

СНИЖЕНИЕ УСИЛИЯ ПРОКАЛЫВАНИЯ МАТЕРИАЛА ИГЛОЙ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМ ВОЗДЕЙСТВИИ НА ИГОЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ

Бутовский П.М., Палнавазирова Н.

Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, г.

Ташкент, Узбекистан

Аннотация

В работе исследуется применение ультразвуковых колебаний в игольном механизме швейной машины для снижения усилия прокалывания материала в процессе шитья. Интеграция ультразвуковых колебаний (20-40 кГц) в систему иглодержателя демонстрирует значительное снижение сопротивления прокалыванию различных текстильных материалов. Экспериментальные результаты показывают, что ультразвуковое воздействие снижает усилие прокалывания иглой на 25-40% по сравнению с традиционными методами шитья. Это приводит к уменьшению износа иглы, улучшению качества строчки, снижению повреждений ткани и уменьшению энергопотребления.

Ключевые слова: ультразвуковое шитье, усилие прокалывания, швейные технологии, текстильное производство.

Процесс шитья является одной из фундаментальных операций в текстильном и швейном производстве, включающей механическое прокалывание слоев ткани иглой для создания стежков [1]. Усилие прокалывания иглой является критическим параметром, влияющим на качество строчки, повреждение ткани, долговечность иглы и общую эффективность шитья [2]. Высокие усилия прокалывания могут привести к отклонению иглы, обрыву нити, посадке ткани и повышенному износу компонентов машины [3].

Применение ультразвуковой энергии в производственных процессах показало значительные успехи в различных областях, включая сварку, резку и формообразование [4]. Ультразвуковая обработка материалов широко изучалась в металлообработке, где высокочастотные вибрации, наложенные на режущий инструмент, значительно снижают усилия резания [5]. Однако применение ультразвуковой технологии конкретно к механизму прокалывания иглой в швейных машинах остается относительно неизученным.

Основной принцип ультразвуковой обработки материалов заключается в наложении высокочастотных механических вибраций (обычно 20-40 кГц) с малыми амплитудами (5-50 мкм) на рабочий инструмент [6]. Целью данного исследования является демонстрация эффективности интеграции ультразвуковых колебаний в игольный механизм швейных машин для количественного измерения снижения усилия прокалывания при обработке различных текстильных материалов.

Экспериментальная установка состояла из модифицированной промышленной швейной машины JUKI DDL-8700, оборудованной системой ультразвуковой вибрации, интегрированной в механизм иглодержателя. Ультразвуковая система включала: ультразвуковой генератор (20-40 кГц, регулируемая частота), пьезоэлектрический преобразователь (мощность 100 Вт), амплитудный усилитель и специально разработанный механизм связи, соединяющий ультразвуковой концентратор с иглодержателем.

Ультразвуковой концентратор был спроектирован для колебаний в продольном режиме вдоль оси иглы, накладывая высокочастотные вибрации (амплитуда: 10-25 мкм) на обычное возвратно-поступательное движение иглы. Усилие прокалывания измерялось с использованием пьезоэлектрического датчика силы (Kistler 9217A, диапазон: 0-250 Н) и системы сбора данных с частотой дискретизации 10 кГц.

Испытывались пять различных типов тканей:

1. Хлопок 100% полотняного переплетения (150 г/м²)

2. Хлопко-полиэфирная смесь саржевого переплетения ($200 \text{ г}/\text{м}^2$)
3. Джинсовая ткань ($340 \text{ г}/\text{м}^2$)
4. Техническая полиэфирная ткань ($420 \text{ г}/\text{м}^2$)
5. Многослойный композит (3 слоя хлопка, $450 \text{ г}/\text{м}^2$)

Для каждого типа ткани проводились измерения усилия прокалывания в двух условиях: обычное шитье (ультразвук ВЫКЛ) и ультразвуковое шитье (ультразвук ВКЛ при оптимальной частоте). Для каждого условия записывалось 30 циклов прокалывания, извлекалось пиковое усилие прокалывания для анализа.

Таблица 1 представляет экспериментальные результаты, показывающие пиковые усилия прокалывания для обычного и ультразвукового шитья.

Таблица 1. Пиковые усилия прокалывания иглой

Тип ткани	Обычное шитье (Н)	Ультразвук (Н)	Снижение (%)
Хлопок	$3,85 \pm 0,31$	$2,67 \pm 0,24$	30,6
Хлопок-полиэстер	$5,12 \pm 0,42$	$3,54 \pm 0,29$	30,9
Джинс	$8,76 \pm 0,68$	$5,28 \pm 0,51$	39,7
Техническая ткань	$11,34 \pm 0,89$	$7,15 \pm 0,62$	36,9
Многослойный композит	$13,92 \pm 1,12$	$8,51 \pm 0,74$	38,9

Результаты демонстрируют значительное снижение усилия прокалывания иглой по всем испытанным материалам при применении ультразвукового воздействия ($p < 0,001$). Снижение усилия варьировалось от 30,6% до 39,7%, при этом большее снижение наблюдалось для более тяжелых и плотных тканей.

Механизм снижения усилия

Снижение усилия прокалывания может быть объяснено несколькими механизмами:

1. Эффект суперпозиции. Ультразвуковые вибрации создают динамический профиль движения, при котором игла испытывает периодические микроперемещения вперед и назад, наложенные на основной ход прокалывания [7]. Это приводит к снижению среднего контактного усилия между иглой и волокнами ткани.

2. Снижение трения. Высокочастотные колебания уменьшают коэффициент трения между поверхностью иглы и волокнами ткани за счет прерывистого контакта [8]. Во время обратной фазы каждого ультразвукового цикла происходит кратковременное разделение, снижающее общую энергию трения.

3. Эффект размягчения материала. Ультразвуковые вибрации могут вызывать локальные концентрации напряжений в структуре ткани перед острием иглы, облегчая разделение волокон при меньшем приложенном усилии [9].

4. Резонансное усиление. Когда ультразвуковая частота приближается к определенным собственным частотам структуры ткани, может происходить усиленная передача вибрации через материал, дополнительно снижая сопротивление прокалыванию [10].

Оптимизация частоты

Оптимальная ультразвуковая частота немного варьировалась для различных тканей: легкие ткани — 32-33 кГц, тяжелые ткани — 28-30 кГц, многослойные композиты — 29-31 кГц. Эта вариация связана с различиями в структурных характеристиках ткани, включая диаметр нити, плотность переплетения и взаимодействие слоев.

Существенное снижение усилия прокалывания иглой имеет несколько важных практических преимуществ:

- Уменьшение износа иглы: более низкие усилия прокалывания приводят к уменьшению механических напряжений в игле, потенциально продлевая срок службы иглы на 40-60%.

- Улучшение качества строчки: уменьшенное отклонение иглы приводит к более стабильному формированию стежка.
- Предотвращение повреждения ткани: более низкие усилия минимизируют деформацию ткани, обрыв волокон и расширение отверстий вокруг точек прокола.
- Энергоэффективность: несмотря на дополнительный ввод энергии для генерации ультразвука (50-100 Вт), общее снижение механического сопротивления может привести к снижению нагрузки на двигатель.
- Расширенные возможности обработки материалов: технология позволяет надежно обрабатывать материалы, ранее считавшиеся сложными, включая ультраплотные технические ткани и толстые многослойные композиты.

ВЫВОДЫ

Данное исследование успешно продемонстрировало, что интеграция ультразвуковых колебаний в игольный механизм швейных машин значительно снижает усилие прокалывания ткани. Основные выводы:

1. Ультразвуковое воздействие снижает усилие прокалывания иглой на 30-40% для различных типов тканей, с большим снижением для более тяжелых и плотных материалов.
2. Механизм снижения усилия включает суперпозицию микровибраций, снижение трения и облегченное разделение волокон в структуре ткани.
3. Оптимальные ультразвуковые частоты находятся в диапазоне 28-35 кГц в зависимости от характеристик ткани.
4. Практические преимущества включают уменьшение износа иглы, улучшение качества строчки, минимизацию повреждений ткани и расширенные возможности обработки сложных материалов.

Будущие исследования должны быть сосредоточены на долгосрочных испытаниях долговечности ультразвуковых швейных систем,

исследований влияния на различные типы стежков и экономическом анализе затрат на внедрение по сравнению с преимуществами производительности.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Gersak J. Design of Clothing Manufacturing Processes: A Systematic Approach. Woodhead Publishing, 2013.
- [2] Stylios G.K., Lloyd D.W. Prediction of Seam Pucker in Garments // International Journal of Clothing Science and Technology. 1989. Vol. 1(1). P. 6-11.
- [3] Hersh S.P., Grady P.L. Needle Heating During High-Speed Sewing // Textile Research Journal. 1969. Vol. 39(2). P. 101-120.
- [4] Khmelev V.N. et al. Application of Ultrasonic Oscillations in Technological Processes // AIP Conference Proceedings. 2016. Vol. 1683. P. 020078.
- [5] Brehl D.E., Dow T.A. Review of Vibration-Assisted Machining // Precision Engineering. 2008. Vol. 32(3). P. 153-172.
- [6] Astashev V.K., Babitsky V.I. Ultrasonic Processes and Machines: Dynamics, Control and Applications. Springer, 2007.
- [7] Zhang Y. et al. Modeling and Experimental Study on Ultrasonic Vibration-Assisted Cutting // Materials. 2019. Vol. 12(21). P. 3478.
- [8] Kumar V.C., Hutchings I.M. Reduction of the Sliding Friction of Metals by the Application of Ultrasonic Vibration // Tribology International. 2004. Vol. 37(10). P. 833-840.
- [9] Amini S. et al. Ultrasonic-Assisted Grinding of Ti-6Al-4V Alloy // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. 2008. Vol. 222(9). P. 1179-1188.
- [10] Ahmed N. et al. Study of Material Removal Rate and Surface Roughness in Wire Electric Discharge Machining // Materials and Manufacturing Processes. 2016. Vol. 31(13). P. 1733-1741.