

Теоретические основы обработки строительных конструкций свободными абразивами

Д.В. Гранкина, В.М. Троцкий, Д.К. Васильева, А.В. Матыцин.

Донской государственный технический университет

Аннотация: в работе представлен анализ основных методик обработки строительных конструкций, способствующих сохранению прочностных характеристик при агрессивном воздействии окружающей среды, а также даны основные принципы расчета параметров очистки материалов свободными абразивами.

Ключевые слова: свободный абразив, частица, агрессивная среда, динамическое воздействие, обработка деталей, вероятностная оценка, пятно контакта, квадрат упаковки, траектория движения, степень очистки.

В процессе строительства и эксплуатации зданий и сооружений, конструктивных элементы подвергаются длительному воздействию агрессивных сред: различной температур, атмосферных осадков, выхлопных газов, пыли и иных явлений, вследствие чего происходит их постепенное разрушение.

Одной из причин загрязнения бетона могут стать и разные нарушения строительных технологий, а также природные процессы, которые протекают в конструкции здания. Грязный и поврежденный бетон необходимо восстанавливать. Вследствие санации бетона производят его очистку, то есть устраняют загрязненные и поврежденные слои, придают бетонной поверхности необходимую шероховатость для последующего нанесения защитного или декоративного покрытия [1].

Для очистки металлических конструкций, с поверхности необходимо удалить прокатную окалину и ветхие покрытия, сделать поверхность рельефной, что необходимо для наилучшей адгезии материалов.

Пескоструйная обработка предполагает обдув очищаемой заготовки струей воздуха или воды, в которой содержатся абразивные частицы. Причем воздушная струя разгоняется до скорости 300 метров в секунду, а вода подается под давлением 7,5 тысячи бар. Разогнанная до таких скоростей

песчинка приобретает огромный заряд кумулятивной энергии, который освобождается при столкновении с обрабатываемой плоскостью, приводя к разрушению рыхлого слоя на поверхности металла.

Абразивоструйная очистка является одним из самых доступных, распространенных и эффективных методов очистки поверхностей строительных конструкций [2]. Также обработка абразивом выполняется при изготовлении конструкций. Это обязательная подготовка поверхности перед нанесением лакокрасочного покрытия [3].

Метод пескоструйной обработки был изобретен в конце XIX века. Тогда в качестве абразива использовали кварцевый песок, который промывали и просеивали через специальные сита, чтобы достичь однородности материала. Но применение кварцевого песка неблагоприятно сказывалось на здоровье рабочих, поскольку приводило к заболеванию силикозом – тяжелого неизлечимого заболевания, связанного с поражением дыхательных путей песочной кремниевой пылью. На сегодняшний день технология пескоструйной обработки эволюционировала и приобрела множество разновидностей. Этот прогресс может быть использован в технологии выполнения ремонтных работ при очистке поверхности бетона, железобетона или металла в процессе реконструкций промышленных и гражданских объектов в результате деструктивного воздействия солей, кислот и щелочей.

Метод основан на следующем: частицы абразива, вылетая из сопла с большой скоростью и кинетической энергией, при соударении с поверхностью элемента очищают имеющиеся покрытия и иные загрязнения. Вместе с этим поверхность приобретает характерный рельеф, который способствует наилучшей адгезии покрытия. Требуемый результат обработки обеспечивается возможностью регулировки расхода сжатого воздуха, разгоняющего частицы абразива. При исследовании процесса обработки

абразивами материалов, основополагающим становится определение съема материала с поверхности конструкции за определенное время обработки.

Можно выделить несколько вариаций расчета этого процесса. Среди них - метод, с помощью которого вычисляются параметры съема материала, в котором абразивные частицы взаимодействуют с поверхностью конструкции единично. Метод оптимальный и иллюстрирует реальный процесс очистки элемента. Далее результат необходимо умножить на число взаимодействий частиц в течение обработки абразивом. Последствия обработки – это, помимо удаления части материала, пластическое и упругое деформирование локальных объемов элементов конструкций. Эти процессы следует рассматривать отдельно, чтобы был продемонстрирован механизм удаления с поверхности детали металлических частиц.

Поверхность конструкции постоянно подвергается динамическому воздействию частиц. Этот процесс тяжело функционально связать технологией. Взаимодействия частиц, которые приходятся на единицу поверхности конструкции в единицу времени, как правило, произвольны количественно. Большая часть контакта с поверхностью конструкции у абразивных частиц возникает под острым углом, зона такого взаимодействия имеет форму эллипса [4, 5].

Необходимо дать вероятностную оценку по количеству взаимодействий частиц на единицу площади элемента в единицу времени. Для этого сделаем следующие предположения, требуемые для протекания процесса обработки:

1. Обработка детали плоской формы протекает с применением шаров одинакового диаметра;
2. Упаковка шаров на поверхности, подвергаемой обработке, считается, как упаковка по квадрату размерами, равными диаметру шара;

3. Пятна контакта образуются в форме плоских эллипсов с полуосями a и b , где a больше b ;

4. При каждом взаимодействии частиц и поверхности конструкции образуется область контакта;

5. Сам процесс обработки осуществляется по следующему принципу: на квадрат упаковки произвольно наносятся пятна формы эллипса; количество пятен квадрата упаковки, которые покрыт произвольным числом эллипсов, имеет название «хаотичное множество».

Первостепенно определяют вероятность того, будет ли та или иная точка внутри квадрата быть покрыта одним эллипсом [6]. Тем не менее, учитывая, что процесс обработки контакта абразивной частицы с поверхностью детали является сложным, даётся оценка вероятности. Применяя процесс вибрационной обработки, заметим, что оценка вышеописанной вероятности будет идентична:

$$P_1 = \frac{\pi ab}{\pi a^2 + 4Da + D^2}, \quad (1)$$

Где D - диаметр абразивной частицы.

a и b - большая и малая полуоси эллипсов контакта

Общее число взаимодействий, приводящих к микрорезанию, определяется (для случаев, когда $S_{дет} > S_{кв.уп.}$):

$$N_p = n_p \frac{S_{дет}}{S_{кв.уп.}},$$

где $S_{дет}$ - площадь поверхности детали;

$S_{кв.уп.}$ - площадь квадрата упаковки.

Вычислим значение $S_{кв.уп.} = D^2 = 4R^2$, определяем

$$N_p = P_1 P_2 f_s t \frac{S_{дет}}{4R^2}. \quad (2)$$

В процессе обработки малых деталей или элементов конструкции, когда $S_{дет} > S_{кв.уп}$, значение вероятности P_1 будет изменяться

$$P_1' = \frac{\pi ab}{S_{дет}}. \quad (3)$$

Зависимость, в случае определения общего числа взаимодействий, приводящих к микрорезанию:

$$N_1' = P_1' P_2 f_s t. \quad (4)$$

Необходимо дать оценку важности правильного применения теоретико-вероятностных схем процесса обработки в случаях, которые указаны выше и использовать зависимость (2) или зависимость (4) соответственно.

Далее вычисляем полуоси пятна взаимодействия a и b . Величину малой полуоси b находим с помощью геометрической схемы внедрения на поверхность детали абразивной частицы в (рис.1).

По рис.1.б видно, что малая полуось эллиптического пятна контакта равна половине длины хорды, проведенной в окружности радиуса R (характерный размер частицы, равный радиусу описанной окружности) на расстоянии $(R - h_{max})$ от центра [7-8].

$$b = \sqrt{R^2 - (R - h_{max})^2}. \quad (5)$$

Для нахождения a (большой полуоси эллипса), используем зависимость, которая описывает траекторию движения абразивной частицы в продольном направлении (рис.1.а). Вычисляем координату конечной точки траектории x_2 . Необходимо учесть, что до точки А $(x_1; h_{max})$ происходит увеличение глубины внедрения частицы, от точки А до точки В $(x_2; 0)$ уменьшение глубины внедрения, можно записать на основании (2.20) два дифференциальных уравнения с разделяющимися переменными:

$$d\xi = \left(f + \frac{\operatorname{ctg}\beta - f}{\sqrt{1 - \varepsilon^2}} \right) d\varepsilon \text{ при } 0 < x < x_1$$

$$d\xi = \left(f - \frac{\operatorname{ctg}\beta - f}{\sqrt{1 - \varepsilon^2}} \right) d\varepsilon \text{ при } x_1 < x < x_2$$

Проинтегрировав, получим следующие решения:

$$\xi_1 = \int_0^1 \left(f + \frac{\operatorname{ctg}\beta - f}{\sqrt{1 - \varepsilon^2}} \right) d\varepsilon = f + (\operatorname{ctg}\beta - f) \frac{\pi}{2};$$

$$\xi_1 - \xi_2 = \int_0^1 \left(f - \frac{\operatorname{ctg}\beta - f}{\sqrt{1 - \varepsilon^2}} \right) d\varepsilon = - \left(f - (\operatorname{ctg}\beta - f) \frac{\pi}{2} \right);$$

Теперь можно вычислить значения x_2 :

$$x_2 = h_{\max} (\xi_1 - (\xi_2 - \xi_1)) = h_{\max} \pi (\operatorname{ctg}\beta - f).$$

Зная величину длины траектории следа, а также, что, внедряя на глубину h_{\max} частица оставит след шириной $2b$ (см. рис.1.б), можно найти величину большей полуоси эллиптического пятна контакта.

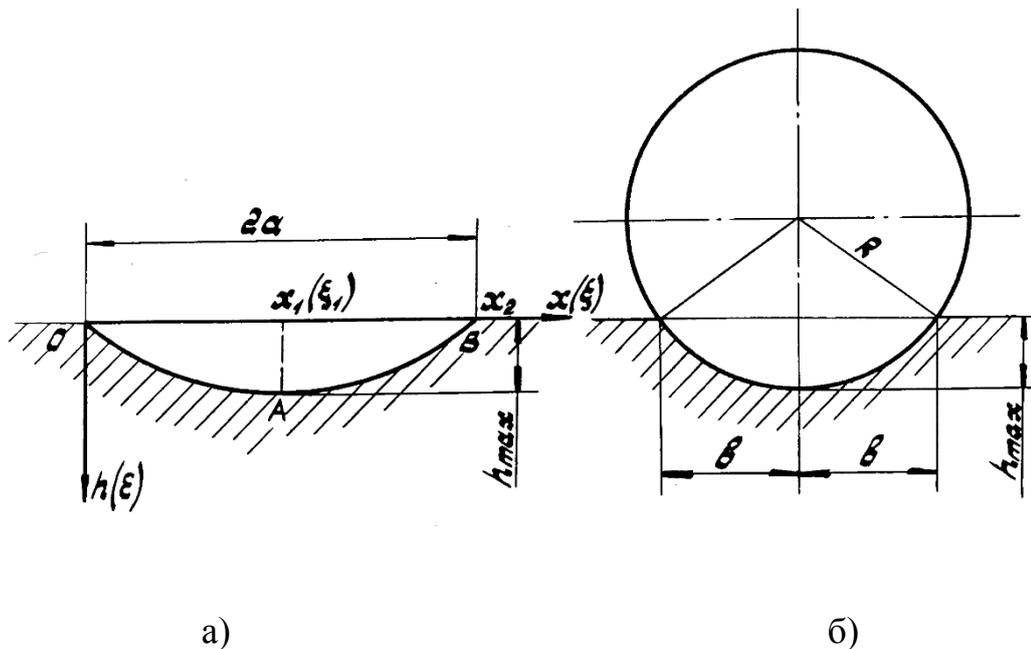


Рис. 1. - Геометрическая схема внедрения абразивной частицы в поверхность детали: а - в продольном направлении; б - в поперечном направлении

$$a = \frac{X_2 + 2b}{2}$$

$$a = \frac{\pi}{2} (\operatorname{ctg}\beta - f) h_{\max} + b \quad (6)$$

Далее вычисляем площадь следа абразивной частицы на поверхности детали:

$$S_{сл} = \pi ab$$

это значит, что любая точка квадрата упаковки покроеется пятном контакта - P_1 . Зная P_1 можно рассчитать сколько всего приходится воздействий частиц на поверхность, подвергаемую обработке.

Это актуально при проектировании и строительстве высотных, уникальных зданий в связи с предъявляемым к ним повышенным требованиям [9, 10]. Благодаря расчету можно регулировать скорость абразивно-воздушного или гидроабразивного потока, добиваясь разной степени очистки материала, не приводя к деформированию конструкций и потере ими прочностных характеристик.

Литература

1. Raupach M., Büttner T. Concrete Repair to EN: Diagnosis, Design, Principles and Practice. Florida (USA): CRC Press, 2014. 116 p.
2. Momber A. Blast Cleaning Technology. Berlin (Germany): Springer Science & Business Media, 2007. pp. 3-4.
3. Mitsuishi M., Ueda K., Kimura F. Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier // The 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems May 26–28, 2008, Tokyo, Japan. Berlin (Germany): Springer Science & Business Media, 2008. pp. 463-464.

4. Ющенко А. В., Флек М. Б. Исследование процесса съёма металла при абразивной галтовке // Вестник Донского государственного технического университета, 2013, №3. URL: vestnik.donstu.ru/jour/article/view/403/405.

5. Непомнящий, Е. Ф. Трение и износ под воздействием струи твёрдых сферических частиц. Москва : Наука, 1971. С. 190–200.

6. Бабичев, А.П., Теоретико-вероятностная модель процесса виброобработки плоской детали в случае эллиптических пятен контакта Ростов-на-Дону: Межвуз. сб., 1981. С. 8 - 10.

7. Никифоров И.П. Современные тенденции шлифования и абразивной обработки. Псков: ППИ, 2011. 400 с.

8. Никифоров И.П. Шлифование глубоких отверстий малого диаметра: проблемы и решения. Псков: политехн. ин-т, 2006. 200 с.

9. Шумейко В.И., Кудинов, О.А. Об особенностях проектирования уникальных, большепролетных и высотных зданий и сооружений // Инженерный вестник Дона, 2013, №4. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2164.

10. Карамышева А.А., Аракелян А.А., Иванов Н.В. и др. Обеспечение устойчивости высотных уникальных зданий. Архитектурно-планировочные и конструктивные решения. // Инженерный вестник Дона, 2018, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5248.

References

1. Raupach M., Büttner T. Concrete Repair to EN: Diagnosis, Design, Principles and Practice. Florida (USA): CRC Press, 2014. 116 p.

2. Momber A. Blast Cleaning Technology. Berlin (Germany): Springer Science & Business Media, 2007. pp. 3-4.

3. Mitsubishi M., Ueda K., Kimura F. The 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems May 26–28, 2008, Tokyo, Japan. Berlin (Germany): Springer Science & Business Media, 2008. pp. 463-464.



4. Yushchenko A. V., Flek M. B. Vestnik Donskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta, 2013, №3. URL: vestnik.donstu.ru/jour/article/view/403/405.
5. Nepomnyashchiy, Ye. F. Treniye i iznos pod vozdeystviyem strui tvordykh sfericheskikh chastits [Friction and wear under the influence of a jet of solid spherical particles]. Moscow: Science, 1971. pp. 190–200.
6. Babichev, A.P. Rostov-on-Don: Mezhvuz. Sb, 1981. С. 8 - 10.
7. Nikiforov I.P. Sovremennyye tendentsii shlifovaniya i abrazivnoy obrabotki [Current trends in grinding and abrasive machining]. Pskov: PPI2011. 400 p.
8. Nikiforov I.P. Shlifovaniye glubokikh otverstiy malogo diametra: problemy i resheniya [Grinding of deep holes of small diameter: problems and solutions]. Pskov: Polytechnic Institute, 2006. 200 p.
9. Shumejko V. I., Kudinov O.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2013, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2013/2164.
10. Karamysheva A.A., Arakelyan A.A. , Ivanov N.V. etc. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2018, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5248.