

טמפרטורה בשלישית

מאת Mike Busch כפי שתורגם על ידי איציק מה-יפית מתוך AVweb מתאריך 27.9.06

הערת המתרגם: חלק לא קטן מאיתנו טסים במטוסים שמחונן ה-EGT שלהם אינו פועל. אני משוכנע שבין קהילת הטייסים ימצאו לא מעטים שאינם יודעים אפילו מהו מכשיר זה, מה מטרתו ולמה הוא משרת. נושא דילול התערובת הינו נושא מאד פשוט במהלך הדרכת טייס חדש. אני חושש שמדריכים בודדים משקיעים מאמץ בהתמקדות הדרכתית בנושא זה, למרות הקריטיות שלו לאורך חיי המנוע. המאמר שלמטה מסביר מדוע. לבעלי המטוסים שבקרבו, האמור למטה משמעותו כסף רב. מקווה שנשכיל כולנו לשמור על חיי המנועים, הן שלנו והן המושכרים, לטובתנו.

היה לי מזל נהדר עם מנועי מטוסי בוכנה במהלך 37 שנותיי כבעליו של מטוס. כל המנועים על המטוסים שלי הגיעו ל-TBO עם אחזקה מזערית בכל הדרך, ובשנים האחרונות הם חלפו את ה-TBO.

במשך עשורים הייתי משוכנע שסוד הצלחתי הייתה העובדה ש"פינקתי" את המנועים על ידי הגבלת כוח השיוט ללא יותר מ-60% עד 65% הספק. חשתי שהקרבה של מעט מהירות בתמורה לאורך חיי מנוע ועלות תחזוקה מוקטנת, הייתה כדאית.

לאחרונה, למדתי ש"פינוק" כזה הינו דרך אחת להשגת חיי מנוע ארוכים, אולם אין זו הדרך הבלעדית. זאת כיוון שלא הכוח הוא הגורם נזק למנועים שלנו, זוהי הטמפרטורה. מסתבר שאתם יכולים לתפעל מנועים אלו בקשיחות כפי שתאבדו, כל עוד תהיו אובססיביים לגבי שמירת הטמפרטורה תחת בקרה.

או כפי שידידי, גורו מנועים ונציג טכני לשעבר של TCM - Bob "Mose" Mosely אומר, "ישנם שלושה דברים המשפיעים על אורך חיי המנוע: (1) טמפרטורה; (2) טמפרטורה; ו- (3) טמפרטורה!"

הכול נסוב סביב החום



מנועי מטוסי הבוכנה שלנו הינם מנועי חום. יש בהם חלקים נעים, במיוחד ססתומי פליטה ומובילי ססתומים, החשופים ללא הרף לטמפרטורות גבוהות קיצוניות בטווח של 1200°F עד 1600°F (ולעתים אפילו חמות יותר). כיוון ששמן מנוע אינו יכול לשרוד טמפרטורות של למעלה מ-400°F בערך, חלקים נעים אלו חייבים לתפקד ללא סיכה. הם תלויים במתכות קשות במיוחד, פועלים במרווחים קטנים במיוחד, בטמפרטורות גבוהות במיוחד, ללא סיכה. זה לא משהו שאינו מופלא, ועדות להנדסה יוצאת מהכלל, שהם שורדים כל כך הרבה.

המפתח המאפשר לחלקים קריטיים אלו להחזיק מעמד הינו בקרת טמפרטורה, והטמפרטורה החשובה ביותר הינה טמפרטורת ראש צילינדר (CHT). Mose ניטר ושיפץ מנועים אלו קרוב לארבעה עשורים. הוא טוען שמנוע הפועל ב-400°F על בסיס קבוע יראה עד פי חמישה בלאי מתכת בדגימות השמן, בהשוואה למנוע זהה שמוגבל תמידית ל-350°F או פחות. "מדעים עד כמה העלאה קטנה ב-CHT יכולה להאיץ את בלאי המנוע" אומר Mose.

עד כמה שה-CHT הינו קריטי, להרבה בעלים אין שמץ של מושג האם ה-CHT שלהם הינו מעל 400°F או מתחת ל-350°F. זה כיוון שהיווי המנוע, המסופקים על ידי מרבית יצרני המטוסים, אינם מספקים בצורה מעוררת חמלה. מחוון CHT של המפעל מחובר לצילינדר אחד בלבד, ולא בהכרח החם ביותר. יתר על כן, מחוון CHT של המפעל לעתים אפילו אינו מכויל, והקשת הירוקה שלו משתרעת בצורה מגוחכת עד לחום של 460°F (למנועי קונטיננטל) או 500°F (למנועי לייקומינג). המספרים הללו יכולים להיות בסדר כקו חרום אדום, אולם ברור שהם מיועדים לתפעול מתמשך. אם כל מה שיש לכם הוא מחווני המפעל, אתם יכולים לבשל בנקל את הצילינדרים שלכם למוות, בעוד אתם חושבים באושר שהכול בסדר, כיוון שמחוון CHT נמצא היטב בקשת הירוקה.

בכדי לדעת מה באמת מתרחש בחזית קיר האש, עליכם להצטייד במנתח (analyzer) מנוע מודרני, רב גששים, עם תצוגה דיגיטאלית. מכשור כזה אינו זול, \$2,500 לבודד או \$5,000 לזוג מותקן, אולם אם זה מציל אתכם מהצורך להחליף זוג צילינדרים בדרך ל-TBO, זה יותר מאשר משתלם. התקנת מנתח מנוע דיגיטלי הוא קרוב לוודאי השקעת הכסף הטובה ביותר שאתם יכולים לעשות במטוסכם.

קביעת (Setup) מערכת הדלק

להמראה וטיפוס התחלתי, אנחנו באופן נורמאלי עם מצערת פתוחה לרווחה, תערובת עשירה מלאה, סל"ד מירבי (אם יש לנו מדחף מהירות קבועה), ומדפי מנוע פתוחים לרווחה (אם יש לנו כאלה). כך שאין לנו הרבה מה לעשות מהתא בכדי להשפיע על ה- CHT במהלך שלבים אלו של הטיסה.



מה שמשפיע על CHT הוא כיצד זרימת הדלק בהספק מלא מווסתת. לרוע המזל, זה מזעזע לראות CHT גבוה מזיק עקב זרימות דלק מווסתות לא כיאות, בחלקן במנועי הזרקת דלק. אין זה בלתי רגיל לזרימות הדלק להיקבע לא נכון מיום הרכבת המנוע, ולעולם לא נבדקות או מווסתות כל הדרך עד ל-TBO. הבעלים מסיים בהחלפת צילינדרים כל 500 שעות ולעולם לא יודע מדוע (או מאשים את היצרן).

בחלקה, הבעיה אצל הטכנאים, שאינם מבינים במלואו עד כמה קריטי לבדוק ולווסת את קביעת מערכת הדלק על בסיס קבוע. למשל, TCM ממליץ שקביעת מערכת הדלק במנועי TCM עם הזרקת דלק תיבדק ותווסת מספר פעמים בשנה בכדי להתייחס לשינויים עונתיים. מרבית המטוסים המונעים במנועי TCM עוברים שנה אחרי שנה ללא שזה מתבצע, ולהרבה מוסכים אין אפילו את ציוד הבדיקה הנדרש בכדי לבצע זאת.

אפילו כאשר הטכנאים כן בודקים ומווסתים את מערכת הדלק, הם לעתים תכופות מווסתים זאת לא נכון. למשל, הוראת השירות של TCM SID97-3C מכילה טבלה ארוכה המפרטת זרימת דלק בהספק מלא כטווח (מזערי ומירבי). האותיות הקטנות של ההוראה מורה לטכנאים לווסת את זרימת הדלק בהספק מלא לקצה הגבוה של הטווח המצוין, אולם הרבה טכנאים מחסירים נקודה עדינה זו, ומווסתים אותה לאמצע הטווח. הניסיון מראה שזו פשוט זרימת דלק לא מספיקה לשמירת קירור CHT במהלך המראות במזג אוויר חם.

כמו כן קיימת בעיה של שינויים במנועים לאחר מכירתם. לדוגמה, מנועים שחודשו עם צילינדרים תוצרת Superior's Millennium, יוצרים לעתים CHT גבוה מאשר עם הצילינדרים המקוריים של המפעל. כעת אנחנו יודעים שהסיבה לכך היא שלצילינדרים של Millennium יש "יעילות נפחית" טובה יותר מאשר לצילינדרים של המפעל, במלים אחרות – הם קולטים ופולטים גזים טוב יותר. כיוון שהם קולטים יותר אוויר בכל מחזור דחיסה, הם זקוקים ליותר דלק בכדי לשמור על אותה תערובת אוויר/דלק. ספיקת הדלק להספק מלא, המסומנת על מחוון הזרימה שלכם או המוגדרת בהוראת השירות של TCM SID97-3C, עשויה להיות לא גבוהה מספיק, אם מותקנים אצלכם צילינדרים של Millennium.

גרועים יותר הם מנועים מגודשים עם התקנת מצננים פנימיים. המצנן מפחית את טמפרטורת האוויר הנכנס לצילינדר, גורם לו להיות צפוף יותר (פחות דליל). אוויר צפוף יותר דורש יותר דלק לשמירת התערובת הרצויה, כך שספיקת דלק להספק מלא חייבת לגדול משמעותית מעל המפרטים המקוריים של המפעל. לעתים קרובות זה לא מתבצע, והתוצאה היא צילינדרים מטוגנים.

הרבה מכונאים לא מתלהבים מווסתות ספיקת דלק להמראה מעבר לקו האדום. מכל מקום, אם ברשותכם צילינדרים של Millennium, מצננים משומשים, או "שינוי" אחר המאפשר למנוע שלכם להפיק יותר הספק מאשר הפיק כאשר עזב את המפעל, זה בדיוק מה שחייב להיעשות בכדי לשמור את ה- CHT שלכם קר יותר, ולמנוע כישלון מוקדם של הצילינדר.

ספיקת דלק הולמת?

איך תוכלו לומר באם ספיקת הדלק להספק מלא שלכם מתאימה? אם אתם מוגבלים למחזורי המפעל, אתם בוודאי אינכם יכולים, לפחות עם דיוק כלשהו. הטוב ביותר שתוכלו לעשות הוא להתבונן במחזורן ספיקת הדלק שלכם (אם יש לכם).

כלל אצבע טוב הינו להכפיל את ההספק המירבי המדורג של המנוע ב - 0.1 בכדי לקבל את ספיקת הדלק המזערית הנדרשת בגלון לשעה, או ב - 0.6 לפאונד בשעה. למשל, אם המנוע שלכם מדורג בהספק של 285 כוח סוס, ספיקת הדלק להמראה חייבת להיות לפחות 28.5 GPH או 171 PPH; אם הוא מדורג ב - 310 כוח סוס, המינימום חייב להיות 31.0 GPH או 186 PPH. אם ספיקת הדלק להמראה נמוכה מזה משמעותית, תנו למכונאי שלכם להעלותה. ואל תשכחו שאם יש לכם צילינדרים של Millennium או מצנן פנימי משומש, המנוע שלכם עשוי להפיק כמה אחוזים יותר של הספק ממה שכתוב בספר, כך שהוא יזדקק למעט יותר אחוזים של ספיקת דלק.

אם יש ברשותכם מנתח מנוע דיגיטאלי, רב גששים, קל יותר לומר באם ספיקת הדלק שלכם מווסתת גבוה מספיק. רק ודאו שאף אחד מה - CHTs אינו חורג מ - 380°F במהלך ההמראה והטיפוס. אם הם בסביבות 350°F, זה אפילו טוב יותר. הניסיון מראה ש - EGT בהספק מלא לא יהיה יותר מאשר 1,300°F בערך למנועים רגילים, ובערך 1,400°F למנועים מגודשים, למרות שמספרים אלו אינם כה חשובים כמו ה - CHT.

מה לגבי שיוט?

טיסת שיוט מייצגת את חלק הארי של זמן הטיסה שלנו. כמו בהמראה וטיפוס, חיוני לשמור את כל ה - CHTs ב - 380°F או פחות במהלך השיוט להשגת אורך חיים טוב של הצילינדר, ו - 350°F אפילו טוב יותר. בתקווה שנוכל לעשות זאת מבלי לשפוך 30 GPH של 100LL על הבעיה.

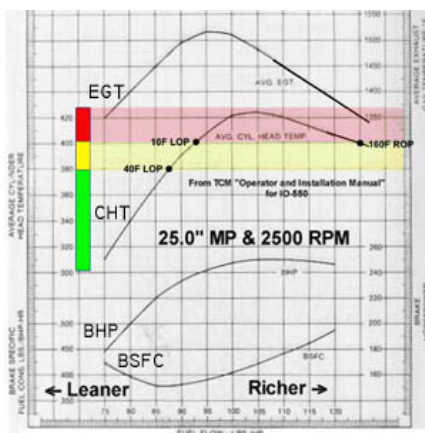
ישנן שלוש אסטרטגיות בסיסיות שונות לשמירת CHTs נמוכים במהלך השיוט:

- פנקו את המנוע
- תפעלו בתערובת עשירה מאד
- תפעלו תערובת ענייה מיטבית

כל שלוש האסטרטגיות עובדות, ושימוש מצפוני בכל אחת מהן ייתן לכם סיכוי טוב בביצוע TBO עם בעיות צילינדר מזעריות. אולם לכל אחת יש בעד ונגד. הבה נתבונן מקרוב.

לפנק את המנוע

הרבה ספרי תפעול טיס (POH) מדברים על תפעול בשלוש אלטרנטיבות של מצבי תערובת: "תערובת הספק מיטבית" (בערך 125°F מתחת לשיא דילול תערובת), "תערובת ענייה מומלצת" (בערך 50°F מתחת לשיא דילול תערובת) ו"תערובת חסכונית מיטבית" (שיא דילול תערובת). לפי ניסיוני, מרבית הטייסים נוטים לפעול אי שם בין תערובת הספק מיטבית ותערובת ענייה מומלצת.



נראה ש"תערובת ענייה מומלצת" (בערך 50°F מתחת לשיא דילול תערובת) הינה מצב התערובת הגרוע ביותר האפשרי לשמירת CHT נמוך. אם אתם מתבוננים בגרף, תראו ש - CHT מגיע למקסימום קרוב מאד ל - 50°F מתחת לשיא דילול תערובת. כך שאם אתם רוצים לתפעל ב"תערובת ענייה מומלצת" ובמקביל לשמור על CHT נמוך, יש רק דרך אחת להגיע לשם: להפחית כוח בצורה דרמטית (כלומר, ל - 60% הספק או פחות). במלים אחרות, לפנק את המנוע.

הן "תערובת הספק מיטבית" והן "תערובת חסכונית מיטבית" גורמות ל - CHTs נמוכים יותר במידה מסוימת מאשר גורמת "תערובת ענייה מומלצת". בכל אחד ממצבי תערובת אלו, אתם יכולים לתפעל בדרך כלל ב - 65% הספק פחות או יותר, ועדיין לשמור את ה - CHTs בטווח המקובל.

בכל אחד ממקרים אלו, אתם מחליפים כוח ומהירות תמורת טמפרטורות נמוכות ואורך חיים ארוך יותר. לרובנו, זוהי החלפה הגיונית.

תפעול עשיר מאד

אולם מה אם אינכם מוכן להקריב כוח ומהירות? האם אפשרי להיות מהיר יותר ועדיין לשמור CHTs נמוכים?

אכן כן. כבר דיברנו לגבי דרך אחת לעשות זאת, בדיון על המראה וטיפוס התחלתי: לצקת הרבה 100LL על הבעיה. במלים אחרות, לתפעל עשיר מאד.

כמה עשיר? הגרף מרמז שעל מנת להפחית CHTs ב - 25°F, אתם צריכים להעשיר את התערובת לבערך 160°F מתחת לשיא הדילול. לכל הפחתה של 10°F נוספים ב - CHT, עליכם להעשיר את התערובת ב - 50°F מתחת לשיא דילול התערובת. שימוש בתערובות עשירות מאד כאלו, אתם יכולים לטוס מהר ועדיין להישאר קרים. אולם לפני שתחליטו ללכת בנתיב זה, שיקלו את החסרונות.

החיסרון הברור ביותר הינו שאסטרטגיה זו הינה מאד זלזנית בדלק. בהשוואה ל"תערובת חסכונית מיטבית", האסטרטגיה המאד עשירה צורכת בערך 25% יותר דלק, ומקטינה טווח באותו השיעור. המסנגרים של תערובות עשירות מאד יספרו לכם ש"דלק זול יותר ממנועים", אולם אל תהיו כל כך בטוחים. במחירי הדלק התעופתי של היום, שימוש ב - 25% יותר דלק במנוע 300 כוח סוס יכול לעלות יותר מאשר \$25,000 על פני ה - TBO של המנוע, וזה מספיק בכדי להחליף מספר צילינדרים.

חיסרון שני ופחות ברור הינו שתערובות עשירות מאד גורמות לבעירה "מלוכלכת", עם הרבה תוצרי לוואי שלא נשרפים בגז הפליטה. תפעול בדרך זו למשכים ארוכים נוטה לגרום לבניית משקעים על ראש הבוכנה, חריצי הטבעת, מצתים וקני סתום הפליטה. עשו זאת זמן ממושך ותוכלו להחליף מספר טבעות תקועות, שסתומים תקועים, מובילי סתום בלויים ומצתים מטונפים.

תפעול בשיא הדילול

הדרך השלישית להפחתת CHTs הינה לדלל אפילו יותר באגרסיביות מאשר ספר התפעול ממליץ, ולתפעל בצידו המדולל של שיא ה - EGT. התרשים מראה שאם יכולים להקטין CHTs ב - 25°F על ידי דילול של בערך 10°F מתחת לשיא הדילול. לכל הפחתה נוספת של 10°F ב - CHT, אתם חייבים לדלל 15°F נוספים מתחת לשיא הדילול. בשימוש בתערובות עניות מאד אלו, אתם יכולים לטוס מהר, להישאר קרים ולהשיג חיסכון דלק משמעותי, הכול באותו הזמן.

מה החיסרון בגישה של שיא הדילול? החיסרון העיקרי היחידי הינו שלמנוע שלכם יש חלוקת תערובת בלתי אחידה בין הצילינדרים שלו, הוא יפעל בדרך כלל בצורה גסה לא קבילה במצבי תערובת של שיא הדילול.

חלוקת תערובת בלתי אחידה יכולה להיות מתוקנת בדרך כלל במנועי הזרקת דלק על ידי "תיאום" נחיר מזרק הדלק לסילוק חוסר איזון התערובת. GAMIjectors הינם נחירים ניתנים לתיאום, המסופקים עתה למרבית מנועי קונטיננטל ולייקומינג בעלי הזרקת דלק. TCM מציע עתה גרסה שלו למזרקים מתואמים על מספר מנועים שלו.

מנועי ה - TSIO-520-BB בצסנה T310R שלי מצוידים ב - GAMIjectors. כתוצאה, חלוקת התערובת שלי קרובה לשלמות, ואני יכול בדרך כלל לדלל בצורה קיצונית (קרוב ל - 100°F מתחת לשיא הדילול) ללא פעולה גסה מורגשת.

אם במנוע שלכם יש מאייד, אין לכם נחירי מזרק לתאם. אם חלוקת התערובת שלכם בלתי אחידה, המנוע שלכם כנראה לא יפעל מתחת לשיא הדילול ללא פעולה גסה בלתי קבילה, וכנראה אין יותר מדי מה לעשות לגבי זה.

יש שונות אדירה בחלוקת תערובת בין מנועים בעלי מאייד מיצרנים ודגמים שונים. למרבית מנועי לייקומינג בעלי מאייד יש חלוקת תערובת אחידה יחסית והם לעתים מועמדים טובים לתפעול בשיא הדילול. מצד שני, מנועי קונטיננטל O-470, הנמצאים במרבית מטוסי צסנה 182s, ידועים לשמצה בחלוקת תערובת בלתי אחידה, ואת מרביתם לא ניתן לדלל מעבר לשיא EGT ללא מקרה חמור של רעידות.

הישאר קר!

באיזו אסטרטגיה שתעדיפו, הדבר החשוב הינו להשגיח על ה- CHTs שלכם מקרוב, ולוודא שהם נשארים קרים. הדרך הטובה ביותר לעשות זאת הינו להתקין צג מנוע דיגיטאלי רב גששים, ולתכנת את ההתרעה של ה- CHT לפעול ב- 390°F או 400°F .

אם ההתרעה פועלת במהלך ההמראה או טיפוס התחלתי, עליכם לדרוש מהמכונאי שלכם להעלות את ספיקת הדלק להספק מלא. אם היא מופעלת במהלך שיוט, יש להעשיר או לדלל בכדי להוריד את ה- CHT לרמות מקובלות.

אם אין לכם צג מנוע דיגיטאלי רב גששים, התקינו אחד. העלות של מכשור שכזה (כולל התקנה) הינו בדרך כלל פחות מאשר עלות החלפת צילינדר אחד. אי התקנה של מכשור כזה הינה מקרה קלאסי של "קונה ביוקר – מוכר בזול".

טוסו בבטחה.