

WESTBÖHMISCHE UNIVERSITÄT IN PILSEN
Fakultät für Maschinenbau
Lehrstuhl für Material und Maschinen-Metallurgie

BEURTEILUNG DER TRAGFÄHIGKEIT VON DISTANZPLATTEN AUS POLYPROPYLEN

Technischer Bericht

Kunde : Fa. Dieter Karg

Lehrstuhlleiter : Doz. Dipl.- Ing. Václav Mentl, CSc.

Berichtersteller : Dipl.- Ing. Jaroslav Kaiser

Pilsen, Dezember 2005

1. EINLEITUNG

Auf Wunsch von Fa. Dieter Karg wurden durch den Lehrstuhl für Material und Maschinen-Metallurgie der Westböhmisches Universität in Pilsen Versuchsserien durchgeführt, deren Zweck die Prüfung der Betriebstragfähigkeit der bei dem Bau von Einfamilienhäusern zum Niveaueingleich (Spieleinstellung) zwischen den einzelnen Bauelementen verwendeten Distanzplatten war. Diese Distanzplatten hatten verschiedene Dicken und unterschiedliches Konstruktionsdesign. Nach den uns vom Kunden erteilten Informationen wurden diese Distanzplatten aus homopolymer-thermoplastischem Material – Polypropylen erzeugt, der unter dem Handelsnamen Mosten, Typ 52.412 bekannt ist. Zur Verfügung gestellt wurde uns auch das technische Blatt der Gesellschaft Chemopetrol, a.s. mit Informationen über die Art und Weise der Herstellung dieses Kunststofftyps (Spritzgießen) sowie über seine physikalisch-mechanischen Eigenschaften und möglichen Einsatz. Zeichnungsunterlagen (Produktionszeichnung) zu diesen Distanzeinlagen wurden uns nicht vorgelegt.

Diese Distanzeinlagen wurden in den Maßen von ca. 130 x 50 mm - Dicke 2, 3, 5, 8, 10, 12 mm erzeugt. Sie hatten einen rechteckigen (vollen) Querschnitt. Eine Sonderart stellten die Distanzeinlagen mit Dicke von ca. 20 mm dar, die als profiliert gefertigt wurden.

Nach gegenseitiger Konsultation wurden für die Prüfungen Probestücke mit Dicke von 3, 10 und 20 mm ausgewählt. Seitens des Kunden wurden ca. 15 Probestücke von einer jeden vorgeannten Dicke geliefert.

Aus der Sicht der Betriebsbelastung werden die Distanzeinlagen vor allem durch die mechanische Druckbelastung (durch einzelne Bauteile) beansprucht, deren Größe nach den Angaben des Kunden max. 15 000 kp (147 100 N) beträgt.

2. EXPERIMENTALPROGRAMM

Um die erforderlichen Experimentalangaben zu gewinnen sowie mit Rücksichtnahme auf die Betriebsbelastung war zum Simulieren der Betriebsbelastung die statische mechanische Druckprüfung gewählt. Die zu diesem Zweck dienende Prüfmaschine wurde mit einer entsprechenden Vorrichtung bestückt, die Bestandteil ihres Zubehörs ist. Die Prüfung sollte sich der tatsächlichen Betriebsbelastung der Distanzeinlagen in maximal möglichem Maße annähern. Die vorgeschlagene Anordnung von Experimentalprüfungen sowie die nachfolgende Ausführung von Bewährungsproben wurde mit dem Kunden konsultiert und von diesem voll abgestimmt.

Bei der Prüfung wurde so verfahren, dass zuerst das gesamte Belastungsdiagramm im Koordinatensystem „Druckkraft – absolute Stauchung“ erstellt wurde, und zwar immer für ein Probestück der gegebenen Stärke. Aufgrund dieses Diagramms wurden dann die Bereiche von elastischen und elastisch-plastischen Deformationen ermittelt. Als Limitgrenze der

zulässigen Größe der dauerhaften Deformation wurde der Wert gewählt, der 1% der Ausgangsstärke gleich ist. Diese Größe der plastischen Deformation wird gewöhnlich bei der Ermittlung der Vertrags-Streckgrenze gewählt = Spannungswert, bei dessen Überschreiten dauerhafte plastische Kunststoffdeformationen entstehen. Weil die Ausgangsdicke der geprüften Distanzeinlagen unterschiedlich war, mussten auch die Limitwerte der zulässigen Deformationen unterschiedlich sein. Bei der Distanzeinlage mit Dicke von ca. 3 mm betrug die zulässige Limitgröße der plastischen Deformation 0,03 mm, bei der Distanzeinlage mit Dicke von ca. 10 mm dann 0,1 mm und bei der Distanzeinlage mit Dicke von 20 mm 0,2 mm.

Danach wurde der erste Kraftpegel vorgeschlagen, der in der Nähe der Grenzscheide zwischen den elastischen und elastisch-plastischen Deformationen lag, wobei bei der Herabsetzung der Belastungskraft die Größe der dauerhaften (plastischen) Deformation gemessen wurde. Die nach der Entlastung gemessene Größe der plastischen Deformation wurde mit dem Limitwert der plastischen Deformation verglichen. Falls der Experimentalwert der plastischen Deformation einen höheren Wert aufwies, wurde im Versuch fortgeschritten – durch die allmähliche Herabsetzung des Belastungspegels (das Experiment wurde jedoch immer bei einem neuen Probestück - Distanzeinlage vorgenommen).

Nach dem Erreichen der gewählten Kraft wurde die sofortige Entlastung des geprüften Stücks vorgenommen und dem nachfolgend der Experimentalwert seiner plastischen Deformation wieder gemessen. War der Experimentalwert niedriger als der Limitwert, wurde ein neues Experiment an einem neuen Probestück ausgeführt, das auf die gleiche Größe der Belastungskraft, mit Haltedauer auf diesem Belastungspegel von 30 Minuten belastet wurde. Nach der nachfolgenden Entlastung wurde sofort die Stärke der Distanzeinlage ermittelt. Das Ziel dieses Experiments war die Feststellung solch einer Belastungskraft (für jede gegebene Stärke der Distanzplatte), welche nicht die Entstehung von plastischen (dauerhaften) Deformationen über der Limitgrenze verursachen würde. Der Grund für die Wahl des Versuchsvorgangs mit Haltedauer der Belastungskraft von 30 Minuten ist die Tatsache der Abhängigkeit der Deformation von der Zeitdauer.

Die statische mechanische Prüfung wurde an der elektrohydraulischen Zerreißmaschine ZD-20 (Fa. VEB WPM Leipzig) ausgeführt.

3. EXPERIMENTERGEBNISSE

Aufgrund der zusammen mit dem Kunden vorgenommenen Analyse der Art und Weise der realen mechanischen Belastung von Distanzplatten wurde das Verfahren (Methodik) für die Prüfung und Auswertung vorgeschlagen - siehe Kap.2), wobei das Experiment selbst streng organisiert wurde.

Bei der eigenen Prüfung wurden die Distanzplatten nach und nach belastet (siehe Kap.2) – mit sofortiger Herabsetzung der Belastungskraft nach deren Erreichen oder mit der nachfolgenden 30-Minuten-Haltedauer der Belastungskraft. Nach der nachfolgenden Entlastung wurde die Messung der Dicke von geprüften Distanzplatten ausgeführt – um die Größe von irreversiblen (plastischen, dauerhaften) Deformationen ermitteln zu können. Die Größen und Anzahl von Belastungskräften wurden mit Rücksichtnahme auf die Größe der gemessenen plastischen (dauerhaften) Deformation gewählt - im Bezug auf deren Limitwert, der je nach der Ausgangsdicke der Einlage bestimmt war. Es wurden auch die Größen der Druckbeanspruchungen berechnet, die den einzelnen Belastungskräften entsprechen.

Die Experimentergebnisse sind in den Tabellen Nr. 1, Nr. 2 und Nr.3 zusammengefasst.

Tabelle Nr.1 Distanzeinlage Dicke ca. 3 mm, Ausgangsmaße 129,4 x 49,8 mm, Ausgangsquerschnitt $S_0 = 6444,12 \text{ mm}^2$

Größe der Belastungskraft F [kN]	Dauerhafte (plastische) Deformation nach der Entlastung [mm]	Dauerhafte (plastische) Deformation nach der Krafthaltedauer von 30 Minuten [mm]	Entsprechende Druckspannung [MPa]
198	0,04	0,04	30,73
160	0,03	0,04	24,83
158	0,03	0,03	24,52
155	0,01	0,01	24,05
150	0,00	0,01	23,28

1
J

Anmerkung.: 1 kp = 9,81 N

Tabelle Nr. 2 Distanzeinlage Dicke ca. 10 mm, Ausgangsmaße 129,4 x 49,8 mm, Ausgangsquerschnitt $S_0 = 6444,12 \text{ mm}^2$

Größe der Belastungskraft F [kN]	Dauerhafte (plastische) Deformation nach der Entlastung [mm]	Dauerhafte (plastische) Deformation nach der Krafthaltedauer von 30 Minuten [mm]	Entsprechende Druckspannung [MPa]
198	1,46		30,73
160	0,86		24,83
140	0,69		21,73
120	0,58		18,62
100	0,52		15,52
80	0,39		12,41
60	0,24		9,31
50	0,25		7,76
40	0,23		6,21
35	0,14	0,21	5,43
25	0,09	0,14	3,88
22	0,08	0,08	3,41
20	0,06	0,06	3,10

Tabelle Nr.3 Distanzeinlage Dicke ca. 20 mm, Ausgangsmaße 129,4 x 49,8 mm, Ausgangsquerschnitt $S_0 = 6444,12 \text{ mm}^2$

Größe der Belastungskraft F [kN]	Dauerhafte (plastische) Deformation nach der Entlastung [mm]	Dauerhafte (plastische) Deformation nach der Krafthaltedauer von 30 Minuten [mm]	Entsprechende Druckspannung [MPa]
140	0,52		21,73
100	0,28		15,52
90	0,26		13,97
70	0,15	0,37	10,86
60	0,12	0,29	9,31
50	0,09	0,23	7,76
48	0,08	0,13	7,45
45		0,13	6,98
40		0,13	6,21

4. ERGEBNISDISKUSSION

Aus den Tabellen Nr.1, Nr.2 und Nr.3 (Kap.3) ist die Anzahl der Experimente ersichtlich, die zwecks der Beurteilung der Tragfähigkeit von Distanzplatten ausgeführt wurden. Bei den Distanzplatten mit Dicke von ca. 3 mm handelte es sich um 10 Probestücke, bei den Platten mit Dicke ca. 10 mm dann um 17 Stück und bei den Platten Dicke ca.20 mm um 13 Stück. Es war immer eine Zufallsauswahl.

Wie schon im Kapitel 2 angeführt, war als zulässige Limitgröße der dauerhaften Deformation der Wert gewählt, der 1% des gemessenen Wertes der Ausgangsdicke (d.h. der ursprünglichen Dicke) des geprüften Stücks gleich war. Dieser Wert der plastischen Deformation wird in der Regel bei der Ermittlung der Streckgrenze bei der Zug- und Druckbelastung als (vereinbarten) Vertrags-Spannungswertes gewählt, nach deren Überschreiten bei dem Kunststoff dauerhafte (plastische) Deformationen entstehen. Weil die Ausgangsstärke der geprüften Distanzeinlagen unterschiedlich war, mussten auch die Limitwerte der zulässigen Deformationen unterschiedlich sein. Bei der Distanzplatte mit Dicke von ca. 3 mm betrug die zulässige Limitgröße der plastischen Deformation 0,03 mm, bei der Distanzplatte mit Dicke von ca. 10 mm dann 0,1 mm und bei der Distanzplatte mit Dicke von 20 mm 0,2 mm. Die Änderungen der Größe der Limitdeformation bei den einzelnen Dicken der Distanzplatten ergeben sich aus der bekannten Tatsache, dass mit dem sich ändernden Verhältnis der Höhe zum Querschnitt, ev. der Höhe zum Durchschnitt sich die Größe der Limitdeformation ändert, d.h. dass mit dem wachsenden Verhältnis der Höhe zum Querschnitt die Größe der Limitdeformation wächst. Und mit dem wachsenden Verhältnis der Höhe zum Querschnitt sinkt gleichzeitig der Wert der Grenzspannung. Aus dem Grund der Zeitabhängigkeit des Deformationsverhaltens des Einlagenmaterials wurden die Experimente in zwei Regimes ausgeführt. Das erste Regime verlief so, dass sofort nach dem Erreichen des gewählten Kraftpegels die Kraftentlastung auf den Null-Wert folgte und die sofortige Deformationsmessung. Das zweite Regime basierte auf der 30-Minuten-Haltedauer des Kraftpegels (siehe die Tabellen Nr.1, 2 und 3).

Aus den in den Tab. Nr.1, 2 und 3 angeführten Experimentalwerten ergibt sich, dass bei der Distanzplatte mit Stärke von ca. 3 mm die maximale Belastungskraft 158 kN ($1 \text{ kp} = 9,80665 \text{ N}$) gleich ist – bei der Größe der dauerhaften (plastischen) Deformation nach der Entlastung $\Delta L_{pl} = 0,03 \text{ mm}$ für beide Belastungsregimes. Bei der Distanzplatte mit Stärke von ca. 10 mm ist die Maximalbelastungskraft gleich 22 kN – bei der Größe der dauerhaften (plastischen) Deformation nach der Entlastung $\Delta L_{pl} = 0,08 \text{ mm}$, und bei der profilierten Distanzplatte mit Stärke von ca. 20 mm ist es schon die Maximalkraft von 48 kN, welche die dauerhafte Deformation $\Delta L_{pl} = 0,13 \text{ mm}$ im Falle von längerer Wirkung der Belastungskraft verursacht.

In den Tabellen Nr. 1, 2 und 3 sind auch die Druckspannungen angeführt, die den applizierten Kraftbelastungen entsprechen. Diese den Limiten der plastischen Deformationen entsprechenden Spannungen können als zu niedrig erscheinen. In solch einem Fall wäre zu erwägen, wie viele Distanzplatten bei dem Bauspielausgleich – mit Rücksichtnahme auf das Gewicht der Bauteile – verwendet werden, denn mit der wachsenden Anzahl der Distanzplatten wächst auch die Fläche, auf die das Gewicht der Bauteile wirkt, und die Größe der Druckspannung auf die Distanzplatten sinkt.

4. SCHLUSS

Aus den im Kapitel 3 (Tabellen Nr. 1, 2 und 3) angeführten Ergebnissen ist ersichtlich, wie hoch die Betriebskraftbelastungen der Distanzplatten von verschiedenen Dicken sein können, damit die Möglichkeit der Grenzstanderreicherung der plastischen Deformation von kritischer Größe minimalisiert wird.

Es kann also gesagt werden, dass die Distanzplatten während eines realen Betriebs, bei der Erwägung des Zeitfaktors und bei deren wiederholten Verwendung fähig sind, die 100%-Funktionsfähigkeit zu sichern, und zwar unter der Voraussetzung, dass die Belastungskraft von 158 kN (16112 kp) (Distanzplatten mit Dicke von ca. 3mm), die Belastungskraft von 22 kN (2243 kp) (Distanzplatten mit Dicke von ca. 10 mm) und die Belastungskraft von 48 kN (4895 kp) bei der profilierten Distanzplatte mit Dicke von ca. 20 mm nicht überschritten wird.

WESTBÖHMISCHE UNIVERSITÄT IN PILSEN
Fakultät für Maschinenbau
Lehrstuhl für Material und Maschinen-Metallurgie

gez. Unterschrift, Stempel