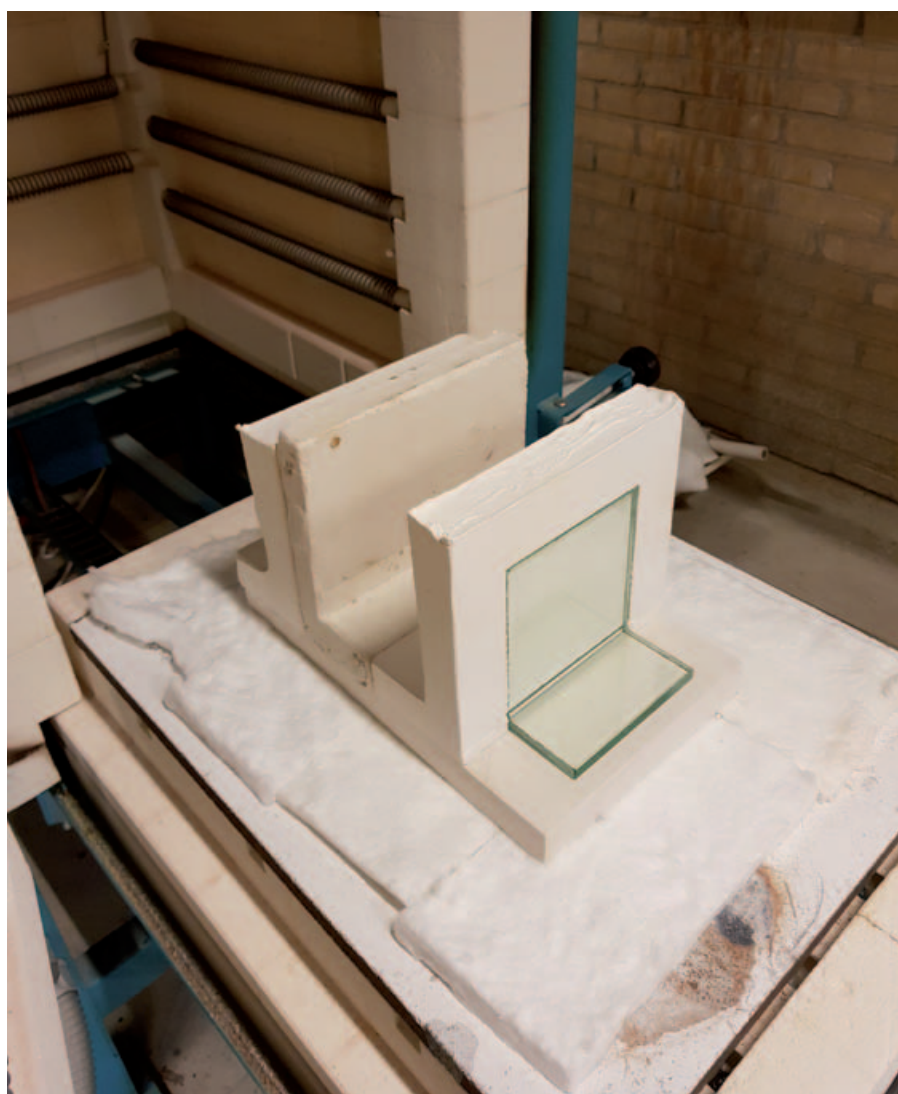


GLASVERBINDINGEN AAN GLAS MET GLAS

Glas is een fascinerend materiaal. Het is in de afgelopen decennia ontwikkeld van opvulmateriaal naar constructief materiaal. Dit resulteert in bijzondere, dragende, transparante constructies. Anna Eskes wil met haar afstudeeronderzoek naar glasverbindingen aan de TU Delft en bij ABT bijdragen aan deze ontwikkeling.

Auteur: Anna Eskes, ABT



▲ Figuur 1: Voor het fusie-experiment is het glas in gipsmallen geplaatst.

De belangrijkste elementen van een glasconstructie - de gevel- en dakpanelen, de liggers en de vinnen - zijn met de huidige stand van de techniek volledig transparant. Echter, de verbindingen tussen deze elementen zijn doorgaans stalen, ondoorzichtige, in het oog springende onderdelen. Eskes heeft een verbindingmethode onderzocht die hier een oplossing voor kan bieden: het verbinden van glas aan glas, met glas. Ze heeft daarvoor twee methoden toegepast: het verlijmen van glas op glas en het versmelten van glasdelen.

GLAS SMELTEN

Wanneer een verbinding breekt, mag dit niet tot letsel of voortschrijdende instorting leiden. De manieren om dit te voorkomen die in glasconstructies worden toegepast, zijn het creëren van een tweede draagweg, het beschermen tegen impact en het overdimensioneren van de glasdikte en -samenstelling. Deze strategieën kunnen ook op gelijmde en versmolten glasverbindingen worden toegepast. Denk bijvoorbeeld aan het gebruik van meerdere versmolten elementen in plaats van één monoliet element.

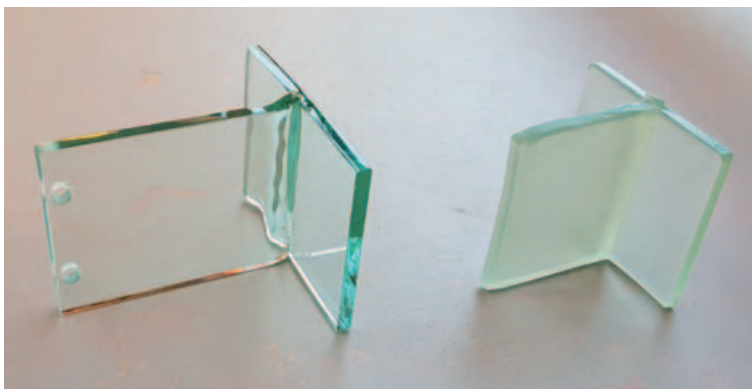
Voor het verlijmen van de T-stukken is een UV-uithardende, transparante lijm gebruikt. Het versmelten was complexer. Glas kan op twee manieren worden versmolten: door de glasplaten integraal te verhitten in een oven en door de glasplaten lokaal te verhitten. De eerste methode heet glasfusie, in vakjargon fuseren, en de tweede is het lassen van glas. Beide methoden zijn door Eskes onderzocht, uitgevoerd en beproefd in de vorm van T-stukken van 10 millimeter dik natriumkalk glas. Beide methoden worden beperkt door de grootte van de oven.



▲ Figuur 2: De lijnbranders wordt getest op een blokje.



▲ Figuur 3: Het glas in de klokoven wordt met de lijnbranders lokaal en symmetrisch verhit.



▲ Figuur 4a: Gelast proefstuk (links) en gefuseerd proefstuk (rechts).



▲ Figuur 4b: De proefstukken uitgesteld.

FUSIE EN LASSEN

De gefuseerde glazen T-stukken zijn gemaakt door twee platen in een gipsen mal te plaatsen en in een oven te zetten (Figuur 1). Om thermische breuk te voorkomen zijn het opwarmen en afkoelen traag uitgevoerd en temperatuurschommelingen voorkomen. Om die reden duurde de cyclus in de oven van de faculteit Civiele Techniek aan de TU Delft meer dan twee dagen.

Bij het lassen van glas is het risico op thermische breuk groter dan bij fuseren vanwege de optredende temperatuurverschillen tussen de las en de rest van de plaat. Om het experiment te laten slagen is met een eindige elementen model onderzocht onder welke omstandigheden thermische breuk kon worden voorkomen. De uitkomst hiervan is dat het glas moet worden voorverwarmd en dat verlies van stralingswarmte moet worden beperkt.

Bovendien moet het glas symmetrisch en over de hele lengte worden verhit. Dit tweede experiment is uitgevoerd bij de Leidse Instrumentmakersschool. Daar is het glas in een klokoven voorverwarmd en is een lijnbranders gebruikt om het lokaal te smelten. Deze lijnbranders was een koperen vork met gaatjes, die op een gasbron is aangesloten en zo een lijnvormige vlam aan beide zijden van de las veroorzaakte (Figuur 2). De branders is door een zo klein mogelijke opening in de oven bij het glas gebracht (Figuur 3). Vervolgens is het glas verhit en op elkaar gedrukt. Na het sluiten van de oven is het glas langzaam afgekoeld. De cyclus van opwarmen, lassen en afkoelen duurde twee dagen.

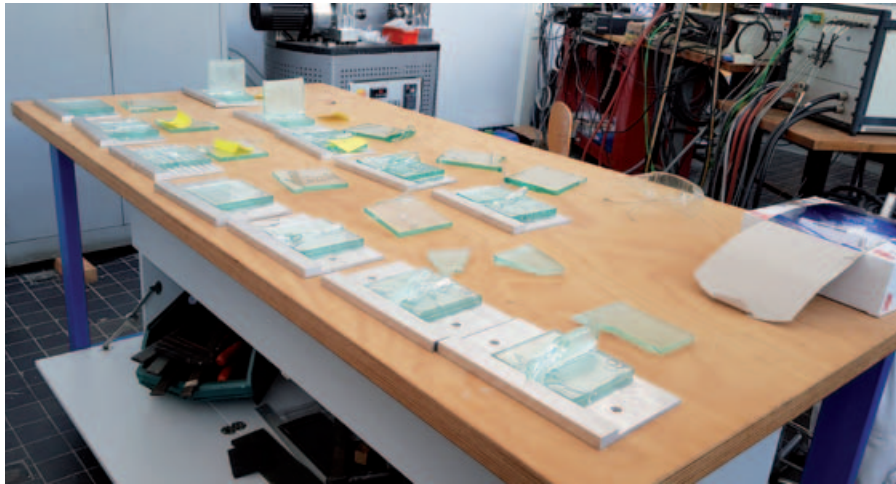
Het resultaat van de experimenten was met vier gefuseerde en drie gelaste proefstukken positief (Figuur 4a en b). Bij fuseren is de invloed van de mal op het glas

groot. Het resultaat van het gefuseerde proefstuk bleek een matglazen T-profiel. Het gelaste profiel was transparant en had daarmee het gewenste effect (Figuur 5).

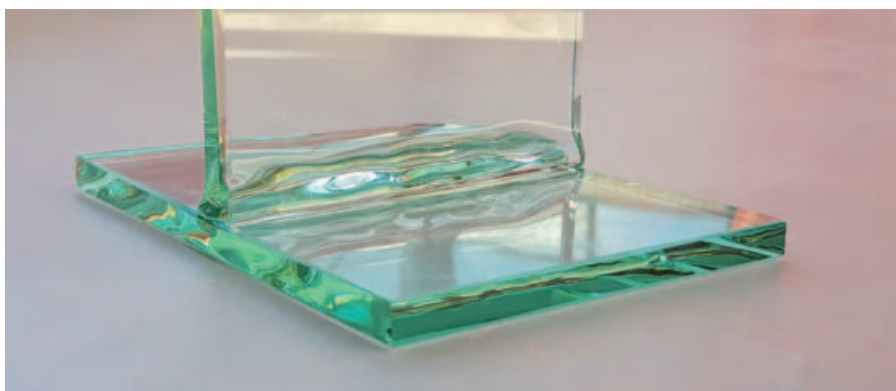
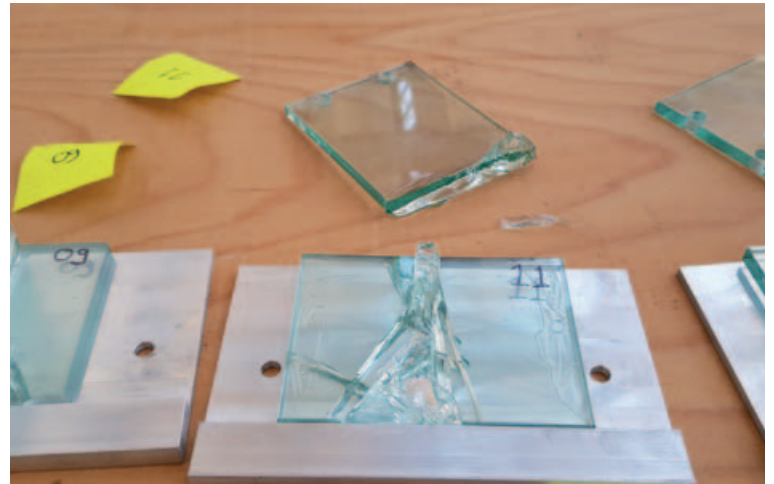
TESTEN

Het volgende onderdeel van het onderzoek was het testen van de gelijmde, gefuseerde en gelaste verbindingen. Ze zijn op afschuiven belast, zodat de invloed van oneffenheden op het oppervlak zo klein mogelijk zou zijn. De glazen T-profielen zijn voor het uitvoeren van de test met de flens aan een aluminium profiel gelijmd (Figuur 6). Dit profiel was met bouten aan een stalen werkbank bevestigd. De verbinding is vervolgens met een zogeheten olifantenpoot op afschuiving belast.

Twaalf gebroken proefstukken later was Eskes in het bezit van data over de sterkte van de T-stukken (Figuur 7a en b). De hoeveelheid proeven is te klein voor harde



▲ Figuur 7a en b: De hoeveelheid uitgevoerde proeven is te klein voor het trekken van harde conclusies.



▲ Figuur 5: Het gelaste proefstuk is transparant.

conclusies, maar de eerste indicatieve resultaten zijn volgens haar veelbelovend. Voor de gefuseerde proefstukken zijn de hoogste en laagste resultaten vastgelegd. De spreiding bij de resultaten van de gelaste proefstukken was minder. Dat suggereert dat de capaciteit consistent zou kunnen zijn.

Een ander opvallend resultaat was het verschil in bezwijkmechanisme. De gelijkde proefstukken bezweken bij de eerste scheur. De gefuseerde en gelaste proefstukken scheurden als eerst langs de verbinding in de flens, maar ondanks dat kon de belasting op de verbinding nog worden verhoogd tot bezwijken. Met een eindige elementen model van een perfect homogeen proefstuk kon worden aangetoond dat deze eerste scheur zich ten gevolge van elastische spanning vormt. Hieruit kon worden geconcludeerd dat de gelijkde proefstukken zich anders

gedragen en de spanning in het glas zich op een andere manier verdeelt.

CONCLUSIE

Het is mogelijk is om 10 millimeter dik natriumkalk glas te versmelten tot T-profielen. Het lassen van glas leidt tot het gewenste transparante resultaat en geeft de meest consistente sterkteresultaten. Voordat glazen verbindingen in de praktijk kunnen worden toegepast, moet er vervolgonderzoek worden gedaan. Allereerst moeten er meer destructieve proeven worden uitgevoerd om een goede statistische basis voor de capaciteit van de verbindingen te leveren. Daarnaast dient er een ontwerpstudie te worden uitgevoerd, om de constructieve veiligheid en de schaal van de verbindingen verder te analyseren. Daarnaast is het zinvol onderzoek te doen naar het verbeteren van de productieprocessen. Zijn andere vormen mogelijk? Wat is de invloed van de



▲ Figuur 6: Het bezwijken van een gefuseerd proefstuk bij de afschuiftest.

temperatuur op de sterkte? Is schaalvergroting mogelijk? Eskes is echter positief over de gemaakte stappen: 'Ondanks dat er nog veel onderzoek kan en moet worden gedaan voordat versmolten glasverbindingen in een gebouw toegepast kunnen worden, zijn ABT en de TU Delft een stap dichterbij naar het creëren van volledig transparante glasconstructies.'