

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50288/2023
(22) Anmeldetag: 18.04.2023
(43) Veröffentlicht am: 15.11.2024

(51) Int. Cl.: **H05B 6/10** (2006.01)
H05B 6/14 (2006.01)
H05B 6/44 (2006.01)
B29C 64/209 (2017.01)
B29C 35/08 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
US 2875311 A
US 2020061896 A1
US 2017312849 A1

(71) Patentanmelder:
Plasmics GmbH
1080 Wien (AT)

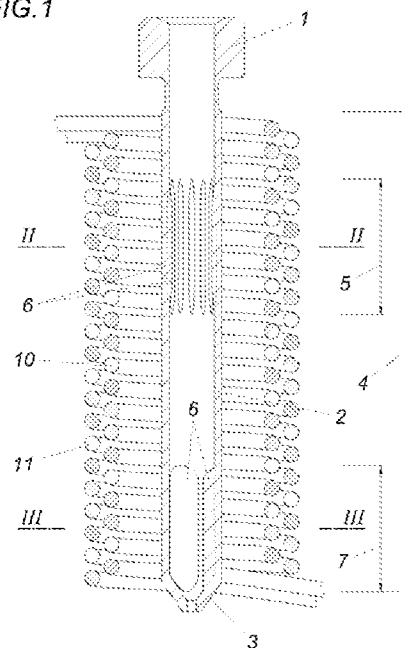
(72) Erfinder:
Schreiner Konrad
1080 Wien (AT)
Spor Stefan
1210 Wien (AT)
Samhaber Maximilian
1090 Wien (AT)

(74) Vertreter:
Hübscher & Partner Patentanwälte GmbH
4020 Linz (AT)

(54) **Extrusionskopf für die additive Fertigung eines Formkörpers**

(57) Es wird ein Extrusionskopf für die additive Fertigung eines Formkörpers mit einem in einer Extrusionsdüse (3) mündenden, einen ferromagnetischen Mantel (2) bildenden Rohrkörper (1) und mit wenigstens einer den ferromagnetischen Mantel (2) des Rohrkörpers (1) in einer Schmelzzone (4) umschließenden Induktionsspule (10, 11) beschrieben. Um vorteilhafte Erwärmungsbedingungen zu schaffen, wird vorgeschlagen, dass der ferromagnetische Mantel (2) zumindest in einem axialen Abschnitt (5, 7) der Schmelzzone (4) eine sich über den Mantelumfang wiederholt alternierend ändernde Manteldicke aufweist.

FIG. 1



Zusammenfassung

Es wird ein Extrusionskopf für die additive Fertigung eines Formkörpers mit einem in einer Extrusionsdüse (3) mündenden, einen ferromagnetischen Mantel (2) bildenden Rohrkörper (1) und mit wenigstens einer den ferromagnetischen Mantel (2) des Rohrkörpers (1) in einer Schmelzzone (4) umschließenden Induktionsspule (10, 11) beschrieben. Um vorteilhafte Erwärmungsbedingungen zu schaffen, wird vorgeschlagen, dass der ferromagnetische Mantel (2) zumindest in einem axialen Abschnitt (5, 7) der Schmelzzone (4) eine sich über den Mantelumfang wiederholt alternierend ändernde Manteldicke aufweist.

(Fig. 1)

Die Erfindung bezieht sich auf einen Extrusionskopf für die additive Fertigung eines Formkörpers mit einem in einer Extrusionsdüse mündenden, einen ferromagnetischen Mantel bildenden Rohrkörper und mit wenigstens einer den ferromagnetischen Mantel des Rohrkörpers in einer Schmelzzone umschließenden Induktionsspule.

Um die für das Aufschmelzen eines einem Extrusionskopf zugeführten thermoplastischen Polymerstrangs benötigte Wärmeenergie vorteilhaft zur Verfügung stellen zu können, ist es bekannt, anstelle der üblichen elektrischen Widerstandsheizung eine elektrische Induktionsheizung vorzusehen. Diese elektrische Induktionsheizung umfasst einen im Extrusionskopf vorgesehenen, den aufzuschmelzenden Polymerstrang aufnehmenden Rohrkörper und wenigstens eine den ferromagnetischen Mantel des Rohrkörpers umschließende Induktionsspule, die im ferromagnetischen Mantel des Rohrkörpers Wirbelströme induziert. Der durch die Wirbelströme erwärmte ferromagnetische Mantel gibt seine Wärme an den durch den Rohrkörper geführten, thermoplastischen Polymerstrang ab, der somit während seiner Förderung durch den Rohrkörper erwärmt und aufgeschmolzen wird, um als Schmelzestrang aus der den Rohrkörper abschließenden Extrusionsdüse ausgetragen zu werden. Die zum Einsatz kommenden, thermoplastischen Polymerstränge für die additive Fertigung von Formkörpern sind allerdings empfindlich gegenüber einer Überhitzung, sodass ein von der Art des Polymerstrangs abhängiger Temperaturverlauf angestrebt wird.

Zu diesem Zweck ist es bekannt (WO 2016/102 669 A1), den Mantel des Rohrkörpers aus mehreren ferromagnetischen Hülzen unter Zwischenlage

elektrisch nichtleitender Verbindungsringe axial zusammenzusetzen und den einzelnen ferromagnetischen Hülsten gesondert ansteuerbare Induktionsspulen zuzuordnen, sodass der Rohrkörper in aufeinanderfolgenden axialen Abschnitten unterschiedlich induktiv erwärmt werden kann. Die dadurch mögliche Vorgabe eines bestimmten Erwärmungsverlaufs entlang der Schmelzzone wird allerdings mit einem erheblichen Konstruktionsaufwand und einer Überlänge der Schmelzzone erkauft.

Um den Steuerungsaufwand für mehrere Induktionsspulen zu vermeiden, ist es bei Extrusionsköpfen für die additive Fertigung von Formkörpern darüber hinaus bekannt (EP 3 148 293 A1), den ferromagnetischen Mantel des den Polymerstrang aufnehmenden Rohrkörpers in mehrere axiale Mantelabschnitte zu unterteilen, die eine unterschiedliche Curie-Temperatur aufweisen, sodass diese Mantelabschnitte nur bis zu der Curie-Temperatur induktiv erwärmt werden können. Abgesehen davon, dass für den Aufbau des Rohrkörpers axiale Mantelabschnitte aus unterschiedlichen ferromagnetischen Werkstoffen erforderlich sind, ergibt sich der Nachteil, dass für die induktive Heizung ein den Leistungsbedarf übersteigendes Leistungsangebot bereitgestellt werden muss.

Zum verbesserten Wärmeeintrag in den aufzuschmelzenden Polymerstrang ist es bei Extrusionsköpfen mit einer elektrischen Widerstandsheizung außerdem bekannt (WO 2017/183992 A1), in dem den Polymerstrang aufnehmenden Rohrkörper eine Wärmeleiteinrichtung in Form eines sich vom Mantel des Rohrkörpers gegen die Rohrmitte hin erstreckenden Wärmeleitkörpers vorzusehen, um den Polymerstrang nicht nur von außen über den wärmeleitenden Mantel des Rohrkörpers, sondern zusätzlich über den Wärmeleitkörper auch in einem Kernbereich erwärmen zu können. Nachteilig bei der durch die elektrische Widerstandsheizung bedingten Wärmeübertragung von einem Heizblock auf den Mantel des Rohrkörpers und auf den Wärmeleitkörper ist, dass der Wärmeeintrag in den Polymerstrang einerseits von dem für den Wärmefluss zur Verfügung stehenden Querschnitt des wärmeleitenden Werkstoffs und andererseits von der Länge des Wärmeflusses zwischen dem Heizblock und dem Polymerstrang abhängt, sodass ein für den

Wärmeeintrag vorteilhafter, voluminöser Wärmeleitkörper den Strömungsquerschnitt des Rohrkörpers für den aufzuschmelzenden Polymerstrang nachhaltig verkleinert, was nicht nur ungünstige Strömungsbedingungen für den aufzuschmelzenden Polymerstrang nach sich zieht, sondern auch mit einer den Wärmeeintrag verringernden Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit des Polymerstrangs einhergeht. Abgesehen davon, kann durch solche entlang der Schmelzzone vorgesehene Wärmeleitkörper das Temperaturprofil entlang der Schmelzzone nicht an den jeweiligen Wärmebedarf zum aufschmelzen des Polymerstrangs angepasst werden.

Der Erfindung liegt somit die Aufgabe zugrunde, einen Extrusionskopf für die additive Fertigung eines Formkörpers so auszugestalten, dass das Temperaturprofil entlang der Schmelzzone des Rohrkörpers mit einem vergleichsweise einfachen Konstruktionsaufwand entsprechend dem zu schmelzenden Polymerstrang weitgehend vorgegeben werden kann.

Die Erfindung löst die gestellte Aufgabe dadurch, dass der ferromagnetische Mantel zumindest in einem axialen Abschnitt der Schmelzzone eine sich über den Mantelumfang wiederholt alternierend ändernde Manteldicke aufweist.

Durch das Zusammenwirken der sich über den Mantelumfang wiederholt alternierend ändernden Manteldicke und eines mit einer entsprechenden Frequenz durch die Induktionsspule im ferromagnetischen Mantel erregten Magnetfelds kann in vorteilhafter Weise ein Skineffekt genutzt werden, demzufolge sich die induzierten Wirbelströme in einem Oberflächenschichtbereich des Mantels konzentrieren, sodass der Mantel im Bereich des axialen Abschnitts des Mantels mit der sich alternierend ändernden Manteldicke im Oberflächenbereich stärker erwärmt wird als in den übrigen axialen Abschnitten mit einer über den Umfang gleichmäßigen Dicke. Mithilfe eines erfindungsgemäß zumindest in einem axialen Abschnitt mit einer alternierenden Manteldicke ausgebildeten ferromagnetischen Mantels lässt sich somit der Wärmeeintrag entlang der Schmelzzone entsprechend einem vorgegebenen Temperaturprofil steuern.

Da die Eindringtiefe des magnetischen Erregerfeldes der Induktionsspule bei einem vorgegebenen ferromagnetischen Werkstoff insbesondere von der Erregerfrequenz abhängt, können unterschiedliche Wirkungen für den Wärmeeintrag in den Polymerstrang dadurch erzielt werden, dass die Induktionsspule mit einer von der Periodenlänge der sich alternierend ändernden Manteldicke und dem Dickenunterschied abhängigen Frequenz erregt wird. Dies bedeutet beispielsweise, dass durch voluminöse Rippen, die sich bei Dickenänderungen mit einer vergleichsweise großen Periodenlänge und einem vergleichsweise großen Dickenunterschied ergeben, größere Wärmemengen mit vergleichsweise niedrigeren Erregerfrequenzen aufgrund der größeren Eindringtiefe des magnetischen Erregerfeldes zur Verfügung gestellt werden können. Bei geringeren Periodenlängen und kleineren Dickenunterschieden und somit Rippen mit einem kleineren Querschnitt ist eine Felderregung mit höherer Frequenz für eine geringere Eindringtiefe erforderlich, um einen entsprechenden Skineffekt sicherstellen und davon abhängig eine größere Wärmemengen in den Polymerstrang eintragen zu können.

Da es zur Ausnützung des Skineffekts auf eine über den Umfang des ferromagnetischen Mantels wiederholte alternierende Dickenänderung ankommt, kann der Mantel einen über die Schmelzzone durchgehend kreiszylindrischen Strömungskanal für den aufzuschmelzenden Polymerstrang bilden, sodass die Strömungsbedingungen des Rohrkörpers für den Polymerstrang nicht durch die sich in einem axialen Abschnitt der Schmelzzone über den Umfang alternierend ändernde Manteldicke nachteilig beeinflusst werden können. Bildet der ferromagnetische Mantel jedoch auf seiner Außenseite im Bereich der Schmelzzone einen Kreiszylinder, so ragen die sich zufolge der alternierenden Dickenänderungen ergebenden axialen Rippen radial einwärts, wodurch sich eine Oberflächenvergrößerung und damit eine größere Wärmeübertragungsfläche für den Polymerstrang ergibt.

Um einem vorgegebenen Verlauf der Wärmeeintragung entlang der Schmelzzone in einem für den Aufschmelzvorgang ausreichenden Maß folgen zu können, kann der

ferromagnetische Mantel im Bereich der Schmelzzone wenigstens zwei in axialer Richtung voneinander beabstandete Abschnitte mit einer sich über den Mantelumfang alternierend ändernden Manteldicke aufweisen, wobei die Änderungen der Manteldicke in den beiden axialen Abschnitten der Schmelzzone unterschiedlich gewählt werden, sodass aufgrund der in diesen Schmelzonenabschnitten unterschiedlichen Ausgestaltungen des ferromagnetischen Mantels unterschiedliche Wärmemengen in den Polymerstrang eingetragen werden. Dies gelingt insbesondere dann, wenn den beiden axialen Abschnitten mit einer sich über den Mantelumfang alternierend ändernden Manteldicke je eine Induktionsspule zugeordnet ist und wenn die beiden konzentrisch angeordneten Induktionsspulen mit unterschiedlichen, von der Periodenlänge der sich alternierend ändernden Manteldicke und dem Dickenunterschied des zugehörigen Abschnitts abhängigen Frequenzen erregbar sind. Bei einer abwechselnden Erregung der beiden Induktionsspulen wird im ferromagnetischen Mantel entlang der gesamten Schmelzzone abwechselnd ein magnetisches Erregerfeld mit unterschiedlicher Frequenz wirksam, sodass sich eine niedrigere Erregerfrequenz insbesondere im Bereich eines Schmelzonenabschnitts mit voluminöseren Rippen und eine höhere Erregerfrequenz im Bereich eines Schmelzonenabschnitts mit Rippen eines geringeren Volumens auswirken. Mit einer entsprechenden Abstimmung der Rippenausbildung und der Erregerfrequenz lässt sich somit der Extrusionskopf an unterschiedliche Anforderungen hinsichtlich der schonenden Wärmeeintragung in den aufzuschmelzenden Polymerstrang anpassen.

In der Zeichnung ist der Erfindungsgegenstand beispielsweise dargestellt. Es zeigen

Fig. 1 den mit einer induktiven Heizung versehenen Rohrkörper eines erfindungsgemäßen Extrusionskopfs für die additive Fertigung eines Formkörpers in einem Axialschnitt,

Fig. 2 einen Schnitt durch den Mantel des Rohrkörpers nach der Linie II-II der Fig. 1 in einem größeren Maßstab,

Fig. 3 einen Schnitt nach der Linie III-III der Fig. 1 in einem größeren Maßstab,

Fig. 4 eine Ausführungsvariante eines Rohrkörpers in einem axialen Schnitt und Fig. 5 einen Schnitt nach der Linie V-V der Fig. 4 in einem größeren Maßstab.

In der Zeichnung ist von einem zum Einsatz kommenden Extrusionskopf für die additive Fertigung eines Formkörpers lediglich der Bereich schematisch dargestellt, der für das Aufschmelzen des zugeführten thermoplastischen Polymerstrangs dient. Dieser thermoplastische Polymerstrang wird durch eine Fördereinrichtung einem in einem Träger gehaltenen Rohrkörper 1 zugeführt, dessen ferromagnetischer Mantel 2 in einer Extrusionsdüse 3 mündet. Der ferromagnetische Mantel 2, der entlang einer Schmelzzone 4 induktiv beheizt wird, weist in zumindest einem axialen Abschnitt 5 eine sich über den Mantelumfang wiederholt alternierend ändernde Manteldicke auf. Aufgrund dieser sich wiederholt ändernden Manteldicke ergeben sich im Abschnitt 5 der Schmelzzone 4 über den Umfang des Mantels 2 verteilt axiale Rippen 6, die gemäß den Fig. 1 bis 3 auf der Innenseite des Mantels 2 des Rohrkörpers 1 verlaufen, gemäß den Fig. 4 und 5 jedoch auch auf der Mantelaußenseite angeordnet sein können.

Entlang der Schmelzzone 4 ist zumindest ein Abschnitt 5 mit einer sich über den Mantelumfang wiederholt alternierend ändernde Manteldicke vorzusehen. Der Mantel 2 kann aber auch zwei oder mehrere solcher Abschnitte bilden. In der Fig. 1 ist neben dem Abschnitt 5 ein weiterer Abschnitt 7 dargestellt, in dessen Bereich die sich wiederholt alternierend ändernde Manteldicke eine gegenüber dem Abschnitt 5 unterschiedliche Periodenlänge 8 und einen unterschiedlichen Dickenunterschied 9 aufweist, was sich in einem unterschiedlichen Querschnitt der Rippen 6 auswirkt.

Um den Skineffekt in einem Abschnitt 5 mit einer alternierenden Manteldicke unter der Voraussetzung vorteilhaft zu nützen, dass die Periodenlänge 8 der Dickenänderung und der Dickenunterschied vergleichsweise klein ausfallen, wie dies den Fig. 2 und 5 entnommen werden kann, ist für eine entsprechend höhere Erregerfrequenz für das magnetische Erregerfeld zu sorgen, um die Eindringtiefe zu begrenzen. Für eine Ausgestaltung gemäß der Fig. 3, also im Falle vergleichsweise großer Querschnitte für die sich durch die Dickenunterschiede ergebenden Rippen

6, sind niedrigere Erregerfrequenzen für das magnetische Erregerfeld erforderlich, um eine höhere Eindringtiefe sicherzustellen.

Wie sich aus der Fig. 1 ergibt, können beim Vorsehen von zwei Abschnitten 5 und 7 mit einer sich über den Mantelumfang wiederholt alternierend ändernden Manteldicke zwei Induktionsspulen 10, 11 vorgesehen werden, die insbesondere hinsichtlich ihrer Erregung auf die beiden in Bezug auf die Dickenunterschiede unterschiedlich gestalteten Abschnitte 5, 7 abgestimmt sind, sich aber konzentrisch über die gesamte Schmelzzone 4 erstrecken. Mit einer abwechselnden Erregung der beiden Induktionsspulen 9, 10 wirken im Mantel 2 entlang der gesamten Schmelzzone 4 abwechselnd magnetische Erregerfelder mit unterschiedlicher Frequenz. Dies bedeutet, dass je nach der Erregerfrequenz in den Abschnitten 5 und 7 aufgrund unterschiedlicher Eindringtiefen unterschiedliche Wirkungen hinsichtlich des Skin效ekts mit der Folge auftreten, dass entlang der Abschnitte 5 und 7 unterschiedliche Wärmemengen zur Verfügung gestellt werden können, um für eine Anpassung an einen vorgegebenen Temperaturverlauf entlang der Schmelzzone 4 zu sorgen.

Weist der Mantel 2 entlang der Schmelzzone 4 lediglich einen Abschnitt 5 mit einer sich über den Mantelumfang wiederholt alternierend ändernden Manteldicke auf, so genügt eine sich über die Länge der Schmelzzone 4 erstreckende Induktionsspule, unabhängig davon, über welchen Bereich der Schmelzzone 4 sich der Abschnitt des Mantels 2 mit einer sich über den Mantelumfang wiederholt alternierend ändernden Manteldicke erstreckt.

Patentansprüche

1. Extrusionskopf für die additive Fertigung eines Formkörpers mit einem in einer Extrusionsdüse (3) mündenden, einen ferromagnetischen Mantel (2) bildenden Rohrkörper (1) und mit wenigstens einer den ferromagnetischen Mantel (2) des Rohrkörpers (1) in einer Schmelzzone (4) umschließenden Induktionsspule (10, 11), dadurch gekennzeichnet, dass der ferromagnetische Mantel (2) zumindest in einem axialen Abschnitt (5, 7) der Schmelzzone (4) eine sich über den Mantelumfang wiederholt alternierend ändernde Manteldicke aufweist.
2. Extrusionskopf nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Induktionsspule (10, 11) mit einer von der Periodenlänge (8) der sich alternierend ändernden Manteldicke und dem Dickenunterschied (9) abhängigen Frequenz erregbar ist.
3. Extrusionskopf nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der ferromagnetische Mantel (2) im Bereich der Schmelzzone (4) eine kreiszylindrische Außenfläche aufweist.
4. Extrusionskopf nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der ferromagnetische Mantel (2) im Bereich der Schmelzzone (4) wenigstens zwei in axialer Richtung voneinander beabstandete Abschnitte (5, 7) mit einer sich über den Mantelumfang alternierend ändernden Manteldicke aufweist und dass die Änderungen der Manteldicke in den beiden axialen Abschnitten (5, 7) der Schmelzzone (4) unterschiedlich sind.
5. Extrusionskopf nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass den beiden axialen Abschnitten (5, 7) mit einer sich über den Mantelumfang alternierend

ändernden Manteldicke je eine Induktionsspule (10, 11) zugeordnet ist und dass die beiden konzentrisch angeordneten Induktionsspulen (10, 11) mit unterschiedlichen, von der Periodenlänge (8) der sich alternierend ändernden Manteldicke und dem Dickenunterschied (9) des zugehörigen Abschnitts (5, 7) abhängigen Frequenzen erregbar sind.

FIG.1

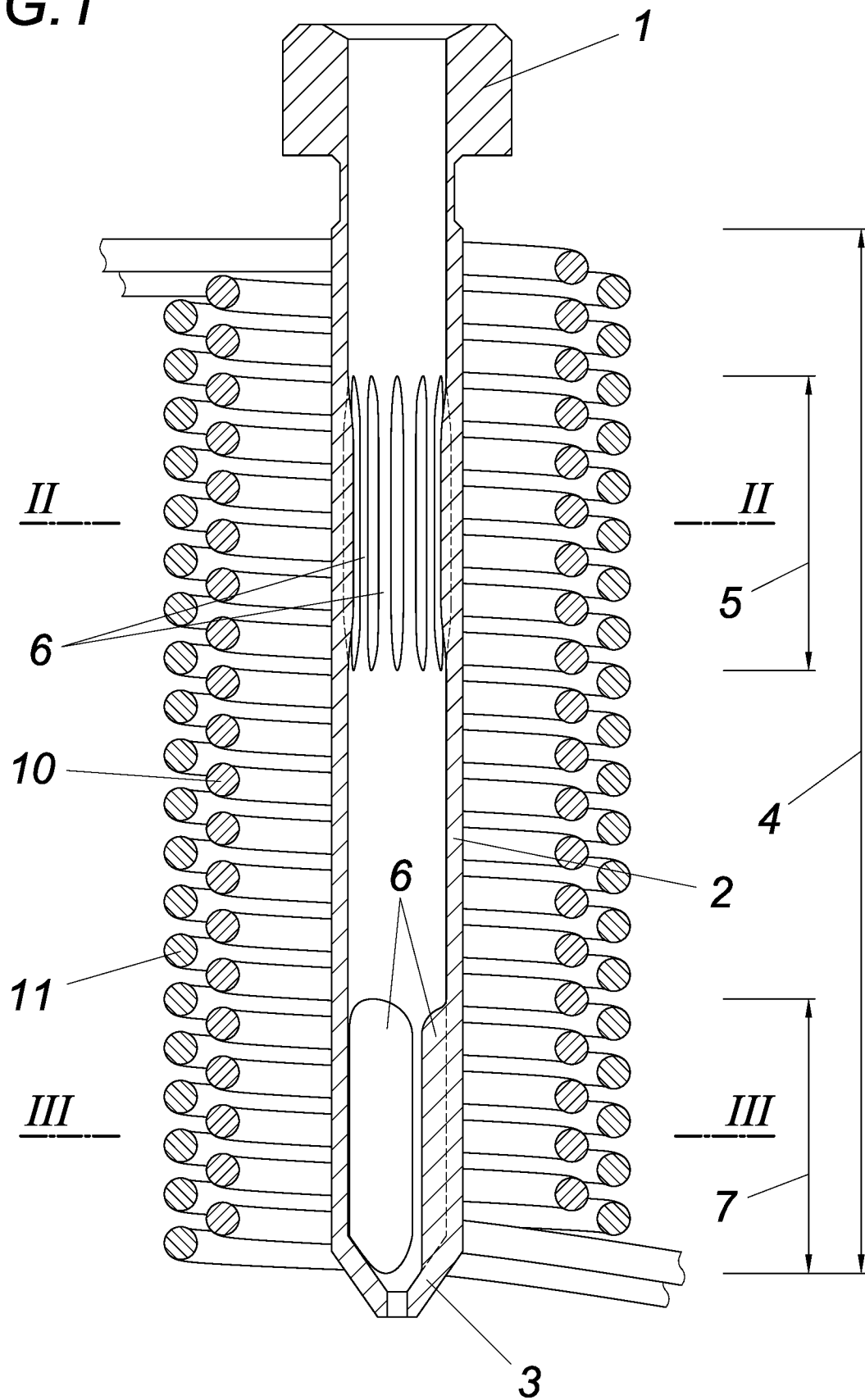


FIG.2

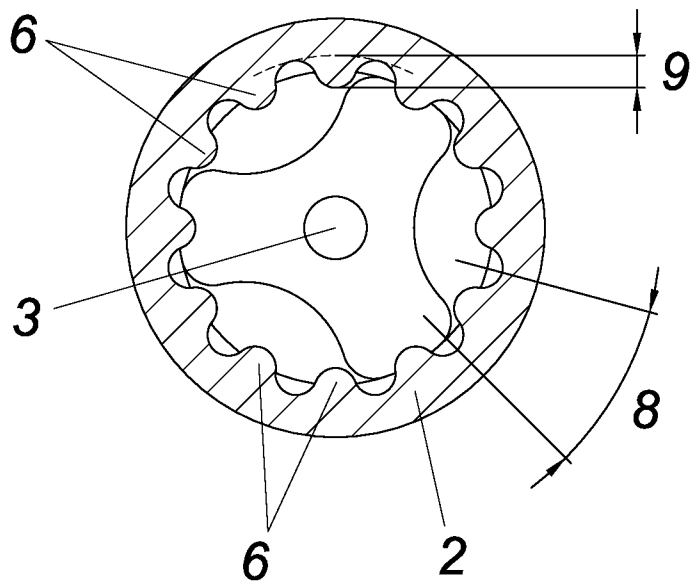


FIG.3

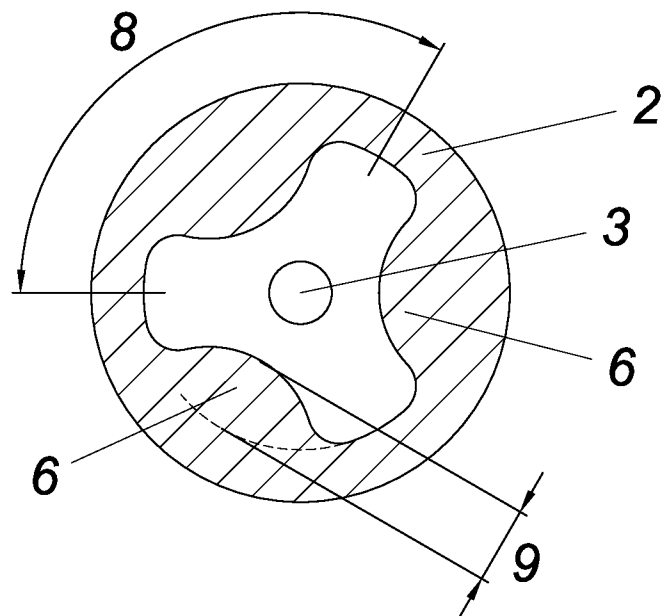


FIG.4

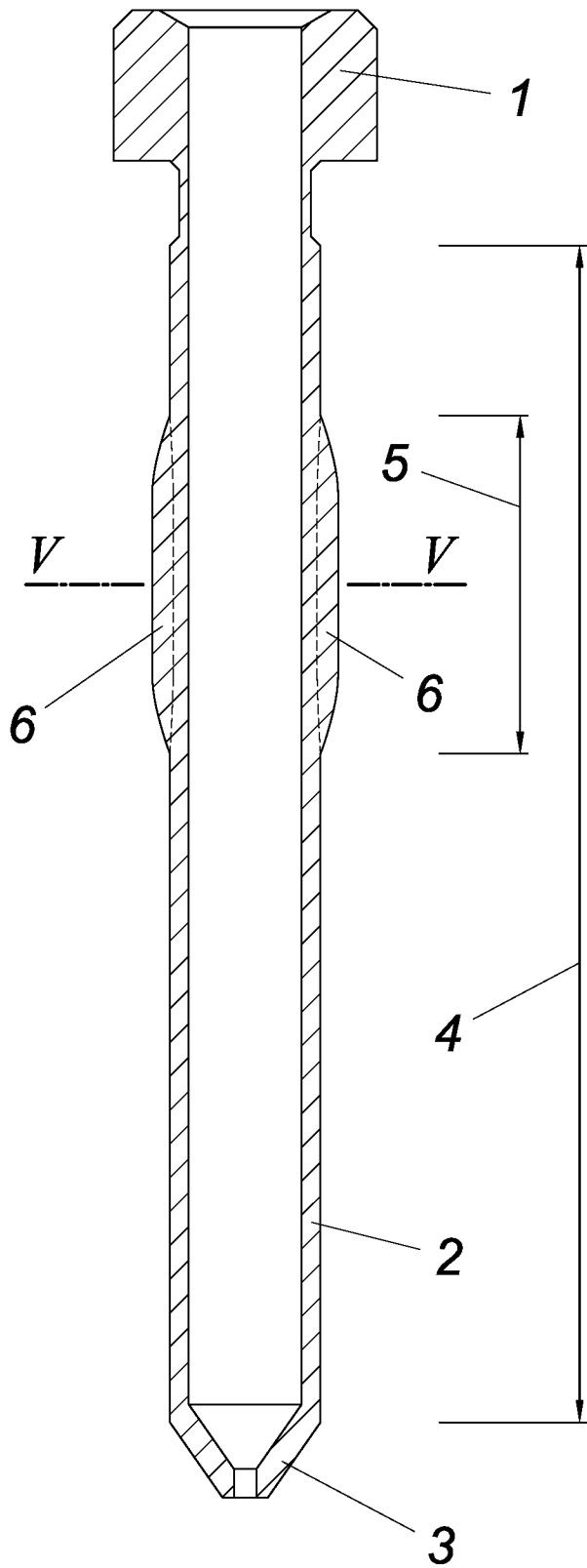
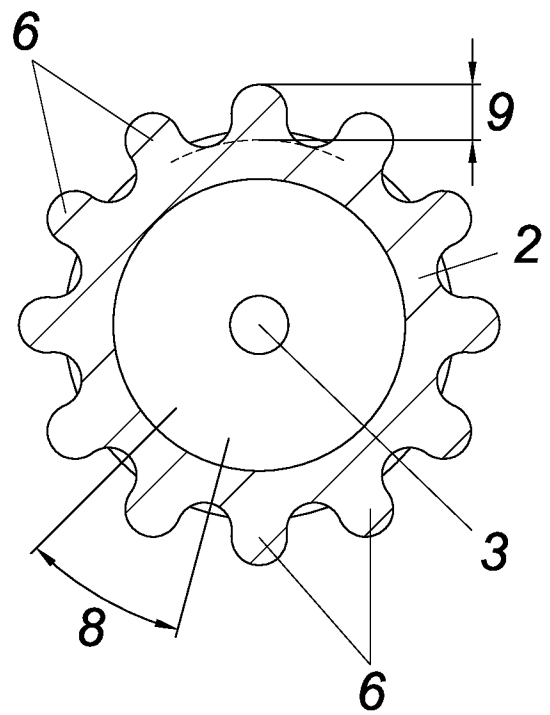


FIG.5



Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß IPC:

H05B 6/10 (2006.01); H05B 6/14 (2006.01); H05B 6/44 (2006.01); B29C 64/209 (2017.01); B29C 35/08 (2006.01)

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß CPC:

H05B 6/108 (2013.01); H05B 6/14 (2013.01); H05B 6/44 (2013.01); B29C 64/209 (2017.08); B29C 2035/0811 (2013.01)

Recherchierter Prüfstoff (Klassifikation):

H05B, B29C

Konsultierte Online-Datenbank:

EPODOC, WPIAP

Dieser Recherchenbericht wurde zu den am 18.04.2023 eingereichten Ansprüchen 1-5 erstellt.

Kategorie ^{*)}	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
A	US 2875311 A (HARKENRIDER ROBERT J) 24. Februar 1959 (24.02.1959) Ansprüche 1-4; Figur 1	1-5
A	US 2020061896 A1 (TRAN KHAN KHAC) 27. Februar 2020 (27.02.2020) Absätze [0016] - [0021]; Figuren 1-6	1-5
A	US 2017312849 A1 (YANG et al.) 02. November 2017 (02.11.2017) Ansprüche 1-17; Figuren 1-12	1-5

Datum der Beendigung der Recherche:
10.04.2024

Seite 1 von 1

Prüfer(in):

KOVACS György

^{*)} Kategorien der angeführten Dokumente:

- X** Veröffentlichung von besonderer Bedeutung: der Anmeldungsgegenstand kann allein aufgrund dieser Druckschrift nicht als neu bzw. auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden.
- Y** Veröffentlichung von Bedeutung: der Anmeldungsgegenstand kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren weiteren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist.

- A** Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert.
- P** Dokument, das von Bedeutung ist (Kategorien X oder Y), jedoch nach dem Prioritätstag der Anmeldung veröffentlicht wurde.
- E** Dokument, das von besonderer Bedeutung ist (Kategorie X), aus dem ein „älteres Recht“ hervorgehen könnte (früheres Anmeldedatum, jedoch nachveröffentlicht, Schutz ist in Österreich möglich, würde Neuheit in Frage stellen).
- &** Veröffentlichung, die Mitglied der selben Patentfamilie ist.