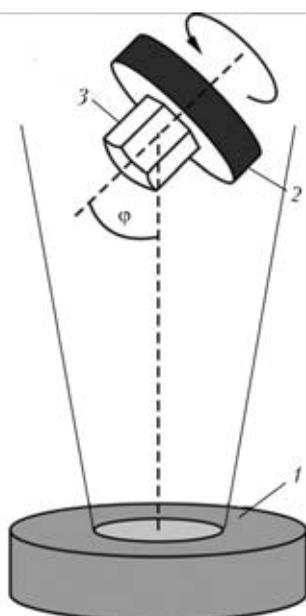


Рис. 2. Схема вакуумного осаждения покрытия на рабочую поверхность инструмента при испарении из одного источника: 1 — источник испарения; 2 — держатель инструмента (с механизмом вращения); 3 — инструмент

щения, расположенной под некоторым углом  $\varphi$  к вертикальной оси (рис. 2).

Испарение слитка сплава Al-Cu-Fe(B) осуществляли из водоохлаждаемого тигля. Слитки для испарения заданного состава получали способом индукционной плавки компонентов с последующей быстрой кристаллизацией расплава в массивной медной изложнице, что обеспечивало получение однородного распределения химического состава по длине слитка. Для нанесения двухфазного покрытия, состоящего из икосаэдрической ( $i$ ) и кубической ( $\beta$ ) фаз, приготовили несколько слитков (таблица).

Нагрев инструмента до заданной температуры и ее поддержание в процессе осаждения осуществляли с помощью нагревательной электронно-лучевой

Состав слитков, мас. %

Слитки	Al	Fe	Cu
Sl_08-1	41,4	21,2	36,6
Sl_08-2	46,7	19,2	33,3
Sl_08-4	39,4	18,4	41,4
Sl_08-5	50,4	19,0	29,8
Sl_09-1	45,6	24,5	29,1
Sl_09-2	46,5	21,9	30,8
Sl_09-3	46,6	25,4	27,2
Sl_09-4	51,2	8,4	39,6
Sl_09-5	45,6	41,9	11,7
Sl_10-1	42,3	18,1	38,8

*Примечание.* В сплавы вводили 0,8 мас. % бора согласно данным работы [12].

пушки. По мере испарения слитка его поднимали вверх с целью поддержания ванны на заданном уровне, благодаря чему ее состав и скорость испарения компонентов слитка оставались неизменными.

Для определения характеристик микро- и субструктуры покрытий использовали способы оптической и электронной микроскопии. Образцы для проведения металлографических исследований готовили по стандартной методике с использованием шлифовально-полировального станка Abramin фирмы «Struers».

Структуру поперечного сечения конденсатов анализировали с помощью сканирующего электронного микроскопа CamScan-4 при значениях напряжения 5...30 кВ и увеличении 20...10000.

Рентгеноспектральный микроанализ проводили на сканирующем электронном микроскопе CamScan4, оснащенный энергодисперсионным спектрометром для локального анализа ENERGY-200. Об-

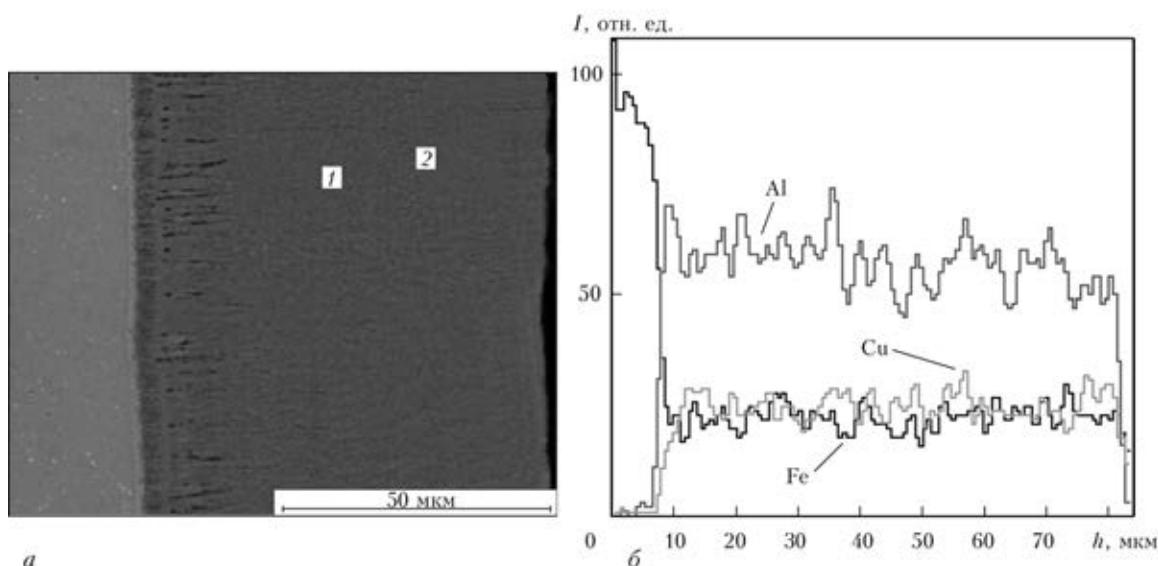


Рис. 3. Микроструктура поперечного сечения покрытия (а) и распределение элементов по толщине покрытия, осажденного на штамп (б); I — интенсивность

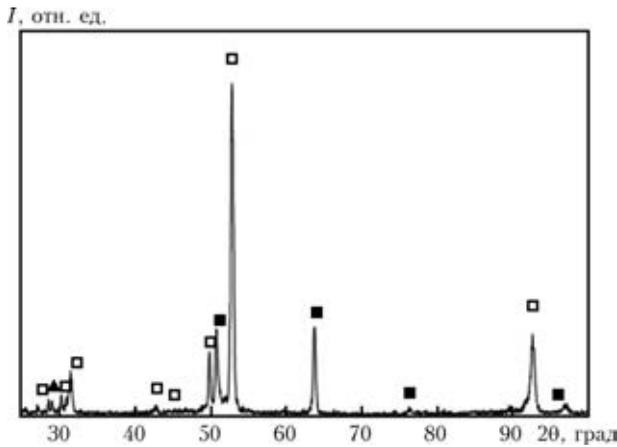


Рис. 4. Дифрактограмма покрытия на основе сплава Al–Cu–Fe:  $I$  – интенсивность в излучении  $CoK_{\alpha}$ ;  $\square$  –  $i$ -AlCuFe;  $\blacktriangle$  – пластилин (держатель образца);  $\blacksquare$  –  $\beta$ -Al(Cu/Fe)

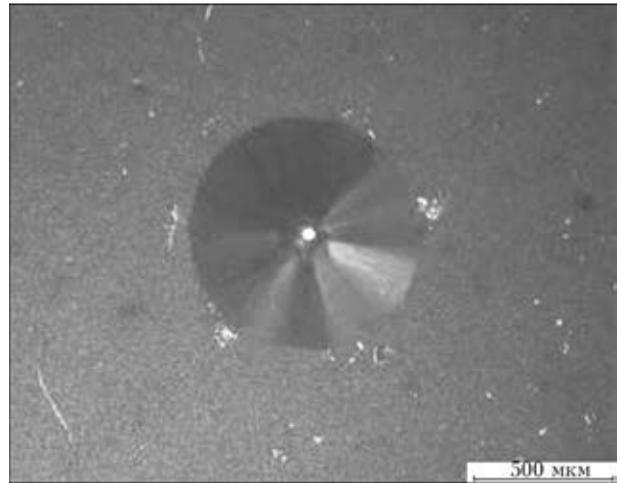


Рис. 5. Микроструктура участка образца с покрытием Al–Cu–Fe(B), подвергнутого индентированию по способу Rockwell с конусным индентором

разцы для микроанализа готовились в виде плоских макрошлифов.

Микротвердость конденсатов измеряли методом Викерса при нагрузке на индентор 0,098...0,196 Н с использованием устройства к оптическому микроскопу Polyvar-Met. Адгезию покрытий оценивали путем индентирования поверхности покрытия по методу Rockwell с применением конусного алмазного индентора с углом заострения 120°. Индентировали поверхность при нагрузке 1500 Н. Характер разрушения покрытия оценивали с помощью оптического и сканирующего электронных микроскопов.

Рентгеновский дифракционный фазовый анализ проводили на дифрактометре общего назначения ДРОН-4-07 в излучении кобальтового анода при напряжении на рентгеновской трубке 30 кВ и токе накала 20 мА.

**Характеристика микроструктуры ККП.** На рис. 3 представлены микроструктура и распределение элементов по толщине поперечного сечения ККП покрытий, полученных на рабочих поверхностях инструментов. Распределение элементов по толщине покрытия равномерно и одинаково: алюминия в спектрах № 1 и 2 – 59,66; железа – 13,83; меди – 26,51 ат. %.

Из дифрактограммы, представленной на рис. 4, установлено, что покрытие имеет двухфазный состав: 80 %  $i$ -фазы и 20 %  $\beta$ -фазы. Такое соотношение фаз определено в работе [6] как наиболее оптимальное для обеспечения покрытию высокой эрозионной стойкости и низкого коэффициента трения.

Из анализа микроструктуры области индентирования поверхности покрытия видно, что его отслоение от подложки зафиксировано только в области контакта с индентором (рис. 5). Такой характер разрушения свидетельствует о высокой прочности соединения покрытия и подложки.

Поскольку разные части рабочей поверхности инструментов испытывают неодинаковую интенсивность воздействия со стороны материала, из которого формируется изделие, например фронтальная и боковые поверхности штампа, степень их износа бу-

дет различной. Поэтому толщину покрытия на разных участках рабочей поверхности варьировали путем изменения угла наклона оси вращения  $\varphi$ . В этом случае значения толщины  $H$  на фронтальных участках рабочей поверхности (участки поверхности, перпендикулярные оси вращения инструмента) и  $L$  на боковой (параллельной оси вращения) соотносятся как  $\frac{L}{H} = \frac{1}{\pi} \operatorname{tg} \varphi$ . На рис. 6 представлен фрагмент

поперечного сечения штампа с ККП, осажденной при вращении вокруг оси, ориентированной под углом к вертикальной оси  $\varphi \approx 40^\circ$ . Видно, что значения толщин ККП на боковой поверхности при такой ориентации штампа меньше, чем на фронтальной, и они соотносятся как 1:3, что необходимо, поскольку фронтальная часть штампа подвергается более интенсивному и длительному воздействию со стороны обрабатываемого материала.

При анализе микроструктуры ККП можно отметить столбчатую структуру зерен. Причем ориентация столбчатых зерен по отношению к поверхности штампа на различных участках отличается: на

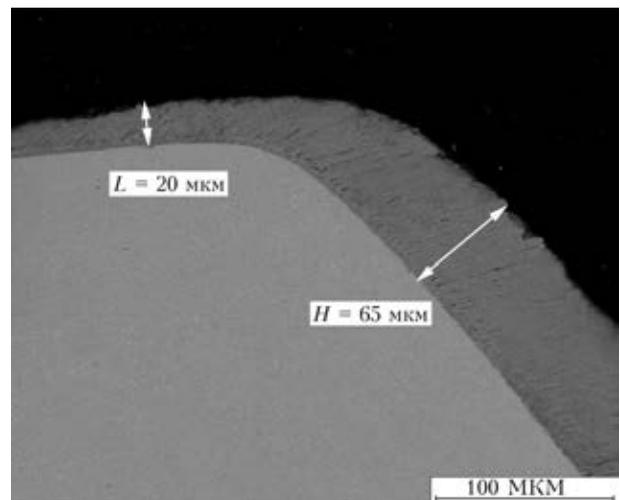


Рис. 6. Микроструктура поперечного сечения штампа с осажденным на его рабочую поверхность квазикристаллическим покрытием Al–Cu–Fe

фронтальной поверхности штампа столбчатые зерна почти перпендикулярны поверхности, а на боковых — ориентированы под углом к ней. Такое изменение микроструктуры при переходе от фронтальной на боковую поверхность обусловлено направлением парового потока. Микротвердость покрытий, измеренная на их поперечных сечениях, составила 11...12 ГПа.

### Исследование эксплуатационных свойств пресс-форм.

В настоящее время пластмассы получили широкое применение в промышленности как конструкционные материалы. Для достижения необходимого уровня прочности в пластмассу вводят различные армирующие наполнители, в частности углеродное волокно. В процессе производства способом формовки под давлением такие добавки работают как абразивные частицы, что приводит к износу пресс-формы, в результате чего размеры пластмассовых деталей отклоняются от заданных. Если отклонение достигает некоторого критического значения, формовочное оборудование останавливают и производят замену пресс-формы, что приводит к повышению себестоимости продукции. Опытная партия пресс-форм с ККП установлена в формовочные машины для изготовления пластмассовых деталей на производстве фирмы «Ernst Wittner Ges.mbH».

Общий вид некоторых пластмассовых изделий представлен на рис. 7. Для их получения используют пресс-формы различного вида (рис. 1, б). Процесс изготовления изделий включает подачу гранул в шнек, в котором в результате вращения создается давление и поднимается температура пластмассы до 350 °С. Расплавленная пластмасса подается в зазор между пресс-формой и поршнем, где происходит формирование изделия с заданными размерами. После завершения процесса выпускное отверстие закрывается, камера, в которой находились пресс-форма и поршень, открываются, готовое изделие извлекается из установки. Этот процесс происходит в автоматическом режиме, что позволяет точно контролировать параметры процесса.



Рис. 7. Изделия, изготовленные с помощью пресс-форм из пластмассы, упрочненной углеродными волокнами

Экспериментально установлено, что пресс-формы без покрытий обеспечивают изготовление из пластмассы 10000 изделий, размеры которых удовлетворяют техническим требованиям к их использованию в качестве деталей механических устройств. Пресс-формы с ККП испытали при изготовлении 10000 изделий. Степень износа оценивали через каждые 100 технологических циклов. С этой целью измеряли характерные размеры готовых деталей (рис. 8).

Определено, что для обеих пресс-форм с ККП начальные стадии их работы характеризуются довольно низким износом по сравнению с пресс-формами без покрытий. Поэтому после изготовления 10000 изделий степень износа пресс-форм с ККП оказалась на 25...30 % ниже, чем у пресс-форм без покрытия. Следовательно, пресс-формы с ККП могут обеспечить изготовление 12500...13000 изделий. С учетом высокой стоимости изготовления новых пресс-форм (в среднем несколько тысяч евро) использование ККП в качестве защитных может обеспечить значительный экономический эффект.

### Исследование эксплуатационных свойств штампов с ККП.

При изготовлении стальных изделий способом штамповки поверхность штампа механически контактирует со стальной заготовкой, разогретой до температуры около 1150 °С. Поскольку процесс

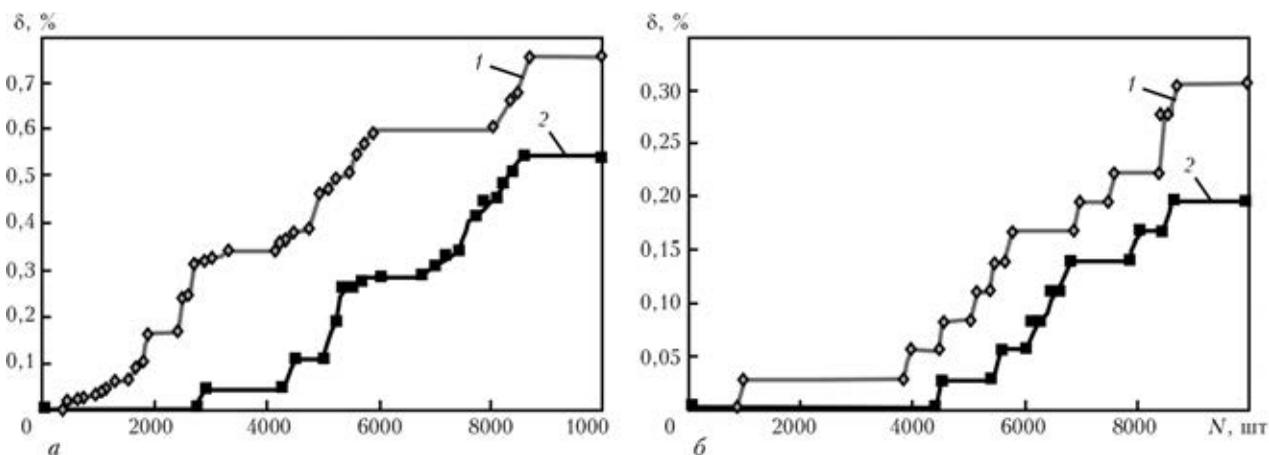


Рис. 8. Изменение характерных размеров готовых изделий, полученных с помощью двух различных пресс-форм (а, б); по горизонтали показано количество готовых изделий; по вертикали — относительное изменение размеров  $\delta$ ; 1 — без покрытия; 2 — с покрытием

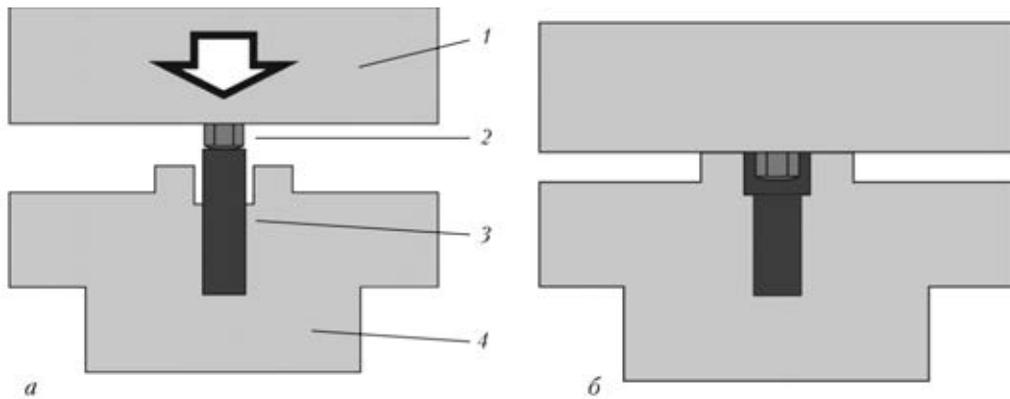


Рис. 9. Схема устройства для штампования стальных изделий (крепежа) в матрице: *а* – перед штампованием; *б* – штампование; 1 – верхняя часть пресса; 2 – штамп; 3 – заготовка; 4 – пресс-форма

штамповки одной детали происходит в течение короткого времени, штамп не нагревается до высокой температуры. Однако вследствие скольжения металла, из которого изготавливается деталь, по поверхности штампа на ней появляются повреждения. Можно предположить, что характер повреждений и скорость их нарастания существенно зависят от механического взаимодействия поверхности штампа и металла. Уменьшение коэффициента трения и прочности механического соединения материалов штампа и стальной заготовки будут способствовать снижению степени повреждения поверхности штампа и, как следствие, продолжительности эксплуатации штампа возрастет. Уменьшение количества штампов и длительности их замены будут способствовать сокращению затрат на изготовление изделий этим способом.

Исследования эффективности ККП, полученных способом электронно-лучевого осаждения на рабочей поверхности штампов, проведены Словенским исследовательским центром TECOS (Slovenian Tool and Die Development Centre) путем сравнения количества изделий (в пересчете на один штамп), изготовленных с помощью штампов без и с покрытиями на основе TiAlN, CrN, Al-Cu-Fe-V способами магнетронного (тонкие) и электронно-лучевого (толстые) осаждения.

Для получения стальных винтов способом горячего формования в матрицу закладывали предварительно разогретую цилиндрическую заготовку (рис. 9, 10). Затем под давлением штампа со сменной рабочей частью формировали головку винта вместе с резьбовой частью путем вдавливания в заготовку. Под внешним давлением металл заготовки деформируется и формируется готовое изделие (рис. 10, б).

Рабочая поверхность изделия в процессе штамповки подвергается воздействию больших механических и термических нагрузок, что может сопровождаться его износом и изменением размеров. Кроме того, на поверхность штампа может налипать материал, в результате чего качество поверхности изделий ухудшается. Циклическое взаимодействие с обрабатываемым материалом приводит также к появлению на его поверхности усталостных трещин (рис. 11, б), которые оставляют свой отпечаток на поверхности изделий. Изменение размера изделия и качества его поверхности до предельно допустимых значений является сигналом к остановке работы штампа и его замене. По такой схеме испытаны штампы с различными типами покрытий.

Штампы с ККП характеризуются меньшей шероховатостью поверхности в исходном состоянии, а после многократных рабочих циклов на их рабо-

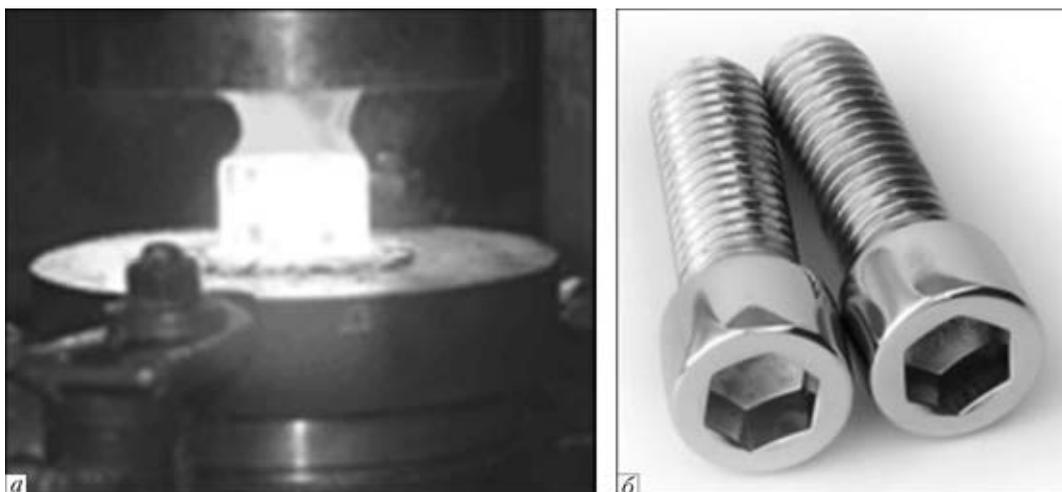


Рис. 10. Внешний вид стальной заготовки перед штампованием (*а*) и готовое изделие (*б*)

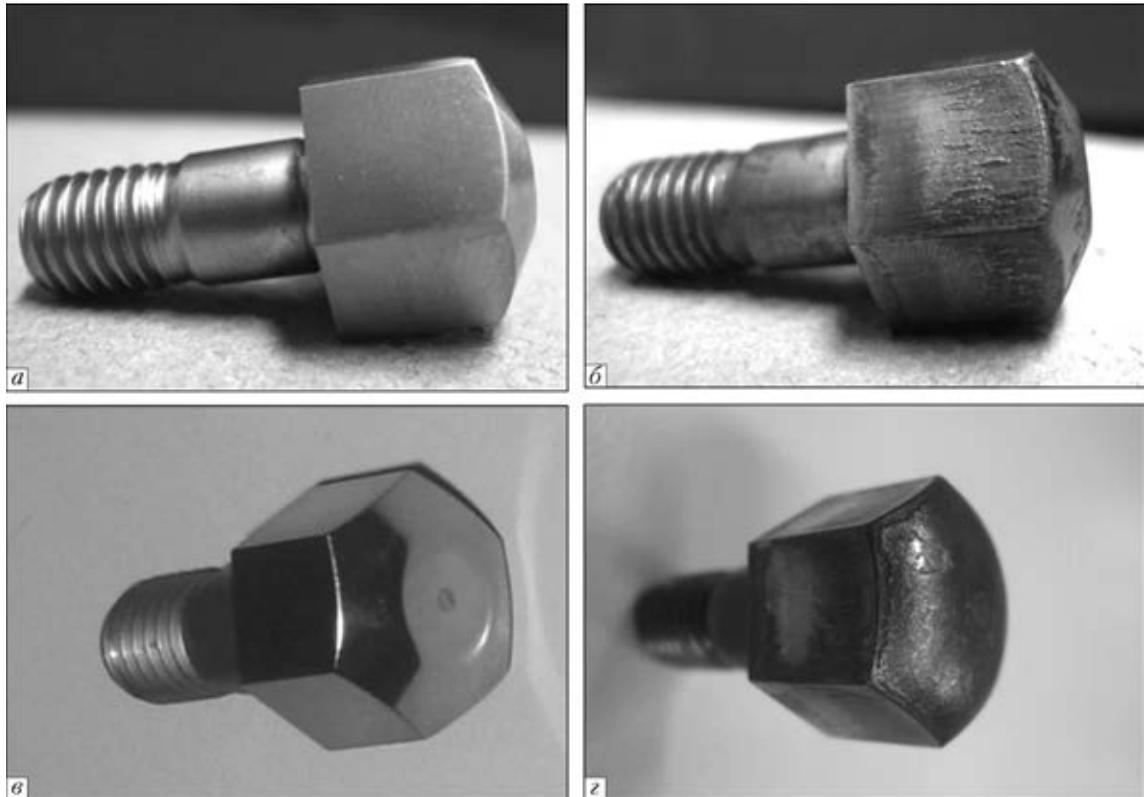


Рис. 11. Общий вид штампа без покрытия (*a*); после изготовления 150 винтов (*b*); осаждения на него ККП (*c*); изготовления 300 изделий (*z*)

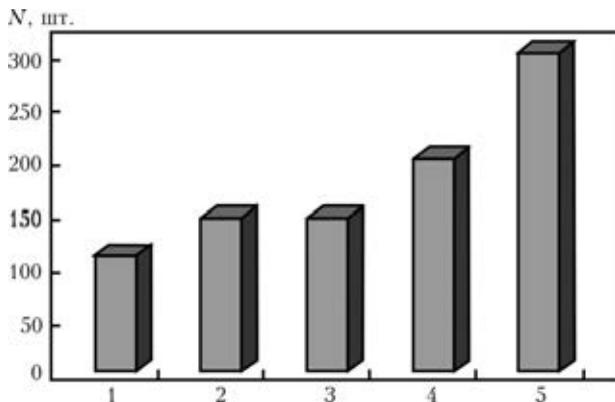


Рис. 12. Количество изготовленных изделий штампами с различными типами поверхности: 1 – азотированная без покрытия; 2 – AlTiN/TiN; 3 – CrN; 4 – AlCuFe(B), полученное способом магнетронного осаждения; 5 – AlCuFe(B), выполненное способом электронно-лучевого осаждения в вакууме

чей поверхности (боковые грани штампа) не обнаружено интенсивного образования усталостных трещин (рис. 11, *z*). Можно предположить, что ККП обеспечивает снижение уровня циклических нагрузок в процессе рабочего цикла. Это может быть следствием как уменьшения контактных напряжений на поверхности штампа из-за более низкого коэффициента трения ККП с обрабатываемым материалом, так и снижения в приповерхностных слоях рабочей поверхности штампа пиковых температур из-за низкой теплопроводности квазикристаллического покрытия. В пользу такого предположения свидетельствуют результаты испытания штампов с тонкими (5 мкм) ККП, которые показали их более низкую стойкость, чем у толстых (65 мкм).

Результаты испытаний штампов с ККП различной толщины (5 и 65 мкм), штампов с защитными покрытиями на основе нитрида титана и хрома, а также штампов без покрытий показали, что штампы с ККП имеют срок службы больший почти втрое, чем штампы без покрытия, и вдвое, нежели штампы с другими типами покрытий (рис. 12).

Следовательно, толстые ККП, полученные вакуумным осаждением на рабочие поверхности штампов, могут обеспечить существенное увеличение продолжительности их эксплуатации, что будет способствовать повышению производительности оборудования и сокращению затрат на изготовление новых штампов.

## Выводы

1. Определено условие получения способом электронно-лучевого вакуумного осаждения толстых покрытий на основе сплава AlCuFe(B) на рабочие поверхности штампов и пресс-форм с высоким уровнем адгезии.

2. При испытании опытной партии пресс-форм сложной формы с покрытиями установлено, что скорость изменения размера штампа при изготовлении деталей из армированной углеродными волокнами пластмассы в зависимости от количества рабочих циклов инструмента уменьшается на 20...30 % по сравнению с пресс-формами без покрытий. Это может быть обусловлено повышенной эрозионной стойкостью и низкой поверхностной энергией ККП, замедляющих износ пресс-форм.



3. Результаты испытания опытной партии штампов с ККП в производственных условиях показали, что такие покрытия существенно (в 2...3 раза) увеличивают продолжительность их работы по сравнению со штампами без покрытия или с другими защитными покрытиями. Повышение износостойкости штампов связывается с уменьшением вероятности образования усталостных трещин и их эрозивного износа.

1. *Sordelet D. J., Dubois J. M.* Quasi-crystals – perspectives and potential applications // MRS Bulletin. – 1997. – 22. – P. 34–37.
2. *Sordelet D. J., Kim J. S., Besser M. F.* Dry sliding of polycrystalline and crystalline Al–Cu–Fe alloys // Mat. Res. Soc. Symp. Proc. – 1999. – 553. – P. 459–470.
3. *Friction and fretting on quasicrystals under vacuum* // J.-M. Dubois, P. Brunet, W. Costin, A. Merstallinger // J. Non-Cryst. Solids. – 2004. – 334, 335. – P. 475–480.
4. *Cold welding and fretting tests on quasicrystals and related compounds* // M. Sales, A. Merstallinger, P. Brunet, de M. C. Weerd // Philos. Mag. – 2006. – 86. – P. 965–970.
5. *Tribological properties of Al–Ni–Co–Si quasicrystalline coatings against Cr-coated cast iron disc* // E. Fleury, S. M. Lee, J. S. Kim et al. // Wear. – 2002. – 253. – P. 1057–1069.
6. *Effect of the addition of crystalline  $\beta$ -phase in Al–Cu–Fe quasicrystalline coatings on their tribological properties* // M. Sales, A. Merstallinger, A. I. Ustinov et al. // Surface & Coatings Technology. – 2007. – 201. – P. 6206–6211.
7. *Deposition of coatings containing quasicrystalline AlCuFeB and  $\beta$ -phase by magnetron sputtering* // W. Vollnhofer, C. Eisenmenger-Sittner, G. Mozdzen, E. Neubauer // Ibid. – 2012. – 211. – P. 122–126.
8. *Газотермічні покриття, що містять квазікристалічну фазу, властивості і застосування (огляд)* // Ю. С. Борисов, А. Л. Борисова, Л. І. Адеєва та ін. // Фізика і хімія твердого тіла. – 2005. – 6, № 1. – С. 124–136.
9. *Verma A., Chopra K. L.* Icosahedral Al–Mn Thin Films // Phil. Mag. Lett. – 1987. – 55. – P. 201–207.
10. *Eisenhammer T., Trampert A.* Formation of quasicrystalline AlCuFe by physical vapor deposition: phase selection via nanocluster nucleation // Phys. Rev. Lett. – 1997. – 78. – P. 262–265.
11. *Устинов А. И., Мовчан Б. А., Полищук С. С.* Получение квазикристаллических покрытий из сплава Al–Cu–Fe электронно-лучевым осаждением в вакууме, Металлофизика и новейшие технологии. – 2002. – 24. – С. 365–371.
12. *Dubois J.-M.* New prospects from potential applications of quasicrystalline materials // Mater. Sci. Eng. – 2000. – A 294–296. – P. 4–9.

Working surfaces of some tools, for example, press-moulds and dies, are worn-out in contact with materials, being machined (plastic, reinforced with carbon fibers, steel, heated up to 1150 °C). Moreover, the material being machined is stuck to their working surface, thus leading to the change in sizes of products being manufactured and also to deterioration of quality of surfaces being machined. The protective coatings for such tools should be characterized not only by the increased hardness, but also by the low values of friction coefficient and surface energy. The alloys with a quasi-crystalline structure are characterized by the combination of these properties. Considered is the feasibility of producing of quasi-crystalline coatings on the base of alloy Al–Cu–Fe with additions of boron (Al–Cu–Fe(B)) on the working surfaces of press-moulds and dies by the method of electron beam deposition, their wear resistance under the service conditions was investigated. It is shown that application of quasi-crystalline coatings increases the wear resistance of these tools and extends the term of their service. 12 Ref., 1 Table, 12 Figures.

**Key words:** protective coating; quasi-crystalline coatings; wear resistance; working surface of tools; erosion fracture

Поступила 21.05.2014

## МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА НА ЗТМК



На участке механической обработки титановых слитков ООО «Запорожский титано-магниевый комбинат» завершается комплектация оборудования, необходимого для обеспечения производственного процесса. Установлены обновленные токарные станки для обработки титановых слитков, а также ленточношлифовый станок для торцевания титановых слитков и слябов (обрезки их верхней, головной и нижней частей).

До приобретения ленточношлифового станка для выполнения данных работ применяли токарный станок, на котором при помощи резца стачивали слиток до максимально возможного диаметра, а затем производили его обрезку при помощи плазменной резки. Такая технология с точки зрения технологической и экономической целесообразности была весьма затратной, поскольку существенно удлинялись временные рамки выполнения работ, а также значительно увеличивалось количество отходов металла. Для придания полученной поверхности товарного вида требовалась дополнительная шлифовка. Кроме того, подобная технология не соответствовала общепринятым стандартам организации аналогичного производства на других предприятиях отрасли.

Теперь на ленточношлифовом станке обеспечивается срез металла с крайне малым количеством отходов, в результате чего поверхность становится ровной и не требует дополнительной шлифовки. Соответственно сократился и процесс производства.

Таким образом, на участке механической обработки титановых слитков удалось сформировать аппаратно-технологическую цепочку по стандартам производства титановых слитков.

Для обеспечения аналогичной обработки титановых слябов, которые выплавляются на электронно-лучевой установке, необходим строгальный станок. Такой уже имеется на предприятии. После выполнения соответствующих работ он будет введен в строй. Таким образом, на участке механической обработки титановых слитков и слябов будет обеспечен полный цикл производственного процесса.

<http://ztmc.zp.ua>