

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

ვახტანგ ჩხეიძე

ადგილობრივი ნედლეულის გარდაქმნის პროცესების შესწავლა
რეაქტორ-დეკარბონიზატორიან მზრუნავ ღუმელში ცემენტის
კლინკერის წარმოების პირობებში

სადოქტორო პროგრამა: ქიმიური და ბიოლოგიური ინჟინერია

შიფრი: 0711

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ავტორეფერატი

თბილისი

2023 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკურ უნივერსიტეტში ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის არაორგანულ ნაერთთა ტექნოლოგიის დეპარტამენტში

ხელმძღვანელი: პროფესორი თამაზ გაბადაძე

რეცენზენტები:
.....

დაცვა შედგება 2023 წლის "....." , საათზე

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის ქიმიური ტექნოლოგიისა და მეტალურგიის ფაკულტეტის სადისერტაციო ნაშრომის დაცვის კოლეგიის სხდომაზე

კორპუსი , აუდიტორია

მისამართი: 0160, თბილისი, №

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ის ბიბლიოთეკაში,

ხოლო ავტორეფერატისა – ფაკულტეტის ვებგვერდზე

ფაკულტეტის სწავლული მდივანი

თემის აქტუალობა: თანამედროვე პირობებში CO₂-ის გამონაბოლქვის შემცირება უმნიშვნელოვანესი საკითხი გახდა ცემენტის და ნებისმიერი სხვა ინდუსტრიული მასშტაბის წარმოებისთვის. ამჟამად ითვლება, რომ CO₂-ის გლობალური წარმოების 36% მოდის ინდუსტრიულ სექტორზე, ხოლო ამ სექტორის 19% კი ბეტონის, ანუ კლინკერით და ცემენტით შექმნილი საბოლოო პროდუქტის, წილია.

კლინკერიზაციის პროცესი სრულად შესწავლილი არაა მისი კომპლექსურობიდან და მზრუნავ აგრეგატში მიმდინარე მაღალ ტემპურატურული პროცესებიდან გამომდინარე. თუმცა კლინკერიზაციის პროცესი არის CO₂-ის ყველაზე დიდი წარმომქმნელი, მაგრამ ასევე ცემენტში ყველაზე დიდი წილი კლინკერს უჭირავს (ყველა ტიპის ცემენტის წარმოებაში საქართველოში საშუალოდ 80% კლინკერი გვჭირდება), შესაბამისად გამოდის, რომ ცემენტის საწარმოებლად ვუშვებთ კლინკერს, რომელიც CO₂-ის გამონაბოლქვის ძირითადი წყაროა. კლინკერის წილის შემცირება სტანდარტულ პირობებში იწვევს ცემენტის მარკიანობის ანუ სიმტკიცის შემცირებას. იმისათვის რათა ცემენტის ხარისხი შეესაბამებოდეს თანამედროვე სტანდარტებს აუცილებელია კლინკერის ზემოთ ხსენებული პროცენტულობა შევინარჩუნოთ.

ნაშრომის ძირითადი მიზნები იყო ზეგავლენა მოგვებდინა კლინკერის და ცემენტის წარმოების პროცესებზე ეკონომიური და ეკოლოგიური კუთხით, ასევე შეგვესწავლა და დაგვეხვეწა ახლად დანერგილი ნედლეული და საწვავი მასალების მიქსები. მთავარი ნედლეულის - სასხორის კირქვის გამოყენებით პირველად მოხდა კლინკერის წარმოება მშრალი ციკლის 5 სართულიანი თბომცვლელის, რეაქტორ დეკარბონიზატორის და მზრუნა

კლინკერის წილის შემცირება მხოლოდ იმ პირობებში იქნებოდა შესაძლებელი, ცემენტის სიმტკიცის დაკლების გარეშე, რომ თვითონ კლინკერი ან დანამატი იყოს გაცილებით მეტი აქტიურობის და შესაბამისად მეტი სიმტკიცის მატარებელი. კლინკერის გააქტიურება და მასზე ნაკლები თბური დანახარჯის გაწევა განხილულ იქნა ზედა ქვეთავებში, რომელის გავლენის მასშტაბი კლინკერზე არის დაახლოებით 2%-მდე, ხოლო დანამატის გააქტიურება და ამით ცემენტის სიმტკიცის გაზრდა შედარებით უფრო დიდ გავლენას მოახდენს საერთო ცემენტის დანახარჯებსა და ხარისხზე.

რეზიუმე

ცემენტის და კლინკერის წარმოებისთვის ყოველთვის აქტუალური იყო დანახარჯების შემცირება, ნამწვი ჰაერების ანუ ემისიების შემცირება და ხარისხის სტაბილური გაზრდა. თანამედროვე მსოფლიოში CO₂-ის გამონაბოლქვის შემცირებაზე ყურადღება განსაკუთრებითაა გამახვილებული, გლობალური დათბობის და სხვა ბევრი გარემოს დაცვითი საკითხების აქტუალობიდან გამომდინარე. არსებული გამოწვევებიდან გამომდინარე სადოქტორო ნამუშევრის ძირითად მიზნები იყო:

- სველი მეთოდის, გრძელი მბრუნავი ღუმელების მშრალი მეთოდის, რეაქტორ-დეკარბონიზატორიანი ღუმელით ჩანაცვლება, კლინკერის ხარისხის გაზრდის ან შენარჩუნების პირობებში
- კავთისხევის კირქვის კარიერის ამოწურვის გამო, მთავარი ნედლეულის წყაროს ჩანაცვლება
- საწვავის რაოდენობის და ჩამჯდარი ნაცრის გავლენის შესწავლა და საუკეთესო მიქსის შერჩევა
- ნედლეული კომპონენტების სხვადასხვა მიქსების გამოცდა და საუკეთესო მიქსის დადგენა
- ნედლეული ფქვილის და საწვავის კლინკერად გარდაქმნის პროცესის შესწავლა
- პუცოლანური დანამატის - ტუფის გააქტიურება კლინკერის მაცივარში

სველი მეთოდიდან მშრალ მეთოდზე გადასვლა მოხდა ისე, რომ კლინკერის დაფქვადობა გაიზარდა, კლინკერის სიმტკიცე იგივე ან გაზრდილია შედარებით ნაკლები LSF-ის კოეფიციენტით, სითბური ხარჯი ტონა კლინკერზე შემცირდა 2-ჯერ და წარმადობა გაიზარდა 2-ჯერ (ერთად აღებულ 3 სველ ღუმელთან მიმართებაში).

კავთისხევის კარიერის გადართვით გამოწვეული სირთულეები მოგვარებულ იქნა, სასხორის კირქვასთან ერთად გამამდიდრებლად გამოყენებულ იქნა დედოფლის წყაროს კირქვა რომლის 95%-ზე მეტი კალციუმის კარბონატია. ეს ჩანაცვლება მოხდა ისე, რომ კლინკერის ხარისხზე უარყოფითი გავლენა არ ჰქონია და პირიქით იგივე უფრო მეტად სტაბილური და აქტიური გახდა.

ნახშირის და შესაბამისად ნაცრის 2-ჯერ შემცირების შემდეგ ნედლეული ფქვილის ქიმია გადაითვალა ისე რომ კლინკერის ხარისხი იყო იგივე ან გაზრდილი. შესაბამისი გადათვლა ხდებოდა ცდების ყველა ეტაპზე.

კლინკერის ახალი მეთოდით გამოწვის პროცესი შესწავლილი და ოპტიმიზირებული იქნა. ნედლეულის და საწვავის გადანაწილების 20 ინდუსტრიული ექსპერიმენტის შედეგად დადგინდა საუკეთესო მიქსები, რომელთა საშუალებით კლინკერის ხარისხი იზრდება ან იგივე რჩება, ხოლო თბური დანახარჯი, საწვავის და ნედლეული ფქვილისგან მიღებული CO₂-ის ემისიები კი შემცირდა.

ყველაზე მნიშვნელოვანი მიღწევა იყო ტუფის თერმული აქტივაცია, რომელიც წარმატებით დამთავრდა უკვე არა მხოლოდ ლაბორატორიული არამედ ინდუსტრიული ექსპერიმენტითაც. ინოვაციური იდეის საწყისი ის იყო რომ ფიზიკურად შეკავშირებული წყლის გამოდევნა (გამოშრობა) პუცოლანურ მასალას გაცილებით აქტიურს ხდის და მისი 10%-მდე მოხმარება კლინკერთან მიმართებაში არამხოლოდ ინარჩუნებს არამედ ზრდის კიდევ ამ მიქსის სიმტკიცეს კლინკერთან შედარებით.

არსებული პუცოლანური მასალის გააქტიურების მეთოდი შესწავლილი იყო ადრეული 70-იანი წლებიდან მოყოლებული. თუმცა პუცოლანური დანამატის გააქტიურებას სჭირდება არანაკლები თბური ენერჯია გასახერხებლად ვიდრე კლინკერს და შესაბამისად ისიც გამოყოფს დამატებით CO₂-ის ემისიებს. ამიტომ სტანდარტული მიდგომით გააქტიურებული პუცოლანური მასალა შედარებით ნაკლებად ამცირებს გამონაბოლქვს, თერმულ და სხვა ხარჯებს, ამასთანავე საჭიროებს მინიმუმ 10 მილიონის ინვესტიციას და მინიმუმ 6 თვიან სამონტაჟო პერიოდს.

კლინკერის წარმოების პროცესების სრული შესწავლიდან გამომდინარე გამოიკვეთა სექცია, სადაც ტემპერატურა 600°C-დან 1200°C-მდე მერყეობს და მის შესამცირებლად გარემო ჰაერებს ვიყენებთ. აღნიშნული სექცია არის კლინკერის მაცივარი, სადაც ღუმელიდან გადმოსული 1200-1300°C-ზე გახურებული კლინკერი ხვდება. კლინკერი გაივლის 30 მეტრიან მაცივარს და დაახლოებით 100°C-მდე გაცივდება. ჩვენთვის სასურველი ტემპერატურები ცხელი მხრიდან 5-დან 10 მეტრამდე მონაკვეთში იყო.

ცხელი ბოლოდან 10 მეტრის მოშორებით მოხდა მასალის ჩამყრელი ყელის მოწყობა სადაც ტუფის მიწოდება 2 ბრუნ-რეგულირებადი ლენტით და ხვიშირით ხდება. 5% დოზით საწარმოო ექსპერიმენტი წარმატებულად დამთავრდა, მაგრამ ასევე შესაძლებელია პროპორციების გაზრდა 10%-მდე, შემდეგი ცდების პირობებში. ასევე ჩაყრის წერტილის გადატანა შეიძლება უფრო ცხელი მხარისკენ რაც კიდევ უფრო მეტად გააქტიურებს ტუფს და მოგვცემს საშუალებას გავზარდოთ მისი პროცენტულობა კლინკერში.

ყველაზე მნიშვნელოვანია ის, რომ აღნიშნულმა ექსპერიმენტმა საშუალება მოგვცა ვაწარმოოთ 100% კლინკერი 90% ემისიებით და თერმული ხარჯით, რაც გლობალურად წარმოუდგენელი შედეგია. პროექტის განხორციელება ხდება მინიმალური დანახარჯებით (200 ათასი ლარი) და რაც მთავარია არ მოითხოვს საწვავით მიღებულ თერმულ ენერჯიას, რაც საოპერაციო ხარჯებს და ემისიებს თითქმის ანულებს. მაცივრის აღნიშნული სექცია შეიძლება გამოყენებულ იქნას ნებისმიერი სხვა ცემენტის დანამატი მასალის შრობა-გახურებისთვის.

In cement and clinker production energy consumption reduction, specific emissions reduction and quality stable increase always has been daily challenge which was addressed in many studies. Nowadays, CO₂ emissions are under special focus since the gas is a main contributor in global warming and many other environmental topics. Considering existing challenges, the PhD study is addressing following:

- Revamping from wet process to the new dry line clinker production process
- Revamping from the old Kavtiskhevi quarry to new Saskhori quarry

- Raw meal, kiln feed and clinker quality adjustment after changing the type and amount of the fuel
- Study of clinkerization process based on the modified design
- Activation of pozzolanic material – Tuff in the clinker cooler

Clinker production process change from wet process to dry process was performed the way that clinker quality was at least the same but grindability of the clinker was increased with relatively lower lime saturation factor. Of course, by avoiding drying wet slurry and making heat exchange process more efficient due to more dispersive, powdery material the heat consumption was reduced twice, and capacity of the kiln line was doubled.

The difficulties caused by switching the Kavtishkevi quarry were solved by using Saskhori limestone as a main source and Dedopsitskaro limestone was used as a sweetener, which contains more than 95% calcium carbonate. This substitution took place in such a way that it did not have a negative impact on the quality of the clinker and on the contrary made it more stable and active.

After reducing coal and thus ash by 2 times, raw flour chemistry was recalculated so that the quality of clinker was the same or increased. Appropriate recalculation was done at all stages of trials.

The clinker process burning with a new method was studied and optimized. As a result of 20 industrial experiments of raw material and fuel distribution, the best mixes were determined, by means of which the quality of clinker increases or remains the same, while the thermal consumption was reduced as was CO₂ emissions from fuel and from raw meal.

The most important achievement was the thermal activation of Tuff (Zeolite), which was successfully completed not only in the laboratory but also in the industrial experiment. The origin of the innovative idea was that the drying out of physically bound water makes the pozzolanic material much more active due to created pores. The material usage (with clinker) up to 10% in relation to clinker not only preserves but also increases the strength of this mix compared to clinker.

The method of activation of existing pozzolanic material has been studied since the ancient Roman period. However, the activation of the pozzolanic additive requires less thermal energy than the clinker, and therefore also emits additional CO₂ emissions. Therefore, the pozzolanic material activated by the standard approach reduces emissions, thermal and other costs relatively less, and also requires an investment of at least 10 million and an installation period of at least 6 months.

Based on a complete study of the clinker production processes, a section was identified where the temperature ranges from 600°C to 1200°C and we use ambient air to reduce it. This section is a clinker cooler, where clinker heated at temperatures 1200-1300°C is coming out of from the rotary kiln. The clinker is passing a 30-meter cooler and cools down to about 100°C. The temperatures we wanted were 5 to 10 meters from the hot side.

10 meters away from the hot end, a material discharge chute was arranged, where tuff is supplied with transport conveyors and hopper. The production experiment with a dose of 5% was successful, but it is also possible to increase the proportions to 10% in the following trials. Also, the feeding point on the clinker cooler roof can be moved to the hotter side, which will further activate the tuff and allow us to increase its percentage in the clinker.

The most important is that this experiment allowed us to produce 100% clinker with 90% emissions and thermal consumption, which is an incredible result globally, especially for CO₂ reduction. The project was implemented with minimal costs (200,000 GEL) and, most importantly, does not include the thermal energy obtained with fuel, which almost cancels the operating costs and emissions. This section of the clinker cooler can be studied to use for drying and heating any other cement additive material.