

Nieuwe materialen

14.1 Metalen en legeringen

A 1

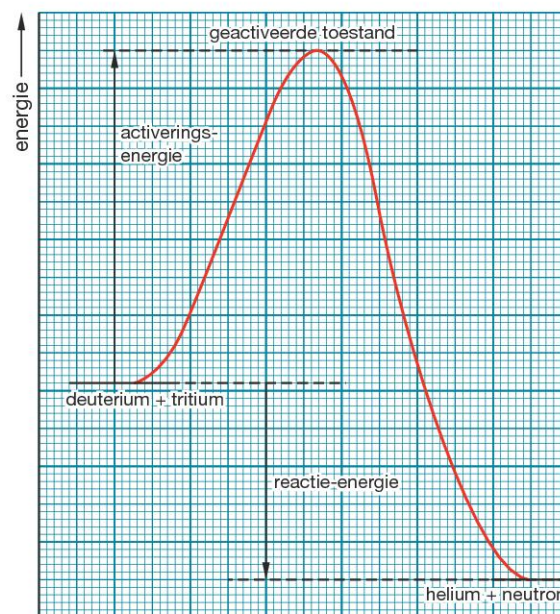
Als een gas overgaat in een plasma verliezen de atomen in het gas elektronen, er ontstaat een wolk van positieve ionen en elektronen. Het plasma wordt daardoor geleidend. Een gas bevat geen geladen deeltjes en geleidt dus geen elektrische stroom.

B 2

- a Metalen zijn niet-ontleedbaar, buigzaam en geleiden stroom en warmte.
- b Een legering is op microniveau opgebouwd uit verschillende soorten metaal-atomen, een zuiver metaal is opgebouwd uit één soort metaal-atomen.
- c De kristallen in het ijzer (mesoniveau) worden kapotgemaakt en er ontstaan meer en kleinere kristallen.

B 3

- a DHO en D₂O
- b De halveringstijd van een radioactieve stof is de tijd die nodig is om de helft van de radioactieve isotopen om te zetten in een ander atoom.
- c $\frac{6}{3} \text{Li} + n \rightarrow \frac{4}{2} \text{He} + \frac{3}{1} \text{H}$
- d Zie figuur 14.1



14.1

B 4

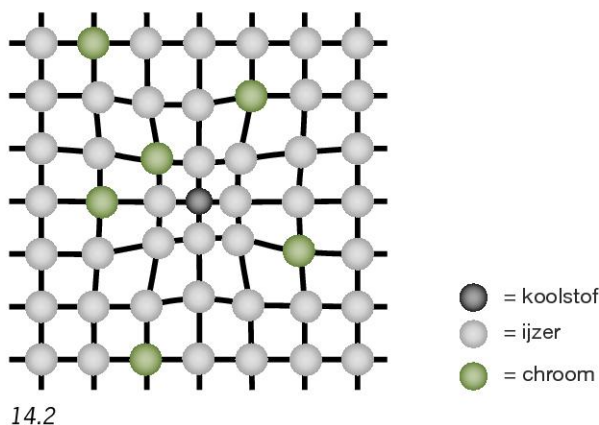
Per botsing komt er 17,6 MeV aan energie vrij. Als een mol deuterium reageert zijn dat $6,02 \cdot 10^{23}$ effectieve botsingen. Daarbij komt $6,02 \cdot 10^{23} \times 17,6 \text{ MeV} = 1,06 \cdot 10^{25} \text{ MeV}$ vrij.
 $1 \text{ MeV} = 1 \cdot 10^6 \text{ eV}$
 1 eV komt overeen met $1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J}$.
 Er komt vrij: $1,06 \cdot 10^{25} \times 10^6 \times 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 1,70 \cdot 10^{12} \text{ J}$.

B 5

- a** Het kookpunt moet veel lager zijn dan het smeltpunt van wolfram, want het tin moet verdampen en het wolfram moet vast blijven.
- b** Als de temperatuur stijgt, verdampt er meer tin en komt er een dikkere laag voor de wolframwand. Als de temperatuur daalt, zal een deel van de tin weer vloeibaar worden en terugvloeien in de openingen van de wand. Je kunt dit opvatten als een 'zelfherstellende' wand.

B 6

- a** Atoomstraal volgens Binas 40A: ijzer $126 \cdot 10^{-12}$ m; chroom $125 \cdot 10^{-12}$ m; koolstof $77 \cdot 10^{-12}$ m.
- b** Zie figuur 14.2.
- c** Op mesoniveau vormt een metaal kristallen. De kleinere koolstofatomen verstoren de regelmaat in het metaalrooster, waardoor verschillende lagen metaalatomen minder gemakkelijk langs elkaar glijden en er meer kracht nodig is om het metaal te vervormen.

**B 7**

- a** $2 \text{H}_2\text{O} (\text{l}) + 2 \text{e}^- \rightarrow 2 \text{OH}^- + \text{H}_2 (\text{g})$
 $2 \text{K} (\text{s}) \rightarrow 2 \text{K}^+ + 2 \text{e}^-$
-
- $2 \text{K} (\text{s}) + 2 \text{H}_2\text{O} (\text{l}) \rightarrow 2 \text{K}^+ (\text{aq}) + 2 \text{OH}^- (\text{aq}) + \text{H}_2 (\text{g})$
 $\Delta V_0 = -0,83 \text{ V} - (-2,93 \text{ V}) = 2,10 \text{ V}$
 Dit is een aflopende reactie.
- b** $2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{H}_2 (\text{g})$
 $\text{Pb} (\text{s}) \rightarrow \text{Pb}^{2+} + 2 \text{e}^-$
-
- $\text{Pb} (\text{s}) + 2 \text{H}^+ (\text{aq}) \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+} (\text{aq}) + \text{H}_2 (\text{g})$
 $\Delta V_0 = 0,00 \text{ V} - (-0,13 \text{ V}) = 0,13 \text{ V}$
 Dit is een evenwichtsreactie.

B 8

- a** Titaan vormt net als aluminium en chroom een oxidelaagje waardoor de rest van het metaal wordt beschermd tegen corrosie.
- b** Magnesium, nodig voor deze reactie, is een zeer onedel metaal. Het kan alleen bereid worden door de elektrolyse van een gesmolten magnesiumzout. Dit proces kost veel energie. Daarom is magnesium als grondstof voor de titaanproductie relatief duur.

B 9

- a** He^+ , He^{2+} , e^- , helium kan zowel één als twee elektronen verliezen.
- b** $2 \text{H}_2\text{O} (\text{l}) \rightarrow 2 \text{H}_2 (\text{g}) + \text{O}_2 (\text{g})$

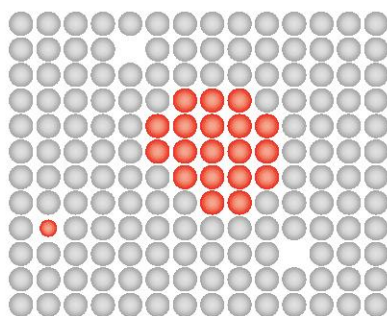
- c** In een zonnecel wordt de elektronenstroom gebruikt om elektrische apparatuur te laten werken of de stroom wordt opgeslagen in bijvoorbeeld accu's. In een foto-elektrochemische cel wordt de elektronenstroom direct gebruikt om chemische reacties te laten verlopen.
- d** $2 \text{CO}_2 \rightarrow 2 \text{CO} + \text{O}_2$
 $\text{CO} + 3 \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$

C 10

- a** De molaire massa van nikkel is $58,69 \text{ g mol}^{-1}$ en de molaire massa van titaan is $47,87 \text{ g mol}^{-1}$. Nikkel- en titaanatomen moeten in gelijke molverhouding aanwezig zijn. De massaverhouding is dus eveneens $58,69 : 47,87$ ofwel $1,226 : 1,000$.
- b** De geheugenwerking van nitinol berust op de faseovergang tussen twee kristalroosters, austeniet en martensiet. Wanneer door roosterfouten deze kristalroosters veranderen, zal deze overgang niet goed meer verlopen en zal het metaal bij verwarmen niet meer 'terugspringen'.
- c** Een lagere temperatuur (ruim onder de 37°C) is wenselijk voor toepassingen in je lichaam, zoals stents in bloedvaten en het rechtekken van je ruggengraat. Een hogere temperatuur is bijvoorbeeld wenselijk bij gebruik in een brandmelder of een beveiliging tegen oververhitting.

C 11 ★

- a** Een zuiver metaal is te zacht en zal gemakkelijk vervormen. Een legering is veel harder en zorgt voor meer stevigheid in de constructie.
- b** Een materiaal is 'smart' als het vanzelf reageert op invloeden van buitenaf. Deze legering reageert op de vorming van beschadigingen als gevolg van belasting tijdens het vliegen en mag dus worden beschouwd als een 'smart' metaal.
- c** Zie figuur 14.3.



14.3

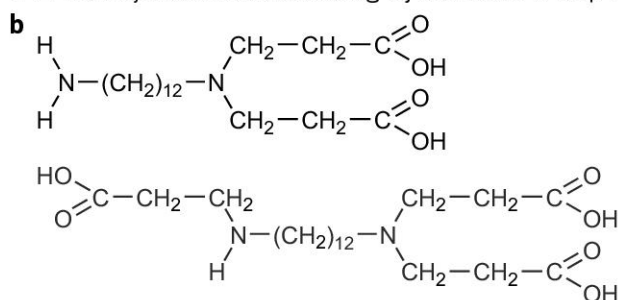
14.2 Slimme polymeren

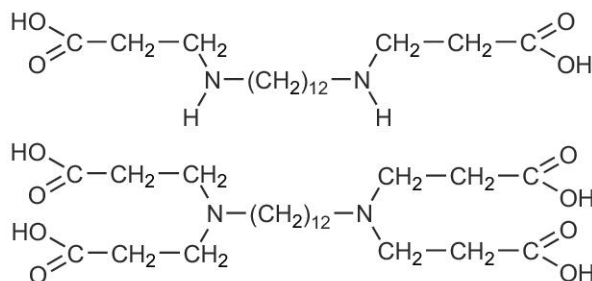
A 12

Voor geleiding zorgt een afwisseling van enkele en dubbele bindingen (een geconjugiseerd systeem).

B 13

- a** Er verdwijnt een dubbele binding bij de reactie in stap 1. Het is dus een additiereactie.

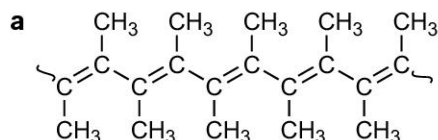




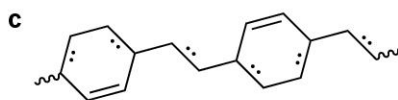
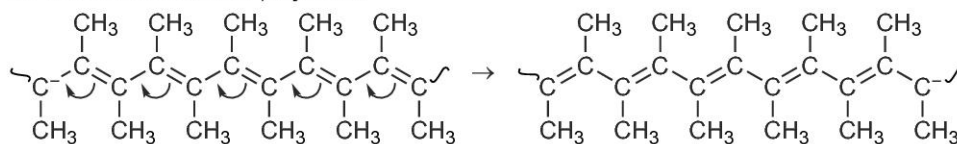
- c** Er bindt een zuurgroep met een aminogroep. Dat is een condensatiereactie.
- d** Omdat de bindingen tussen de ketens nog alleen waterstofbruggen (en de relatief zwakke vanderwaalsbindingen) zijn, is er bij kamertemperatuur genoeg energie om de ketens langs elkaar te laten bewegen.
- e** De molecuulketens worden via atoombindingen verbonden tot een netwerk. De moleculen kunnen dus niet meer langs elkaar bewegen en de stof wordt vast.
- f** Als er een breuk optreedt en de uiteinden komen weer bij elkaar, dan kunnen de waterstofbruggen weer worden hersteld of er ontstaan nieuwe waterstofbruggen. Ook worden er nieuwe covalente bindingen tussen vrije reactieve groepen gevormd.

B 14

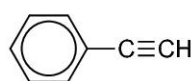
- a** De dichtheid van aluminium is $2,70 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$ (Binas tabel 8).
Glare is dus $\frac{2,70 \cdot 10^3 - 2,5 \cdot 10^3}{2,70 \cdot 10^3} \times 100\% = 7,4\%$ lichter dan aluminium.
- b** Metalen zijn erg sterk.
- c** Zo kan het materiaal in alle richtingen flinke krachten aan.
- d** De structuur bevat meerdere C–O–C-groepen. Dat zijn etherbindingen.
- e** De epoxyhars wordt gevormd uit een epoxide. De structuurformule van de epoxyhars bevat echter ook structuren met benzeenringen. Het polymeer is gevormd uit meerdere soorten monomeren en is dus een copolymeer.

B 15

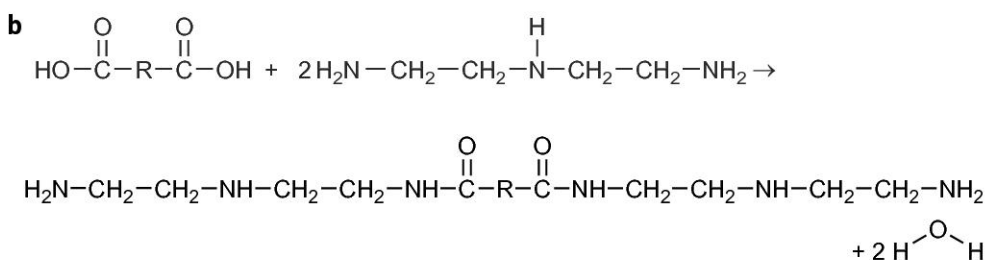
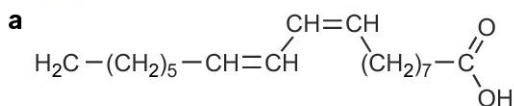
- b** Het C-atoom (links) dat het elektron opneemt krijgt een negatieve lading. De dubbele binding schuift hierdoor een binding op. Onder invloed van elektrische spanning schuift de dubbele binding nog een plekje op en kan de lading zich gemakkelijk verplaatsen naar de andere kant van het polymeer.



- d** fenylethyn



- e** Dit polymeer is slecht biologisch afbreekbaar. Het bevat geen karakteristieke groepen zoals ester- en amidebindingen en heeft een benzeenring.
- f** Ja, dit polymeer heeft veel dubbele bindingen die uv-straling goed kunnen absorberen.

C 16

c ammoniak

d De moleculen op de snede bewegen/trillen op hun plaats. Ze hebben hierdoor de mogelijkheid om zo te draaien dat de waterstofbrugvormende groepen zich meer richten naar omliggende moleculen. Ze kunnen dan geen waterstofbruggen meer vormen met moleculen aan de buitenzijde van het materiaal/het andere deel van de breuk.

Als de temperatuur hoger wordt, zullen de moleculen sneller bewegen/trillen. Hierdoor zullen de moleculen zich sneller draaien/snel anders oriënteren.

e De waterstofbrugvormende groepen zullen dan waterstofbruggen vormen met watermoleculen. Hierdoor kunnen deze groepen dan geen waterstofbruggen meer met elkaar vormen.

f De rubber uit de opgave herstelt zich alleen via waterstofbruggen. De zelfherstellende rubber uit de tekst herstelt zich via waterstofbruggen en covalente bindingen. De rubber uit de opgave is dus minder sterk dan die beschreven in de tekst.

14.3 Keramische materialen

A 17

- a** Keramische materialen zijn (meestal) hard en hebben een hoog smeltpunt. Ze zijn ook bros en reageren niet of nauwelijks met andere stoffen.
- b** Een atoomrooster en een ionrooster
- c** Een atoomrooster is opgebouwd uit metaal- of niet-metaalatomen en een ionrooster uit ionen.

B 18

- a** Siliciumcarbide bestaat uit niet-metaalatomen en vormt dus een atoomrooster.
- b** Omdat het niet-metaalatomen zijn, zijn er covalente bindingen (atoombindingen).
- c** Wolfram(IV)carbide is een verbinding van een metaal en een niet-metaal. Het is dus een zout dat bestaat uit ionen, het rooster is dus een ionrooster.
- d** De ionbinding

B 19

- a** Grafiet bestaat uit laagjes koolstofatomen. Tussen de laagjes is geen atoombinding. De laagjes schuiven daardoor vrij gemakkelijk langs elkaar.
- b** De koolstofatomen in grafiet vormen zesringen. De koolstofatomen in de ringen hebben drie covalente bindingen, de covalentie van koolstof is echter vier. In elke zesring bevinden zich nog zes elektronen die zich gemakkelijk door deze ring bewegen, net als bij benzeen. Maar ze verplaatsen zich ook gemakkelijk van de ene naar de andere zesring en zorgen zo voor geleiding.

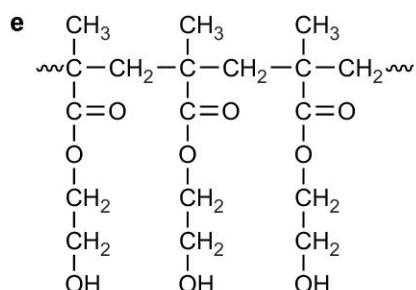
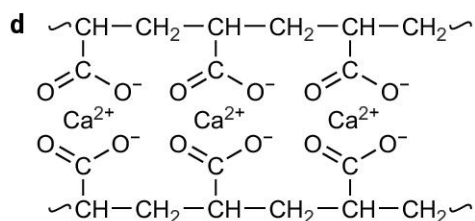
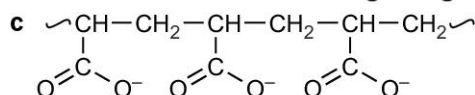
B 20

- a** Zand en grind zorgen voor de hardheid van het beton. Dit bestaat uit silicaten die een netwerk van atoombindingen vormen.
- b** De binding tussen de watermoleculen en de ionen uit het cementpoeder (dipool-ionbinding)

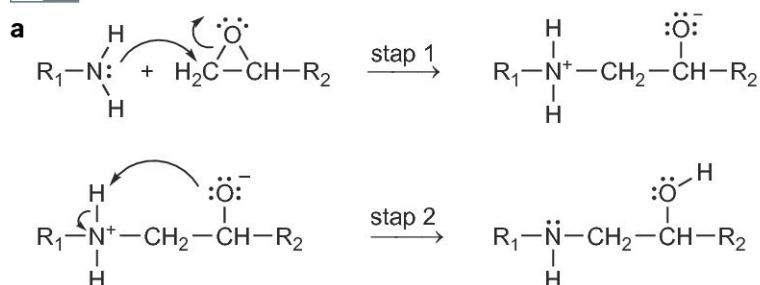
- c De watermoleculen zullen zo hard bewegen dat de binding met het cementpoeder verbroken wordt en ze als waterdamp ontsnappen. Het netwerk van zouthydraten verliest zo zijn sterkte.

B 21

- a Als de vulling krimpt kan er ruimte ontstaan tussen het gezonde deel van de tand en de vulling. Hier kunnen etensresten in achterblijven die niet weggepoetst kunnen worden en zorgen voor verdere aantasting van de tand. De vulling kan zelfs helemaal losraken.
- b Er is relatief meer polymeer nodig om alle korrels te omringen. Het polymeer is veel zachter dan de korrels en veel gevoeliger voor temperatuursveranderingen.



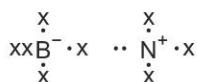
C 22



- b Door de voorbehandeling ontstaan C=O-groepen, OH-groepen en COOH-groepen. Deze groepen kunnen met de in de epoxyhars aanwezige OH-groepen en N-atomen waterstofbruggen vormen. Door de waterstofbruggen ontstaat een sterkere hechting van de koolstofvezels met de epoxyhars, dan wanneer alleen vanderwaalsbindingen aanwezig zijn.
- c In de koolstoflaagjes ontstaan door de voorbehandeling koolstofatomen met omringingsgetal 4. Hierdoor verliezen de koolstoflaagjes hun platte vorm, waardoor de koolstoflaagjes niet meer goed op elkaar passen. Door de grotere afstand tussen de koolstoflaagjes wordt de vanderwaalsbinding zwakker.

C 23 ★

- a,b Boor heeft 3 valentie-elektronen (zwarte bolletjes) en stikstof heeft 5 valentie-elektronen. Boor ontvangt dus een elektron, terwijl stikstof een valentie-elektron heeft afgestaan, dit zorgt voor het ionaire karakter van boornitride.



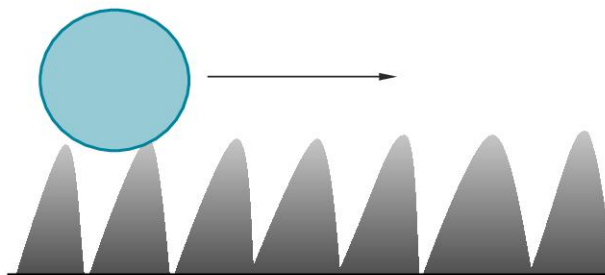
14.4 Nanotechnologie

A 24

- a Nanotechnologie houdt zich bezig met deeltjes en structuren van 10 tot 200 nanometer.
- b Voorbeelden zijn coatings en verpakkingsmateriaal.
- c $5 \cdot 10^6$ nm
- d $1,54 \cdot 10^{-1}$ nm

B 25

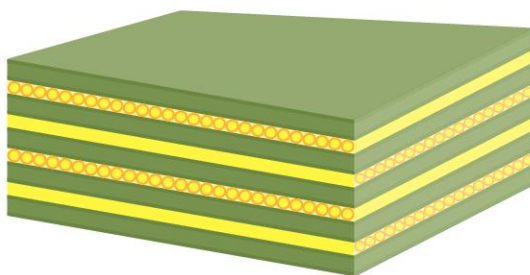
- a De waterdruppels blijven op de punten van de hydrofobe kegels liggen en maken nauwelijks contact met de coating. Ze rollen er daarom gemakkelijk vanaf. Zie figuur 14.4.
- b Losse watermoleculen zijn veel kleiner dan de poriën van de stof en worden doorgelaten.
- c Voorbeelden zijn ademende kleding, schoenen en tenten.



14.4

B 26

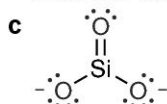
- a De atoombinding die de koolstofatomen bijeenhoudt
- b De structuur van het koolstofnanobuisje is vergelijkbaar met grafiet. In elke zesring bevinden zich zes elektronen die zich gemakkelijk door deze ring bewegen en zich ook gemakkelijk van de ene naar de andere zesring verplaatsen en zo zorgen voor een goede geleiding.
- c Zie figuur 14.5. De koolstofbuisjes liggen dwars ten opzichte van elkaar waardoor de composiet in alle richtingen even sterk is.
- d $\text{TiCl}_4 + 4 \text{C}_4\text{H}_9\text{OH} \rightarrow \text{Ti}(\text{OC}_4\text{H}_9)_4 + 4 \text{HCl}$
- e Er moet een verbrandingsreactie verlopen. Met de zuurstof uit de lucht verloopt bij de hoge temperatuur de verbrandingsreactie waarbij de koolstofbuisjes en het butanolgedeelte van titaan(IV)butanolaat verbranden tot CO_2 en H_2O . Er blijft alleen TiO_2 over.



14.5

C 27

- a $\text{CO}_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq})$
 $\text{H}_2\text{CO}_3(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) + \text{HCO}_3^-(\text{aq})$
 $\text{HCO}_3^-(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons \text{H}_3\text{O}^+(\text{aq}) + \text{CO}_3^{2-}(\text{aq})$
 $\text{Ba}^{2+}(\text{aq}) + \text{CO}_3^{2-}(\text{aq}) \rightarrow \text{BaCO}_3(\text{s})$
- b Door het neerslag van bariumcarbonaat wordt het CO_3^{2-} weggenomen uit het evenwicht en verschuiven de evenwichten naar rechts waarbij er meer H_3O^+ wordt gevormd. Daardoor daalt de pH.



- d** Het silicaation is een sterke base en reageert met de aanwezige H_3O^+ .

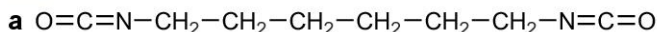
$$2 \text{H}_3\text{O}^+ + \text{SiO}_3^{2-} \rightarrow \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + 2 \text{H}_2\text{O}$$
- e** Door het wegnemen van de H_3O^+ uit de oplossing rond de bloem stijgt de pH weer.
- f** Direct rond de bloem ontstaat een steeds op en neer gaand verschil in pH. Door het wegnemen van de H_3O^+ verschuift het evenwicht weer en ontstaan er weer carbonaationen en verloopt de vorming van bariumcarbonaat weer. Deze zogenaamde pH-gradiënt rond de bloem is afhankelijk van de hoeveelheid opgelost CO_2 in de oplossing rond de bloem.
- g** Zouten zijn vaak geschikt als katalysator. Een reactie verloopt aan het oppervlak van een katalysator. Een kristalbloemenveld heeft een heel groot oppervlak, de verdelingsgraad van het zout is groot. Dat zou een kristalbloemenveld geschikt kunnen maken als katalysator.

C 28

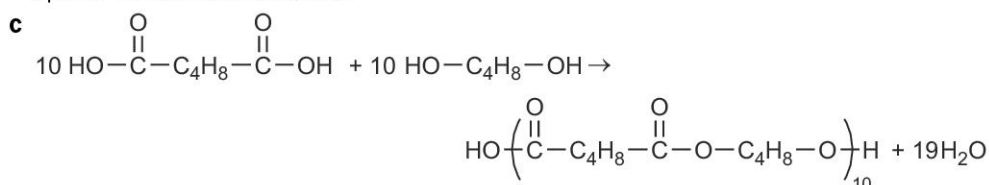
- a** Argon is een edelgas en reageert niet met de katoen. Met lucht (zuurstof) zou de katoen verbranden in plaats van ontleden.
- b** In een cellulosevezel zitten de verschillende ketens cellulose met waterstofbruggen aan elkaar. In een koolstofvezel zijn deze ketens door middel van de veel sterkere atoombinding tot een geheel gevormd.
- c** Volgens de schaalverdeling zijn de vezels minder dan $0,1 \mu\text{m}$ dik. Dit komt overeen met 100 nanometer.
- d** Het diboortrioxide reageert blijkbaar niet vanzelf met koolstof tot boorcarbide, want aan elke vezel zit wel een nanobolletje nikkelcarbide. Blijkbaar reageert het nikkel gemakkelijk met het koolstof om nikkelcarbide te vormen en groeit vanuit dat deeltje het nanobuisje boorcarbide. Het nikkelcarbide werkt daarbij als katalysator voor de vorming van boorcarbide.
- e** Door het gebruik van nikkeldeeltjes met een grotere diameter ontstaan wellicht ook nanovezels met een grotere diameter.
- f** Door meer diboortrioxide toe te voegen blijven de nanovezels groeien.
- g** Zet een lapje katoen zonder diboortrioxide om in koolstofvezels. Zonder boorcarbide bepaal je hoeveel uv-straling dit lapje opneemt. Is dit ongeveer 99,8%, dan is de koolstofvezel hiervoor verantwoordelijk. Is het ongeveer 85%, dan is de boorcarbide ervoor verantwoordelijk.

Afsluiting

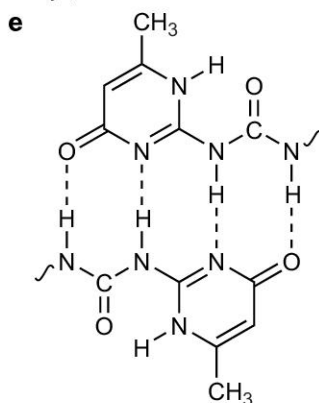
1



b In deze reactie verdwijnt de dubbele $\text{C}=\text{N}$ -binding in hexaan-1,6-diisocynaat, dus is er sprake van een additiereactie.



d Bij een supramoleculair polymeer is van belang op welke wijze de monomeren geordend zijn, daarom is dit een voorbeeld van een mesostructuur.



f Bij het vloeibaar maken van de verf moeten ook de vanderwaalsbindingen tussen de moleculen van stof B verbroken worden, anders kan er geen herstel optreden. Als het aantal repeterende eenheden laag is, zijn de vanderwaalsbindingen tussen moleculen van stof B zwak en kan de stof bij 140°C vloeibaar worden. Wanneer het aantal repeterende eenheden te hoog is, zijn de vanderwaalsbindingen tussen moleculen van stof B sterker en zal de verf bij verwarmen niet vloeibaar worden en kan het zelfherstellende vermogen niet optreden.

g In een juist antwoord dienen twee aspecten voor beide materialen te worden besproken. Voorbeelden van juiste aspecten zijn:

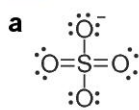
- 1 hoe vaak het materiaal kan worden hersteld / zichzelf kan herstellen;
- 2 bereikbaarheid van beschadigingen;
- 3 of periodieke controle nodig is om beschadigingen op te sporen;
- 4 arbeidskosten van werkzaamheden aan beschadigingen;
- 5 hoe mooi het eindresultaat is.

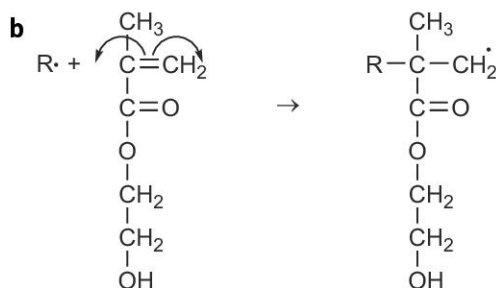
Voor een zelfherstellende autolak: bijvoorbeeld 1 en 5 met een keuze voor materiaal 1.

Voor de bladen van een windmolen: bijvoorbeeld 2 en 4 met een keuze voor materiaal 2.

(Je kunt bij een windmolen niet met een fohn langskomen.)

2





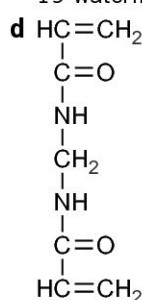
- c** Stel, je hebt 100 g hydrogel. Dit bevat 72 g water en $100 - 72 = 28$ g pHEMA. De molaire massa van een monomeereenheid van HEMA ($C_6H_{10}O_3$) is $130,14 \text{ g mol}^{-1}$.

28 g hydrogel bevat dus $\frac{28}{130,14} = 0,22 \text{ mol monomeereenheden}$.

72 g water komt overeen met $\frac{72}{18,015} = 4,0 \text{ mol}$.

Per mol monomeereenheden wordt dus $\frac{4,0}{0,22} = 19 \text{ mol water opgenomen}$. Dat zijn

19 watermoleculen per monomeereenheid.



- e** De aanwezige ketendelen in pNIPAM kunnen door de crosslinks tijdens het opdrogen niet vrij bewegen ten opzichte van elkaar. De ketendelen kunnen zich hierdoor niet regelmatig rangschikken waardoor geen kristallijne gebieden ontstaan.

- f** In 1 m^2 was 2,8 kg water aanwezig. Dat kwam overeen met 84% van de totale massa.

De totale massa pNIPAM was dus $\frac{100}{84} \times 2,8 = 3,3 \text{ kg}$. Als de temperatuur van de natte

hydrogel steeg van 24 naar 33 °C, dan is het temperatuurverschil $33 - 24 = 9 \text{ °C}$.

De energie om 3,3 kg van de natte hydrogel $9 \text{ °C} = 9 \text{ K}$ in temperatuur te laten stijgen is $4,0 \cdot 10^3 \times 3,3 \times 9 = 1,2 \cdot 10^5 \text{ J}$.

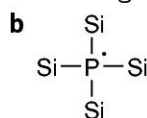
Om 2,8 kg water te verdampen is $2,8 \times 2,26 \cdot 10^6 = 6,3 \cdot 10^6 \text{ J}$ nodig.

De totale hoeveelheid energie die is opgenomen door de hydrogel is:

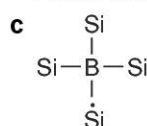
$$1,2 \cdot 10^5 + 6,3 \cdot 10^6 = 6,4 \cdot 10^6 \text{ J m}^{-2}$$

3

- a** Keramische materialen zoals silicium zijn lastig te verwerken en kwetsbaar omdat ze bij belasting eerder breken dan buigen.

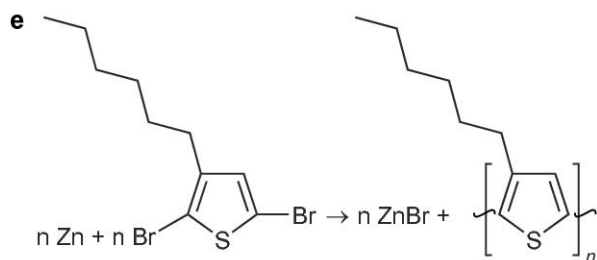


Fosfor heeft vijf valentie-elektronen en gebruikt er maar vier.



In het rooster kan een binding niet gevormd worden door een tekort van een elektron. Boor komt een elektron tekort om een vierde binding te vormen en de buitenste schil vol te maken. Een elektron uit een ander gedeelte van het materiaal kan dit gat opvullen, maar laat op die plek opnieuw een gat achter. Zo kunnen er elektronen van gat naar gat bewegen.

d De productie is goedkoop, het is flexibel, doorzichtig en gemakkelijk(er) te verwerken.

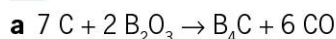


f Dit polymeer heeft een afwisseling van enkele en dubbele bindingen.

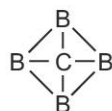
g De zijgroep van het polymeer bepaalt mede welke golflengte licht er wordt geabsorbeerd. Je kunt een zonnecel maken met polymeren met verschillende zijgroepen, bijvoorbeeld ethyl, butyl en hexyl.

h Polymeren zijn gevoelig voor uv-straling. In de felle zon zal de zonnecel na verloop van tijd vermogen verliezen.

4



b Een voorbeeld van zo'n molecuul is:



c Een moleculaire stof bestaat uit (kleine) moleculen die met zwakke vanderwaalsbindingen aan elkaar vast zitten. Moleculaire stoffen hebben daardoor een relatief laag smeltpunt.

d Boorcarbide bestaat uit niet-metaal-atomen die in een atoomrooster met covalente bindingen aan elkaar vast zitten.

e Aluminium is licht en sterk. Het buigt eerder mee dan dat het breekt.

f Boorcarbide is keihard, het slijt nauwelijks en kan de hoge temperaturen aan die ontstaan als gevolg van de wrijving van de snel draaiende as.

g Zie figuur 14.6.



14.6