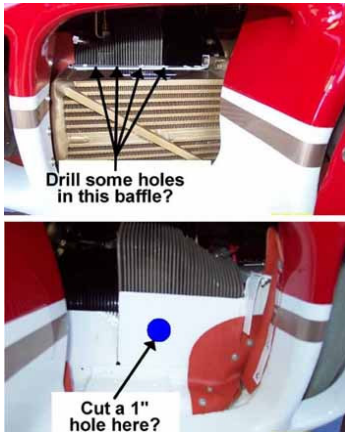


קירור מנוע – פחות זה יותר

נכתב על ידי Mike Busch, תורגם על ידי איציק מה-יפית, מתוך AVweb מאתריך 19.1.2005.

הערת המתרגם: ממתי התייחסנו לתהליך קירור המנוע המותקן בחזית המטוס בו אנחנו טסים? מתי הקפדנו בבדיקה לפני טיסה להביט גם לכיוון אותם פסי הגומי המזוירים מתחת לחיפוי המנוע? מסתבר שלקירור המנוע יש חשיבות לא פחותה משאר מערכות המנוע. לקרוא וללמוד.

"לאחרונה המנוע שלי שופץ והורכב מחדש והותקנה בו ערכת מסיטי זרימה חדשים", כתב לי לאחרונה בעליו של צסנה T210. "ה- CHTs (טמפרטורת ראש הצילינדר) של צילינדרים מספר 5 ו- 6 תמיד חמים יותר ב- 20°F עד 30°F מאשר השאר. במהלך טיפוס ההבדל אפילו גדל. קשה מאד לשמור על ה- CHTs של צילינדרים מספר 5 ו- 6 מתחת ל- 400°F במהלך טיפוס, אפילו עם מדפי קירור פתוחים ותערובת עשירה.



"האם עלי לספק להם מעט אוויר?" שאל הבעלים, בצרפו מספר תמונות דיגיטאליות של מה שעלה בדעתו. "בצילינדר מספר 6, מדוע לא לפתוח חור אחד או שניים במסיטי הזרימה הלבנים מאלומיניום בחזית הצילינדר? בצילינדר מספר 5, מדוע לא לקדוח חור אחד או יותר בלוח האלומיניום האופקי הממוקם מאחורי מקרן השמן?".

השבתי שפתחת חורים במסיטי הזרימה בהחלט אינה רעיון טוב, והדבר יחמיר ללא ספק את בעיות הקירור, ולא ייטיב אותן. נראה שבעליו של ה- T210 לא הבין כיצד עובדת מערכת הקירור במטוס שלו, או מה תפקיד מסיטי הזרימה. הוא אינו לבד, הבחנתי שלא מעט מכונאים גם הם אינם מבינים זאת.

קירור: אז ועכשיו

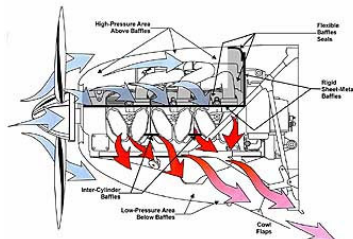
בימים המוקדמים של התעופה, מתכנני מטוסים נקטו בגישה פשוטה לבעיות קירור מנועי מטוסים. המנועים הותקנו עם צלעות הקירור בחוץ בזרם המדחף, וקוררו על ידי הזרימה האופקית של אוויר המגה. תכנון זה נודע כ"קירור מהירות", והתאים לקירור מנועים רדיאליים בעלי שורה אחת ודחיסה נמוכה של אותם הימים.



ככל שעוצמת המנועים גדלה, ונכנסו לשירות מנועים רדיאליים רבי שורות ומנועים מנוגדים, הובהר שקירור מהירות פשוט אינו מתאים למשימה. קודם כל, הקירור היה בלתי שווה, הצילינדרים הקדמיים קבלו הרבה יותר זרימת אוויר קירור מאשר הצילינדרים האחוריים. מעבר לכך, הוצאת כל הצילינדרים הללו החוצה לבריזה יצרה גרר קירור נוראי. כמוכן שנדרשה שיטה אחרת.

מערכת טובה יותר זו נודעה כ"קירור בלחץ", והינה השיטה שמשמשים בה בכל מטוסי בוכנה מודרניים. קירור בלחץ מושג על ידי מיקום חיפוי סביב המנוע ושימוש במערכת של מסיטי זרימה ואטמים ליצירת הנפח והתבנית של זרימת אוויר קירור הדרושה להשגת קירור שווה עם גרר מזערי.

מה עושים מסיטי זרימה?



מטוסי הבוכנה המודרניים שלנו מונעים על ידי מנועים אופקיים מנוגדים, מחופים בקפדנות. בתוך החיפוי, מערכת של מסיטי זרימה קשיחים מאלומיניום ואטמים גמישים, מחלקים את תא המנוע לשני תאים: אזור לחץ גבוה מעל הצילינדרים, ואזור לחץ נמוך מתחת לצילינדרים ומאחורי המנוע. הצילינדרים מקוררים על ידי זרימה אנכית של אוויר מהלחץ הגבוה מעל המנוע ללחץ הנמוך מתחתיו. זרימת אוויר לקירור הינה מלמעלה למטה, לא מקדימה אחורה.

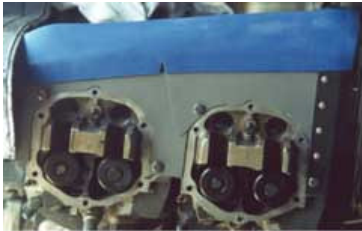
נפח זרימת אוויר הקירור שעוברת לאורך הצילינדרים הינה פונקציה של הפרשי לחץ בין התא העליון (לחץ גבוה) והתא התחתון (לחץ נמוך) של תא המנוע. הפרש לחץ זה ידוע כ- "delta P". לעתים משתמשים במדפי קירור לוויסות זרימת אוויר הקירור. פתיחת מדפי הקירור מפחיתה את לחץ האוויר בתא התחתון, ובכך מגדילה את ה- delta P ועקב כך את נפח אוויר הקירור שעובר בצורה אנכית לאורך צלעות הקירור של הצילינדר.

חשוב להבין שהפרש הלחץ בין התא העליון והתחתון הינו קטן בצורה משמעותית: מטוס בוכנה טיפוסי, בעל ביצועים גבוהים, נשען בדרך כלל על delta P של רק 6 או 7 אינטש מים בלבד, כ- PSI 1/4! מתכנני מטוסים מנסים לשמור על delta P זה מזערי אבסולוטית, כיוון ש- delta P גבוה יותר משמעותו גרר קירור גבוה יותר.

אם כך, מה אם הם לא...

כיוון שהפרש הלחץ (delta P) שבו תלוי קירור המנוע, הינו כה קטן, אפילו לנזילות קטנות במערכת מסיטי הזרימה והאטמים יכולות להיות השפעות חמורות על קירור המנוע. כל חוסר, שבר או מיקום לא מתאים של מסיטי זרימה או אטמים יפחית את קירור המנוע על ידי מתן מעבר חילופי למעבר אוויר מהתא העליון לתא התחתון, ללא זרימה אנכית דרך צלעות הקירור של הצילינדר. (זוהי בדיוק ההשפעה שיכולה הייתה להתרחש לו בעליו של ה- T210 היה פותח חורים במסיטי הזרימה, וזו הסיבה שהתנגדתי מאד לרעיון.)

יתכן והחלק הנוטה לבעיות במערכת הקירור הינו מערכת האטמים הגמישים. משתמשים בפסים גמישים אלו (בדרך כלל גומי סיליקון, עמיד בטמפרטורה גבוהה) לאטום את המרווחים בין מסיטי הזרימה המתכתיים והחיפוי. מרווחים אלו חיוניים כיוון שמסיטי הזרימה נעים סביב חלקו הפנימי של החיפוי כאשר המנוע נע על מתליו.



בכדי לבצע את תפקידם, האטמים חייבים לנטות למעלה וקדימה לתוך תא הלחץ הגבוה, כך שהפרש הלחץ (delta P) לוחץ את האטמים בחוזקה כנגד החיפוי. אם מאפשרים לאטמים לנטות לכיוון אחר מאזור הלחץ הגבוה, לא קשה לעשות זאת כאשר סוגרים את החיפוי ללא תשומת לב, הם עלולים להתרחק מהחיפוי במהלך הטיסה ולאפשר לכמויות גדולות של אוויר להימלט ללא ביצוע קירור.



אני זוכר בדיקת צסנה TR182 לפני כמה שנים, שהטייסים שלה התלוננו על CHTs גבוהים. בעת הסרת חיפוי המנוע העליון, איתרתי מייד את הבעיה: אחד ממוליכי ההצתה נותב שלא כיאות ונלכד בין אטם מסיט זרימה והחיפוי, מונע מהאטם להיצמד כנגד החיפוי. המוליך השתפשף חמורות במקום בו התחכך בחיפוי, והמכונאי עטף את אזור השפשוף בסרט בידוד, אולם לא ניתב מחדש את המוליך העטוף להרחיקו מאטם המסיט. ברור שהמכונאי לא הבין את חשיבות איטום האוויר בין אטמי מסיטי הזרימה והחיפוי. מיקומו מחדש של מוליך ההצתה פתר גם את בעיה הקירור וגם את בעיית השפשוף.

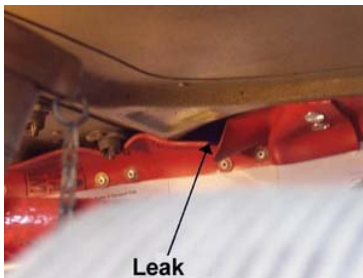
בעיה נפוצה נוספת הינה שהאטמים יכולים להתקפל או להתקמט כאשר מתקינים את החיפוי, דבר המונע מהם לאטום כנגד החיפוי, ומאפשרים לאוויר להימלט. חשוב לחפש בתשומת לב בעיות אלו כל פעם שהחיפוי מוסר, ובמיוחד חשוב כאשר אטמים חדשים מותקנים (כפי שהיה המקרה של ה- T210).



חלק אחר של מערכת הקירור, הנוטה לבעיות, הינו מסיטי הזרימה בין הצילינדרים. אלו הם פיסות מתכת קטנות, בעלות צורה משונה, המותקנים מתחת ובין הצילינדרים. מטרתם הינה לאלץ את אוויר הקירור הזורם מטה לעטוף ולקרר את תחתית הצילינדרים, ולא רק את ראשם וצדיהם. קשה לראות מסיטי זרימה אלו, אלא אם אתם יודעים היכן בדיוק לחפשם, אולם הם קריטיים בהחלט לקירור נאות. אין זה בלתי נפוץ או להשאירם בחוץ בעת הרכבת מנוע, או ליפול במהלך פעולת המנוע. בכל מקרה, התוצאה הינה בעיות קירור רציניות.

לאחרונה, הבחנתי שצילינדר מספר 3 במנוע ימין על הצסנה T310R שלי פעל בצורה ניכרת בטמפרטורה גבוהה יותר משכניו. הסרתי את החיפוי העליון מבית מנוע ימין ובדקתי בתשומת לב את כל מסיטי הזרימה מאלומיניום ואטמי הגומי, אולם לא מצאתי משהו שלא כשורה. מתוסכל, הסרתי את החיפוי התחתון כך שיכול הייתי לבחון את צידו התחתון של המנוע. כצפוי, גיליתי שהמסיטי הפנימי בין צילינדרים 1 ו-3 השתחרר עקב רעידות, וזו כרבע אינטש ממיקומו, יוצר נזילת אוויר משמעותית קרוב לצילינדר מספר 3. מיקומו מחדש של המסיטי כיאות, והידוק בורגי החיבור שלו היטב למקומו כנגד הצילינדר ובית גל הארכובה, פתרו את הבעיה.

מדוע המנוע של ה - T210 פעל בצורה חמה



עם כל זה כרקע, כתבתי דוא"ל לבעליו של ה - T210 בניסיון למנוע ממנו מלבצע חורים במסיטי הזרימה שלו, והצעתי במקום זאת שייבחן את מסיטי הזרימה והאטמים שלו לחורים ומרווחים שניתן לסתום אותם לשיפור הקירור. יומיים מאוחר יותר, הבעלים שלח לי סדרה של תמונות דיגיטאליות המראות חצי תריסר נזילות אוויר שהוא מצא במסיטי הזרימה החדשים שלו.

אחת מהתמונות הללו מגלה נזילת אוויר משמעותית עקב אטם מסיטי זרימה גמיש מקומט. בעיה זו הופיעה כנראה כאשר החפוי העליון מורכב, ויכולה הייתה להראות על ידי בדיקה דרך פתחי היניקה הקדמיים עם פנס. טייסים מנוסים, המבינים את חשיבות מסיטי הזרימה והאטמים, חיפשו דברים מסוג זה במהלך בדיקה לפני טיסה. (כיוון שמכונאים מבצעים את מרבית הבדיקות עם חיפויים מוסרים, בעיות כאלו לעתים נעלמות מהם.)

בחנתי את התמונות והמשכתי את ההתכתבות עם בעליו של הצסנה. הצלחנו לזהות תריסר נזילות במערכת מסיטי הזרימה החדשים של ה - T210. כמה היו קטנות, אחרות רציניות יותר. ביחד, היו אובדן משמעותי של יעילות הקירור. עם מעט מריחות קלות, ממוקמות היטב, של חומר איטום RTV לטמפרטורות גבוהות, וסידור מועט של פסי האטמים הגמישים, הבעלים סתם את הנזילות, והמנוע שלו החל לפעול באופן קר משמעותית.