

УДК 621.74

ГРАФИТИЗИРОВАННЫЕ СТАЛИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

¹И.В. АКИМОВ, ¹И.П. ВОЛЧОК, ²Н.А. СВИДУНОВИЧ, ²Д.В. КУИС,
²С.Е. БЕЛЬСКИЙ, ³С.Н. ЛЕЖНЕВ

⁽¹⁾Украина, г. Запорожье, Запорожский национальный технический университет,

²Республика Беларусь, г. Минск, Белорусский государственный технологический университет,

³Казахстан, г. Темиртау, Карагандинский государственный индустриальный университет)

К графитизированным сталям относятся, как правило, заэвтектоидные сплавы, в которых часть или весь углерод находится в виде графитных включений. Благодаря включениям графита, выполняющего роль смазочного материала и способствующего повышению теплопроводности, стали находят применение в качестве износостойких материалов (штампы для холодной штамповки, волочильный инструмент, била, шары и бронепушечные плиты угольных мельниц, кофуха и лопасти дробеструйных аппаратов, сопла пескоструйных аппаратов и др.), а также для изготовления деталей, работающих при термоциклических нагрузках (кокили, изложницы, стеклоформирующий инструмент, детали печного оборудования и пр.).

С учетом хорошей демпфирующей способности, малой чувствительности к концентраторам напряжений и сравнительно высоким механическим свойствам графитизированные стали с успехом заменяют высокопрочный чугун, углеродистые и низколегированные стали при изготовлении ответственных деталей механизмов и машин.

Согласно [1], основными легирующими элементами в графитизированных сталях являются: углерод (1,2-1,6%), кремний (0,75-2,5%) и марганец (0,2-1,2%). Находят также применение никель, молибден, медь, алюминий, титан [1,2]. Стали указанного выше состава обладают хорошими литейными свойствами: высокой жидкотекучестью, малой линейной усадкой и низкой склонно-

стью к образованию горячих и холодных трещин. Термическая обработка сталей состоит, как правило, из двух этапов: отжига при 850-950°C для распада вторичного цементита и образования графитной фазы, и отжига при 700-780°C для формирования структуры металлической основы. В результате соответствующих технологических приемов (ковшевое модифицирование, увеличение содержания кремния и др.) удается достичь полной графитизации сверхэвтектоидного углерода и получить структуру перлит графит, без применения термической обработки.

Как отмечалось выше, графитные включения придают графитизированным сталям антифрикционные свойства, повышают их демпфирующую способность и снижают

чувствительность к концентраторам напряжений. С другой стороны, с увеличением количества графитной фазы снижаются показатели прочности и пластичности. В работе [4] выполнена оценка влияния графитной фазы на механические свойства сплавов с возрастающим содержанием углерода.

Между количеством графита и прочностью сплавов наблюдались прямолинейные зависимости: увеличение содержания углерода с 0,48 до 4,02% и, соответственно, количества графитных включений с 2,1 до 12,3 объемн. %, привело к снижению предела прочности с 652 МПа до 168 МПа при комнатной температуре; с 511 МПа до 152 МПа и со 155 МПа до 48 МПа при температурах 500°C и 700°C соответственно. Показатели твердости при этом снизились с HB220 до HB121 (рис. 1).

Влияние углерода на предел прочности σ_B при 20°C, 500°C и 700°C, на твердость HB и износостойкость G железоуглеродистых сплавов

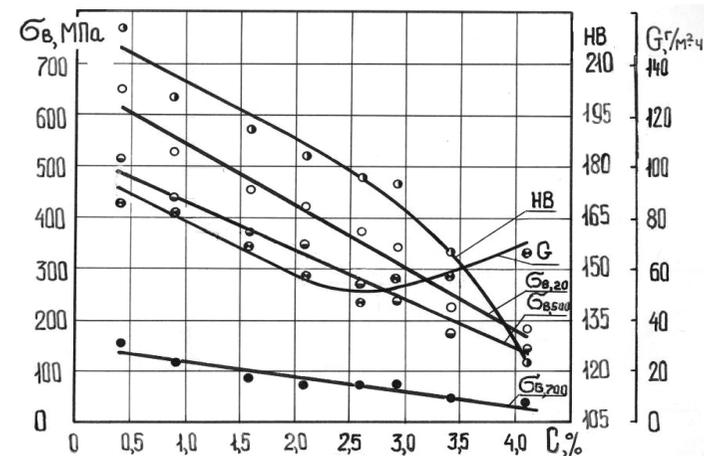


Рисунок 1.

Количество графитной фазы оказало существенное влияние на интенсивность изнашивания в условиях трения металл по металлу с проскальзыванием при нагрузке 50Н: с увеличением содержания углерода и уменьшением расстояния между включениями графита интенсивность изнашивания снижалась. При расположении графитной фа-

зы в виде дендритных колоний, когда расстояния между включениями практически сведены до минимума, интенсивность изнашивания была минимальной, что можно объяснить смазывающим действием графита. При повышении содержания углерода свыше 2,5% наблюдалось снижение износостойкости, что связано с охрупчиванием и

Раздел 2. «Машиностроение. Технологические машины и транспорт. Строительство»

и выкрашиванием металла возле крупных включений графита.

Несколько иные результаты получены при испытаниях на трещиностойкость (рис. 2). С увеличением содержания углерода до 1,51% вязкость разрушения K_{IC} при температуре 20°C оставалась неизменной, при 500°C –

снижалась незначительно; более высокие концентрации углерода приводили к резкому снижению этого показателя. При температуре испытаний 700°C имела место линейная обратная пропорциональная зависимость между содержанием углерода и K_{IC} .

Влияние углерода на вязкость разрушения K_{IC} железоуглеродистых сплавов при 20, 500 и 700°C

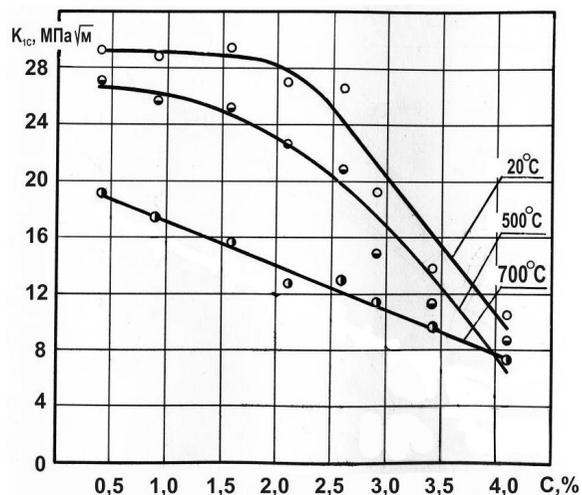


Рисунок 2.

В целом представленные выше результаты показывают, что графитизированные не легированные стали по прочности, твердости, вязкости разрушения и износостойкости примерно в два раза превышают аналогичные показатели серых и высокопрочных чугунов.

Дальнейшее повышение механических и служебных свойств графитизированных сталей может быть достигнуто в результате легирования. В работе [2] исследовали влияние легирования Mn, Cr, Ni и Mo на структуру и механические свойства графитизированных сталей, модифицированных алюминием. С этой целью в 120-килограммовой индукционной печи с основной футеровкой выплавляли стали с базовым химическим составом: 1,38...1,40% C; 0,85...0,90% Si; 0,26...0,28% Al; 0,029...0,031% P; 0,022...0,027% S. Содержа-

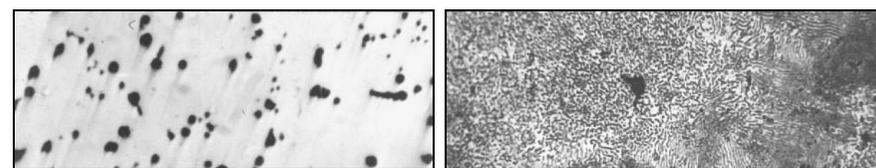
ние легирующих элементов изменяли в диапазонах, приведенных в табл. 1. Жидкий металл разливали в сухие песчано-глинистые формы. Полученные отливки подвергали графитизирующему отжигу при 850°C в течении трех часов с последующим сфероидизирующим отжигом, предусматривающим $\alpha \rightarrow \gamma$ превращение. Как показал металлографический анализ, во всех вариантах сталей включения графита имели вид мелких (10...40 мкм) равномерно распределенных выделений шаровидной и вермикулярной формы (рис. 3 а), при этом металлическая матрица практически полностью была представлена зернистым перлитом (рис. 3 б). С увеличением содержания легирующих элементов монотонно возрастали прочность, твердость и условный предел текучести, при одновременном снижении относительного удлинения (табл.1).

Таблица 1.

Содержание легирующих элементов в составе графитизированных сталей и механические свойства

Вариант стали	Количество легирующих элементов				Механические свойства				
	Mn, %	Cr, %	Ni, %	Mo, %	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	НВ	K_{IC} , МПа·√м
1	0,80	–	–	–	418	288	8,3	195	33,9
2	0,80	0,30	–	–	582	334	7,6	197	38,3
3	0,80	0,30	1,2	–	697	348	7,5	217	40,6
4	1,80	0,30	1,2	–	775	433	5,0	241	39,8
5	1,80	0,30	1,2	0,32	917	479	4,5	255	36,6
6	1,80	0,60	1,2	0,32	920	525	3,0	255	34,7

Типичная структура сталей после термической обработки



а – не травленные ×100; б – травленные ×500

Рисунок 3.

Такое изменение свойств можно объяснить твердорастворным упрочнением металлической матрицы легирующими элементами. Критический коэффициент интенсивности напряжений изменялся от 33,9 МПа·√м до 40,6 МПа·√м и имел максимальное значение для стали 3-го варианта, комплексно легированной 0,8%Mn; 0,3%Cr и 1,2%Ni.

Таким образом, легирование марганцем, хромом, никелем и молибденом повышает механические свойства графитизированных

сталей в результате твердорастворного упрочнения. Установлено, что графитизированная сталь состава: 1,38...1,40% C; 0,85...0,90% Si; 0,7...0,8% Mn; 0,25...0,3% Cr; 1,0...1,2% Ni; 0,25...0,28% Al; 0,029...0,031% P; 0,022...0,027% S после графитизирующего и последующего сфероидизирующего отжигов имела вязкость разрушения $K_{IC}=40...45$ МПа·√м, что практически в 1,5 раза превышает аналогичные характеристики феррито-перлитных высокопрочных чугунов.

ВЫВОДЫ:

Приведенные результаты показывают, что графитизированные стали в ряде случаев, благодаря своему промежуточному расположению по составу и свойствам между низкоуглеродистыми сталями и чугунами, могут обеспечить необходимое сочетание свойств конструкционного материала, на

пример теплопроводности и прочности – для металлических форм, сопротивление изнашиванию – для деталей, работающих в условиях сухого трения и, следовательно, повысить надежность и долговечность деталей машин металлургической и машиностроительной промышленности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тодоров Р.П., Николов М.В. Структура и свойства отливок из графитизированной стали. - М.: Металлургия, 1976.-168с.
2. І. Андрейко, І. Волчок, О. Осташ, І. Акімов, В. Кулик. Міцність та циклічна тріщиностійкість низьколегованих графітованих сталей // Механіка руйнування матеріалів і міцність конструкцій: Зб. наук. праць.– Львів ФМІ, 2004. – С.691-696. – 1997. - №4. – с.35-36.
3. Яковлев А.Ю., Волчок И.П. Материалы для изготовления металлических форм // Литье и Металлургия. – 2007. – № 4. С. 118-121.
4. Колотілкін О.Б. Розробка матеріалів для склоформуального устаткування з урахуванням дії силікатних розплавів: Автореф. дис. канд. техн. наук / Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України – Львів, 2004. – 36 с.

УДК 621.793

ИЗНОСОСТОЙКИЕ НАНОРАЗМЕРНЫЕ ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННЫЕ ПОКРЫТИЯ

¹С.Д. ЛАТУШКИНА, ²Д.В. КУИС, ¹А.Г. ЖИЖЧЕНКО, ¹О.И. ГАПАНОВИЧ, ²О.Ю. ПИСКУНОВА

(Республика Беларусь, г.Минск, ¹Физико-технический институт НАН Беларуси, ²Белорусский государственный технологический университет)

Введение

Одним из главных факторов повышения эффективности производства является повышение работоспособности режущего инструмента за счет увеличения их стойкости, надежности, производительности. Режущие инструменты работают в условиях воздействия сложного комплекса факторов – высоких контактных напряжений и температур, при активном протекании физико-механических процессов, что и определяет интенсивный износ контактных площадок инструмента. Используемые в настоящее время материалы для изготовления различных видов режущих инструментов специализированы для определенных условий работы и имеют различные основные свойства. Улучшение выходных параметров процесса резания является следствием изменения функциональных и физических параметров процесса резания, которое в свою очередь является следствием изменения физико-механических и кристаллохимических свойств поверхности и поверхностного слоя инструмента. Поэтому создание современного инструментального материала, пригодного для эксплуатации в существенно отличающихся условиях резания, путем применения различных методов нанесения покрытий и модификации поверх-

ностного слоя, является очень важной задачей для инструментального производства [1–2].

Работоспособность режущего инструмента можно повысить за счет нанесения покрытий на инструментальный материал, что обеспечит создание на рабочих поверхностях инструментов необходимого комплекса свойств с сохранением исходных в объеме инструментального материала. Важным преимуществом методов нанесения покрытий и модификации является то обстоятельство, что их легко применить к уже готовому «рыночному» инструменту, когда реализация других направлений его совершенствования в большинстве случаев уже невозможна.

Однако при разработке технологических процессов формирования защитных слоев необходимо учитывать, что тонкие износостойкие покрытия не могут существенно влиять на износ инструмента с невысокими механическими характеристиками, так как в этом случае поверхностные свойства нивелируются до уровня объемных механических свойств инструмента. Поэтому для определения эффективности использования режущего инструмента с износостойким покрытием необходимо определить механизмы

износа, присущие конкретному процессу обработки. Применение износостойких высокопрочных твердых покрытий обеспечивает снижение абразивного, диффузионного и адгезионно-усталостного износа инструментального материала, а низкий коэффициент трения также обеспечивает быстрое удаление раскаленной стружки [3–5]. При увеличении скорости резания основными факторами, определяющими увеличение стойкости инструмента с покрытием, становятся термостабильность фазового состояния и его сопротивление окислению.

Наиболее перспективным на сегодняшний день является использование вакуумно-плазменных методов нанесения покрытий. Например, при вакуумно-дуговом осаждении (PVD-методы) формирование покрытия происходит в высоко ионизированном потоке низкотемпературной плазмы. Использование реакционных газов (азота, метана, ацетилена и др.) в условиях ионной бомбардировки приводит к конденсации покрытия сложного состава на обрабатываемой поверхности благодаря протеканию плазмохимических реакций. Важное преимущество метода – низкий температурный режим процесса, что позволяет наносить защитные покрытия как на твердосплавный, так и на инструмент из быстрорежущей стали.

В настоящее время активно развиваются научные технологические основы осаждения многокомпонентных наноразмерных покрытий на базе нитрида титана, легированного В, С, Al, Si, Cu или Cr, которые обладая повышенной твердостью, позволяют увеличить стойкость и улучшить эксплуатационные свойства изделий [6–9].

Однако следует отметить, что осаждение покрытий сложного элементного состава наталкивается на трудности, связанные с необходимостью получения однородной многокомпонентной плазмы. Существует несколько методов для создания многокомпонентной плазмы [10, 11]:

- одновременное распыление нескольких катодов (мишеней) различного элементного состава;
- применение мозаичных катодов, состоящих из нескольких однокомпонентных частей макроскопических размеров;
- применение композиционных сплавных катодов.

Каждый из этих методов обладает рядом как преимуществ, так и недостатков. Также каждый метод характеризуется наличием капель и макрочастиц в плазменном потоке. Микрокапельная составляющая является опасным дефектом покрытия, особенно если она расположена на границе «покрытие-инструментальная основа» или поверхности.

Процесс вакуумно-плазменного осаждения при двухкатодном распылении с использованием сепарированных плазменных потоков имеет ряд преимуществ, среди которых можно выделить основные:

- осаждение покрытий высокой плотности, низкой шероховатости и однородной структуры при обеспечении прочной адгезии в системе;
- непрерывное легирование конденсируемого покрытия по всему объему, что позволяет обеспечивать его уникальные физико-механические свойства за счет различных механизмов управления структурой;
- формирование наноструктурированных композиционных покрытий и обеспечение сохранения нанометрических размеров зерен за счет снижения температуры конденсации покрытий.

В настоящей работе проводилось исследование физико-механических свойств вакуумно-плазменных многокомпонентных покрытий на основе TiN, легированного Al, Cr, Cu с целью определения оптимальной концентрации легирующей компоненты, обеспечивающей повышение защитных свойств покрытий.

Известны основные механизмы упрочнения, имеющие место при осаждении многокомпонентных покрытий, такие как твердорастворное упрочнение, дисперсионное упрочнение, зернограничное упрочнение [2].

Основным механизмом изменения физико-механических свойств износостойких покрытий является упрочнение растворенными атомами, так как покрытия конструируются на базе концентрированных твердых растворов или химических соединений. Изменяя состав твердого раствора, можно оптимизировать его физико-механические характеристики за счет изменения типа химической связи. Кроме того, примесные атомы сильно снижают подвижность дислокаций и повышают стабильность дислокационной струк-

структуры (т.е. замедляют протекание процессов возврата и рекристаллизации) и, следовательно, могут обеспечить стабильность структуры конденсата, т.е. предотвращать или замедлять процессы старения [12]. Модифицирование твердых растворов за счет легирования материала покрытия технологически возможно по двум механизмам:

- раствор замещения в подрешетке металла;
- раствор замещения в подрешетке металла.

В первом случае, процесс управляется за счет направленного изменения соотношения реакционных газов в камере. Таким образом формируются покрытия TiNC, отличающиеся высокой твердостью, коррозионной стойкостью, повышенным сопротивлением к окислительному износу [13, 14]. Во втором, модифицирование осуществляется за счет направленного легирования покрытий различными элементами (Al, Cr, Si, Cu, V и др.) [8–12].

Твердорастворное упрочнение материала покрытия по второму механизму имеет значительно более широкие возможности. Все легирующие элементы в этом случае подразделяются на: элементы, образующие соединения с неограниченной растворимостью, элементы, образующие соединения с ограниченной растворимостью или не взаимодействующие между собой.

При легировании твердого раствора TiN к элементам первой группы относятся Zr, Mo, Cr, V, Ta, Nb, Hf. Они также как нитрид титана, образуют нитриды с ГЦК решеткой, обладают высокой твердостью и износостойкостью. В силу их взаимной неограниченной растворимости с нитридом титана состав покрытия регулируется в широких пределах и тем самым подбираются его свойства. Среди нитридообразующих элементов второй группы выделяют Al, Fe, Si, V. Ограниченная взаимная растворимость таких нитридов, а также наличие тройных соединений позволяет предположить, что в покрытиях на основе нитрида титана, легированного элементами второй группы, кроме механизма твердорастворного упрочнения возможно действие механизма дисперсионного упрочнения. Использование в качестве легирующих компонентов элементы, не образующие химические соединения с титаном

и азотом (Cu) должно приводит в действие и другие механизмы, например, механизм зернограничного упрочнения материалов.

Методика эксперимента

Для формирования многокомпонентных покрытий использовалась вакуумно-дуговая модернизированная установка УРМЗ.279.048, оснащенная сепаратором макрочастиц [12]. Для получения покрытий были использованы катоды из титана, алюминия, хрома, меди. В качестве реакционного газа был выбран азот. Изменение фазового состава покрытий обеспечивалось изменением тока дугового разряда на дополнительном катоде (алюминиевом, титановом, медном). Рентгеноструктурный и рентгенофазовый анализ покрытий с различным содержанием меди проводился с помощью дифрактометра ДРОН-3 в интервале углов ~30–120° в фильтрованном Cu-K α излучении. Использование основных характеристик дифракционных максимумов позволило рассчитать параметр решетки (d), размер областей когерентного рассеяния (L). Поверхность и структура пленок исследовалась на растровом электронном микроскопе РЭМ S-4800 Hitachi. Состав покрытий определялся электронным микрондом EPMA; JEOL, JXA 8500-F. Трибологические свойства осажденных покрытий определяли на трибометре при следующих параметрах: контртело – шарик \varnothing 5,5 мм, изготовленный из стали ШХ15, нагрузка на контртело 0,4 Н, скорость 120 об/мин, радиус 10 мм, время испытаний 1–8 часов. Микротвердость покрытия измеряли наноиндентором Duramin при нагрузке 25 г. Для определения шероховатости покрытий использовался профилометр 296-ой модели цеховой с цифровым отсчетом и индуктивным преобразователем.

Результаты и их обсуждение

Как показали оптические исследования структуры и морфологии осажденных покрытий, использование сепарирующей системы позволило осаждавать покрытия без макрочастиц, отрицательно влияющих на физико-механические свойства конденсата. Исследование влияния технологических параметров на структурно-механические характеристики осаждаемых покрытий позволило установить корреляционные зависимости микротвердости, размера зерна от элементного состава материала покрытия (табл.).

Структурные и механические характеристики многокомпонентных покрытий

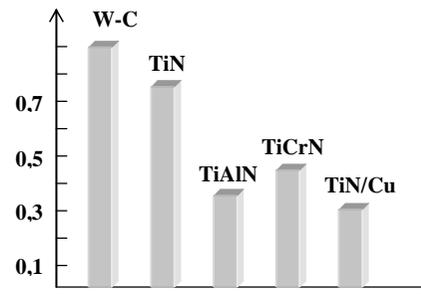
Покрытие	I, А титанового катода	P·10 ⁻² , Па	I, А дополнительного катода	%		d, нм	L, нм	H, ГПа
				Ti	легирующий элемент			
Ti-Al-N	55	0,6	40	88,4	11,6	0,421	10	36
			50	84,1	15,9	0,419	12	37
			60	49,8	50,2	0,419	15	28
			70	34,6	65,4	0,418	28	20
Ti-Cr-N	55	0,6	50	76,0	24,0	0,423	18	34
			60	74,1	25,9	0,423	17	34
			70	53,5	46,5	0,424	21	37
TiN/Cu	55	0,6	80	43,5	56,5	0,425	19	38
			40	98,5	1,5	0,424	21,5	42
			50	98,0	2,0	0,424	22	40
			60	85,0	15,0	0,424	76	17

Согласно анализу полученных результатов, можно предположить, что повышенные значения периода решетки для покрытий систем (Ti,Al)N и TiN/Cu обусловлены высоким уровнем сжимающих напряжений. Также четко просматривается зависимость микротвердости покрытий от размера зерна. Установлено, что изменение размера зерна существенно влияет на микротвердость формируемых покрытий. Многие исследователи указывают, что микротвердость покрытий во многом зависит от среднего размера зерен [13–15]. Причем авторы работы [13]

уточняют, что при формировании однослойных покрытий существует средний критический размер зерна, до величины которого обеспечивается рост микротвердости. Дальнейшее уменьшение среднего размера зерен приводит к снижению микротвердости за счет проскальзывания по межзерненным границам.

Эффективное торможение данного процесса возможно в случае формирования наноструктуры с упрочнением межзеренных границ. Можно предположить, что такой эффект возникает при формировании многокомпонентных электродуговых покрытий.

Коэффициент трения вакуумно-дуговых покрытий на твердом сплаве (материал контртела – сталь ШХ15)



Рисунок

Данные полученные рядом ученых [11, 16] указывают на то, что увеличение твердости материала возможно при уменьшении размеров зерна до 10–25 нм.

Изменение свойств покрытий (Ti,Al)N с увеличением концентрации алюминия в покрытии связано с изменением типа кристаллической решетки: от кубической для TiN к решетке типа вюрцита AlN.

Таким образом, проведенные исследования позволили установить оптимальное содержание легирующего элемента для каждого вида покрытий. Для подтверждения этих выводов проводились исследования фрикционных свойств осаждаемых покрытий. В качестве сравнительного критерия был выбран коэффициент трения (рис.).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как видно из полученных результатов, легирование покрытий на основе TiN позволяет существенно изменить механические характеристики покрытий, обеспечивая повышение эксплуатационных свойств изделий

с покрытиями. Однако выбирая состав материала защитного слоя, всегда необходимо учитывать условия работы инструмента с покрытием, тем самым повышая эффективность его использования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Верещака, А.С., Верещака, А.А. Функциональные покрытия для режущего инструмента // Упрочняющие технологии и покрытия, 2010, № 6. – С. 28–37.
2. Табаков, В.П. Формирование износостойких ионно-плазменных покрытий режущего инструмента. – М.: Машиностроение, 2008. – 311 с.
3. Sundgren, J.E. Structure and properties of TiN coatings // Thin Solid Films. – 1985. – Vol. 128. – P. 21–44.
4. Андриевский, Р.А., Анисимова, И.А., Анисимов, В.Г. Формирование структуры, микротвердости многослойных дуговых конденсатов на основе нитридов // ФиХОМ. – 1992. – № 2. – С. 99–102.
5. Волосова, М.А., Григорьев, С.Н. Технологические принципы осаждения износостойких нанопокровтий для применения в инструментальном производстве // Упрочняющие технологии и покрытия, 2010, № 6. – С. 37–42.
6. Veprek, S., Veprek-Heijman, M. Industrial applications of superhard nanocomposite coatings // Surf. And Coat. Technol. – 2008. – Vol. 202. – P. 5063–5073.
7. Левашов, Е.А., Штанский, Д.В. Многофункциональные наноструктурированные пленки // Успехи химии. – 2007. – № 76(5). – С. 501–509.
8. Васильев, В., Лучанинов, А., Решетняк, Е., Стрельницкий, В. Структура и твердость Ti-N и Ti-Si-N покрытий, осажденных из фильтрованной вакуумно-дуговой плазмы // Вопросы атомной науки и техники. – 2009. – № 2. – С. 173–180.
9. Han Jeon G., Myung Hyun S., Lee Hyuk M., Shaginyan Leonid R. Microstructure and mechanical properties of Ti-Ag-N and Ti-Cr-N superhard nanostructured coatings // Surf. and Coat. Technol. – 2003. – Vol. 174–175. – С. 738–743.
10. Мрочек, Ж.А., Эйзнер, Б.А., Марков, Г.В. Основы технологии формирования многокомпонентных вакуумных электродуговых покрытий. – Минск: Навука і Тэхніка. – 1991. – 96с.
11. Кунченко, Ю.В., Кунченко, В.В., Неклюдов, И.М., Каргмазов, Г.Н., Андреев, А.А. Слоистые Ti-Cr-N покрытия, получаемые методом вакуумно-дугового осаждения // ВАНТ, Сер.: Физ. рад. поврежд. и рад. материаловед.– 2007. – № 2 (90). – С. 203–214.
12. Тушинский, Л.И. Исследование структуры и физико-механических свойств покрытий / Л.И. Тушинский, А.В. Плохов. – Новосибирск: Наука, 1986. – 200 с.
13. Кунченко, В.В., Андреев, А.А. Карбонитриды титана, полученные вакуумно-дуговым осаждением // ВАНТ, Сер.: Физ. рад. поврежд. и рад. материаловед.– 2001. – № 2 (90). – С. 116–120.

14. Вершина, А.К., Латушкина, С.Д. Защитные Ti(NC)-покрытия, формируемые из сепарированных потоков плазмы вакуумной дуги // Технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин, механизмов, оборудования, инструмента и технологической оснастки: сб. материалов 10-ой международной научно-практической конференции. Ч. 2. С.-Петербург, 15–18 апреля 2008г. С. 90–95.

15. PalDey, S., Deevi, S. C. Single Layer and Multilayer Wear Resistant Coatings of (Ti,Al)N: A Review Materials Science and Engineering, A 342, 2003: pp. 58–79.

16. Сергеев, В.П., Федорищева, М.В., Воронов, А.В., Сергеев, О.В., Яновский, В.П., Псахье, С.Г. Трибомеханические свойства и структура нанокompозитных покрытий Ti1-xAlxN // Известия Томского политехнического университета. – 2006. – Т.309. – №2. – С. 149–152.

УДК 624.131.07

К ВОПРОСУ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ С ГРУНТОВЫМИ ОСНОВАНИЯМИ

Б.А. БАЗАРОВ, А.Н. КОНАКБАЕВА

(г. Темиртау, Карагандинский государственный индустриальный университет)

Главным направлением экономической политики Республики Казахстан является курс на повышения эффективности производства. В решение этой проблемы основную роль играют рост производительности труда, снижение материалоемкости и энергоёмкости производств. В стратегии на период до 2050 года намечены пути прироста объема строительных монтажных работ за счет повышения производительности труда. В свете сказанного нельзя не обратить внимание на трудоёмкость работ по возведению подземной части сооружения.

Ясно, что поиски наиболее оптимальных конструктивных решений фундаментов и технологий их возведения имеют весьма существенное значение. Многочисленные исследования и обобщения практического опыта свидетельствуют, что в определенных грунтовых условиях наиболее эффективны свайные фундаменты.

В последние годы выполнен значительный объём экспериментальных и теоретических исследований по свайным фундаментам в мире (Россия, Германия, Италия, Япония и другие страны), что позволило существенно усовершенствовать нормы их проектирования. Вместе с тем, применение свайных фундаментов не всегда увязывается с грунтовыми условиями строительных площадок. Нередки случаи неправильного определения несущей способности свай и их

длины. В последнее время в Казахстане почти не применяются прогрессивные виды свай (пирамидальные и буронабивные).

Несмотря на имеющуюся тенденцию распространения буронабивных свай, их удельный вес в целом по Республике Казахстан в общем объёме всех видов (в основном, забивных квадратного сечения) свай составляет менее 1%.

Это объясняется, прежде всего, отсутствием современного оборудования для устройства буронабивных свай в проблемных грунтах (водонасыщенных и т. д.). Буронабивные сваи являются экономически эффективными, так как при устройстве их сокращается количество забивных свай на строительной площадке и применяется товарный бетон, производимый при строительной площадке.

С возрастанием объёмов применения свайных фундаментов в сложных инженерно-геологических условиях требуется разработка достоверной оценки их несущей способности, внедрения новых эффективных технологий устройства буронабивных свай и контроля их качества, этим и обуславливается актуальность разработки темы исследования.

Все вышеизложенное обуславливает актуальность темы исследования.

В мировой практике строительства намечены следующие основные направления в проектировании и разработке геотехнологий

Раздел 2. «Машиностроение. Технологические машины и транспорт. Строительство»

устройства свайных фундаментов:

– разработка региональных норм проектирования с учётом особенностей инженерно-геологических условий и техногенных воздействий на грунтовое основание;

– разработка эффективных конструкций свай, в том числе буронабивных, с использованием передовых современных технических средств;

– создание надёжных методов контроля качества свайных фундаментов в особых грунтовых условиях.

Область применения фундаментов из буронабивных свай за рубежом довольно широка и охватывает мостостроение, гидротехническое, промышленное и гражданское строительство. На буронабивных сваях строятся многоэтажные производственные корпуса, цеха с тяжёлым крановым оборудованием, доменные и другие цеха металлургических заводов, силосные башни и элеваторы, здания мощных тепловых электростанций, мачты высоковольтных линий электропередач, высокие дымовые трубы и т.п. Кроме того, глубокие опоры в Западной Европе все чаще применяются при противооползневых мероприятиях.

В странах СНГ буронабивные сваи большого диаметра, разработанные Всероссийским научно-исследовательским институтом транспортного строительства и изготавливаемые с помощью отечественного оборудования, нашли широкое применение в мостостроении. Сваи с уширенным основанием изготавливаются на месте строительства путем заполнения бетонной смесью скважин и уширения.

Характерной особенностью такого изготовления является применение глинистого раствора или избыточного давления воды при вращательном бурении. Это обеспечивает устойчивость стенки скважин и грунтового купола уширенной части в различных грунтовых грунтах, что позволяет создать уширенную пятую сваи точных, заранее заданных размеров, опирающихся на естественный ненарушенный грунт. Глинистый раствор или вода в процессе подводного бетонирования вытесняется бетонной смесью. Следует, правда, отметить низкие темпы сооружения таких свай.

В последние годы распространение получили буронабивные сваи, изготавливаемые станками французской фирмы «Беното» и «Като» позволяют изготавливать сваи диаметром от 0,6 до 1,5 м глубиной до 50 м. Область применения буровых свай указанных типов много шире, чем забивных, использование которых возможно только до глубины 12-14 м.

На кафедре «СиТ» КГИУ ведутся разработки по исследованию работы буронабивных свай для подрабатываемых территорий, включающих моделирование в лабораторных условиях и натурные испытания в полевых условиях. В процессе исследований определены основные задачи:

– разработать методику оценки несущей способности буронабивных свай с учетом особенностей их работы с грунтовыми основаниями;

– разработать комплексную методику испытания буронабивных свай.

Обширные теоретические и экспериментальные исследования в области строительных конструкций и сооружений, проведенные отечественными и зарубежными учеными, указывают на целый ряд особенностей в их работе, затрудняющих чисто теоретический подход к расчету реальных конструкций.

В настоящее время проектируются сложные системы сооружений с учетом работы конструкций в комплексе с примыкающими и поддерживающими элементами сооружения. В таких случаях обоснованию применения расчетных предпосылок и гипотез, а также проверке точности расчета предшествует выполнение значительного объема экспериментальных работ с целью исследования общих параметров напряженно-деформированного состояния сложной системы, вопросов концентрации напряжений, несущей способности и перераспределения усилий, связанных с развитием неупругих деформаций в элементах конструкций.

Наряду с совершенствованием существующих методов исследования актуальной задачей на данный момент является разработка и дальнейшее развитие метода моделирования, который имеет огромные возможности широкого применения во всех областях науки и техники.

Теория и практика применения моделирования в инженерных сооружениях свидетельствует о больших возможностях этого метода и особенно его эффективности при проектировании новых, сложных, уникальных и ответственных сооружений и конструкций, теория расчета которых еще мало разработана. В ряде случаев применение методов моделирования позволяет упростить или полностью исключить трудоемкие и дорогостоящие натурные испытания и благодаря этому снизить существенно стоимость исследований.

Исследования моделей отдельных строительных конструкций или сооружений дают возможность уточнить расчетную схему, установить напряженно-деформированное состояние и несущую способность элементов на отдельных этапах нагрузки, вплоть до стадии разрушения рассматриваемой конструкции.

Важнейшим этапом при проектировании зданий и сооружений является определение

деформаций, напряжений и перемещений в элементах зданий, воспринимающих нагрузки.

Сложность этих задач, особенно при проектировании, несмотря на высокую эффективность современных численных методов теории упругости и пластичности, требует экспериментальных исследований. Значительные трудности возникают, например, при установлении уравнений состояния материала и оценке предельного состояния элементов конструкций, подвергающихся сложному сочетанию силовых и других воздействий, которые приводят к упруго-пластическим деформациям и накоплению повреждений с течением времени.

Практически всегда выполняют экспериментальную проверку расчетов напряженно-деформированного состояния (далее НДС), когда граничные условия задаются приближенно, например, при неизвестном распределении контактных давлений во взаимодействующих средах. Экспериментально исследуют НДС для определения значений местных деформаций и напряжений в местах концентраций; для нахождения частных значений функций, определяющих НДС; для построения общих решений в инженерных расчетах [1].

Целью лабораторного моделирования было исследование характера взаимодействия подрабатываемого основания и трапецевидного фундамента сооружения. Как и любая задача моделирования, поставленная цель может быть решена двумя различными способами:

1. Моделирование процесса взаимодействия со значительным упрощением действительных условий.

2. Моделирование частного случая подработки с максимальным приближением к натуре.

В первом случае, более подходящем и отвечающем условиям лабораторного эксперимента, можно легко изменить условия, определяющие ход взаимодействия подрабатываемого основания и фундамента с выделением и отдельным рассмотрением факторов, оказывающих наибольшее влияние на весь процесс взаимодействия.

Второй способ решения задачи моделирования должен быть выполнен после первого, т.к. только после изучения процесса

УДК 624.159.14.001

МОДЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТРАПЕЦЕВИДНЫХ ФУНДАМЕНТОВ В УСЛОВИЯХ ПОДРАБОТКИ ТЕРРИТОРИЙ

Б.А. БАЗАРОВ, В.В. БЕЛЯЕВ, А.Н. КОНАКБАЕВА, Г.А. ТУЛЕУТАЕВА,
А.Г. АБДИЮСУПОВ

(г. Темиртау, Карагандинский государственный индустриальный университет)

Непрерывно растущий объем капитального строительства в нашей стране, повышение его общего технического уровня, вхождение в число 50 развитых конкуренто-

способных стран мира тесно связаны с разработкой, исследованием и внедрением в практику строительства новых, прогрессивных материалов и конструкций.

Раздел 2. «Машиностроение. Технологические машины и транспорт. Строительство»

взаимодействия на моделях и проверке основных выводов в натуральных условиях можно сделать правильные выводы.

Для определения параметров, влияющих на несущую способность и величины осадок трапециевидных фундаментов, проводились комплексные модельные испытания. В ходе исследования было проведено 10 испытаний в каждой серии [2].

Модели фундаментов трапециевидной формы изготавливались из металла и представляли собой столбчатый фундамент круглого сечения сужающегося к основанию, высота фундамента варьировалась от 10 до 20 мм (рисунок 1).

Выбор различной высоты и диаметра необходим для определения оптимального размера фундамента (рисунок 2).

Модели фундаментов, применяемых в лабораторных исследованиях



Рисунок 1.

Геометрические размеры макетов фундаментов в разрезе

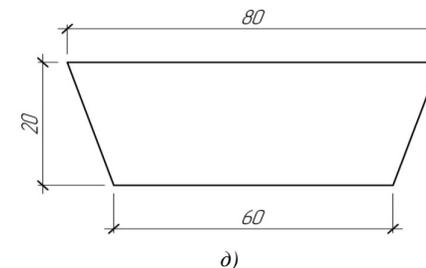
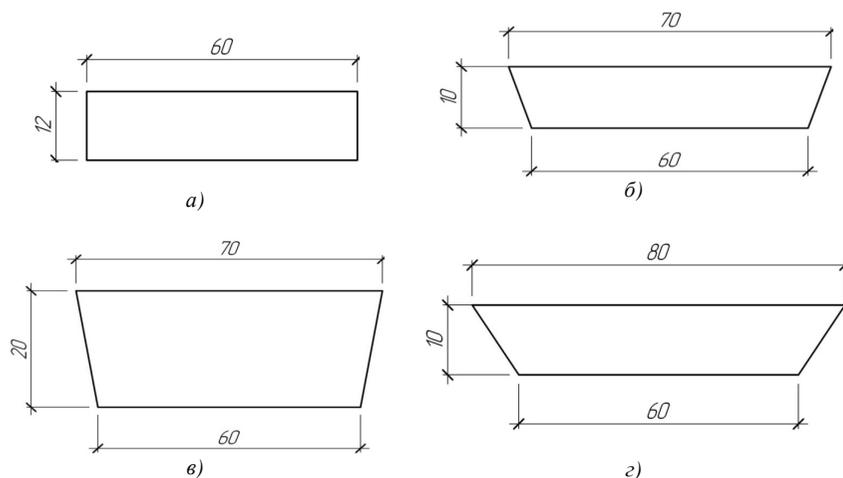


Рисунок 2.

Линейный масштаб моделей и натуральных фундаментов определялся соотношениями прочностных свойств (сцепления) суглинка, эквивалентного материала и равен 1:40.

Для сравнения механизма работы столбчатого фундамента цилиндрической формы и исследуемого фундамента были использованы для экспериментов штампы идентичных диаметров \varnothing_n на контакте с грунтовой толщиной.

Эквивалентный материал укладывался в объемный стенд слоями по 5 см и уплотнялся катком (10 полных циклов укатки). В процессе подготовки основания контролировалась плотность материала по величине удельного веса.

Осадки штампов фундаментов измерялись прогибомерами Аистова типа 6ПА0, перемещения грунта возле моделей фундаментов фиксировались индикаторами часового типа. Нагрузка передавалась статически ступенями и выдерживалась до условной

стабилизации осадки, за которую принимали осадку не менее 0,01 мм за последние 15 мин наблюдений [3].

Горизонтальные деформации основания в процессе подработки определялись микрометром путем измерения расстояния между марками, расположенными на поверхности материала через 5 см друг от друга. В соответствии с принятой программой модельных исследований были проведены следующие испытания:

а) нагружение моделей фундаментов на грунтовом основании без влияния подработки;

б) нагружение фундаментов и штампов на грунтовом основании, предварительно деформированном в одном горизонтальном направлении до величины $s - (3; 6; 9; 12) \cdot 10^{-3}$.

Сравнительные модельные эксперименты были проведены с целью получения фундаментов для определения несущей способности и податливости грунтового основания.

Конструкция испытуемой модели фундамента перед испытанием

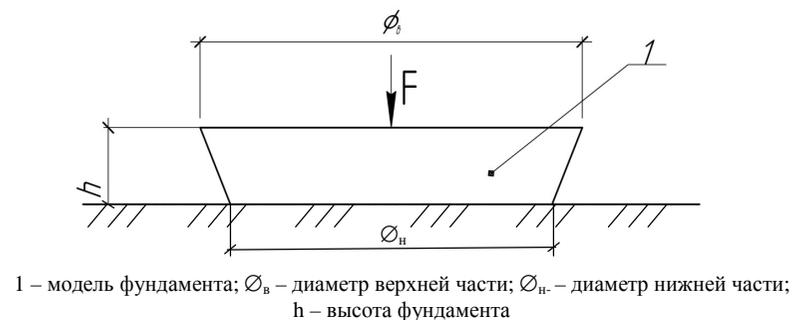


Рисунок 3.

Раздел 2. «Машиностроение. Технологические машины и транспорт. Строительство»

Установка моделей фундаментов на объемном стенде для исследований



Рисунок 4.

По полученным данным исследований определяем функциональную зависимость осадки фундаментов:

$$S_u = S_0 (1 + D\varepsilon),$$

где D – эмпирический коэффициент, полученный для трапециевидных фундаментов, равный 57,9;

ε – горизонтальные деформации растяжения земной поверхности

$$0 < \varepsilon < 12 \cdot 10^{-3},$$

S_u , S_0 – врезание (осадка) фундамента трапециевидной формы на подработанном и неподработанном массиве.

Модельные испытания трапециевидных фундаментов, показали их преимущество по сравнению с цилиндрической формой, которое объясняется новым механизмом их взаимодействия с грунтовым массивом [4].

В ходе экспериментов установлено, что предельная несущая способность у фундаментов трапециевидной формы выше, чем у обычных фундаментов, так как по мере вертикального врезания конической части фундамента в грунтовую толщу увеличивается поверхностная площадь контакта с грунтовым массивом.

Применение трапециевидных фундаментов с разными диаметрами и высотой оголовков позволит строить здания и сооружения с более гибкой конструктивной схемой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Базаров Б.А. Особенности моделирования взаимодействия фундаментов с подработаемым основанием. В кн. ТРУДЫ. Международной научной конференции «Наука и образование- ведущий фактор стратегии «Казахстан - 2030»» (24-25 июня 2008г.). Выпуск 2.- Караганда, 2008г.с. 204-205.

2. Базаров Б.А., Конакбаева А.Н., Калданова Б.О. Моделирование работы клиновидных фундаментов с зданиями и сооружениями в условиях подработки. Сборник трудов международной научно-практической конференции «Повышение качества образования и научных исследований» в рамках XI Сатпаевских чтений.–Екибастуз, 2012 г.

3. Базаров Б.А., Жусупбеков А.Ж. Геотехнические методы расчетов подрабатываемых оснований и фундаментов зданий и сооружений. Учебно-методические указания НИРС. (основания и фундаменты) - Караганда, 1997, 4 п.л.

4. Базаров Б.А. Проектирование фундаментных конструкций для карагандинского угольного бассейна. В кн. «Технология производства металлов и вторичных материалов». Республиканский научный журнал.- №1(17) февраль, 2010. с.328-331.