

**Verbundverhalten von mineralisch und polymer gebundenen
Carbonbewehrungen und Beton bei Raumtemperatur und erhöhten
Temperaturen bis 500 °C**

**Bond behavior of mineral- and polymer-bonded carbon
reinforcement and concrete at room temperature and elevated
temperatures up to 500 °C**

An der Fakultät für Bauingenieurwesen der Technischen Universität Dresden
zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) eingereichte

Dissertation

vorgelegt von

Dipl.-Ing. Kai Wilhelm (geb. Schneider)

aus Berlin-Marzahn

eingereicht am 26. Februar 2021

Tag der mündlichen Prüfung: 26. Juli 2021

Gutachter:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Viktor Mechtcherine

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Mark

Kurzfassung

Textilbeton bzw. Carbonbeton ist ein mit textilen Strukturen bewehrter Verbundbaustoff. Tausende einzelne Filamente bilden Multifilamentgarne welche zu textilen Strukturen verarbeitet werden. Die einzelnen Filamente werden kraftschlüssig mit polymeren oder mineralischen Tränkungsmatrices zu homogenen Bewehrungsstrukturen verbunden. Eingebettet sind diese Textil- bzw. Carbonbewehrungen in anforderungsgerechten Betonmatrixes.

Die Eigenschaften der am Verbund beteiligten Ausgangsbaustoffe beeinflussen das Leistungsvermögen des Verbundbaustoffes und des Verbundes zwischen Bewehrung und Betonmatrix entscheidend. Das Verbundverhalten wird vereinfacht in zwei Bereiche unterteilt. In den Haftverbund, welcher bereits bei kleinsten Verformungen zerstört wird. Beim Überschreiten des Haftverbundes wird von einem beginnenden Schlupf zwischen Bewehrung und umhüllender Betonmatrix ausgegangen. Und den Reibverbund, welcher über große Verschiebungen hinweg aufrechterhalten werden kann. Der Reibverbund ist von durch Schlupf erzeugter Reibung zwischen Bewehrung und umhüllender Betonmatrix geprägt.

In der vorliegenden Arbeit wurden unterschiedlichste Bewehrungsstrukturen auf ihr charakteristisches Verbundverhalten in einem Prüfalter von 28 Tagen bei Raumtemperatur und erhöhten Temperaturen bis 500 °C hin untersucht. Das Verbundverhalten wies je nach verwendeter Materialkombination und Geometrie der Bewehrungsstruktur sehr andersartige Verbundcharakteristika auf. Dies bezieht sich sowohl auf den Haftverbund (Anstieg der Verbundkurve) als auch auf den Reibverbund (Höhe und Neigung des Reibplateaus). Die Leistungsverluste im Verbund unter Temperatureinwirkung fielen ebenfalls sehr unterschiedlich aus. Wesentliche Ursache der Abnahme der übertragbaren Verbundkräfte ist bei polymeren Tränkungssystemen auf die Überschreitung der Glasübergangstemperatur und bei mineralisch getränkten Garnstrukturen auf Schwindverformungen infolge Dehydrierung zurückzuführen.

Aus der Vielzahl der durchgeführten Verbunduntersuchungen mit sehr unterschiedlichen Bewehrungstypen, konnte ein Ansatz zur einheitlichen bzw. vergleichenden Beschreibung des sogenannten Haftverbundes erstellt werden. Hierbei liegt der Schwerpunkt auf dem Schlupfbeginn zwischen Bewehrung und Betonmatrix. Die experimentelle Ermittlung des Schlupfbeginnes erfolgte durch die Messung des Bewehrungseinzuges, bei gestaffelten Verankerungslängen von 10 mm bis 40 mm.

Als charakteristische Kenngrößen des Verbundmodells wurde der Schlupffortschrittsfluss, welcher den Schlupffortschritt in Abhängigkeit der auftretenden Verbundkräfte darstellt, als wesentlich betrachtet. Der Nachweis des Schlupffortschrittes zwischen Bewehrungselement und umhüllender Betonmatrix erfolgte mithilfe eines Bemessungsansatzes zur Rissbreitenbemessung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit. Mit Hilfe dieses Bemessungsansatzes kann eine Bemessung im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit für die Rissbreitenbemessung im auf Zug beanspruchten Bauteil und für die Schlupffreiheit am Ende der Endverankerung angewendet werden.

Abstract

Textile reinforced concrete or carbon reinforced concrete is a composite building material reinforced with textile structures. Thousands of single filaments form multifilament yarns which are processed to textile structures. The textile filaments are bonded with polymeric or mineral impregnation materials to form homogeneous reinforcement structures. These textile or carbon reinforcements are embedded in concrete matrices that fulfil the specific requirements.

The mechanical properties of the base materials involved in the compound have a decisive influence on the performance of the composite material and the bond between the reinforcement and the concrete matrix. In simplified terms, the bond behavior is divided into two areas. The adhesive bond, which is destroyed by even the smallest deformations. When the bond is exceeded, it is assumed that the slip between the reinforcement and the surrounding concrete matrix begins. And the frictional bond, which can be maintained over large displacements. The frictional bond is characterized by slip-generated friction between the reinforcement and the encasing concrete matrix.

In the present study, a wide variation of reinforcement structures was investigated for their characteristic bond behavior at a test age of 28 days at room temperature and elevated temperatures up to 500 °C. The bond behavior of the different reinforcement structures was found to be very different depending on the type of reinforcement used. The bond behavior exhibited very different bond characteristics depending on the material combination used and the geometry of the reinforcement structure. This refers to both, the adhesive bond and the frictional bond. The performance losses in the bond under the influence of temperature also varied greatly. The main cause of the decrease in composite performance was due to the glass transition temperature being exceeded in the case of polymer impregnation systems and to shrinkage deformation as a result of dehydration in the case of mineral-impregnated yarn structures.

From the large number of bond investigations carried out with very different types of reinforcement, it was possible to develop an approach for a uniform or comparative description of the bond. The focus here is on the beginning of slip between the reinforcement and the concrete matrix. The experimental determination of the slip beginning was carried out by measuring the reinforcement pull-in, with stepped anchorage lengths from 10 mm to 40 mm.

The slip progress flow, which represents the slip progress as a function of the applied bond forces, was considered essential as a characteristic parameter of the bond model. The slip propagation between the reinforcement element and the surrounding concrete matrix was verified using a design approach for crack width design in the serviceability limit state. With the help of this design approach, a serviceability limit state design can be applied for the crack width design in the tensile stressed component and for the no-slip design at the end of the final anchorage.