

Mehr Sicherheit an der Maschine

Inzwischen haben nahezu alle deutschen Hersteller von Holzbearbeitungsmaschinen ihre konventionellen Schutzvorhangsysteme aus Weich-PVC durch silikonbeschichtetes Polyamidgewebe ersetzt. Durch die neuen Vorhangsysteme ergeben sich jedoch noch offene Problemstellungen. Beispielsweise die Frage, welche Gefahr bei einem Kontakt zwischen der Vorhanglamelle und dem schnellrotierenden Werkzeug entsteht. In einem Forschungsvorhaben hat das Institut für Werkzeugmaschinen der Universität Stuttgart gemeinsam mit dem Institut für Textil- und Verfahrenstechnik Denkendorf u. a. das Verhalten von textilbasierten Vorhangsystemen beim Kontakt mit rotierenden Werkzeugen untersucht.

Von Uwe Heisel, Thomas Stehle, Vincenzo Forcillo, Andreas Gebhardt

Die Splitterschutzvorhangsysteme an Holzbearbeitungsmaschinen müssen derzeit einer Beschussprüfung mit einem Projektil der Masse 100 g und einer Beschussgeschwindigkeit von 70 m/s unterzogen werden, um sicherzustellen, dass sie den Maschinenbediener im Falle eines Werkzeugbruchs ausreichend schützen. Diese Anforderungen bezüglich der Rückhaltefähigkeit von Maschinenkapseln für Holzbearbeitungszentren nach EN 848-3 [1] erfüllen derzeit nur textilbasierte Schutzvorhangsysteme aus Polyamid. Durch Verwendung dieser innovativen Schutzvorhangsysteme, beste-

hend aus hochfesten Fasern, können jedoch weitere Gefahren entstehen. Der vorliegende Bericht beschreibt das Verhalten von Schutzvorhangsystemen beim Kontakt mit rotierenden Werkzeugen. Die dargestellten Ergebnisse werden im Rahmen des Forschungsvorhabens „Untersuchung textilbasierter Splitterschutzvorhangsysteme zur Steigerung der anwendungsgerechten Arbeitssicherheit“ (AiF-Nr. KF384ZN) des Forschungskuratoriums Maschinenbau e.V. gewonnen, das im Programm zur Förderung der „Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF)“ vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) über die AiF fi-

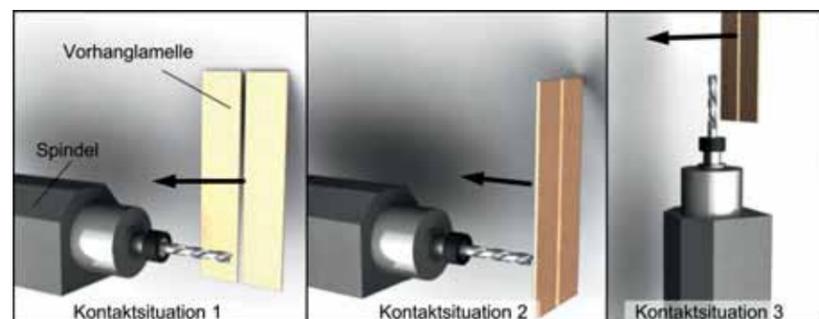


Bild 1: Potenzielle Kontaktsituationen zwischen Werkzeug und Schutzvorhang

Fotos: IfW

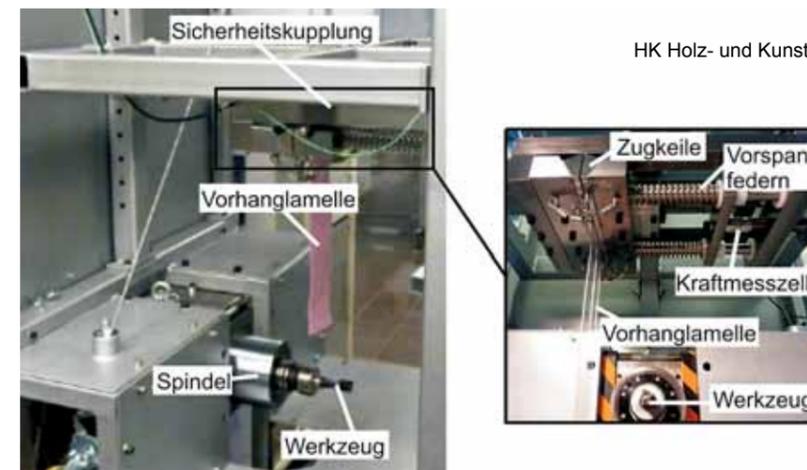


Bild 2: Prüfstand zur Analyse der Kontaktsituationen zwischen Vorhangsystem und rotierendem Werkzeug (links), Sicherheitskupplung (rechts)

nanziert wird. Das Vorhaben wird in Zusammenarbeit zwischen dem Institut für Werkzeugmaschinen (IfW) der Universität Stuttgart und dem Institut für Textil- und Verfahrenstechnik Denkendorf (ITV) durchgeführt.

Umstellung der Schutzvorhangsysteme auf textilbasierte Systeme

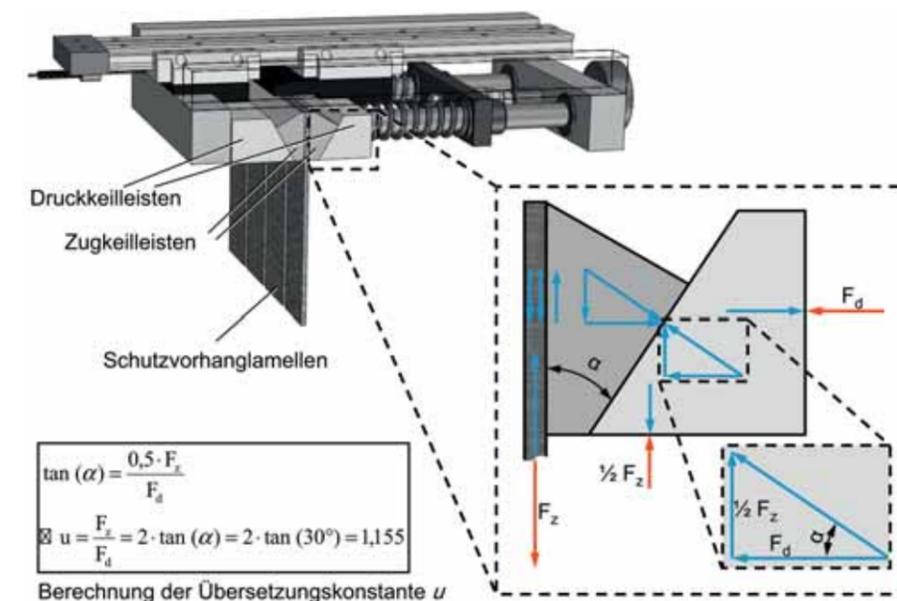
In der Vergangenheit kam es zu teils tödlichen Arbeitsunfällen an Holzbearbeitungszentren durch aus der Maschine herausgeschleuderte Werkzeugbruchstücke. Daraufhin wurde von der europäischen Kommission eine Überarbeitung der Sicherheitsnorm EN 848-3 [1] für Holzbearbeitungsmaschinen, insbesondere im Hinblick auf die Gefahr des Herausschleuderns von Teilen in Auftrag gegeben. Um die neue Norm zu erfüllen, mussten Schutzvorhänge aus neuen Materialien gefunden werden, da die ursprünglich verwendeten Weich-PVC-Materialien den geänderten Bedingungen der Beschussprüfung mit den schwereren Prüfkörpern nicht standhielten [2]. Dage-

gen zeigt sich, dass ein silikonbeschichtetes Polyamidgewebe ein geeignetes Material für derartige Schutzvorhänge darstellt [3,4]. Da die bisher erarbeiteten Lösungen aus hochfesten Fasern bestehen, könnte es bei einem solchen Kontakt im Worst Case jedoch zu einem Werkzeugbruch oder zu einer Beschädigung der Maschinenspindel kommen.

Gefahr durch Kontakt des Vorhangs mit dem rotierenden Werkzeug

Von konventionellen PVC-Vorhängen geht keine Gefahr bei einem Kontakt mit dem rotierenden Werkzeug aus, da bei diesen im Kontakt mit dem scharfen Werkzeug sofort ein Materialabtrag durch Zerspanung stattfindet. Bei den verwendeten hochfesten, textilbasierten Splitterschutzvorhangsystemen ist jedoch die Auswirkung eines Kontakts zwischen Vorhanglamelle und rotierendem Werkzeug nicht bekannt.

Bild 3: Funktionsprinzip der Sicherheitskupplung



SPECIAL LIGNA

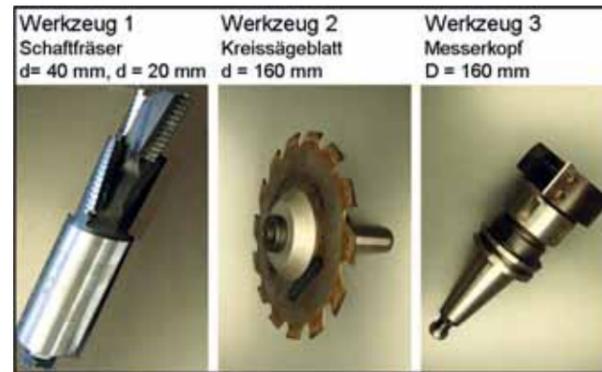
Da diese Textilgewebe aus hochfesten Fasern wie zum Beispiel Polyamid oder Aramid hergestellt werden und je nach eingesetztem Textil eine Reißkraft von bis zu 8000 N bei einer 50 mm breiten Lamelle aufweisen können, besteht die Gefahr, dass sich die Lamelle selbst, Gewebestücke oder zahlreiche Fasern um das Werkzeug wickeln und so das Werkzeug oder sogar die Maschinenspindel schädigen. Bei einem ganzen Vorhangsystem bestehend aus beispielsweise 20 Lagen erhöhen sich die Belastungen entsprechend der Lagenanzahl.

Auslegung eines Prüfstandes zur Simulation des Werkzeugkontakts

Um die potenziellen Gefahrensituationen zu untersuchen, wurde am IfW ein Prüfstand konzipiert, der die Simulation aller realen Kontaktsituationen zwischen den Vorhanglamellen und den rotierenden Werkzeugen (zum Beispiel Schaftfräser, Messerkopf und Kreissägeblätter) ermöglicht. Grundsätzlich lassen sich drei Kontaktsituationen identifizieren. Bild 1 zeigt die im Prüfstand realisierten Kontaktsituationen. Hierbei ist zu beachten, dass das Vorhangsystem zur besseren Übersichtlichkeit hier exemplarisch nur aus zwei Lamellen dargestellt ist.

Bild 2 zeigt den Prüfstand mit einer Schutzkapsel und einer schwenkbaren Spindeleinheit. Die angetriebene Welle ist mit einer Steilkegelschnittstelle ausgestattet, sodass verschiedene Werkzeugtypen zu den Versuchsreihen herangezogen werden können. Der zu prüfende

Bild 4: Untersuchte Werkzeugtypen



Vorhang wird über eine höhenverstellbare Linearführung, an dem eine spezielle Vorhangaufnahme angebracht ist, dem rotierenden Werkzeug zugeführt.

Ein Schutz der Spindel allein durch eine Notabschaltung ist nicht ausreichend, da durch das Trägheitsmoment des Spindel-systems (Spindelwelle, Lager, Rotor und Werkzeug), abhängig von der Drehzahl und dem Werkzeugdurchmesser, große Kräfte entstehen können. Aus diesem Grund ist der Einsatz einer zusätzlichen Sicherheitskupplung notwendig. Diese unterbricht den Kraftfluss zwischen Spindel, Werkzeug, Vorhang und Gestell bei Erreichen einer Maximalkraft.

Die Sicherheitskupplung ist auf dem Prinzip aneinander abgleitender Keilleisten, die durch Druckfedern vorgespannt sind, aufgebaut (siehe Bild 3). Dabei bewirkt der Zug am Vorhang ein Abgleiten der inneren Keile an den feststehenden äußeren Keilen gegen die dadurch steigende Federkraft. Bei Überschreitung der zulässigen Zugkraft (1500 N) werden die inneren Keile aus der Vorrichtung gezogen und der Vorhang freigegeben und somit Schäden an der Spindel verhindert. Über die schiefe Ebene der Keilleisten wird die tatsächliche Zugkraft am Vorhang umgerechnet. Die Funktionsweise der Sicherheitskupplung ist in Bild 3 dargestellt.

Durch die schiefe Ebene entsteht aus der vertikalen Zugkraft am Vorhang F_z eine proportionale horizontale Druckkraft F_d auf die Federn. Diese wird durch ein Kraftmesselement gemessen. Durch die Übersetzungskonstante u der schiefen Ebene wird die Zugkraft berechnet.

Als Versuchswerkzeuge wurden typische, häufig in Bearbeitungszentren eingesetzte Werkzeugtypen verwendet. Wie in Bild 4 dargestellt, handelt es sich dabei um einen Schaftfräser, ein Kreissägeblatt und einen Messerkopf. Es wurden mehrere Vorhangmaterialien herangezogen, bei denen bereits in vorhergehenden Untersuchungen eine ausreichende Rückhaltefähigkeit nachgewiesen werden konnte. Material a ist ein konventioneller PVC-Vorhang, wie er bis zur Änderung der Norm EN 848-3 [1] in nahezu allen Holzbearbeitungsmaschinen eingesetzt wurde. Material b ist ein Textilgewebe aus Polyamid, das beidseitig mit Silikon beschichtet ist. Material c ist ein ebenfalls hochfestes mit Weich-PVC beschichtetes Aramidgewebe.

Bei Material d handelt es sich um Lamellen aus Polyester-Gurtbändern, wie sie in der Automobilbranche als Sicherheitsgurte eingesetzt werden. Material e ist unbeschichtetes Vliesmaterial und Material f ein Kautschukmaterial. Bezüglich der Rückhaltefähigkeit von diesen Werkstoffen bestanden Material b, c und d die Beschussprüfungen. Jedoch stellt Material b bezüglich seines Verschleißverhaltens und des geringen Flächengewichts die geeignetste Variante zum Einsatz in Holzbearbeitungszentren dar.

In Bild 5 ist der schematische Messaufbau inklusive der verwendeten Messtechnik



Bild 5: Schematischer Versuchsaufbau und verwendete Messtechnik

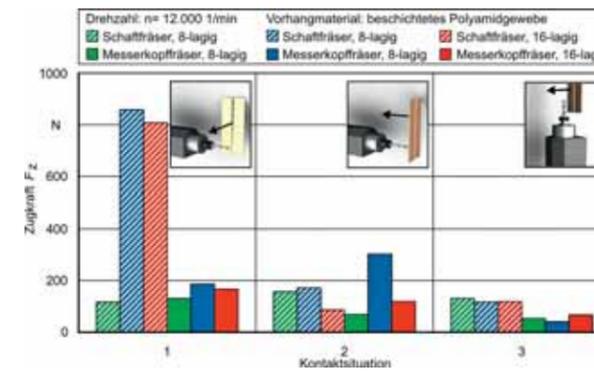


Bild 6: Zugkräfte bei verschiedenen Kontaktsituationen (Versuchswerkzeuge: Schaftfräser und Messerkopf, Versuchsmaterial b)

nik dargestellt. Zur Beurteilung der hochdynamischen Vorgänge kommt neben dem bereits erwähnten Kraftmesselement ebenfalls eine Hochgeschwindigkeitskamera zur optimalen Bewertung des Kontaktverhaltens zwischen Vorhang und Werkzeug zum Einsatz.

Beurteilung der Gefährdung

In mehreren Versuchsreihen wurden die Kontaktversuche für die beschriebenen Lamellenmaterialien mit unterschiedlichen Lagenanzahlen in den drei Kontaktsituationen und den beschriebenen Werkzeugen untersucht. Bild 6 zeigt die Versuchsergebnisse bezüglich der Zugkraft am Vorhang exemplarisch für das silikonbeschichtete Polyamidgewebe. Die schraffiert dargestellten Messwerte beschreiben die Versuche mit dem Schaftfräserwerkzeug, die weiteren Messwerte die Daten des Messerkopfes. Da die entstandenen Zugkräfte beim Kreissägeblatt etwa denen des Messerkopfes entsprechen, sind diese Messwerte aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht aufgeführt.

Weiterhin fällt auf, dass die auftretenden Zugkräfte auf den Vorhang vor allem beim Schaftfräserwerkzeug stark schwanken. In Kontaktsituation 1 ist beim einlagigen Vorhang die Zugkraft beim Schaftfräser mit 120 N der kleinste Wert, im Vergleich dazu steigert sich die Zugkraft beim gleichen Werkzeug und einer Erhöhung der Lagenanzahl auf 8 bzw. 16-Lagen auf 870 N bzw. auf 805 N. Bei Kontaktsituation 2 und 3 sinkt bei allen Vorhangsystemen, unabhängig der Anzahl der Lagen, die Zugkraft oder bleibt annähernd konstant.

In einer weiteren Versuchsreihe wurden die verschiedenen Lamellenmaterialien miteinander verglichen. Die Ergebnisse zeigen bei allen Materialien, dass die maximalen Zugkräfte am Vorhang deutlich unter den Festigkeitswerten der Materialien selbst liegen (siehe Bild 7).

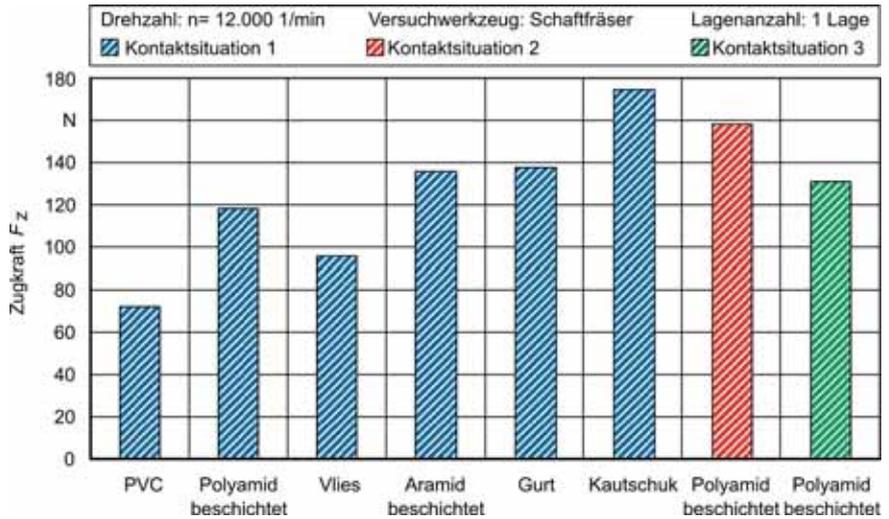
Grundsätzlich lassen sich aus den durchgeführten Versuchen drei Versagensarten des Lamellenmaterials ableiten: 1. Vollständiges Zerspanen (Schaben) des Vorhangs; 2. Zerschneiden oder Zerreißen des Vorhangs; 3. Ausreißen des Vorhangs an der Einspannstelle. Eine vollständige Zerspanung tritt lediglich bei der konventionellen PVC-Lamelle auf. Im Vergleich mit den anderen Versagensarten werden hierbei die geringsten Kräfte am

SPECIAL LIGNA

Bild 7: Vergleich der maximalen Zugkräfte am Vorhang bei verschiedenen Materialien

Vorhang hervorgerufen. Die beschichteten Polyamid- und Aramidgewebe sowie die Polyester-Gurtlamellen werden zerschnitten bzw. zerrissen. Vlies- und Kautschuklamellen reißen jeweils an der Vorhangaufhängung aus. Bei Kautschuk werden dabei die höchsten Zugkräfte am Vorhang mit 175 N gemessen. Derzeit werden in der Industrie hauptsächlich Splitterschutzvorhänge aus beschichtetem Polyamid eingesetzt. Die in den Versuchen ermittelten Zugkräfte am Vorhang liegen beim einlagigen Aufbau mit maximal etwa 120 N in einem Bereich, in dem weder für das Werkzeug noch für die Spindel eine Gefährdung besteht.

In Bild 8 ist links eine PVC-Lamelle nach dem Versuch dargestellt. Die Lamelle wurde durch das rotierende Werkzeug zerspannt und in zwei Teile getrennt. Das gewellte Profil der Schneiden des Schaftfräasers ist deutlich auf beiden Hälften der durchtrennten Lamelle zu erkennen. Der Kraftverlauf ist rechts dargestellt. Hieraus lässt sich die Vorspannkraft von etwa 30 N (bei 0 s) ablesen. Ab dem Zeitpunkt des Kontakts zwischen Lamelle und Vorhang (bei ca. 0,2 s) und dem Kraftanstieg (bei ca. 3,25 s) zeigt der Kraftverlauf starke Schwingungen, die auf den Schneideneingriff beim Zerspannen des Vorhangs zurückzuführen sind. Die Durchtrennung der Lamelle ist mit einem kurzen Kraftanstieg verbunden, woraufhin sich der Kraftverlauf auf einem Niveau oberhalb von 40 N einstellt. Der zu erwartende Abfall der gemessenen Zugkraft auf den Wert der Vorspannkraft wird von der



Haftreibung zwischen Zug- und Druckkeile verhindert.

Das beschichtete Polyamidgewebe (Material b) zeigt ein gänzlich anderes Verhalten als das PVC-Material. Die Lamelle wurde durch das Werkzeug auf etwa dreiviertel ihrer Breite zerschnitten. Dabei ist deutlich der Eingriff der Werkzeug-Schneiden zu erkennen.

Das Fazit

Da die verwendeten Materialien oftmals Reißfestigkeiten von mehreren tausend Newton aufweisen, können sich bei einem Kontakt die Vorhanglamellen um das Werkzeug wickeln, wodurch extrem hohe Kräfte entstehen können. Hierdurch kann es zu Beschädigungen an der Spindellagerung, dem Werkzeug oder der Absaughaube, an der das Vorhangsystem befestigt ist, kommen. Um die genannten Szenarien zu analysieren, wurde am IfW

ein Prüfstand entwickelt, der es ermöglicht, verschiedene Kontaktsituationen zwischen Vorhang und Werkzeug zu realisieren.

Als Ergebnis der vorliegenden Untersuchungen lässt sich festhalten, dass die verschiedenen Lamellenmaterialien beim Kontakt mit dem rotierenden Werkzeug unterschiedlich hohe Zugkräfte entwickeln, die nicht mit den eigentlichen Zugfestigkeitskennwerten der Vorhangmaterialien korrelieren. Entgegen den Erwartungen wurde bei keinem der beschriebenen Untersuchungen eine für die Spindel kritische Querkraft (1 500 N) am System erreicht. Auch bei der Verwendung eines Kreissägeblattes konnte keine, weder für das Werkzeug noch für die Maschine und somit für den Maschinenbediener kritische Situation hervorgerufen werden. Zusammenfassend kann durch die Versuchsreihen nachgewiesen werden, dass von den neuen Splitterschutzvorhangsystemen, die eine deutlich größere Rückhaltefähigkeit als die konventionellen PVC-Vorhänge aufweisen, keine Gefahr für die Maschine und den Maschinenbediener ausgeht.

Links, Bild 8: PVC-Lamelle nach dem Versuch (links) und ermittelter Kraftverlauf (rechts). Rechts, Bild 9: Lamelle aus beschichtetem Polyamid nach dem Versuch (links) und ermittelter Kraftverlauf (rechts)

