

## Kogelwerend T-shirt

Boorcarbide,  $B_4C$ , wordt vanwege zijn uitzonderlijke eigenschappen vaak toegepast in kogelwerende kleding, bijvoorbeeld kogelwerende vesten. Deze vesten worden gemaakt door er platen van boorcarbide in te verwerken. De vesten zijn daardoor zwaar en verlenen weinig bewegingsvrijheid.

Onderzoekers aan de universiteit van South-Carolina hebben onlangs een methode ontwikkeld om katoen te versterken met boorcarbide. Zo zou je van een gewoon katoenen T-shirt kleding kunnen maken dat kogelwerende eigenschappen heeft en toch licht en flexibel is.



platen van boorcarbide

Bij het ontwikkelen van die methode gingen de onderzoekers als volgt te werk:

- 1 Een stukje van een T-shirt met een massa van 15 g werd gedurende 2 uur geschud in een suspensie van 80 mL ethanol en (onder andere) 10 g boor.
- 2 Daarna werd het uit de suspensie gehaald en in een oven gedurende 5 minuten gedroogd bij 70 °C en vervolgens 3 uur verhit op 105 °C.
- 3 Tenslotte werd het materiaal in een andere oven gedurende 4 uur verhit op een temperatuur van 1160 °C, waarbij continu argon werd overgeleid.

- 3p **18** Bereken hoeveel gram boorcarbide in het beschreven experiment maximaal kan ontstaan. Neem aan dat alle boor wordt omgezet tot boorcarbide.

Het katoen van het T-shirt bestaat voornamelijk uit cellulose. In stap 1 raakt het textiel geheel doordrenkt met het ethanol. Dat komt doordat waterstofbruggen worden gevormd tussen ethanolmoleculen en cellulosemoleculen. Op de uitwerkbijlage bij dit examen staat een fragment van een cellulosemolecuul afgebeeld.

- 2p **19** Teken op de uitwerkbijlage twee ethanolmoleculen die elk met één of meer waterstofbruggen aan het cellulosemolecuul zijn gebonden.
- Gebruik structuurformules voor de ethanolmoleculen.
  - Teken de waterstofbruggen met een stippelijntje ( $\cdots$ ).

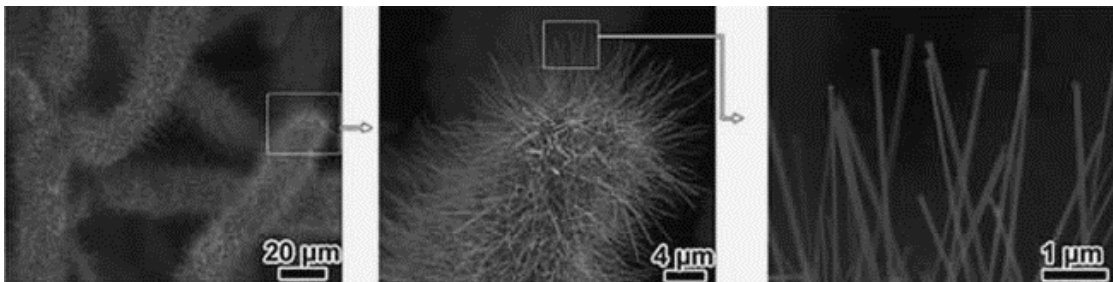
In stap 2 wordt een deel van het boor omgezet tot booroxide.

In stap 3 ontleedt de cellulose. Daarbij ontstaan koolstof, waterdamp en allerlei vluchtige koolstofverbindingen. Het koolstof en de vluchtige koolstofverbindingen reageren met boor en booroxide tot boorcarbide, koolstofmono-oxide en waterdamp. Uiteindelijk ontstaan in stap 3 vast koolstof, vast boorcarbide, koolstofmono-oxide en waterdamp. De koolstofmono-oxide en waterdamp die bij deze reacties ontstaan, worden afgevoerd met de argonstroom.

- 2p **20** Leg uit waarom men geen lucht gebruikt, maar argon voor het afvoeren van de gasvormige producten die in stap 3 ontstaan. Noteer je antwoord als volgt:
- men gebruikt geen lucht, omdat ...
  - men gebruikt argon, omdat ...

Het materiaal dat na stap 3 ontstaat, is nog steeds behoorlijk flexibel. Deze flexibiliteit wordt verklaard doordat de koolstof die bij de ontleding van de cellulose ontstaat dezelfde vezelstructuur (microvezels) heeft als de oorspronkelijke cellulose. Bovendien wordt het boorcarbide gevormd in de vorm van zogenoemde nanovezels die als het ware uit de koolstofvezels naar buiten steken.

In onderstaande figuren staan opnames die met een elektronenmicroscop zijn gemaakt van deze structuur.



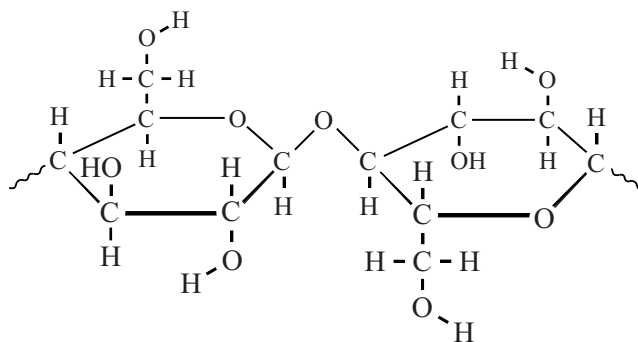
Links een opname van een deel van het oppervlak van het behandelde stukje T-shirt, in het midden een uitvergroting van het uiteinde van een microvezel, met daaruit stekend de nanovezels, rechts een opname van de nanovezels.

- 2p **21** Wordt in deze verklaring van de flexibiliteit gebruik gemaakt van begrippen op microniveau (deeltjesniveau)? Geef een verklaring voor je antwoord.

Het materiaal dat na stap 3 ontstaat, is lichter dan het oorspronkelijke stukje T-shirt. Zo zou ook kunnen worden voldaan aan de eis dat kogelwerende kleding niet te zwaar mag zijn.

- 2p **22** Leg uit, zonder een berekening te maken, hoe het mogelijk is dat de massa van het materiaal na stap 3 kleiner is dan de massa van het oorspronkelijke stukje T-shirt. Gebruik in je uitleg informatie uit deze opgave.

19



---

**Bronvermelding**

Een opsomming van de in dit examen gebruikte bronnen, zoals teksten en afbeeldingen, is te vinden in het bij dit examen behorende correctievoorschrift, dat na afloop van het examen wordt gepubliceerd.