

Nanotechnologische Oberflächenbeschichtung für trennmittelfreie Schalungsplatten von hochqualitativen Betonoberflächen

Nanotechnological Surface Coating for Application in Formwork Free from Release Agents to Make Top-quality Concrete Surfaces

Projektleiter

Project Leader:

Dirk Hohlfeld

Projektbearbeiter

In-charge:

Dirk Hohlfeld,
Rodger Scheffler

Förderinstitution

Funding Institution:

BMWi/ZIM

Partner

Partner:

ODB-Tec GmbH & Co. KG

AUSGANGSSITUATION

Schalungssysteme sorgen für die Formgebung von Betonbauteilen und werden nach spezifischen Anforderungen konzipiert. Zu diesen zählen vordergründig Parameter wie z. B. der Tragwiderstand gegenüber Frischbetonlasten und die dynamischen Beanspruchungen, beispielsweise durch Rüttler. Neben statisch-konstruktiven Gesichtspunkten sind beton-technologische Randbedingungen (z. B. selbstverdichtender oder zu rüttelnder Frischbeton) entscheidend. Bei einer steigenden Anzahl von Hochbauprojekten fließen architektonische Belange in die Konzeption der Betonschalung ein und bestimmen die Anforderungen an die Schalhaut. Eine hochwertige Betonoberfläche erfordert eine robuste Schalhaut hoher Qualität.

Des Weiteren spielen bauwirtschaftliche Gesichtspunkte (Reinigungsaufwand, Zeitaufwand Ein- und Ausschalen, Modulsysteme, Kraneinsatz) eine bedeutende Rolle. Knapp ein Drittel der Gesamtkosten im Stahlbetonrohbau entfallen auf die Schalung. Bei den Lohnkosten beträgt der Anteil der Schalung aufgrund des Montageaufwands sogar 44 Prozent.

Ein mitunter unterschätzter Anteil an den Schalungskosten lässt sich auf personelle und materielle Aufwendungen für Reinigung und Reparatur von Schalungsplatten zurückführen.

ZIELSTELLUNG

Ziel des geplanten FuE-Projekts war die Entwicklung von Schalungsplatten mit einer neu-

INITIAL SITUATION

Formwork systems serve the shaping of structural concrete parts and are designed by specific requirements. These preferably include parameters, as the load-bearing capacity to withstand fresh concrete loads and dynamic stress, such as exerted by vibrators. Apart from static design points of view, marginal concrete-technological conditions (e.g., self-compacting concrete or wet concrete to be vibrated) are decisive. In an increasing number of civil engineering projects, architectural concerns are taken into account in the design of the concreting formwork and determine the requirements of the formwork shell. A high-quality concrete surface requires a robust formwork shell of high quality.

Moreover, economic aspects of building (the cleaning effort, time expense for setting and stripping the formwork, modular systems, the use of a crane) play an important role. Almost a third of the total costs in reinforced concreting can be allocated to formwork. Regarding labour costs, the share of formworking is even 44 % due to the setting and stripping effort. A sometimes underestimated share in the formwork costs can be traced back to personnel and material expenses caused by cleaning and repair of formwork panels.

OBJECTIVE

The objective of the R&D project was to develop formwork panels of a novel nanocoated formwork shell for application free from release agents in reinforced concrete building

artigen nanobeschichteten Schalhaut für den trennmittelfreien Einsatz im Stahlbetonhochbau und -ingenieurbau. Die Grundidee besteht darin, die Oberfläche der Schalungsplatte in Form einer Schalhaut nanotechnologisch (Art und Fraktionierung der Nanopartikel, Beschichtungsmaterial) so zu verändern, dass auch nach einer großen Anzahl von Einsätzen eine besonders hohe Widerstandsfähigkeit gegenüber mechanischen und chemischen Beanspruchungen sowie eine verbesserte Ablösbarkeit und Oberflächenqualität der abgeformten Betonoberfläche erreicht werden kann.

ERGEBNISSE

Im Rahmen der Untersuchungen wurden der Einfluss von Substraten (PVC, PP), Vorbehandlungen, Lackansätzen und Trocknungsverfahren bezüglich der Betonierbarkeit und Bewitterungsbeständigkeit untersucht.

Es stellte sich heraus, dass mit PVC-Folie die besten Ergebnisse erreicht werden. Andere Substrate (2 Versionen PP, 5 Versionen PVC, Aluminium) versagten bei den Tests. Die Rauigkeit und Struktur der Folie wurde so optimiert, dass mit geringer Lackdicke eine über viele Zyklen konstant aussehende Betonoberfläche erzeugt werden kann. Die Vorbehandlung mit Corona brachte bei PP eine deutliche Verbesserung der Eigenschaften, insgesamt wurden aber die guten Eigenschaften des PVC nicht erreicht.

Durch geänderte Lackansätze und angepasste UV-Leistung bei der Trocknung wurde die Beschichtung bezüglich der Härte der Beschich-

and civil engineering. The basic idea consists in the fact to modify the surface of the formwork panel in the shape of a formwork shell nanotechnologically (kind and fractioning of the nanoparticles, coating material) in such way that, even after a large number of uses, especially high resistance towards mechanical and chemical stress and enhanced release properties and surface qualities of the moulded surface can be achieved.

RESULTS

Within the scope of the investigations, the impact of substrates (PVC, PP), pre-treatments, lacquer formulations and drying procedures regarding concretability and weathering resistance were investigated.

It appeared that the best results are obtained by using PVC foil. Other substrates (2 versions PP, 5 versions PVC, aluminium) failed in the tests. The roughness and structure of the foil were optimised in such a way that a uniformly appearing concrete surface can be achieved over many cycles by applying a low thickness of lacquer. Corona pre-treatment of PP yielded clear improvement in the properties, but altogether the good properties of PVC were not obtained.

Modified lacquer formulations and adjusted UV performance during drying improved the coating regarding its hardness.

Also cost advantages were achieved. Lacquer thicknesses of $< 5 \mu\text{m}$ led to good concreting results. The wear-and-tear behaviour and the layer thickness of the lacquer were also investigated during the weathering and concreting



Abb. 1 (links): Rütteltisch mit Betonierformen zur Durchführung der Betonierversuche

Fig. 1 (left): Vibrator table with concrete formwork to perform the concreting tests



Abb. 2 (rechts): Prüfaufbau mit Prüfkörper zur Bestimmung des Rollenschälwiderstandes

Fig. 2 (right): Test setup with test sample to determine the roll peel-off resistance

tung verbessert. Außerdem wurden Kostenvorteile erzielt. Lackdicken von $< 5 \mu\text{m}$ führten zu guten Betonierergebnissen. Das Verschleißverhalten und die Schichtdicke des Lacks wurden auch während der Bewitterungs- und Betonierversuche (Abb. 1) untersucht. Trotz teilweise abnehmender Lackdicke konnten gute Betonierergebnisse erzielt werden. Dies ist vermutlich auf eine Verfüllung der Folienporen im nm-Bereich zurückzuführen. Es kommt insgesamt zu einer Nivellierung der Oberfläche.

Die Rauigkeitswerte der Folien sind nach dem Betoniervorgang noch immer sehr gering. Nach 15 Betonierzyklen liegt die Rauigkeit (mit AFM gemessen) bei $R_a = 40 \text{ nm} - 300 \text{ nm}$.

Die Oberflächenenergie der Folien ist kleiner als die des unbeschichteten Substrates, was für eine sehr glatte Oberfläche spricht. Bei unlackierten Folien kommt es durch die Betonierung sehr schnell zu einer Erhöhung der Rauigkeitswerte. Die Kratzbeständigkeit und das Verschleißverhalten aller Kunststoffsubstrate wurden durch den Lackauftrag deutlich verbessert.

Um eine ausreichende Verklebung zwischen neuentwickelten Folien und Trägermaterial zu erzielen, wurden die Haftfestigkeit nach

tests (Fig. 1). Despite partially decreasing lacquer thickness, good concreting results could be obtained. This is presumably owed to the filling of the foil pores in the nm range. Altogether, it results in a levelling of the surface. The roughness values of the foil are still very low after the concreting process. After 15 concreting cycles, roughness (measured by AFM) ranges at $R_a = 40 \text{ nm} - 300 \text{ nm}$.

The surface energy of the foils is lower than that of the uncoated substrate, which accounts for a very smooth surface. With unlacquered foils, concreting quickly increases the roughness values. The scratch resistance and wear-and-tear behaviour of all plastics substrates were clearly enhanced thanks to lacquer application.

In order to achieve sufficient gluing between the newly developed foils and the substrate material, the adhesive strength and peel-off resistance were investigated acc. to DIN EN ISO 4624 and DIN EN 1464 (Fig. 2), respectively, applying several adhesives and application quantities and also foil pre-treatments. When applying a combination of primed PP substrate and 70 g/m^2 of reactive hot-melt adhesive Kleiberit 706.0, the highest adhesive strengths were achieved, 3.15 N/mm^2 on average (required value 1 N/mm^2), and also a

DIN EN ISO 4624 und der Schälwiderstand nach DIN EN 1464 (Abb. 2) bei Anwendung verschiedener Klebstoffe und -auftragsmengen sowie Folienvorbehandlungen untersucht. Bei Auftrag einer Kombination aus geprimertem PP-Substrat und 70 g/m² reaktivem Schmelzkleber Kleiberit 706.0 wurden die höchsten Haftfestigkeiten, im Mittel 3,15 N/mm² (Anforderungswert 1 N/mm²), sowie Rollenschälwiderstände mit 10 % - 50 % höheren Festigkeiten gegenüber anderen Klebstoffen und Auftragsmengen erreicht.

Andere Vorbehandlungen (Plasmaaktivierung, Corona-, UV-Behandlung, Beflammung, Fluorierung) der Substrate verbesserten überwiegend nicht oder nur geringfügig die Haftungseigenschaften der Klebstoffe mit der Folie bzw. der Sperrholzplatte.

FAZIT

Durch Auswahl eines geeigneten Kunststoffes (PVC) konnte mit einem angepassten Lacksystem eine Folie entwickelt werden, die alle an sie gestellten Anforderungen erfüllt. Die Ursache für die Trennwirkung liegt in einer Egalisierung der Folie im nm-Maßstab durch eine kratzfeste Beschichtung. Die lackierte PVC-Folie ist großtechnisch wirtschaftlich herstellbar und kann mit gängigen Verfahren auf beliebig beschichtete Schalelemente appliziert werden. Zur Entsorgung wird die Folie vom Schalbrett abgezogen und vom Hersteller recycelt.

roll peel-off resistance yielded strengths being 10 % - 50 % higher than compared to other adhesives and quantities applied.

Other forms of pre-treatment (plasma activation, corona treatment, UV treatment, flame treatment, fluorination) of the substrates hardly or only slightly enhanced the adhesiveness of the glues to the foil or to the plywood panel.

CONCLUSION

By selecting suitable plastics (PVC), a foil could be developed together with an adapted lacquering system that meets the expected requirements. The reason for the separating effect is to be seen in the equalising effect of the foil in a nm range by scratch-resistant coating. The lacquered PVC foil can be manufactured economically in volume production and can be applied to any coated formwork element by using common methods. For disposal, the foil is peeled off from the formwork panel to be then recycled by the manufacturer.