



Hankun Li

Energietechnik

14.06.2021

Betreuer: MSc. Sofiya Savelyeva
Dipl.-Ing. J. Will

CFD-Untersuchungen zu einem 3D-gedruckten Wärmeübertrager für kryogene Anwendungen

Nr. 613

Motivation

In vielen industriellen Prozessen wie z. B. in Hochtemperatur-supraleiter und in großen Windkraftwerkanlagen werden zunehmend kryogene Kühler verwendet. Und kompakter Wärmeübertrager werden in kryogene Kühler angewendet wegen ihrer hohen Kompaktheit (d. h. hohes Verhältnis von Wärmeübertragungsfläche zu Volumen). Dies führt zu die Reduzierung der Gewicht und Kosten der Anlagen. Der Wärmeübertrager ist eine der Komponenten des kryogenen Kühlers. Ein guter Wärmeübertrager ist bei der Verbesserung der Effizienz des kryogenen Kühlers vorteilhaft. Plattenrippenwärmeübertrager ist eine typische und am häufigsten verwendeten kompakte Wärmeübertrager. Die Untersuchung der Rippengeometrie ist sinnvoller bei der Optimierung des Wärmeübertragers.

Ziel

Ziel dieser Arbeit ist die entwickelte „ideal“ Rippengeometrie und 3D-Druck gefertigte Geometrie des Wärmeübertragers mit Hilfe CFD-Software Ansys-Fluent zu modellieren, simulieren, analysieren, und den Einfluss geometrischer Details auf Strömung und Wärmeübergang zu ermitteln.

Dimensionslose Kenngröße

Um der Wärmeübertrager zu untersuchen, dabei sind zwei zentrale Faktoren zu beachten. So ist zum einen die Wärmeübertragung zwischen kaltem und warmem Fluid zu verbessern, zum anderen ist der Druckverlust des Fluids im Wärmeübertrager zu reduzieren. Um die Eignung der Rippengeometrie als Wärmeübertragungs-fläche auszuwerten, wird ein dimensionslose Kenngröße NPH/NTU benutzt. NPH beschreibt den Druckverlust während NTU den Wärmeübergang beschreibt. Je kleiner das Verhältnis von Druckverlust zu Wärmeübergang ist, desto besser geeignet sich die Geometrie als Wärmeübertragungsfläche.

$$\frac{NPH}{NTU} = \frac{f * Re}{Nu} * Pr$$

Prototyp des Wärmeübertragers

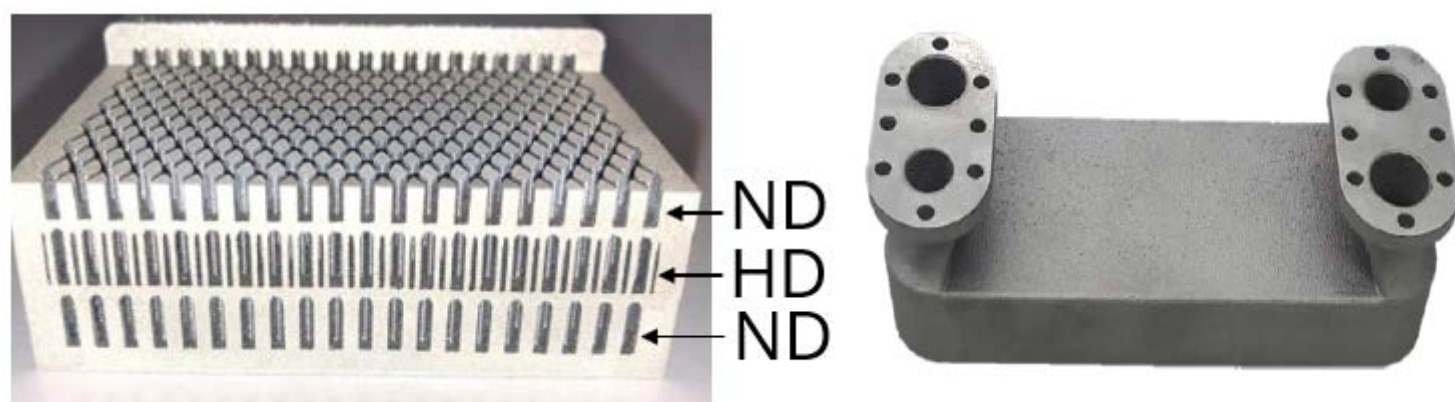


Abbildung. 1: 3D-gedruckte Wärmeübertrager

Ein kompakt Wärmeübertrager wurde in 3D-Fertigungsverfahren entworfen und gedruckt. Als Kältemittel wird Helium-Gas eingestellt.

Randbedingungen		
Eintritt	Velocity Inlet	$Re = 10 - 1000$
Austritt	Pressure-Outlet	200000Pa
No-slip Wand	Temperatur	$T_{Rippe,n+1} - T_{Rippe,n} = 0,25 [K]$

Tabelle. 1: Randbedingung

Modell

Niederdruck-Rippe		Hochdruck-Rippe	
1,47 mm (3D)	1,69 mm (2D)	1,19 mm (3D)	1,32 mm (2D)
1,87 mm (3D)	2,21 mm (2D)	2,54 mm (3D)	3,23 mm (2D)

Tabelle. 2: Rechengebiet und hydraulischer Durchmesser bei entwickelten (oben) und 3D-gedruckten (unten) Rippengeometrien

Simulationsergebnisse

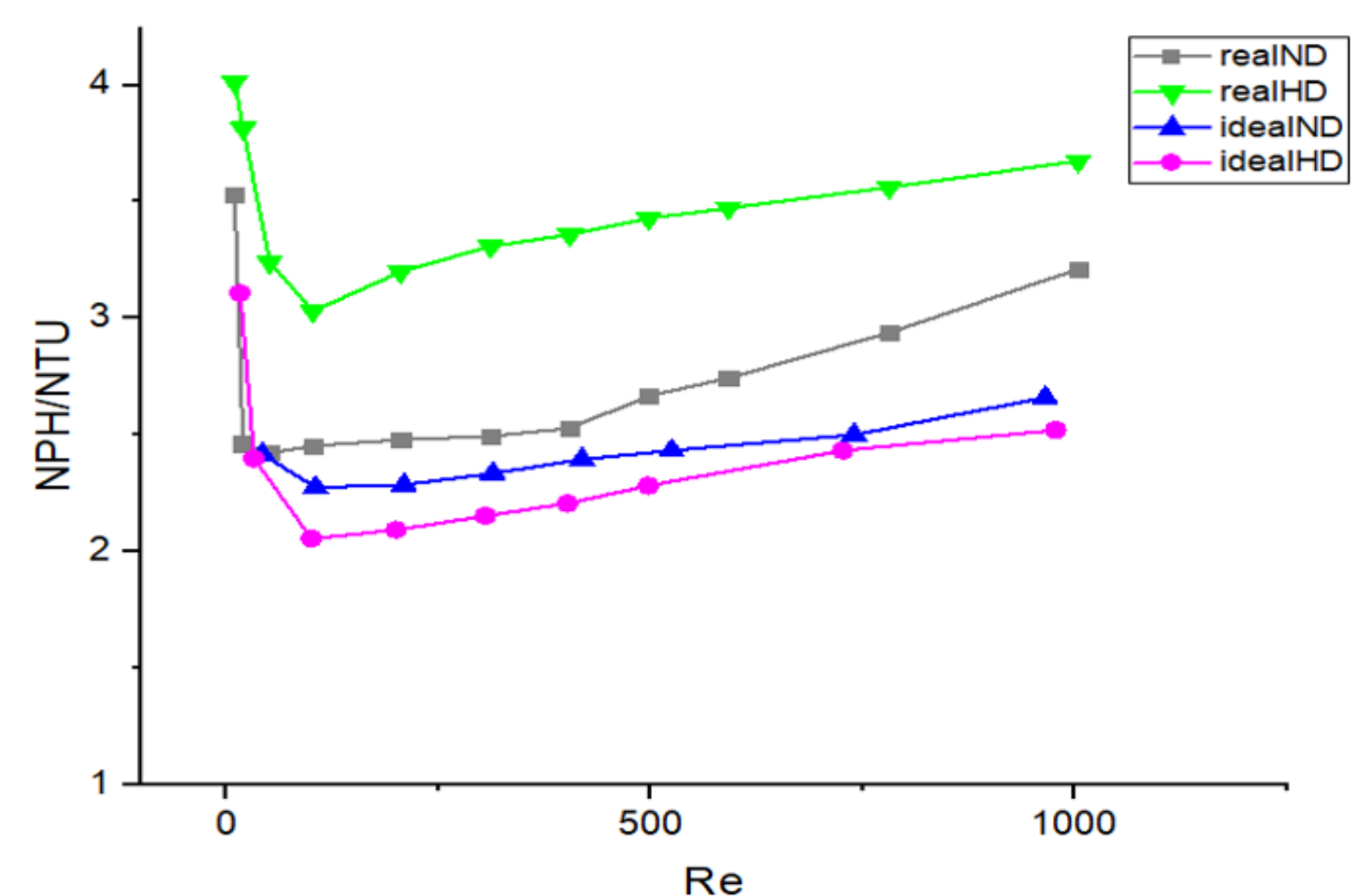


Abbildung. 2: Vergleich von NPH/NTU über Re

Die 3D-gedruckte Rippengeometrie weist sowohl bezüglich des Verhältnis von Druckverlust zu Wärmeübergangs Nachteile gegenüber der idealen Rippengeometrie auf. Das Verhältnis von Druckverlust zu Wärmeübergang ist bei 3D-gedruckten Niederdruckrippen um 7 bis 10 Prozent größer gegenüber der idealen Niederdruck-Rippengeometrie. Während es bei 3D gedruckten Hochdruckrippen um etwa 33 Prozent größer gegenüber der idealen Hochdruck-Rippengeometrie ist. Das heißt, die Änderung der Rippengeometrie in Niederdruckkanal nach dem 3D-Druck hat weniger Einfluss auf den Druckverlust und den Wärmeübergang als bei der Rippengeometrie in Hochdruckkanal. Der wichtigste Grund ist, dass die Querschnittsänderung bei 3D-gedruckter Hochdruckrippe größer ist. Dies führt zu der Beschleunigung/Entschleunigung des Fluids und dem hohen Druckverlust.

Zusammenfassung

- Entwickelte Hochdruckrippengeometrie geeignet sich besser als Wärmeübertragungsfläche im Vergleich zu der linsenförmigen Rippen (Niederdruckrippengeometrie).
- Aufgrund der Beschränkung des 3D-Fertigungsverfahrens ändert sich die Geometrie der Hochdruckrippen, verschlechtert das Druckverlust-Wärmeübergang-Performance.
- In zukünftiger Untersuchung eine bessere Fertigungsverfahren zu suchen, um Microchannel-Wärmeübertrager zu entwerfen.