STUDIES ON BENDING AND SHEAR BEHAVIOURS OF WOVEN FABRICS

MD SAMSU ALAM

DEPARTMENT OF TEXTILE & FIBRE ENGINEERING

INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY DELHI

OCTOBER 2019

STUDIES ON BENDING AND SHEAR BEHAVIOURS OF WOVEN FABRICS

by

MD SAMSU ALAM

Department of Textile & Fibre Engineering

Submitted

in fulfilment of the requirements of the degree of

Doctor of Philosophy

to the

INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY DELHI

OCTOBER 2019

Dedicated to

My Parents & Wife

CERTIFICATE

This is to certify that the thesis titled **'Studies on Bending and Shear Behaviours of Woven Fabrics'**, being submitted by **Md Samsu Alam** to the Indian Institute of Technology Delhi, for the award of the degree of **Doctor of Philosophy**, is a record of bonafide research work carried out by him. He has worked under our guidance and supervision and fulfilled the requirements for submission of the thesis which has attained the standard required for a Ph.D. degree of this Institute.

The results contained in this thesis have not been submitted, in part or in full, to any other university or institute for the award of any degree or diploma.

Dr. Abhijit Majumdar	Dr. Amit Rawal	Dr. Anindya Ghosh
Professor	Professor	Associate Professor
Department of Textile & Fibre Engineering Indian Institute of Technology Delhi New Delhi 110016, India	Department of Textile & Fibre Engineering Indian Institute of Technology Delhi New Delhi 110016, India	Department of Textile Technology Govt. College of Engineering & Textile Technology, Berhampore Berhampore 742101, India

New Delhi

Dated:

ACKNOWLEDGEMENTS

First and foremost, I acknowledge the love and blessings of the invisible force – the Almighty, for constant guidance and support throughout my Ph.D. work and through the intricacies of life, helping me to improve constantly as a human being.

I take immense pleasure to express my deep sense of gratitude to my supervisors, Prof. Abhijit Majumdar, Dr. Anindya Ghosh and Prof. Amit Rawal for their constant interest, invaluable supervision, continuous encouragement and cooperation throughout this research work. I am truly indebted to them for their indispensable guidance and support that they provided right from the inception to the successful completion of this endeavour.

My sincere gratitude also goes to the members of my research committee, Prof. R. Chattopadhyay, Prof. R. Alagirusamy and Prof. S. Kapuria (Department of Applied Mechanics, IIT Delhi), who have contributed significantly to the progress of my research work. I express my gratitude to the previous and present Heads of the Department, Prof. R. Chattopadhyay, Prof. B. K. Behera and Prof. A. K. Agrawal for granting easy and quick access to various facilities needed. I express my gratitude to Dr. B. S. Butola and Dr. W. Ali for being always ready to help me in times of need. I also express my sincere gratitude to all other faculty members of the Department of Textile & Fibre Engineering, IIT Delhi for their constructive suggestions and technical input.

In this occasion, I would also like to acknowledge the contribution of all my teachers who inspired, motivated and helped me greatly at various stages of my academic life. My sincere gratitude goes to Prof. Sudipta S. Mahish, Officer-in-Charge of GCETT Serampore for his consideration in allowing me to continue and conduct my experiments here in IIT Delhi. My sincere gratitude goes to Dr. Biswapati Chatterjee, Mr. Anirban

Dutta, Mr. Suchibrata Ray, Mr. Susanta S. De, Mr. Sajal Barman, and Dr. A. Biswas for encouraging me from time to time during the entire course of my work.

I express my sincere thanks to the staff members of all the laboratories and offices of the Department of Textile & Fibre Engineering, IIT Delhi for extending their helping hand whenever needed. My sincere thank goes to Mr. M. Kundu, Mr. M. Singh, Mr. B. Biswal, Mr. Jagadish, Mr. Suresh, Mr. S. Sharma, Mr. Pratap, and Mr. A. K. Sehgal for their kind and enthusiastic cooperation.

I also express my profound thanks to all my friends, Ph.D. seniors, colleagues and lab-mates, who helped me a lot in making this project successful. Here especially I would like to express my warm gratitude to my friends, Dr. Animesh Laha, Rupayan Roy, Unsanhame Mawkhlieng, Mukesh Bajya, Bapan Adak, Sanchi Arora, Dr. Ghanshyam Neje, Prakash Khude, Swati, Aranya, Anupam, Dr. Piyali Hatua, Vikash and Satish for their readiness to help me both in my professional as well as personal life. I acknowledge their contribution from the bottom of my heart.

Last but not least, my heartfelt thanks go to my loving wife, Iftejan for her unconditional sacrifice and for standing by my side till the successful completion of my research. I am indebted to my parents, Late Md Samsuzzoha and Late Bilkis Begam for showering me with their blessings from beyond. I am also grateful to my parents-in-law, Mr. Salimuddin Molla and Mrs. Nazma Khatun for their immense love and motivation and to other members of my family, Mrs. Samima Begam, Mr. Shah Alam Shah, Mrs. Samsun Niher, Parvez Molla, Suhana, Shinu (Pakku) and Mahi for their cheerful encouragement and moral upliftment.

Md Samsu Alam

ABSTRACT

The formation of fabric structures by means of weaving, knitting, braiding, etc. involves the bending of fibres and yarns. Bending plays an important role during the end use of textiles, because fabrics and their constituent fibres and yarns undergo flexing to different extent. On the other hand, shear is a property which distinguishes textile fabrics from other sheet like materials, namely paper and plastic. Though many researches have been conducted to understand and model the bending and shear behaviours of woven fabrics, still there are some unsolved issues like generalised model of shear behaviour of woven fabrics and engineering design of woven fabrics with targeted bending and rigidities.

In the first part of this research, influence of fibre blend, yarn count and fabric sett (ends per inch × picks per inch) on bending and shear rigidities of plain woven fabric was studied. Square plain fabrics were woven using 20 Ne, 30 Ne and 40 Ne yarns of three different blends (100% cotton, 100% polyester and 50:50 polyester-cotton). Different levels of fabric sett were considered as 50 inch^{-1}, 60 inch^{-1} and 70 inch^{-1}. Fabric bending and shear rigidities were measured by using Kawabata Evaluation System (KES) at low stress region. An increasing trend of fabric bending and shear rigidities was observed with lower proportion of polyester, coarser yarn count and higher fabric sett. Yarn count was found to be the most important parameter influencing fabric bending and shear rigidities followed by fabric sett and proportion of polyester. A strong degree of association was found between bending and shear rigidities of fabric.

In second part of this research, influence of weave on bending and shear rigidities of woven fabric was studied. Twelve fabrics were woven (6 each of 100% cotton and 100% polyester) by using yarns of 30 Ne. Six different weaves (plain, 2/1 twill, 3/1 twill, 2/2 twill, 2×2 matt and 5-end satin) were considered. Plain woven fabric showed the highest bending and shear rigidities, followed by twill and matt, in that order, whereas

satin showed the minimum values. The effect of weave was more dominant on shear rigidity than that on bending rigidity. Fabric weave factor was represented by two parameters, namely fabric crossover firmness factor and floating yarn factor. It was found that both the factors had a strong degree of association with bending and shear rigidities.

In the third part of this research, a generalised mathematical model of shear rigidity of woven fabric, having different weaves, was proposed. The shear rigidity of fabric was expressed as functions of yarn bending rigidity, fabric geometrical parameters and crossover firmness factor. Very good agreement was found between theoretically calculated and practically measured values of shear rigidity.

When fabrics are woven by varying fibre blend, yarn count and fabric sett independently, bending and shear rigidity show excellent agreement. However, this inference may not be valid if the fabric areal density is kept constant. Using the aforesaid logic, if fabrics of same areal density are woven by judiciously adjusting the yarn count and fabric sett, it may be possible to counter the concomitant relationship between fabric bending and shear rigidities. Thus, it may be possible to design a set of woven fabrics having similar bending rigidity but different shear rigidity or vice versa. In the fourth part of this research, 18 fabrics were woven (9 each of 100% cotton and 100% polyester) keeping the areal density same. All the fabrics were woven using yarns of 20 Ne, 30 Ne and 40 Ne in various combinations in warp and weft directions by adjusting yarn count and fabric sett. As the warp yarns became finer keeping the weft yarn same, fabric bending rigidity in warp direction remained unchanged but fabric shear rigidity in warp direction increased. On the other hand, as the weft yarns were made finer keeping the warp yarn same, warp wise fabric bending as well as shear rigidities increased. Similar results were obtained in transpose direction.

In the last part of this research, an attempt was made to design woven fabrics having low bending rigidity and high shear rigidity using multi-objective optimisation. Two approaches were used for multi-objective optimisation. The first approach was based on desirability function which combined individual desirability of objectives into overall desirability varying from 0 to 1. The overall desirability was maximised against the target values of bending and shear rigidities. It was possible to attain the overall desirability of 0.684 resulting from individual desirability of 0.662 and 0.707 for bending and shear rigidities, respectively. Experimental validation confirmed that the applied method can be effectively used to optimise the woven fabric mechanical properties at low stress region. The second approach was based on an evolutionary algorithm called Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA-II) which offered multiple optimal solutions which were non-dominating in nature. Pareto-optimal solutions were obtained. The experimental validation confirmed that the actual values of bending and shear rigidities of woven fabrics are very close to the respective Pareto optimal values.

सार

बुनाई, बुनना, ब्रेडिंग आदि के माध्यम से कपड़े संरचनाओं के गठन में रेशा और धागा के झुकने शामिल हैं। झुकने वस्त्र के अंत उपयोग के दौरान एक महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है, क्योंकि कपड़े और उनके घटक रेशा और धागा अलग हद तक फ़्लेक्सिंग। दूसरी ओर, शियर एक गुण है, जो कपड़े को कागज और प्लास्टिक की तरह अन्य शीट से अलग करता है। हालांकि कई शोध को समझने और बुना कपड़े के शियर और बेन्डिंग व्यवहार मॉडल आयोजित किया गया है, अभी भी बुना कपड़े के शियर व्यवहार के सामान्य मॉडल और बुना कपड़े के इंजीनियरिंग डिजाइन की तरह कुछ अनसुलझे मुद्दों के साथ कर रहे हैं लक्षित बेन्डिंग और शियर ।

इस शोध के पहले भाग में , रेशा मिश्रण के प्रभाव, धागा गिनती और कपड़े सेट (प्रति इंच × प्रति इंच उठाता है) बेन्डिंग और शियर पर और सादे बुने हुए कपड़े की का अध्ययन किया गया। वर्ग सादे कपड़े का उपयोग कर बुना गया 20 ने, 30 ने तथा 40 ने तीन अलग मिश्रणों के धागा (100% कपास, 100% पॉलिएस्टर और 50:50 पॉलिएस्टर-कपास। कपड़े सेट के विभिन्न स्तरों को 50 इंच $^{-1}$, 60 इंच $^{-1}$ और 70 इंच $^{-1}$ माना जाता। कम तनाव क्षेत्र में कावाबाटा मूल्यांकन प्रणाली का उपयोग करके कपड़े बेन्डिंग और शियर को मापा गया। कपड़े बेन्डिंग और शियर की बढ़ती प्रवृत्ति पॉलिएस्टर के कम अनुपात के साथ मनाया गया, मोटे धागा गिनती और उच्च कपड़े सेट साथ मनाया गया। धागा गिनती, कपड़े सेट और पॉलिएस्टर के अनुपात के बाद कपड़े बेन्डिंग और शियर को प्रभावित करने के लिए सबसे महत्वपूर्ण पैरामीटर होना पाया गया। कपड़े के बेन्डिंग और शियर के बीच एक मजबूत डिग्री संघ पाया गया।

इस शोध के दूसरे भाग में, बुने हुए कपड़े के बेन्डिंग और शियर पर बुनाई के प्रभाव का अध्ययन किया गया। 12 कपड़े बुना गया (6-100% कपास और 6-100% पॉलिएस्टर)। प्रत्येक कपड़े बुना गया 30 ने धागा से। छह विभिन्न बुनाई के उपयोग करके (प्लेन, 2/1 ट्विल, 3/1 ट्विल, 2/2 ट्विल, 2×2 मैट और 5-एन्ड साटन) गया। सादा बुना हुआ कपड़ा, ट्वील और मैट से ज्यादा बेन्डिंग और शियर दिखता है। उच्चतम बेन्डिंग और शियर उस क्रम में, जबकि साटन न्यूनतम दिखता है। बुनाई का प्रभाव बेन्डिंग और शियर पर उस से शियर पर अधिक प्रभावी था। कपड़ा बुनाई कारक दो मापदंडों, अर्थात् कपड़े विदेशी दृढ़ता कारक और चल धागा कारक द्वारा प्रतिनिधित्व किया गया था। यह पाया गया कि दोनों कारकों बेन्डिंग और शियर के साथ सहयोग की एक मजबूत डिग्री है।

इस शोध के तीसरे भाग में, बुना कपड़े की शियर का एक सामान्यतः गणितीय मॉडल, अलग बुनाई वाले, प्रस्तावित किया गया है। कपड़े की शियर धागा का बेन्डिंग कपड़े ज्यामितीय मापदंडों और विदेशी दृढ़ता कारक के कार्यों के रूप में व्यक्त किया गया है। बहुत अच्छा समझौता सैद्धांतिक रूप से गणना की और व्यावहारिक रूप से शियर के मूल्यों मापा के बीच पाया गया।

जब कपड़े अलग फाइबर मिश्रण , धागा गिनती और कपड़े सेट से बुना जाता है, बेन्डिंग और शियर उत्कृष्ट समझौते दिखता है। हालांकि, यह अनुमान मान्य नहीं हो सकता है अगर कपड़े वास्तविक घनत्व स्थिर रखा जाता है। उपर्युक्त तर्क का उपयोग करना, यदि एक ही क्षेत्रीय घनत्व के कपड़े विवेकपूर्ण रूप से धागा गिनती और कपड़े सेट का समायोजन करके बुना जाता है, तो कपड़े बेन्डिंग और शियर के बीच सहवर्ती संबंध का मुकाबला करना संभव हो सकता है। इस प्रकार, यह इसी तरह सामान बेन्डिंग लेकिन विविनय शियर का बुना कपड़े का एक सेट डिजाइन करने के लिए संभव हो सकता है।

इस शोध के चौथे भाग में, 18 कपड़े बुना गया (9 100% कपास और 100% पॉलिएस्टर) क्षेत्रीय घनत्व ही रखते हुए। सभी कपड़े धागा गिनती और कपड़े सेट का समायोजन करके ताना और बाने दिशाओं में विभिन्न संयोजनों में 20 ने, 30 ने और 40 ने के धागा का उपयोग कर बुना गया था। जैसे-जैसे बाने के धागा को एक ही रखने में ताना दिशा में महीन वृद्धि हुई, ताना दिशा में झुकने वाले कपड़े का बेन्डिंग अपरिवर्तित रहे। विपरीत परस्तिथि में कपड़े का बेन्डिंग और शियर ताना दिशा में वृद्धि हुई। इसी प्रकार के परिणाम स्थानांतरित दिशा में प्राप्त किए गए थे।

इस शोध के अंतिम भाग में, बहु-वस्तुपरक अनुकूलन का उपयोग करके कम बेन्डिंग और उच्च शियर वाले बुने हुए कपड़ों को डिजाइन करने का प्रयास किया गया । बहु-ऑब्जेक्टिव ऑप्टिमाइज़ेशन के लिए दो तरीकों का उपयोग किया गया। पहला दृष्टिकोण वांछनीयता समारोह पर आधारित था जो उद्देश्यों की व्यक्तिगत वांछनीयता को 0 से 1 तक अलग-अलग समग्र वांछनीयता में संयुक्त करता था। बेन्डिंग और शियर के लक्ष्य मूल्यों के खिलाफ समग्र वांछनीयता अधिकतम किया गया था। यह क्रमशः बेन्डिंग और शियर के लिए 0.662 और 0.707 की व्यक्तिगत वांछनीयता के परिणामस्वरूप 0.684 की समग्र वांछनीयता प्राप्त करने के लिए संभव है। प्रायोगिक सत्यापन की पुष्टि की है कि लागू विधि प्रभावी ढंग से कम तनाव क्षेत्र में बुना कपड़े यांत्रिक गुणों को अनुकूलित करने के लिए इस्तेमाल किया जा सकता है। दूसरा दृष्टिकोण गैर-प्रमुख छंटनी आनुवंशिक एल्गोरिथ्म द्वितीय - II (न. स. ग. ऐ. - II) कहा जाता है जो कई इष्टतम समाधान है जो प्रकृति में गैर प्रभुत्व थे की पेशकश की एक विकासवादी एल्गोरिथ्म पर आधारित था. परेटो-अनुकूल समाधान प्राप्त किए गए थे। प्रयोगात्मक सत्यापन की पुष्टि की है कि बुना कपड़े के बेन्डिंग और शियर के वास्तविक मूल्यों बहुत संबंधित परेटो अनुकूल मूल्यों के करीब हैं।

TABLE OF CONTENTS

LIST OF FIGURES

LIST OF TABLES