FLOW CHARACTERISTICS OF AN INLINE-SLOT CONICAL EJECTOR-DIFFUSER: AN INFRARED SUPPRESSION DEVICE

LAKHVINDER SINGH

DEPARTMENT OF APPLIED MECHANICS

INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY DELHI

FEBRUARY 2020

FLOW CHARACTERISTICS OF AN INLINE-SLOT CONICAL EJECTOR-DIFFUSER: AN INFRARED SUPPRESSION DEVICE

by

LAKHVINDER SINGH

Department of Applied Mechanics

Submitted

in fulfilment of the requirements of the degree of Doctor of Philosophy

to the

INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY DELHI

FEBRUARY 2020

Dedicated to

My Parents

My Wife, Puja

and

My Daughter, My Treasure, Kanishka

Certificate

This is to certify that the thesis entitled **"Flow Characteristics of an Inline-Slot Conical Ejector Diffuser: An Infrared Suppression Device"**, being submitted by **Lakhvinder Singh** to the Indian Institute of Technology Delhi for the award of the degree of **Doctor of Philosophy**, is a record of the bonafide research carried out by him which has been prepared under our supervisions in conformity with the rules and regulations of the Indian Institute of Technology Delhi. The research reports and results presented in the thesis has not been submitted for any degree or diploma in any other university or institute.

Dr. S. N. Singh
Professor
Department of Applied Mechanics
Indian Institute of Technology Delhi
New Delhi - 110016
India

Dr. Sawan S. Sinha
Associate Professor
Department of Applied Mechanics
Indian Institute of Technology Delhi
New Delhi - 110016
India

Date:

Place:

Acknowledgements

With great profoundness and heartfelt reverence, my sincere gratitude to my research supervisors, Prof. S. N. Singh and Dr S. S. Sinha for their valuable time, thoughtful advice and constant support at all level. It is a real privilege and honour for me to share their exceptional knowledge and extraordinary human qualities. My special thanks to Prof. S. N. Singh for sharing his knowledge, experience, fatherly advice, opinions and moral support. His vast knowledge and research expertise have helped me understand, appreciate, evolve and gain deeper insights into my topic. The long and regular discussions helped me get a better idea into the current research, which is the real reasons for the outcome of the present work. Further, throughout my tenure, he has regularly emphasised and helped me become an independent researcher along with a good human being.

My sincere thanks to my co-supervisor Dr S. S. Sinha for his rational and balanced approach, thought-provoking discussions, his readiness to help whenever required. Further, all the discussions I had with him always helped me to remove the ambiguities and brought a sense of clarity in my work. His quality of attention to details has helped me to improve my writing skills immensely. I am profoundly impacted by his teaching style and had the privilege to study course on turbulence and its modelling. The ease with which he explains difficult concepts is exemplary, and I strive to develop similar skills.

I am grateful to the technical staff members of the Gas Dynamics Laboratory, Fluid Mechanics Laboratory and Departmental Workshop. The staff members; Mr Madan Gopal, Mr Suresh Sharma, Mr Manohar Lal, Mr Yogesh Gautam and Mr Kunj Bihari, have rendered their continuous support in setting up my experimental facility without

which the journey would have been arduous. Their contribution will be an everlasting chapter in my memory. A special thank to Mr Manohar Lal for his immense help in setting up the heater arrangement for the hot flow experiments. I also wish to thank Mr Rishav Rajora for his specific input on setting up hot wire anemometer, and Mr Ankur Gupta for assembling components of the diffuser. I wish to thank Dr S. Nasiruddin for his technical inputs and kind cooperation while conducting my experiments. I would also like to thank my work colleague Mr Shrish Shukla and Dr S. Nasiruddin, for their companionship and for providing pleasurable and friendly working atmosphere. My gratitude towards them will always remain for the liberty they gave me to approach them at any point, despite their busy schedule. I cherish all the time spent with them, especially the tea breaks as well as light-hearted conversations throughout my stay at IIT Delhi. I wish to thank my friends Dr Pritanshu Ranjan, Mr Rishav Rajora, Mr Anuj Shukla, Dr Bishweshwar Babu, Mr Rama Kant Singh, Mr Sandeep Yadav, Mr Hamid Hasan, Dr Lokesh Kumar Ragta who stood with me in difficult times. I feel indebted to their love, support and encouragement. I want to thank everyone else who played an essential role in completing this work and also express an apology if I have forgotten to thank someone personally.

I would also like to thank my Institution and my departmental research committee faculty members without whom this research work would have been a remote reality.

No words can express my deep sense of gratitude towards my parents for acting as pillars of strength, support and encouragement. Their unflinching love, blessings, encouragement and belief in me and extending support to my wife and daughter, despite all odds and pressures, gave me the strength all the time. I am very grateful to my wife, Puja, for her love, patience and cooperation and taking care of our daughter during the period of research work. It was impossible to complete this degree without her inspiration.

LAKHVINDER SINGH

Abstract

An infrared suppression system (IRSS) is an indispensable component of combat vehicles such as helicopters, ships, tanks, etc. Ejector diffuser, a passive IRSS device, is employed to suppress the infrared signatures originating from the exhaust gases and heated metal body of these vehicles. The mechanism of IRSS is based on the mixing of hot exhaust gases with the entrained ambient air within the ejector diffuser. Further, it has to recover static pressure such gas turbine performance is not affected. Ejector diffuser is a combination of a standalone ejector and a diffuser with slots. The performance of an ejector diffuser depends upon a larger number of geometrical and dynamical parameters. Inspite knowing the importance of an ejector diffuser for a combat vehicle yet the literature present in the open forum is scanty due to confidential nature of the application. Based on the available literature survey, various shapes of ejector diffuser such as circular, rectangular and oblong has been studied. Also, the effect of some of the geometrical parameters have been reported. However, no work related to the modification of slot shape by providing guidance at the slot has been conducted. The emphasis of the current work is to systematically investigate the various slot configurations such that higher performance can be achieved. The current study is conducted in two phases:

Experimental Study

Four ejector diffuser configurations are fabricated and are individually tested using a blower test rig. The four ejector diffuser configurations are broadly categorized as (i) inline slot with no guidance at the slot, and (ii) inline slot with guidance at the slot. Within

each category, there are two types of diffusers based on the slot area namely (i) constant slot area and (ii) increasing slot area. Thus the four ejector diffuser configurations are:

1. No guidance at the slot ejector diffuser with constant slot area (NGCA)
2. No guidance at the slot ejector diffuser with increasing slot area (NGIA)
3. Guidance at the slot ejector diffuser with constant slot area (GCA)
4. Guidance at the slot ejector diffuser with increasing slot area (GIA)

The experimental data has been obtained in terms of velocity profiles at multiple locations in the ejector diffuser using Five-hole probe. Static pressure taps are used to obtain wall static pressure. Resistance thermal detectors are used to obtain temperature profile in the case of hot flow conditions. Constant temperature hotwire anemometer is used to calculate nozzle inlet turbulence intensity. The experimental data is analysed to determine the effect of Reynolds number by varying it as $Re_{nz} = 7.3 \times 10^4, Re_{nz} = 1.2 \times 10^5, Re_{nz} = 1.8 \times 10^5, Re_{nz} = 2.3 \times 10^5$ for GCA. The analysis of flow and mass entrainment characteristics shows that the performance is independent of Reynolds number for the range investigated. Analyses of mass entrainment for all configurations shows that GIA entrains maximum ambient air. Comparison between the increasing slot area and constant slot area shows that the increasing slot area configuration for both the guided-slot and no-guided-slot ejector diffuser entrains higher ambient air. Analysis of static pressure recovery reveals that NGCA and NGIA recover approximately 1.75 times more static pressure compared to GCA and GIA.

Numerical Study

The numerical methodology adopted to carry out the simulation studies is first validated against the in-house experimental results and with the data available in the literature after having carried out grid sensitivity and order of convergence studies. The numerical results are broadly discussed in terms of local and cumulative mass entrainment ratio,

thermal characteristics, and static pressure recovery. Following numerical investigations are carried out to understand the performance and flow characteristics of the inline slot ejector diffuser:

1. **Optimization of Standalone Ejector:** This study is conducted for a standalone ejector such that the optimized ejector could be used for the complete ejector diffuser. In the first part, effect of nozzle inlet Reynolds number on mass entrainment is carried out for the ejector. The mass entrainment characteristics are found to be independent of Reynolds number when $Re_{nz} > 10^5$. In the second part, effect of standoff distance (SD) and mixing tube area ratio (AR_{mx}) on the performance of a circular air-air ejector is carried out. Standoff distance is varied in the range of $1D_{nz} < SD < 4D_{nz}$ where D_{nz} is the nozzle diameter while the AR_{mx} is varied over the range $1.25 < AR_{mx} < 4$. It is found that the performance of ejector diffuser is independent of SD when AR_{mx} lies between 2 and 2.5. Analysis of peak velocity at the inlet of mixing tube indicates that the jet does not expand beyond the mixing tube diameter for the ejector configurations having $1.25D_{nz} \leq SD \leq 2.5D_{nz}$ and $2.0 \leq AR_{mx} \leq 2.5$. In the third part, the length of the mixing tube is varied over the range $4D_{nz} \leq L_{mx} \leq 16D_{nz}$. It is found that when the mixing tube length exceeds $8D_{nz}$ it does not affect the performance of ejector. However, longer mixing tube helps in the flow development and the mixing of secondary and primary air.

2. **Investigation of Inline-slot Ejector Diffuser** Systematic studies are carried out to investigate the performance of various configurations of inline-slot ejector diffuser. Following studies are undertaken:

   (a) **Effect of Reynolds Number on Ejector Diffuser Performance:** The nozzle inlet Reynolds number is varied in the range of $4.3 \times 10^4 \leq Re_{nz} \leq 4.2 \times 10^5$. The local and cumulative mass entrainment ratio variations were within $\pm 1\%$, and the variations in C_p is within $\pm 1.5\%$. It is concluded that the performance of inline-slot ejector diffuser is independent of the Reynolds

number when $Re_{nz} > 4.3 \times 10^4$.

(b) **Effect of Guidance at the Slot:** Performance comparison is carried out between the two configurations of inline slot ejector diffusers with guidance at the slot (guided-slot case) and other having no guidance at the slot (no-guided-slot). Keeping all other geometrical and dynamical parameters consistent, the curved-guided-slot case achieves higher cumulative mass entrainment ($> 3.5\%$) as well as lower wall temperatures throughout the diffuser wall (nearly ambient temperature 300K). However, the limitation of the guided-slot case is lower static pressure recovery compared to the no-guided-slot case.

(c) **Effect of Slot Area:** Another critical design parameter for inline slot ejector diffuser is the slot-area. In this study, the slot-area along the length of the diffuser is varied as a function of the area of the first slot. Three variations are studied as (i) increasing slot area, (ii) constant slot area, and (iii) decreasing slot area. It is found that the performance of increasing slot area configurations is better than constant and decreasing slot area cases.

(d) **Effect of Slot Guidance Shape:** More variations of the shapes of the guidance at the slot are investigated namely (i) curved guidance at the slot with trailing edge parallel to diffuser wall, (ii) straight plate guidance at the slot. Analysis of the performance shows that significant difference in the performance is observed between the straight plate guidance and curved plate guidance. However, no difference in the performance is observed between the two configuration of curved-plate guidance (Flow exit from the guidance parallel to the diffuser axis or parallel to the diffuser wall).

(e) **Effect of Straight Plate Inclination:** More configurations of straight plate guidance at the slot are investigated by varying the angle of the plate formed between the slot and diffuser axis over the range $0^\circ \leq \theta \leq 28^\circ$. Higher mass entrainment and better thermal characteristics are observed with increasing

plate angle while pressure recovery reduces with increase in plate angle.

(f) **Study of Hybrid Slot Plate Guidance:** Design modifications to straight plate guidance at the slot is introduced by fusing two plates having angles of 0° and 28°, referred as hybrid slot. Two new design; (i) a hybrid guidance at the first slot only while other slots having straight plate guidance of 28° (Hybrid_first_slot) , and (ii) hybrid guidance at all the slots (Hybrid_all_slot) are investigated. It is found that the Hybrid_first_slot configuration beside higher mass entrainment and better thermal characteristics also recovers maximum static pressure.

सार

एक इन्फ्रारेड सप्रेशन सिस्टम (IRSS) लड़ाकू वाहनों जैसे हेलीकाप्टरों, जहाजों, टैंकों आदि का एक अनिवार्य घटक है। एक निष्क्रिय IRSS डिवाइस, इजेक्टर डिफ्यूज़र, इन वाहनों के एक्जास्ट गैसों और बाह्य धातु आवरण से उत्पन्न होने वाले इन्फ्ररेड सिग्नचर को सप्रेस करने के लिए किया जाता है। IRSS का कार्यतंत्र गर्म एग्जॉस्ट गैसेस और ठंडी वातुनिकुलित हवा के मिश्रण पर आधारित होता है। सामान्यत: गैस टरबाइन इंजन की कार्यप्रणाली इन मिश्रित गैसों के दभाव पर आधारित होती है, जोकि अत्यधिक बाह्य दभाव पर संचारित होती है और इस बाह्य दभाव में परिवर्तन इंजन के कार्यप्रणाली पर प्रतिकूल असर डालती है। इजेक्टर डिफ्यूज़र एक पूर्णत्व इजेक्टर और स्लॉट्स के साथ एक डिफ्यूज़र का संयोजन है। एक इजेक्टर डिफ्यूज़र का प्रदर्शन अनेक ज्यामितीय और गतिशील मापदंडों पर निर्भर करता है। इस प्रणाली की लड़ाकू विमानों में अत्यधिक उपयोगिता के बावजूद बहुत ही कम अवर्गीकृत अनुसन्धान साहित्य मौजूद है। इन उपलब्ध अनुसधान साहित्यो के अनुसार, विभिन्न प्रकार के इजेक्टर डिफ्यूजर मुख्यता वृत्ताकार, आयताकार और अंडाकार आकारों का वर्णन मिलता है। इस के साथ-साथ साथ, कुछ ज्यामितीय मापदंडों के प्रभाव का वर्णन मिलता है। परन्तु डिफ्यूजर के स्लॉट के आकारों में परिवर्तन के प्रभाव का कोई वृतांत नहीं मिलता है। अतः वर्तमान अनुसन्धान कार्य डिफ्यूज़र के विभिन्न स्लॉट आकारों का व्यवस्थित रूप से जांच करने पर केंद्रित है ताकि उच्च कार्यक्षमता प्राप्त की जा सके। वर्तमान अध्ययन की रूपरेखा दो चरणों में प्रयोजित की गयी है ।

प्रायोगिक अध्ययन: चार इजेक्टर डिफ्यूज़र आकार निर्मित गए हैं और पृथक रूप से विंड टनल का उपयोग करके परीक्षण किए गए हैं। चार इजेक्टर डिफ्यूज़र आकार (i) इनलाइन स्लॉट बिना वक्रता के साथ, और (ii) इनलाइन स्लॉट वक्रता के साथ। प्रत्येक श्रेणी के भीतर, स्लॉट क्षेत्र के आधार पर दो प्रकार के आकार हैं (i) निरंतर स्लॉट आकार और (ii) बढ़ते स्लॉट आकार। इस प्रकार चार इजेक्टर डिफ्यूज़र प्रस्तवित हैं:

1. निरंतर स्लॉट आकार (NGCA) के साथ स्लॉट इजेक्टर डिफ्यूज़र पर कोई वक्रता नहीं
2. बढ़ते स्लॉट आकार (NGIA) के साथ स्लॉट इजेक्टर डिफ्यूज़र पर कोई वक्रता नहीं
3. निरंतर स्लॉट आकार (GCA) के साथ स्लॉट इजेक्टर डिफ्यूज़र पर वक्रता
4. बढ़ते स्लॉट आकार (GIA) के साथ स्लॉट इजेक्टर डिफ्यूज़र पर वक्रता

पंच-छिद्र वायु वेग मापक यन्त्र का उपयोग करके इजेक्टर डिफ्यूज़र में कई स्थानों पर वेग वृतांत के संदर्भ में प्रयोगात्मक आँकड़े प्राप्त किये गए है। स्टैटिक प्रेशर टैप का उपयोग करके वॉल स्टैटिक प्रेशर प्राप्त किये गए है। प्रतिरोध थर्मल संसूचक गर्म वायु प्रवाह की स्थिति का तापमान वृतांत प्राप्त करने के लिए उपयोग किये गए है। सामान-तापमान हॉटवायर-एनीमोमीटर का उपयोग नोजल इनलेट टर्बुलेंस तीव्रता की गणना करने के लिए किया गया है । GCA आकार के लिए प्रायोगिक आँकड़े को रेनॉल्ड्स संख्या 7.3×10^4, 1.2×10^5, 1.8×10^5, 2.3×10^5 में लिए गए हैं और रेनॉल्ड्स संख्या में परिवर्तन के प्रभाव की अध्ययन किया गया है। यह अध्ययन का निष्कर्ष हमें अवगत कराता है की रेनॉल्ड्स संख्या में परिवर्तन का कोई गुणात्मक प्रभाव इजेक्टर डिफ्यूज़र की कार्यप्रणाली पर नहीं पड़ता है। सभी आकारों के लिए द्रव्यमान प्रवेश के विश्लेषण से पता चलता है कि GIA आकार अधिकतम वातुनिकुलित वायु का प्रवेश होता है। बढ़ते स्लॉट और निरंतर स्लॉट आकार के बीच तुलना से पता चलता है कि वक्रता स्लॉट आकार और बिना वक्रता स्लॉट आकार इजेक्टर डिफ्यूज़र दोनों के लिए बढ़ते स्लॉट आकारों पर उच्च वातुनिकुलित वायु प्रवेश करते हैं। स्टैटिक प्रेशर रिकवरी के विश्लेषण से पता चलता है कि GCA और GIA की तुलना में NGCA और NGIA में लगभग 1.75 गुना अधिक स्टैटिक प्रेशर मिलता है।

अभिकलन अध्ययन: अभिकलन अध्ययन को करने के लिए अपनाई जाने वाली पद्धति को पहले इन-हाउस प्रायोगिक परिणामों के मानदंड के अनुसार मान्य किया गया। साहित्य में उपलब्ध आंकड़ों के साथ ग्रिड-इंडिपेंडेंस और अभिसरण अध्ययन को पूरा किया गया है। अभिकलन परिणामों को स्थानीय और संचयी द्रव्यमान प्रवेश अनुपात, थर्मल विशेषताओं और स्टैटिक प्रेशर रिकवरी के संदर्भ में व्यापक रूप से वृतांत किया गया है। इनलाइन स्लॉट इजेक्टर डिफ्यूज़र के प्रदर्शन और प्रवाह विशेषताओं को समझने के लिए संख्यात्मक जांच के पश्चात:

1. **स्टैंडअलोन इजेक्टर का अनुकूलन:** यह अध्ययन एक स्टैंडअलोन इजेक्टर के लिए किया जाता है, ताकि पूर्ण इजेक्टर डिफ्यूज़र के लिए अनुकूलित इजेक्टर का उपयोग किया जा सके। पहले भाग में, द्रव्यमान प्रवेश पर नोजल इनलेट रेनॉल्ड्स संख्या का प्रभाव इजेक्टर के लिए किया जाता है। $Re_{nz} > 10^5$ के द्रव्यमान में प्रवेश की विशेषताओं को रेनॉल्ड्स संख्या से स्वतंत्र पाया जाता है। दूसरे भाग में, एक गोलाकार एयर-एयर इजेक्टर के प्रदर्शन पर स्टैंडऑफ़ दूरी (SD) और मिक्सिंग ट्यूब आकार अनुपात (AR_{mx}) का प्रभाव होता है। स्टैंडऑफ़ दूरी $1D_{nz} < SD < 4D_{nz}$ की सीमा में भिन्न होती है, जहां D_{nz} नोजल व्यास होता है, जबकि AR_{mx} $1.25 < AR_{mx} < 4$ से विविध होता है। यह पाया जाता है कि इजेक्टर डिफ्यूज़र का प्रदर्शन SD से स्वतंत्र है जब AR_{mx} के बीच स्थित होता है 2 और 2.5। मिक्सिंग ट्यूब के इनलेट पर उच्च आयाम वेग का विश्लेषण बताता है कि जेट $1.25D_{nz} \leq SD$

$\leq 2.5D_{nz}$ और $2.0 \leq AR_{mx} \leq 2.5$ वाले ईजेक्टर आकार के लिए मिक्स ट्यूब व्यास से आगे नहीं बढ़ता है। तीसरे भाग में, मिक्सिंग ट्यूब की लंबाई $4D_{nz} \leq L_{mx} \leq 16D_{nz}$ की सीमा से अधिक है। यह पाया जाता है कि जब मिक्सिंग ट्यूब की लंबाई $8D_{nz}$ से अधिक हो जाती है तो यह इजेक्टर करने वाले के प्रदर्शन को प्रभावित नहीं करता है। हालांकि, लंबे समय तक मिक्सिंग ट्यूब प्रवाह के विकास और माध्यमिक और प्राथमिक हवा के मिश्रण में मदद करता है।

2. **इनलाइन-स्लॉट इजेक्टर डिफ्यूज़र की जांच:** इनलाइन-स्लॉट इजेक्टर डिफ्यूज़र के विभिन्न आकारों के प्रदर्शन की जांच के लिए व्यवस्थित अध्ययन किए गए है । निम्नलिखित अध्ययन किए गए है:

   I. **इजेक्टोर डिफ्यूज़र प्रदर्शन पर रेनॉल्ड्स संख्या का प्रभाव**: नोजल इनलेट रेनॉल्ड्स संख्या $4.3 \times 10^4 \leq Re_{nz} \leq 4.2 \times 10^5$ की सीमा में है। स्थानीय और संचयी द्रव्यमान प्रवेश अनुपात में भिन्नता ± 1% के भीतर और C_p में भिन्नता 1.5% के भीतर है। यह निष्कर्ष निकाला गया है कि जब रेनॉल्ड्स 4.3×10^4 से अधिक है, तो इनलाइन-स्लॉट इजेक्टर डिफ्यूज़र का प्रदर्शन रेनॉल्ड्स संख्या से स्वतंत्र है।

   II. **स्लॉट पर वक्रता का प्रभाव**: स्लॉट में वक्रता के साथ इनलाइन स्लॉट इजेक्टर डिफ्यूज़र के दो आकारों और स्लॉट में कोई वक्रता नहीं होने के बीच प्रदर्शन की तुलना की जाती है। अन्य सभी ज्यामितीय और गतिशील मापदंडों को समरूप बनाए रखते हुए, घुमावदार-निर्देशित-स्लॉट आकार उच्च संचयी द्रव्यमान प्रवेश (> 3.5%) और साथ ही साथ डिफ्यूज़र आवरण (लगभग परिवेश तापमान 300K) में तापमान को कम करता है। हालांकि, वक्रता-स्लॉट मामले की तुलना में बिना वक्रता-स्लॉट कम स्टैटिक प्रेशर रिकवरी प्राप्त होती है।

   III. **स्लॉट आकार का प्रभाव**: स्लॉट आकार इजेक्टर डिफ्यूज़र के लिए एक महत्वपूर्ण डिजाइन पैरामीटर है। इस अध्ययन में, डिफ्यूज़र की लंबाई के साथ स्लॉट- आकार पहले स्लॉट के आकार के फलन के रूप में विविध है। तीन भिन्नताओं का अध्ययन (i) बढ़ते स्लॉट आकार, (ii) निरंतर स्लॉट आकार, और (iii) स्लॉट आकार में कमी के रूप में किया गया है। यह पाया गया है कि बढ़ते आकार के विन्यास का प्रदर्शन निरंतर और घटते स्लॉट आकार के मामलों से बेहतर है।

   IV. **स्लॉट वक्रता आकार का प्रभाव:** स्लॉट पर वक्रता के आकार की भिन्नता की जांच की गयी है जैसे (i) डिफ्यूज़र दीवार के समानांतर किनारे के साथ स्लॉट में घुमावदार वक्रता, (ii) सीधे स्लॉट में प्लेट वक्रता में की जाती है। इस प्रदर्शन के विश्लेषण से पता चलता है

कि सीधी प्लेट वक्रता और घुमावदार प्लेट वक्रता के बीच प्रदर्शन में महत्वपूर्ण अंतर पाया जाता है। हालांकि, घुमावदार प्लेट वक्रता के दो विन्यासों के बीच प्रदर्शन में कोई अंतर नहीं देखा जाता है (डिफ्यूज़र अक्ष के समानांतर वक्रता से प्रवाह बाहर निकलना या डिफ्यूज़र दीवार के समानांतर)।

V. **स्ट्रेट प्लेट झुकाव का प्रभाव**: स्लॉट में स्ट्रेट प्लेट वक्रता के अधिक विन्यासों की जांच स्लॉट और डिफ्यूज़र अक्ष के बीच के अंतर को अलग-अलग करके $0^0 \leq \theta \leq 28^0$ के रेंज में की जाती है। उच्च द्रव्यमान प्रवेश और बेहतर तापीय विशेषताओं को बढ़ते प्लेट कोण के साथ देखा जाता है जबकि स्टैटिक प्रेशर रिकवरी प्लेट कोण में वृद्धि के साथ कम हो जाती है।

VI. **हाइब्रिड स्लॉट प्लेट वक्रता का अध्ययन**: स्लॉट में स्ट्रेट प्लेट वक्रता के लिए डिजाइन संशोधनों को दो प्लेटों, 0^0 और 28^0 के कोणों को जोड़कर पेश किया जाता है, जिसे हाइब्रिड स्लॉट कहा जाता है। दो नए डिजाइन; (i) पहले स्लॉट में एक हाइब्रिड वक्रता केवल जबकि अन्य स्लॉट्स में 28^0 प्लेट (हाइब्रिड पहला स्लॉट) की सीधी प्लेट वक्रता होती है, और (ii) सभी स्लॉट्स में हाइब्रिड वक्रता (हाइब्रिड सभी स्लॉट) की जांच की गयी है। यह पाया जाता है कि हाइब्रिड पहला स्लॉट आकृति उच्च द्रव्यमान प्रवेश और बेहतर तापीय विशेषताओं के साथ उच्च स्टैटिक प्रेशर रिकवरी भी मिलती है।

Table of Contents

List of Figures

List of Tables

Nomenclature

Notations

C_p	coefficient of pressure recovery
c_p	specific heat at constant pressure
c_v	specific heat at constant volume
D_H	hydraulic diameter
e	internal energy
e_0	total energy
k	turbulent kinetic energy
m_{in}	nozzle exit mass flow rate
m_{je}	entrained mass flow rate through slot openings
p	static pressure
p_{ex}	mass weighted averaged static pressure at the exit
p_{in}	mass weighted averaged static pressure at the inlet
q	inlet dynamic pressure
R	gas constant
r	grid refinement factor
Re	Reynolds number
S_{ij}	mean strain rate tensor
$u^{'}, v^{'}, w^{'}$	velocity fluctuation in the x, y, z directions
u_τ	wall shear stress
y^+	dimesionless distance of the first cell height from the wall

D	diameter of a component
L	length of a component
m	mass flow rate at a cross section
N	total grid size
S	swirl number
T	temperature of the fluid
U	mean flow velocity

Greek Symbols

α	Velocity profile shape parameter
δ_{ij}	Kronecker delta
ϵ	turbulent dissipation energy
γ	inclined manometer angle
κ	local mass entrainment ratio
λ	thermal conductivity
λ_t	turbulent thermal conductivity
μ	dynamic viscosity of the fluid
μ_t	turbulent dynamic viscosity
ω	specific dissipation rate
ϕ	cumulative mass entrainment ratio
ψ	normalized temperature variation
ρ	denisty of the fluid
θ	angle between straight plate guidance and diffuser axis

Subscripts

in	nozzle inlet section
je	slot number
nz	nozzle inlet plane
pl	plenum
0	ambient conditions

g	exhaust gas temperature at the nozzle inlet
mx	mixing tube
tp	tailpipe

Abbreviation

AR	area ratio
GCA	guidance at the slot ejector diffuser with constant slot area
GI	grid index
GIA	guidance at the slot ejector diffuser with increasing slot area
IRSS	infrared suppression system
NGCA	no guidance at the slot ejector diffuser with constant slot area
NGIA	no guidance at the slot ejector diffuser with increasing slot area
SD	standoff distance
SIMPLE	semi implicit method for pressure linked equations
TI	turbulence intensity