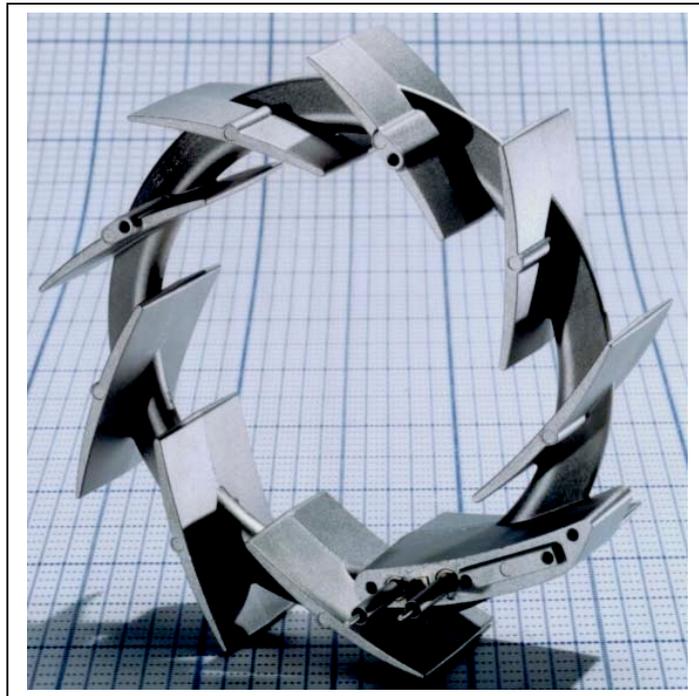


Boris Nogowizin

Theorie und Praxis des Druckgusses



Inhaltsverzeichnis

Einleitung

1 Druckgusslegierungen und ihre Eigenschaften

- 1.1 Aluminiumdruckgusslegierungen
- 1.2 Magnesiumdruckgusslegierungen
- 1.3 Kupferdruckgusslegierungen
- 1.4 Zinkdruckgusslegierungen
- 1.5 Mechanische Eigenschaften der Druckgusslegierungen
 - 1.5.1 Mechanische Eigenschaften bei Raumtemperatur
 - 1.5.2 Festigkeitseigenschaften bei erhöhter Temperatur
 - 1.5.3 Elastizitätsmodul bei erhöhter Temperatur
- 1.6 Thermophysikalische Eigenschaften der Druckgusslegierungen
 - 1.6.1 Physikalische Eigenschaften der Druckgusslegierungen bei Raumtemperatur
 - 1.6.2 Physikalische Eigenschaften der Druckgusslegierungen bei erhöhter Temperatur
 - 1.6.2.1 Physikalische Eigenschaften von Elementen
 - 1.6.2.2 Dichte, mittlerer linearer Wärmeausdehnungskoeffizient und Schwindung
 - 1.6.2.3 Spezifische Wärmekapazität, Schmelzwärme und Wärmeleitfähigkeit

Literatur zu Kapitel 1

2 Porositäten und Gestaltungselemente der Druckgussteile

- 2.1 Optimierung von Porositäten in Druckgussteilen
 - 2.1.1 Bestimmung des Gasporen- und Lunkeranteils
 - 2.1.2 Einfluss der Porosität auf die Qualität der Druckgussteile
 - 2.1.3 Methoden zur Vermeidung der Gasporosität
 - 2.1.4 Reduzierung der Lunkerung in Druckgussteilen
- 2.2 Richtlinien für die Gestaltung der Elemente an Druckgussteilen
 - 2.2.1 Einige Beispiele der Druckgussteile aus der Praxis
 - 2.2.2 Wanddicke der Druckgussteile
 - 2.2.3 Masseanhäufungen und Rippen
 - 2.2.4 Konizität der Druckgussteilflächen
 - 2.2.5 Querschnittsübergänge
 - 2.2.6 Bohrungen und Hinterschneidungen
 - 2.2.6.1 Bohrungen
 - 2.2.6.2 Hinterschneidungen
 - 2.2.7 Angriffspunkte für Auswerferstifte

Literatur zu Kapitel 2

3 Maßgenauigkeit der Druckgussteile

- 3.1 Systematischer und zufälliger Fehleranteil des Nennmaßes
- 3.2 Ungehinderte und behinderte Schwindung

- 3.3 Maßgenauigkeit der Druckgießform
 - 3.3.1 Toleranzfelder für formgebundene und nicht formgebundene Maße des Formhohlraums bei der Herstellung der Druckgießform
 - 3.3.2 Zuschlagtoleranzfeld durch den Verschleiß der Formgravur
- 3.4 Allgemein-, einhaltbare und minimale Toleranzfelder des Gussstücks
 - 3.4.1 Allgemeintoleranzfelder
 - 3.4.2 Einhaltbare- und minimale Toleranzfelder
 - 3.4.3 Praktisch gemessene Abmaße und berechnete Toleranzen von Gussstücken

Literatur zu Kapitel 3

4 Druckguss und Sonderentwicklungen des Druckgießverfahrens

- 4.1 Traditionelle Kaltkammer- und Warmkammer-Druckgießverfahren
 - 4.1.1 Kaltkammer-Druckgießverfahren
 - 4.1.2 Warmkammer-Druckgießverfahren
- 4.2 Sonderentwicklungen des Druckgießverfahrens
 - 4.2.1 Druckgießmaschinen mit vertikaler Kaltkammer
 - 4.2.2 Druckgießverfahren mit dem Metallnachdruck in der Gießkammer oder im Formhohlraum
 - 4.2.3 Vakuumdruckgießverfahren
 - 4.2.3.1 Vakuumeinrichtungen
 - 4.2.3.2 Luftdruckverlauf im Formhohlraum
 - 4.2.3.3 Entlüftungseinsätze
 - 4.2.4 Gasporenfrees Druckgießverfahren
 - 4.2.5 Druckgießverfahren der Legierungen im teilflüssigen Zustand
 - 4.2.5.1 Thixo-Casting
 - 4.2.5.2 Thixospritzgießen der Magnesiumlegierungen

Literatur zu Kapitel 4

5 Hauptparameter des Druckgießverfahrens

- 5.1 Wahl der Gießkolbengeschwindigkeit oder Beschleunigung der ersten Gießphase
 - 5.1.1 Gießkolbenstrecke der ersten Gießphase und Anfangsfüllgrad
 - 5.1.2 Schmelzbewegung in der Gießkammer
 - 5.1.3 Kritische Gießkolbengeschwindigkeit
 - 5.1.4 Kritische Gießkolbenbeschleunigung
- 5.2 Gießkolbengeschwindigkeit während der Formfüllphase und beim Schuss ohne Metall
 - 5.2.1 Gießkolbengeschwindigkeit während der Formfüllphase
 - 5.2.2 Gießzeit und Fließlänge der Schmelze im Formhohlraum
 - 5.2.3 Experimentelle und theoretische Untersuchungen der Gießzeit
 - 5.2.4 Gießzeit- und Fließlängeauswertung
 - 5.2.5 Gießkolbengeschwindigkeit beim Schuss ohne Metall
- 5.3 Druck auf das flüssige Metall
 - 5.3.1 Maximaler Nachdruck aus der Druckgießpraxis
 - 5.3.2 Minimaler Nachdruck
 - 5.3.3 Wahlbereich des Nachdrucks
 - 5.3.4 Hydraulikdruck im Kolbenraum des Antriebszylinders

- 5.4 Formzuhaltekraft und zulässige Gießkolbengeschwindigkeit
 - 5.4.1 Formzuhaltekraft
 - 5.4.2 Zulässige Gießkolbengeschwindigkeit
- 5.5 Nachverdichtungszeit des Gussstücks
- 5.6 Erstarrungszeit des Abgusses und Zuhaltezeit der Druckgießform
 - 5.6.1 Erstarrungszeit des Abgusses
 - 5.6.2 Zuhaltezeit der Druckgießform
- 5.7 Verweilzeit und erstarrte Randschalendicke der Schmelze in der Gießkammer

Literatur zu Kapitel 5

6 Geometrische Gestaltung des Gießlaufsystems

- 6.1 Platzierung und geometrische Gestaltung des Anschnitts
 - 6.1.1 Platzierung des Anschnitts
 - 6.1.2 Geometrische Größen des Anschnitts
 - 6.1.3 Länge der Anschnittzunge
 - 6.1.4 Dicke des Anschnitts
- 6.2 Einströmung des flüssigen Metalls in den Formhohlraum
 - 6.2.1 Freistrahle des flüssigen Metalls und seine Zerstäubung
 - 6.2.2 Minimale und optimale Strömungsgeschwindigkeit des flüssigen Metalls im Anschnitt
 - 6.2.3 Auflösungslänge des Metallstrahls
- 6.3 Anschnittquerschnitt
- 6.4 Gießläufe aus der Druckgießpraxis
- 6.5 Geometrische Gestaltung und Widerstandszahlen der Gießlaufelemente
 - 6.5.1 Gerades Gießlaufelement
 - 6.5.2 Plötzliche und allmähliche Querschnittsveränderungen des Gießlaufelements
 - 6.5.3 Krümmer im Gießlauf
 - 6.5.4 Verzweigungen im Gießlaufsystem
 - 6.5.5 Ausflusszahl und Widerstandszahl des Anschnitts
 - 6.5.6 Ausflusszahl und Widerstandszahl des Gießlaufs mit mehreren Anschnitten
 - 6.5.7 Geometrische Gestaltung und Widerstandszahl des Eingusses bei der Druckgießmaschine mit horizontaler Kaltkammer
 - 6.5.8 Experimentelle Bestimmung der Gesamtausflusszahl und der Gesamtwiderstandszahl des Gießlaufsystems
- 6.6 Geometrische Gestaltung des fächerförmigen Gießlaufs
- 6.7 Geometrische Gestaltung der Elementen für abgewinkelte, T-förmige und Tangentialgießläufe
 - 6.7.1 Geometrische Gestaltung des Tangentialzulaufs
 - 6.7.2 Krümmer des abgewinkelten Gießlaufs
 - 6.7.3 Mittelbereich des Gießlaufs
 - 6.7.4 Gießzulauftümpel
- 6.8 Berechnungsbeispiel des Tangentialgießlaufs

Literatur zu Kapitel 6

7 Entlüftungskanäle und Überläufe der Druckgießformen

- 7.1 Entlüftungskanäle

- 7.1.1 Gestaltung der Entlüftungskanäle
- 7.1.2 Entlüftungsquerschnitt des Formhohlraums
- 7.1.3 Ausflussgeschwindigkeit von Gasen aus dem Formhohlraum
- 7.1.4 Abgeführte Gasmasse aus dem Formhohlraum
- 7.2 Überläufe
- 7.2.1 Anordnung der Überläufe
- 7.2.2 Zweckmäßige Gestaltung der Überläufe

Literatur zu Kapitel 7

8 Technologie des Druckgießverfahrens

- 8.1 Größen und technologische Angaben für Gussstücke aus der Praxis
- 8.2 CAD/CAM-System für schnelle Entstehung des Druckgussteils
- 8.3 Modul für geometrische und mechanische Analyse des Druckgussteils
- 8.4 Modul zur Berechnung und Projektierung der Gießlaufsysteme
- 8.5 Modul zur Berechnung der Entlüftungen und der Überläufe
- 8.6 Modul zur Berechnung der Erstarrungs- und Formzuhaltezeit
- 8.7 Modul zur Berechnung der Parameter des Druckgießverfahrens und der Druckgießmaschine
- 8.8 Formfüll- und Erstarrungssimulationsprogramme
- 8.9 Schmierung der Druckgießform und der Gießkammer
- 8.10 Druckgießzelle und Zykluszeit des Druckgießverfahrens
- 8.10.1 Arbeitszeitdiagramm der Druckgießzelle
- 8.10.2 Einrichtungen der Druckgießzelle
- 8.10.3 Ausführung einer vollautomatischen Druckgießzelle
- 8.11 Behandlung der Druckgusslegierungen
- 8.11.1 Behandlung der Aluminiumdruckgusslegierungen
- 8.11.2 Behandlung der Magnesiumdruckgusslegierungen
- 8.12 Prüfen der Druckgussteile

Literatur zu Kapitel 8

9 Konstruieren der Druckgießformen

- 9.1 Prinzipieller Aufbau der Druckgießform
- 9.2 Formbildende und hochbeanspruchte Bauteile
- 9.2.1 Formeinsätze
- 9.2.2 Feste Kerne und Schieber
- 9.2.3 Eingussverteiler und Eingießbuchse
- 9.2.4 Gießkammer und Gießkolben
- 9.2.4.1 Ausführung der Gießkammer und des Gießkolbens
- 9.2.4.2 Passungsspiel zwischen Gießkammer und Gießkolben
- 9.3 Konstruktive Grundbauteile
- 9.3.1 Form-, Zwischen- und Aufspannplatten
- 9.3.2 Führungs- und Zentriersysteme
- 9.3.3 Ausführungen von Leisten
- 9.4 Bauteile des Auswerfersystems
- 9.5 Auslegung des Kühl- und Heizsystems

- 9.5.1 Normalisierte Bauelemente für Temperierkanäle
- 9.5.2 Normalisierte Bauelemente für Kerne
- 9.5.3 Temperiergeräte
- 9.6 Werkstoffe für Druckgießformbauteile
- 9.7 Zulässige Spannungen für Werkzeugstähle bei der Schwingbeanspruchung der Druckgießformbauteile
- 9.8 Stabilität der Druckgießform
- 9.8.1 Festigkeit und Verformung der Zwischenplatte
- 9.8.2. Festigkeit und Verformung der beweglichen Formplatte
- 9.9 Herstellung der Druckgießformbauteile

Literatur zu Kapitel 9

10 Instationäre Temperaturverteilungen in formbildenden und hochbeanspruchten Bauteilen sowie Standzeit der Druckgießform

- 10.1 Instationäre Temperaturverteilungen in Bauteilen der Druckgießform
 - 10.1.1 Temperaturverlauf in ebener Formbauteilwand
 - 10.1.2 Temperaturverlauf in zylindrischem Formbauteil
 - 10.1.3 Temperaturverlauf in der Gießkammer
- 10.2 Thermische Ermüdung und Standzeit der Druckgießform
 - 10.2.1 Mechanische und physikalische Eigenschaften einiger Formwerkstoffe
 - 10.2.2 Wesen der Thermischen Ermüdung
 - 10.2.3 Bewertung von Angaben über Formstandzeiten
 - 10.2.3.1 Formstandzeit beim Druckgießen der Aluminiumlegierungen
 - 10.2.3.2 Beschichtung der Kerne zur Verlängerung der Formstandzeit beim Druckgießen der Aluminiumlegierungen
 - 10.2.3.3 Formstandzeit beim Druckgießen der Kupferlegierungen
 - 10.2.4 Auftretende Wärmespannungen und Verzerrungen in Formbauteilen
 - 10.2.4.1 Vergleichswärmespannung in ebener Wand und zylindrischem Formbauteil
 - 10.2.4.2 Maximale elastische Vergleichswärmespannung und Verzerrungskomponente
 - 10.2.4.3 Plastische Verzerrungskomponente
 - 10.2.5 Formstandzeitbestimmung
 - 10.2.5.1 Spannungsverlauf an Formoberfläche
 - 10.2.5.2 Theoretische Bestimmung der Formstandzeit
 - 10.2.5.3 Vergleich der theoretischen und praktischen Untersuchungen der Formstandzeiten

Literatur zu Kapitel 10

11 Entformen des Gusstücks aus dem Formhohlraum

- 11.1 Experimentelle Untersuchungen der Entformungskraft und der mittleren Druckspannung
- 11.2 Ermittlung der Entformungskraft und der mittleren Druckspannung
- 11.3 Bestimmung der Abziehkraft am Kern
 - 11.3.1 Bestimmung der Abziehkraft am runden Kern
 - 11.3.2 Flächenpressung am runden Kern
 - 11.3.3 Bestimmung der Abziehkraft am runden stufenförmigen Kern und an kleinen Kernen mit verschiedenen Querschnitten

- 11.3.4 Bestimmung der Abziehkraft am rechtwinkligen Kern
- 11.3.5 Haftreibungskoeffizient
- 11.4 Beanspruchung der Schrägsäule
- 11.5 Knicken der Auswerferstifte

Literatur zu Kapitel 11

12 Heizung und Kühlung der Druckgießformen mit Temperiergeräten

- 12.1 Gestaltung des Temperierkanalsystems in der Druckgießform
- 12.2 Gesamtwärmebilanz der Druckgießform und zugeführte Wärmemenge vom Gussstück
- 12.3 Abgeführte natürliche Wärmemenge an die Umgebung bei sämtlichen Arbeitsgängen
- 12.4 Berechnungsbeispiel der zugeführten Wärmemenge vom Gussstück und der abgeführten Wärmemenge an die Umgebung
- 12.5 Abgeführte Wärmemenge durch das Temperiersystem
 - 12.5.1 Abgeführte Wärmemenge an die Temperierkanäle
 - 12.5.2 Abgeführte Wärmemenge von Kernen
- 12.6 Auswahl des Temperiergeräts und der Temperiergerätleistung
 - 12.6.1 Druckverluste im Temperiersystem
 - 12.6.2 Heizleistung des Temperiergeräts

Literatur zu Kapitel 12

13 Konstruieren der Druckgießmaschinen mit horizontaler Kaltkammer

- 13.1 Prinzipieller Aufbau der Druckgießmaschine mit horizontaler Kaltkammer
- 13.2 Technische Hauptdaten der Druckgießmaschinen
- 13.3 Gießeinheiten der Druckgießmaschine
 - 13.3.1 Prinzipieller Aufbau der Gießeinheit
 - 13.3.2 Allgemeine Anforderungen und Klassifizierung der Gießeinheiten
 - 13.3.3 Gießeinheiten ohne Multiplikator
 - 13.3.4 Gießeinheiten mit Multiplikator
 - 13.3.4.1 Gießeinheiten mit Multiplikator und einzigem Kolbenspeicher
 - 13.3.4.2 Gießeinheiten mit Multiplikator und zwei Kolbenspeicher
 - 13.3.5 Gießeinheiten mit Hochdruckspeicher
- 13.4 Prinzipieller Aufbau der Formschließeinheit
 - 13.4.1 Platten der Formschließeinheit
 - 13.4.2 Kniehebelgelenksystem
 - 13.4.3 Formhöherstelleinrichtung
 - 13.4.4 Auswerfereinrichtung
 - 13.4.5 Säulenauszieheinrichtung
- 13.5 Hydrauliksystem der Formschließeinheit
 - 13.5.1 Schwerentflammbare Hydraulikflüssigkeiten
 - 13.5.2 Prinzipieller Aufbau des Hydrauliksystems der Formschließeinheit
 - 13.5.3 Antriebsaggregat und hydraulische Steuerblöcke der Verbraucher
 - 13.5.3.1 Antriebsaggregat
 - 13.5.3.1.1 Hydraulikflüssigkeitsbehälter
 - 13.5.3.1.2 Auswahl der Pumpen
 - 13.5.3.1.3 Filterung der HFC- Hydraulikflüssigkeiten
 - 13.5.3.1.4 Kühlung und Heizung der Hydraulikflüssigkeit

- 13.5.3.2 Hydraulische Steuerblöcke der Verbraucher
- 13.6 Zweiplatten- Formschließeinheit

Literatur zu Kapitel 13

14 Berechnung der Gießeinheiten

- 14.1 Maximale Antriebskolbengeschwindigkeit beim Schuss ohne Metall
- 14.2 Maximale Druckspitze im Kolbenraum des Antriebszylinders
- 14.3 Maximale Druckspitze im Kolbenstangenraum des Antriebszylinders beim Abbremsen des Antriebskolbens
- 14.4 Simulation des Druckgießverfahrens an der Druckgießmaschine mit der Gießeinheit ohne Multiplikator
- 14.5 Druckaufbauzeitspanne der Gießeinheiten mit dem Multiplikator und dem Hochdruckspeicher
 - 14.5.1 Druckaufbauzeitspanne der Gießeinheit mit dem Multiplikator und zwei getrennten Kolbenspeichern
 - 14.5.2 Druckaufbauzeitspanne der Gießeinheit mit dem Hochdruckspeicher
- 14.6 Kenngrößen der Gießeinheit mit dem Multiplikator

Literatur zu Kapitel 14

15 Berechnung der Formschließeinheit

- 15.1 Kraft und Kolbenhub des Schließzylinders
 - 15.1.1 Koordinaten der Gelenke und die Drehwinkel der Hebel
 - 15.1.2 Gelenkabstände und der Kolbenhub des Schließzylinders
 - 15.1.3 Schließzylinderkraft während und am Ende des Formschließens
 - 15.1.4 Reibungszahl in den Gelenken und die Gesamtsteifigkeit der Formschließeinheit
 - 15.1.5 Automatische Auswahl der Formschließeinheitsgrößen
- 15.2 Festigkeit der Maschinenplatten
- 15.3 Festigkeit des Kniehebelgelenksystems
 - 15.3.1 Festigkeit der Hebel
 - 15.3.2 Festigkeit der Achsen
- 15.4 Festigkeit der Führungssäulen
- 15.5 Motorleistung der Formhöhenverstellrichtung

Literatur zu Kapitel 15