

Gliederung

1. Einleitung

2. Schubdüsenanpassung

2.1 Schubdüsenanpassung bei TL-Triebwerken

2.1.1 Schubverluste einer Düse fester Geometrie

2.1.2 Grundsätzliche Verfahren zur Schubdüsenanpassung

2.1.2.1 Mechanische Anpassung der Schubdüse

- Variation des Austrittsquerschnittes

- Variation des Halsquerschnittes

2.1.2.2 Gasdynamische Anpassung der Schubdüse

2.1.3 Ergebnisse der Schubdüsenanpassung bei luftatmen- den Triebwerken

2.1.4 Der Einfluß des Totaltemperaturverhältnisses

2.1.5 Verringerung der Schubverluste durch Luftbeimischung

2.2 Überschalldüsenanpassung

2.2.1 Eindimensionales Rechenverfahren

2.2.2 Ergebnisse der Fabri-Methode

2.2.3 Vollkommene Mischung

2.2.3.1 Schubsteigerung durch Nachverbrennung

2.2.3.2 Wandreibung und Mischkammerlänge

2.2.3.3 Einfluß der Flugbahn

2.2.3.4 Die Mischzone

2.2.4 Zusammenfassung

3. Die zweidimensionale Düsenströmung

3.1 Transsonische Strömung

3.1.1 Charakteristische Strömungsgrößen im transsonischen Gebiet

3.2 Das Charakteristikenverfahren

3.2.1 Charakteristische Gleichungen

3.2.2 Das numerische, rotationssymmetrische Charakteristiken- verfahren

- Grundschrirte des Charakteristikenverfahrens

3.3 Die rotationssymmetrische Parallelstrahldüse

3.3.1 Die rotationssymmetrische Parallelstrahldüse für die Austrittsmachzahl $M_A = 1,7$

3.3.1.1 Festlegung der Düsengeometrie

- 3.3.1.2 Strömungsdaten im transsonischen Gebiet
 - 3.3.1.3 Anfangscharakteristik
 - 3.3.1.4 Berechnung der Düsenlänge
 - 3.3.1.5 Machzahlverteilung auf der Düsenachse
 - 3.3.1.6 Das Charakteristikennetz
 - 3.3.1.7 Linien konstanter Machzahl in der Düsenströmung
 - Schubverlauf
 - 3.3.1.8 Machzahlverlauf
 - Druck- und Temperaturverlauf längs der Kontur
 - 3.3.2 Zusammenstellung der wichtigsten Daten der Parallelstrahldüse für $M_A = 1,7$
 - 3.3.3 Verschiedene Parallelstrahldüsen
 - 3.4 Nichtanpassung der Düse
 - 3.4.1 Berechnung des Nachexpansionsfächers nach der 2-dim. linearen Theorie
 - 3.4.1.1 Charakteristikenverfahren der 2-dim. Überschallströmung nach der linearen Theorie
 - 3.4.1.1.1 Ableitung der Charakteristikengleichungen
 - Ermittlung der Funktion $\omega(M^*)$ und der Machzahl M im expandierenden Freistrah
 - 3.4.1.1.2 Nachexpansionsfächer einer Parallelstrahldüse ($M_A = 1,7$ bei $p_t/p_A = 8$)
 - 3.4.1.1.3 Der Freistrahlexpansionswinkel
 - 3.4.1.1.4 Maximale Machzahl im Freistrah
 - 3.4.1.1.4 Maximale Machzahl im Freistrah
 - 3.4.1.1.4 Maximale Machzahl im Freistrah einer unterexpandierenden Düse
- 3.5 Zweikreisdüse
- 3.5.1 Unterexpandierende Primärdüse
- 3.5.2 Beeinflussung der Nachexpansion
 - 3.5.2.1 Geringer Sekundärmassenstrom
 - 3.5.2.2. Hoher Sekundärmassenstrom
4. Herleitung eines Berechnungsverfahrens zur Bestimmung von Strömungsgrößen bei vorgegebener Strömungsberandung (Auslegung der Zweitkontur)
 - 4.1 Berechnung des Düsenachspunktes
 - 4.2 Berechnung des Konturpunktes
 - 4.3 Fortranprogramme

- 4.3.1 Das Programm DUESAN
- 4.3.2 Das Programm DUESMA
- 4.4 Ergebnisse der Nachrechnungsaufgaben
- 4.5 Ein Verfahren zur Berechnung des Machzahlverlaufs an einer beliebig vorgegebenen Düsenkontur
 - 4.5.1 Aufstellung der Differentialgleichung
 - 4.5.2 Transformation
 - 4.5.3 Lösung
 - 4.5.4 Nullstellen des Nenners
 - 4.5.5 Fortranprogramme MAKON
- 5. Auslegung idealer Düsen gleicher Baulänge für reales Brenngas (Mitteltemperaturbereich)
 - Düsenberechnung unter Berücksichtigung der Temperaturabhängigkeit der spezifischen Wärmen
- 5.1 Die Anfangscharakteristik
- 5.2 Grundlagen für die Berechnung der Zustandsgrößen mit $c_p = f(T)$
 - 5.2.1 Die Ermittlung von Enthalpie, spezif. Wärme und Brennstoff/Luft-Verhältnis
 - 5.2.2 Berechnung der Temperatur aus vorgegebenem Isentropenexponenten
- 5.3 Beziehungen zur Berechnung von Größen unter Berücksichtigung von $c_p = f(T)$
- 5.4 Machzahlverteilung und "Längenänderung" einer angepaßten Düse
 - 5.4.1 Die Bestimmung der divergenten Primärdüsenkontur konstanter Länge
 - 5.4.2 Polynom 3.- und 5.- Grades als Verteilungsfunktion
 - 5.4.3 Parabel n-ten Grades als Verteilungsfunktion
- 5.5 Diskussion der Ergebnisse
 - 5.5.1 Erhöhung der Punktzahl auf der Anfangscharakteristik
 - 5.5.2 Vergleich der Düsenberechnungen mit $c_p = \text{konst}$ und $c_p = f(T)$
 - 5.5.3 Parallelstrahldüsen mit unterschiedlichen Baulängen
 - 5.5.4 Schubverlauf
- 6. Bestimmung der Grenzschichtdicke und des Geschwindigkeitsprofils in der Umgebung des Düsenhalsquerschnittes

- 6.1 Problemstellung
- 6.2 Theoretische Grundlagen
 - 6.2.1 Einführung
 - 6.2.2 Voraussetzungen
 - 6.2.3 Die Stromfadengeschwindigkeit
- 6.3 Das Näherungsverfahren von Oswatitsch und Rothstein zur Berechnung der Geschwindigkeitsverteilung
- 6.4 Das Grenzschicht-Näherungsverfahren "Walz II"
 - 6.4.1 Programmablauf Grenzschichtrechnung
 - 6.4.2 Anmerkungen zu den Unterprogrammen
- 6.5 Geschwindigkeitsverteilung
- 6.6 Grenzschicht
- 6.7 Handhabung der Programme
- 6.8 Ergebnisse
- 7. Auslegung der Zweikreisdüse
- 8. Zusammenfassung
- 9. Literaturverzeichnis
- 10. Bildanhang