**2.4. Champs magnétiques des séparateurs**

Les appareils pour l'enrichissement de minerais magnétiques puissants sont appelés séparateurs à faible champ magnétique, et les appareils pour l'enrichissement de minerais faiblement magnétiques sont appelés séparateurs à fort champ magnétique.

Les *systèmes magnétiques ouverts* sont généralement utilisés dans les séparateurs pour l'enrichissement des minerais magnétiques puissants, et *les systèmes magnétiques fermés* sont utilisés dans les séparateurs pour les minerais magnétiques faibles. Les premiers se caractérisent par l'emplacement de la zone de travail de séparation d'un côté des pôles (Fig. 2.1), les seconds par la disposition de la zone de travail entre les pôles (Fig. 2.4).

 Fig. 2.1. Schémas des systèmes de séparateurs magnétiques multipolaires ouverts:

***a*** - séparateur à tambour avec alimentation par le haut: 1 - tambour; 2 - pôles; 3 - particule de minerai; 4 - circuit magnétique; ***b*** - séparateur de fer suspendu avec moins de matière: 1 - tambour d'entraînement; 2 - un tambour de tension; 3 - ruban sans fin; 4 - circuit magnétique; 5 - pôles; 6 - convoyeur transportant le produit d'origine; 7 - particule de minerai. *L* - longueur de la zone de travail; Δ - distance de la surface du système magnétique (du pôle) à la particule; *S* - le pas polaire; *d* - taille des particules; *h* - hauteur de la zone de travail

*La zone de travail du séparateur* est la section du système magnétique au-dessus ou entre les pôles, où les particules sont divisées en magnétiques et non magnétiques, accompagnées de l'attraction de particules magnétiques vers les pôles, les retenant et les transportant au point de décharge.

Pour évaluer la possibilité de séparation de particules aux propriétés magnétiques connues, il est nécessaire de connaître les lois de changement de l'induction du champ magnétique dans la zone de travail du séparateur. Connaissant l'induction du champ magnétique à la surface de l'élément de travail du séparateur (tambour, dent de rouleau) et la dépendance du changement (diminution) de l'induction avec la distance du pôle, nous pouvons calculer la force magnétique d'attraction Fm des particules ayant des propriétés magnétiques spécifiées.

**2.4.1. Champ magnétique des séparateurs pour minerais fortement magnétiques avec des systèmes multipolaires ouverts**

Les séparateurs à systèmes multipolaires ouverts sont principalement utilisés pour l'enrichissement de minerais et de produits hautement magnétiques. Les plus répandus sont les séparateurs à tambour à alimentation par le haut avec un système magnétique incurvé et les séparateurs aériens avec un système magnétique plat (voir Fig. 2.1).

La zone de séparation de travail des séparateurs à systèmes multipolaires ouverts est caractérisée par une longueur *L* égale à la distance entre le début de la section où commence l'attraction des particules magnétiques et la section où commence le déchargement des particules magnétiques (voir Fig.2.1). La zone de travail est caractérisée par une hauteur *h*. Pour les séparateurs avec une alimentation en matériau plus faible, la hauteur *h* est géométriquement limitée - cela peut être la distance entre la surface du tambour et le fond du bain pour un séparateur à tambour humide ou la distance entre la bande transporteuse et la bande de séparation du fer suspendu (voir Fig.2.1, b).

Pour les séparateurs à alimentation par le haut, la hauteur *h* n'est pas géométriquement limitée et il n'y a pas de restrictions fondamentales pour le transport de matériau à travers la zone de travail de séparation. Les limites de taille ne sont associées qu'à la possibilité de créer des champs magnétiques suffisants pour contenir de gros morceaux de minerai et à la présence de morceaux qui peuvent être séparés dans le produit final (concentré ou résidus).

Les séparateurs avec des systèmes magnétiques ouverts ont généralement une plus grande longueur et hauteur de la zone de travail par rapport aux autres séparateurs. Actuellement, une séparation magnétique sèche est utilisée après la première étape de broyage, ce qui correspond à une granulométrie de 300 mm.

Les systèmes magnétiques ouverts sont courbes (voir Fig. 2.1, a) et rectilignes (voir Fig. 2.1, b) et se composent d'une série de pôles de polarité alternée.

Les caractéristiques de champ des séparateurs à systèmes magnétiques multipolaires sont principalement affectées par l'intensité du champ magnétique à la surface des pôles et le pas des pôles *S*. En outre, les caractéristiques du champ magnétique dépendront des dimensions géométriques des pôles, des propriétés magnétiques des aimants permanents, de la taille de l'espace interpolaire, du rayon du tambour séparateur et autres caractéristiques de conception du système magnétique.

L'une des caractéristiques les plus importantes déterminant la force magnétique est l'intensité du champ magnétique à la surface des pôles, qui est principalement déterminée par le type de matériau utilisé pour la fabrication d'aimants permanents et leurs tailles. L'intensité de champ des séparateurs magnétiques avec des systèmes d'aimants permanents de ferrite de baryum ne dépasse généralement pas 120 kA/m. Des aimants permanents de terres rares à partir de Samarium-Cobalt, de Néodyme-Fer-Bore, etc., par exemple, SmCo5, Nd2Fe14B, SmTiFe11 (intensité jusqu'à 1600 kA/m) sont utilisés pour augmenter la force du champ magnétique. L'intensité du champ magnétique des séparateurs à système électromagnétique ouvert ne dépasse généralement pas 160 kA/m.

Pour augmenter la force magnétique entre les pôles principaux, des aimants correcteurs supplémentaires sont installés à partir de matériaux à haute énergie pour "pousser" le champ magnétique dans la zone de travail. Dans ce cas, les côtés adjacents des pôles principal et supplémentaire sont unipolaires.

Des études théoriques et expérimentales ont montré que pour un système multipolaire ouvert, un changement de l'intensité du champ magnétique et de l'induction le long de la normale à la surface du pôle est déterminé par l'égalité



Où :

*Hx* et *Bx* - l'intensité et l'induction du champ magnétique à une distance *x* du pôle, A/m et T;

*Н0* et *В0* - intensité et induction du champ magnétique à la surface du pôle (*x* = 0), A/m et T;

*c* - coefficient d'hétérogénéité du champ magnétique, m-1.

En utilisant les dépendances (2.25), nous trouvons grad*Н* et grad*В*:



Le signe «-» en égalités (2.26) est omis. Il indique une diminution du champ magnétique avec la distance du système magnétique.

Alors, la force magnétique spécifique du système magnétique



La forme des dépendances (2.25) - (2.27) indique qu'en s'éloignant du pôle du système magnétique, la force et l'induction du champ magnétique, grad*H*, grad*В* et la force magnétique diminuent.

Le coefficient d'hétérogénéité du champ magnétique dépend du pas polaire. *Le pas polaire d'un système magnétique multipolaire est la distance entre les centres de deux pôles opposés adjacents* (voir Fig. 2.1).

Des études théoriques ont établi que lorsque les pôles sont situés sur une surface cylindrique (à l'intérieur du tambour), le coefficient d'hétérogénéité du champ est lié au pas des pôles par le rapport



Où :

S - pas polaire d'un système magnétique multipolaire;

R - rayon de la surface cylindrique (enveloppes du tambour), m

Lorsque les pôles sont situés dans le plan (séparateur de fer suspendu, R → ∞), le coefficient d'inhomogénéité du champ est lié au pas des pôles par la relation



Il résulte des relations (2.28) et (2.29) que plus le pas polaire d'un système magnétique multipolaire est petit, plus le coefficient d'inhomogénéité du champ magnétique est élevé et plus le champ magnétique diminue avec la distance du pôle. Par conséquent, si les particules du produit initial se déplacent près des pôles et que leur taille est relativement petite, un système magnétique avec un petit pas de pôle peut être utilisé (la masse du système magnétique est plus petite). Lors de l'enrichissement d'un matériau plus grand ou lors du déplacement de particules à une distance considérable du système magnétique (alimentation inférieure), il est nécessaire d'augmenter le pas polaire.

Pour les séparateurs à tambour, le rayon du tambour affecte le coefficient d'hétérogénéité du champ magnétique. Plus le rayon du tambour séparateur est grand, moins le champ magnétique diminue avec la distance du pôle. Par conséquent, dans les séparateurs magnétiques à tambour avec une alimentation inférieure, une force magnétique plus élevée est obtenue dans les séparateurs avec un diamètre de tambour plus grand. Par exemple, les séparateurs industriels avec un diamètre de tambour de 1,5 m fournissent une fraction de masse inférieure de fer de magnétite dans les queues par rapport aux séparateurs avec un diamètre de tambour de 0,9 m.

En plus du pas des pôles, la caractéristique de champ des systèmes magnétiques ouverts est affectée par la largeur des pôles *(b)*, l'écart entre les pôles *(a)* et la configuration des pôles. Pour les systèmes de ferrite de baryum, le rapport b: a varie généralement de 3:1 à 5:1. Lors de l'utilisation d'aimants de terres rares, le rapport *b:a* est généralement plus élevé. Le rapport optimal *b:a* fournit un champ magnétique plus uniforme le long des pôles alternés du système magnétique (sans augmentation ou diminution brusque des espaces entre les pôles). Si l'écart entre les pôles est excessivement augmenté, le processus de transport des particules magnétiques par le tambour le long du système magnétique peut être perturbé.

**Séparateurs à tambour sec avec alimentation par le haut**

Lorsqu'il est enrichi en séparateurs à tambour sec avec alimentation par le haut, le matériau à séparer est à proximité immédiate du système magnétique. La distance Δ est déterminée par l'épaisseur du ruban ou du tambour et l'écart minimal possible entre la surface des pôles et le tambour.

Dans la fig. La figure 2.3 montre les dépendances de la force magnétique spécifique sur le pas polaire pour différentes tailles de particules pour un séparateur à tambour avec une alimentation supérieure de matériau. Le calcul a été effectué selon la formule (2.34) avec les données initiales constantes suivantes: susceptibilité magnétique spécifique de la particule χ = 0,2⋅10-4 m3/kg; rayon du tambour R = 450 mm; induction à la surface du système magnétique B0 = 0,21 T (à Δ = 10 mm - B10 = 0,164 T; à Δ = 5 mm - B5 = 0,185 T.



Fig. 2.3. La dépendance de la force magnétique spécifique sur le pas des pôles à différentes tailles de particules pour le séparateur avec une alimentation supérieure en matériau:

***a*** - distance Δ = 5 mm; b - distance Δ = 10 mm: 1 - d = 5 mm; 2 - d = 15 mm; 3 - d = 25 mm; susceptibilité magnétique spécifique χ = 0,2⋅10-4 m3/kg; rayon du tambour R = 450 mm; induction *B*0 = 0,21 T

Les dépendances illustrées à la fig. 2,3 portent un caractère extrême. La valeur maximale de la force magnétique spécifique, en fonction de la taille des particules, correspond au pas polaire «optimal» calculé par la formule (2.36). Selon les dépendances obtenues, les principales conclusions théoriques suivantes peuvent être tirées sur le choix d'un séparateur à tambour magnétique avec une alimentation supérieure pour l'enrichissement à sec.

**1.** Lors de la réduction de la taille du matériau enrichi, vous pouvez utiliser un séparateur avec un pas de pôle plus petit. Un tel système magnétique aura une masse inférieure, par conséquent, le séparateur aura un prix inférieur.

**2.** La réduction de la distance Δ entre la surface du système magnétique et la surface de travail du tambour doublé permet d'utiliser un séparateur moins cher avec un pas polaire plus petit. Cependant, une diminution excessive de la distance Δ, qui est déterminée par l'entrefer entre le système magnétique et la coque du tambour, l'épaisseur de la coque et la garniture du tambour, réduit la fiabilité mécanique du séparateur.

**3.** Les fonctions illustrées à la fig. 2.3 ne sont pas symétriques par rapport à l'extremum. Avec une diminution du pas polaire inférieure à la valeur optimale, la force magnétique spécifique diminue beaucoup plus rapidement qu'avec une augmentation du pas polaire supérieure à la valeur optimale. La conclusion pratique en découle: l'utilisation d'un séparateur à pas polaire sous-estimé conduira à une plus grande détérioration des indicateurs d'enrichissement technologique par rapport à l'utilisation d'un séparateur à pas polaire surdimensionné.

**4.** Le degré de diminution de la force magnétique spécifique par rapport à la valeur maximale diminue avec l'augmentation de la distance Δ et de la taille des particules.

Il convient de noter que les formules (2.36) ont été déduites de l'adoption d'un certain nombre d'hypothèses, telles que la constance des propriétés magnétiques dans le volume des particules, l'idéalisation de la forme des particules, l'enrichissement de particules de même taille lors de leur mouvement monocouche à travers la zone de travail du séparateur, etc. Par conséquent, la valeur de pas "optimale" les pôles d'un système multipolaire doivent être considérés comme théoriques et utilisés pour une évaluation préliminaire de la valeur maximale de la force magnétique et l'optimisation de la masse du système magnétique.

Lors de l'enrichissement réel de la séparation magnétique, un mélange de particules de formes et de tailles diverses est exposé. De plus, les séparateurs industriels ne fonctionnent souvent pas dans un mode d'alimentation en matériau monocouche, de sorte que la distance Δ varie. Par conséquent, les fabricants produisent des séparateurs avec un nombre limité de valeurs de pas de pôle, ce qui est justifié à la fois économiquement et technologiquement, car les options pour changer la taille du matériau enrichi sont formées par de nombreuses années de pratique et ne changent pas. Dans ce cas, un pas de pôle est recommandé pour une large gamme de finesse et les plages de finesse pour différents pas de pôles se chevauchent.

Par exemple, Metso Minerals produit des séparateurs à tambour Sala avec une alimentation supérieure de matériau du modèle BSA (dressage du minerai après les première et deuxième étapes de concassage jusqu'à 200 mm) et du modèle DS (dressage du minerai finement divisé de moins de 25 mm). Selon la taille, les séparateurs ont un pas polaire: «BSA» –165; 250 mm; «DS» - 25; 45; 65; 100; 165 mm. Pour les séparateurs du modèle DS, selon le catalogue officiel (www.metso.ru), l'étape de poteau suivante est recommandée en fonction de la taille du matériau à enrichir:



Pour les séparateurs à tambour Sala fonctionnant en mode centrifuge (augmentation de la vitesse du tambour) et utilisés pour produire des concentrés de fer finis, le pas des pôles dépend de la taille du matériau à enrichir: le pas des pôles est de 25; 45; 65 mm avec une granulométrie inférieure à 0,15; 1.0; 12,5 mm, respectivement [32, 66].

Ainsi, le pas polaire du système magnétique multipolaire du séparateur sec à tambour avec l'alimentation supérieure de matériau est déterminé par la taille attendue du matériau enrichi. Ceci doit être pris en compte lors du choix d'un séparateur.

**Séparateurs à secs (séparateurs de fer en suspension) avec alimentation d’en bas**

La formule (2.36) est applicable pour trouver le pas polaire des systèmes magnétiques de séparateurs secs avec une alimentation inférieure, par exemple, des séparateurs de fer suspendus. La valeur de Δ sera égale à la distance de la surface du système magnétique (du pôle) à la particule (à sa limite supérieure).

Dans ce cas, la distance Δ sera nettement supérieure à celle des séparateurs à alimentation supérieure en matière. Par conséquent, pour extraire des particules magnétiques d'une plus grande distance, il est nécessaire d'augmenter l'espacement des pôles (avec le champ magnétique inchangé sur la surface des pôles). Cela conduit à une augmentation des dimensions géométriques des pôles et de la masse du séparateur. Dans les séparateurs de fer suspendus installés au-dessus des bandes transporteuses, des systèmes électromagnétiques avec un pas de pôle allant jusqu'à *S* = 0,4-0,6 m sont utilisés pour augmenter la profondeur du champ magnétique.

L'utilisation d'aimants de terres rares (Nd-Fe-B) permet d'extraire des particules ferromagnétiques à un pas polaire inférieur à celui calculé par la formule (2.36). Cela réduit considérablement la masse du séparateur (séparateur de fer). Dans ce cas, la force magnétique nécessaire à l'extraction des particules est créée non pas en optimisant le pas des pôles, mais en augmentant l'induction du champ magnétique à la surface des pôles.

**Séparateurs à tambour humide avec alimentation d’en bas**

Des séparateurs à tambour humide du type PBM avec une alimentation inférieure en matériau avec un champ magnétique faible sont utilisés pour enrichir les minerais hautement magnétiques (magnétite) broyés. La taille des particules à séparer, selon l'étape de broyage, varie de 0,045 à 3 mm. Lors du calcul par la formule (2.36) avec une profondeur de baignoire de séparation de 50 mm, un pas polaire de 380–400 mm est obtenu, ce qui est nettement supérieur à celui utilisé dans la pratique. Dans ce cas, la force magnétique spécifique calculée par la formule (2.34) est insuffisante pour extraire le fond de la magnétite avec du minéral de roche avec χ = 10-4 m3 / kg du fond du bain. Néanmoins, les séparateurs PBM sont considérés comme l'un des concentrateurs les plus efficaces.

Les séparateurs standard de type PBM avec un système d'aimants permanents en ferrite-baryum ont un pas polaire d'environ 130 mm, une induction sur la surface du tambour de 0,16 T et une induction sur le fond du bain (à une distance de 50 mm du tambour) égale à 0,05 T. Ces caractéristiques sont suffisantes pour extraire au moins 95% de fer de magnétite (dans toute l'usine), ce qui n'est pas cohérent avec les formules théoriques de calcul de la force magnétique spécifique et du pas polaire «optimal».

Toutes les formules ci-dessus sont valables pour une particule de forme idéalisée et peuvent être utilisées soit pour les grosses particules soit pour les particules faiblement magnétiques. La magnétite est un minéral hautement magnétique, donc ses petites particules (après broyage) sont combinées en brins et flocs - de plus grands agrégats composés de plusieurs particules. L'effet de "l'élargissement apparent" des particules de magnétite dans un champ magnétique (composé en flocules) n'est pas pris en compte dans les formules (2.34) et (2.36), ce qui conduit à une surestimation de la force magnétique nécessaire calculée et du pas polaire.

En outre, lors de l'enrichissement par voie humide, des particules de magnétite pénètrent dans le bain séparateur à la fois à proximité immédiate du tambour (du système magnétique) et à la distance maximale (près du fond du bain). Dans la zone de travail du séparateur de type PBM, les particules de magnétite ayant une perméabilité magnétique élevée et se déplaçant près du tambour y sont immédiatement attirées et agissent comme un conducteur de champ magnétique. Par conséquent, les particules de magnétite qui se déplacent initialement à une plus grande distance du tambour, jusqu'aux particules contenant de la magnétite se déplaçant au fond du bain du séparateur, commencent à les attirer. Cet effet contribue à l'extraction efficace des particules pulvérisées fortement magnétiques dans les séparateurs avec une alimentation en matériau plus faible et n'est pas non plus pris en compte dans les formules (2.34) et (2.36), ce qui conduit à une surestimation de la force magnétique requise et du pas polaire requis.

Cependant, les séparateurs de type PBM sont capables d'enrichir efficacement le minerai de magnétite concassé hautement magnétique (produit industriel) avec une teneur élevée en magnétite (10% et plus). Avec une faible teneur en pulpe (dans un mélange d'eau et de particules broyées) de particules fortement magnétiques, les formules (2.34) et (2.36) seront pertinentes, ce qui nécessitera soit d'augmenter l'induction du champ magnétique à la surface du système magnétique, soit d'augmenter le pas des pôles, ou d'appliquer d'autres solutions (par exemple, utiliser des floculateurs magnétiques).

Ainsi, l'optimisation du pas polaire d'un système magnétique multipolaire permet de créer la force magnétique requise avec une masse plus faible du système magnétique, et donc, à un prix inférieur du séparateur. Les formules de calcul (2.36) sont valables pour une particule idéalisée et peuvent être utilisées pour la sélection préliminaire du pas des pôles pour les grosses particules ou les particules faiblement magnétiques ou pour les petites particules fortement magnétiques avec une petite quantité (moins de 10%) dans l'alimentation du séparateur. Lors de l'enrichissement dans des séparateurs à tambour humides avec une alimentation inférieure en matériau de minerai concassé contenant de la magnétite (produit industriel) avec une teneur élevée en magnétite (10% et plus), le pas des pôles ne peut pas être calculé à l'aide de formules (2,36).

**2.4.5. Champ magnétique des séparateurs à Haut gradient**

Le principe du processus de séparation magnétique à haut gradient (SMHG) est le passage de la pulpe à travers une couche de corps magnétisés ferromagnétiques, qui créent une force magnétique due à une forte augmentation du gradient d'induction, suffisante pour extraire des particules très faiblement magnétiques (voir Fig.1.1, c) Ce processus est également appelé magnétique à gradient multiple séparation, car le milieu ferromagnétique peut créer un champ magnétique inhomogène dans différentes directions et dans tout le volume de l'entrefer polaire. La séparation à gradient élevé n'est utilisée que pour les petites particules faiblement magnétiques (moins de 3 mm), ce qui est associé à la nécessité de créer un champ magnétique puissant.

Le nom de «séparation polygradient» a été adopté dans les années 60 du XXe siècle en URSS. Un peu plus tard, le nom de «séparation magnétique à haut gradient» (VGMS - HGMS) est apparu, qui est plus largement utilisé à l'heure actuelle [21].

La séparation dans les séparateurs à gradient élevé se produit dans l'espace interpolaire d'un système magnétique fermé rempli d'un milieu ferromagnétique. Le flux magnétique passe à travers un milieu ferromagnétique, qui est magnétisé et crée un champ magnétique plus fort dans son volume, par rapport au volume d'air (eau). Le procédé HGSM (Haut Gradient de Séparation Magnétique) est réalisé en milieu aqueux. La pulpe initiale est introduite dans le volume des corps ferromagnétiques magnétisés, vers lesquels les particules faiblement magnétiques sont attirées. Les particules non magnétiques ainsi que l'eau traversent le volume des corps ferromagnétiques et sont déchargées au fond. Par la suite, la cellule de travail du séparateur avec des corps ferromagnétiques et des particules faiblement magnétiques qui s'étendent vers eux quitte l'espace interpolaire. Les corps ferromagnétiques sont démagnétisés et ne contiennent plus de particules faiblement magnétiques à leur surface, qui sont emportées par l'eau (voir Fig. 1.1, c).

En tant que milieu ferromagnétique, des billes, des plaques ondulées, des tiges, des filets sont utilisés. Les ferro-charges des matrices de séparation sont faites d'aciers magnétiques doux avec une perméabilité magnétique élevée, une faible induction résiduelle et une résistance élevée à l'abrasion et à la corrosion. Une perméabilité magnétique élevée est nécessaire pour augmenter la conductivité magnétique dans l'entrefer polaire. Une faible induction résiduelle est nécessaire pour la démagnétisation complète du milieu ferromagnétique après son entrée par l'entrefer polaire afin d'assurer le lavage des particules faiblement magnétiques de la surface des corps ferromagnétiques.

Lorsque des corps ferromagnétiques sont introduits dans l'espace interpolaire, la conductivité magnétique dans l'espace augmentera par rapport à la conductivité dans l'air proportionnellement à la perméabilité magnétique du milieu, ce qui entraînera une augmentation de l'induction du champ magnétique dans l'espace interpolaire.

La conductivité magnétique dans l'entrefer entre les pôles de forme rectangulaire avec un petit entrefer h peut être calculée approximativement par la formule:



 Où :

Λa - conductivité magnétique dans l'espace d'air (vide, eau), H;

Sh - l'aire en coupe transversale de l'espace interpolaire, m2;

*h* - grandeur de l'espace interpolaire, m.

La conductivité magnétique dans l'espace rempli de corps ferromagnétiques entre les pôles de forme rectangulaire avec un petit espace h peut être approximativement calculée par la formule:



Où :

 Λf - conductivité magnétique dans l'espace rempli de corps ferromagnétiques, H;

μf - perméabilité magnétique (relative) du milieu ferromagnétique.

Des formules (2.46) et (2.47), il s'ensuit que la conductivité magnétique, qui détermine largement l'induction du champ magnétique dans l'entrefer interpolaire, dépend de la perméabilité magnétique du milieu ferromagnétique (relatif).

La perméabilité magnétique du milieu ferromagnétique dans l'espace interpolaire du séparateur à gradient élevé peut être calculée par la formule:



Où :

Bf et Be - induction du champ magnétique à la surface des pôles du système magnétique avec un espace interpolaire rempli et non rempli de corps ferromagnétiques, respectivement, T.

Il convient de noter que pour évaluer les caractéristiques d'intensité de champ magnétique des séparateurs à gradient élevé, seule l'induction de champ magnétique doit être utilisée, car la séparation est effectuée dans un milieu rempli de corps ferromagnétiques. L'utilisation de la force du champ magnétique à cette fin sera incorrecte.

Pour calculer la force magnétique (*B*grad*В*) agissant sur les particules à séparer dans la zone de travail du séparateur à haut gradient, il est nécessaire d'avoir la dépendance de la variation de l'induction du champ magnétique dans l'espace entre les corps ferromagnétiques. Cependant, la mesure directe de l'induction du champ magnétique est difficile, car l'écart entre les corps ferromagnétiques est insignifiant, ce qui est associé à la création d'un champ magnétique élevé pour l'enrichissement de petites particules faiblement magnétiques.

Les calculs théoriques des changements de l'induction du champ magnétique dans l'espace entre les corps ferromagnétiques, adaptés à une utilisation pratique, sont très difficiles et ne sont pas actuellement développés. Quelques approches théoriques pour estimer le champ magnétique généré par deux billes ferromagnétiques ont été présentées dans [21, 25]. Les formules ci-dessus sont assez difficiles à utiliser pour les calculs pratiques, car elles sont idéalisées (seulement deux boules) et ne prennent pas en compte de nombreux facteurs. La dépendance exponentielle la plus facile à utiliser pour calculer *B*grad*B* (formule (4.71) de [21]), la forme de formule (2.30) de ce travail, comprend deux coefficients sans dimension qui prennent en compte l'influence des boules voisines. La détermination de ces coefficients adimensionnels nécessite des expériences spéciales.

Pour une comparaison préliminaire de la force magnétique générée par divers milieux ferromagnétiques, on peut utiliser la formule (2.48), étant donné que les valeurs de *B*f et *B*e peuvent être mesurées avec un teslamètre. Plus la valeur μf est élevée, plus la force magnétique générée par le milieu ferromagnétique est grande dans l'espace interpolaire du séparateur à gradient élevé.

***Exemple***

Des mesures d'induction ont été effectuées au pôle du système magnétique fermé d'un séparateur de laboratoire à gradient élevé avec un système électromagnétique (Fig. 1.1, c). Les mesures ont été effectuées en l'absence de corps ferromagnétiques dans la matrice de travail (air, faible conductivité magnétique) et avec une matrice remplie de corps ferromagnétiques (milieu ferromagnétique à forte conductivité magnétique). Des billes (diamètre 4-6 mm) et des plaques d'engrenage ondulées (pas de dent 3,5 mm, distance entre les plaques 2,5 mm) ont été utilisées comme milieu ferromagnétique. Les résultats des mesures sont présentés sur la Fig. 2.7.

Calculez la perméabilité magnétique (relative) de deux milieux ferromagnétiques et comparez les billes et les plaques ondulées installées avec un espace de 2,5 mm.

***Solution***

Le calcul de la perméabilité magnétique pour les milieux ferromagnétiques comparés à différentes intensités de courant est effectué selon la formule (2.48).

Par exemple, avec une intensité de courant de 5 A, l'induction d'un champ magnétique au pôle du système électromagnétique avec un espace interpolaire rempli d'air, de plaques ondulées et de billes est égal à: Be = 0,71; Bf1 = 1,19; Bf2 = 1,39 T. Alors μf1 = 1,19/0,71 = 1,68; μf2 = 1,39/0,71 = 1,96. Les résultats des calculs sont présentés sur la Fig. 2.8.

Selon les résultats des calculs, on peut noter ce qui suit.

Avec l'augmentation de la force du courant, l'induction du champ magnétique au pôle du système électromagnétique pour tous les médias augmente. L'induction du champ magnétique au pôle du système électromagnétique est plus élevée pour les milieux ferromagnétiques que pour l'air. La valeur maximale d'induction est atteinte lors de l'utilisation de balles (voir Fig. 2.7).

Induction d'un champ magnétique, T

Perméabilité magnétique

 

Force du courant, A

Force du courant, A

Fig 2.8 Dépendance de la perméabilité magnétique du milieu par rapport à l'intensité du courant alimentant l'électro-aimant et au type de milieu dans l'entrefer interpolaire

1 - balles ; 2 - plaques ondulées

Fig. 2.7. Dépendance de l'induction du champ magnétique aux pôles

séparateurs de l'intensité du

courant et du type de milieu dans l'entrefer interpolaire :

1 - les billes ; 2 - les plaques ondulées ; 3 - air

Avec l'augmentation de la force du courant, la perméabilité magnétique des milieux ferromagnétiques diminue, mais reste supérieure à l'unité (perméabilité magnétique de l'air μe≈1). La perméabilité magnétique des billes est supérieure à celle des plaques ondulées (voir Fig. 2.8). Cela suggère que l'utilisation de billes d'un diamètre de 4 à 6 mm dans un séparateur à gradient élevé de la conception en question permettra une force magnétique plus élevée et l'extraction de particules faiblement magnétiques, par rapport à l'utilisation de plaques ondulées. Cependant, l'utilisation de billes conduit à une diminution significative des performances du séparateur et à une diminution de la finesse du produit initial.